



JILID 2

Widarto

Teknik Pemesinan

untuk Sekolah Menengah Kejuruan



Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan
Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah
Departemen Pendidikan Nasional

Widarto

TEKNIK PEMESINAN

JILID 2

SMK



Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan
Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah
Departemen Pendidikan Nasional

Hak Cipta pada Departemen Pendidikan Nasional
Dilindungi Undang-undang

TEKNIK PEMESINAN

JILID 2

Untuk SMK

Penulis : Widarto

Perancang Kulit : TIM

Ukuran Buku : 17,6 x 25 cm

WID WIDARTO

t

Teknik Pemesinan Jilid 2 untuk SMK /oleh Widarto ----
Jakarta : Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan,
Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah,
Departemen Pendidikan Nasional, 2008.

xii, 308 hlm

Daftar Pustaka : Lampiran. A

Lampiran : Lampiran. B

Index : Lampiran. C

ISBN : 978-979-060-115-4

ISBN : 978-979-060-116-1

Diterbitkan oleh

Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan

Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah
Departemen Pendidikan Nasional

Tahun 2008

KATA SAMBUTAN

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT, berkat rahmat dan karunia Nya, Pemerintah, dalam hal ini, Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah Departemen Pendidikan Nasional, pada tahun 2008, telah melaksanakan penulisan pembelian hak cipta buku teks pelajaran ini dari penulis untuk disebarluaskan kepada masyarakat melalui *website* bagi siswa SMK.

Buku teks pelajaran ini telah melalui proses penilaian oleh Badan Standar Nasional Pendidikan sebagai buku teks pelajaran untuk SMK yang memenuhi syarat kelayakan untuk digunakan dalam proses pembelajaran melalui Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 12 tahun 2008.

Kami menyampaikan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada seluruh penulis yang telah berkenan mengalihkan hak cipta karyanya kepada Departemen Pendidikan Nasional untuk digunakan secara luas oleh para pendidik dan peserta didik SMK di seluruh Indonesia.

Buku teks pelajaran yang telah dialihkan hak ciptanya kepada Departemen Pendidikan Nasional tersebut, dapat diunduh (*download*), digandakan, dicetak, dialihmediakan, atau difotokopi oleh masyarakat. Namun untuk penggandaan yang bersifat komersial harga penjualannya harus memenuhi ketentuan yang ditetapkan oleh Pemerintah. Dengan ditayangkannya *soft copy* ini akan lebih memudahkan bagi masyarakat untuk mengaksesnya sehingga peserta didik dan pendidik di seluruh Indonesia maupun sekolah Indonesia yang berada di luar negeri dapat memanfaatkan sumber belajar ini.

Kami berharap, semua pihak dapat mendukung kebijakan ini. Selanjutnya, kepada para peserta didik kami ucapkan selamat belajar dan semoga dapat memanfaatkan buku ini sebaik-baiknya. Kami menyadari bahwa buku ini masih perlu ditingkatkan mutunya. Oleh karena itu, saran dan kritik sangat kami harapkan.

Jakarta,
Direktur Pembinaan SMK

PENGANTAR UMUM

Proses pemotongan logam merupakan suatu proses yang digunakan untuk mengubah bentuk suatu produk (komponen mesin) dari logam dengan cara memotong. Berdasarkan pada cara pemotongannya, proses pemotongan logam dapat dikelompokkan menjadi empat kelompok dasar, yaitu:

1. Proses pemotongan dengan mesin las
2. Proses pemotongan dengan mesin pres
3. Proses pemotongan dengan mesin perkakas
4. Proses pemotongan non-konvensional (*Electrical Discharge Machining, Laser Beam Machining, Chemical Milling, dsb.*).

Dari keempat proses pemotongan tersebut, buku ini hanya akan membahas kelompok ke-3 yaitu proses pemotongan dengan menggunakan pahat potong yang dipasang pada mesin perkakas dan kelompok ke-4, khususnya mesin EDM (*Electrical Discharge Machining*). Dalam istilah teknik, proses ini sering disebut dengan nama Proses Pemotongan Logam (*Metal Cutting Process*) atau Proses Pemesinan (*Machining Process*). Oleh karena itu, untuk menghindari kesalahpahaman tentang istilah maka selanjutnya dipilih nama yang terakhir yaitu proses pemesinan.

Buku Teknik Pemesinan ini terdiri dari **15 Bab**, yang memuat secara rinci hampir semua proses pemesinan yang biasa dipakai dalam proses produksi dan hal-hal yang terkait dengan proses pemesinan. Dimulai dari **Bab 1** tentang Memahami dasar-dasar Kejuruan, **Bab 2** Memahami Proses-proses dasar Kejuruan, **Bab 3** Merealisasi Kerja yang Aman, **Bab 4** Memahami Kaidah Pengukuran, **Bab 5** Memahami Gambar Teknik, **Bab 6** Mengetahui Proses Bubut (*Turning*), **Bab 7** Mengetahui Proses Frais (*Milling*), **Bab 8** Mengetahui Proses Gurdi (*Drilling*), **Bab 9** Mengetahui Proses Sekrap (*Shaping*), **Bab 10** Mengetahui Proses Gerinda (*Grinding*), **Bab 11** Mengetahui Cairan Pendingin yang Dipakai dalam Proses Pemesinan, **Bab 12** Memahami Mesin CNC Dasar, **Bab 13** Memahami Mesin CNC Lanjut, **Bab 14** Mengetahui EDM, dan **Bab 15** Memahami Toleransi Ukuran dan Geometrik. Untuk mempermudah pemahaman, materi buku ini dibuat dengan menganut sistematika pembahasan sebagaimana yang akan dibahas pada beberapa alinea berikut.

Sebagai permulaan, **Bab 1** Memahami Dasar-dasar Kejuruan menjelaskan tentang Statika dan Tegangan, Mengetahui Komponen Mesin, dan Mengetahui Material dan Mineral.

Dilanjutkan **Bab 2** Memahami Proses-proses Dasar Kejuruan yang menjelaskan Proses Pengecoran Logam, Mengetahui Proses Pemesinan, Mengetahui Proses Pengerjaan Panas, dan Mesin Konversi Energi.

Berikutnya **Bab 3** Merealisasi Kerja yang Aman, membahas tentang Kesehatan dan Keselamatan Kerja, menguraikan Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3), Manajemen Bahaya, Contoh Pengendalian Bahaya Kebisingan (*noise*), Pencahayaan, Pengendalian Bahaya Pencemaran Udara/Polusi, Alat Perlindungan Diri, Pencegahan dan Pemadaman Kebakaran, Pedoman Singkat Antisipasi dan Tindakan Pemadaman Kebakaran, Fasilitas Penunjang, serta Pemeliharaan dan Penggunaan Alat-alat Perkakas. Bahasan terakhir ini sangat penting untuk diperhatikan dalam setiap pekerjaan pemesinan, agar pekerja selalu menjaga keamanan dan keselamatan baik bagi operatornya, mesin, maupun alat-alat perkakasnya.

Bab 4 Memahami Kaidah Pengukuran, membahas alat ukur yang umum digunakan dalam pekerjaan pemesinan yaitu jangka sorong, mikrometer, dan jam ukur (*dial indicator*), yang dilanjutkan dengan membahas sistem satuan yang digunakan dalam proses pemesinan, yaitu sistem Metris (*Metric system*) dan sistem Imperial (*Imperial system/British system*).

Bab 5 Memahami Gambar Teknik yang memberikan penjelasan Mengenai Alat Menggambar Teknik, Lembar Kerja, dan Membaca Gambar Teknik.

Bab 6 membahas Proses Bubut (*Turning*) yang merupakan Bab yang paling banyak isinya. Maklum, proses bubut adalah proses pemesinan yang sering digunakan dalam proses produksi. Bab ini menguraikan parameter yang diatur pada Mesin Bubut. Tiga parameter utama pada setiap proses bubut adalah kecepatan putar spindel (*speed*), gerak makan (*feed*) dan kedalaman potong (*depth of cut*). Selanjutnya dibahas geometri pahat yang menguraikan besaran sudut pada pahat bubut, yang terdiri dari sudut beram (*rake angle*), sudut bebas (*clearance angle*), dan sudut sisi potong (*cutting edge angle*). Kemudian dipaparkan mengenai alat bantu produksi, dan jenis-jenis Mesin Bubut. Pada bahasan mengenai proses bubut ini diakhiri dengan uraian tentang perencanaan dan perhitungan dalam proses bubut yang diawali dengan penjelasan tentang elemen dasar proses bubut yang dapat dihitung yaitu kecepatan potong, kecepatan makan, dan kecepatan terjadinya beram. Pada sub-Bab terakhir, lebih detail dijelaskan mulai dari material pahat (yaitu baja karbon sampai dengan keramik dan intan, pemilihan mesin (dengan pertimbangan yang mendasar adalah dimensi benda kerja yang akan dikerjakan), penentuan langkah kerja (meliputi persiapan bahan benda kerja, *setting* mesin, pemasangan pahat, penentuan jenis pemotongan, penentuan kondisi pemotongan, perhitungan waktu pemotongan, dan pemeriksaan hasil berdasarkan gambar kerja), perencanaan proses membubut, mulai dari membubut lurus, tirus, ulir, alur, mengkartel, membuat profil, eksentris, dan proses pembubutan cembung maupun cekung.

Bab 7 menjabarkan Proses Frais (*Milling*). Pada Bab ini diawali dari klasifikasi proses frais yang diklasifikasikan dalam tiga jenis yaitu berdasarkan jenis pahat, arah penyayatan, dan posisi relatif pahat terhadap benda kerja. Dibahas juga tentang metode kerja Mesin Frais yang ditentukan berdasarkan arah relatif gerak makan meja Mesin Frais terhadap putaran pahat. Metode proses frais ini ada dua yaitu frais naik (*up milling*) dan frais turun (*down milling*). Kemudian jenis-jenis Mesin Frais, terdiri dari *column and knee milling machines*, *bed type milling machines*, dan *special purposes*. Dilanjutkan parameter pada proses frais yaitu parameter yang dapat langsung diatur oleh operator mesin ketika sedang mengoperasikan Mesin Frais : putaran spindel (n), gerak makan (f), dan kedalaman potong (a). Berikutnya diuraikan geometri pahat frais, peralatan sebagai alat bantu Mesin Frais terdiri dari arbor, *tool holder*, dan kolet. Dijelaskan pula alat pencekam dan pemegang benda kerja yang menjelaskan pemegang benda kerja pada Mesin Frais dan beberapa macam asesoris yang berguna untuk membantu pengaturan Mesin Frais maupun penempatan benda kerja. Sub-Bab berikutnya elemen dasar proses frais yang menjelaskan tentang kecepatan potong, gerak makan per gigi, waktu pemotongan, kecepatan pembentukan beram dan diakhiri dengan contoh-contoh pengerjaan benda kerja yang terdiri dari proses frais datar/rata (*surface milling*) dan proses frais roda gigi.

Bab 8 menjelaskan tentang proses pembuatan lubang bulat dengan menggunakan mata bor (*twist drill*) yang disebut dengan Proses Gurdi (*Drilling*). Pada Bab ini dimulai dari pengertian Mesin Gurdi dan jenis-jenisnya. Mesin Gurdi dikelompokkan menjadi Mesin Gurdi *portable*, Mesin Gurdi peka, Mesin Gurdi vertical, Mesin Gurdi radial, Mesin Gurdi *turret*, Mesin Gurdi spindel jamak, Mesin Gurdi produksi, dan Mesin Gurdi lubang dalam. Kemudian dibahas tentang perkakas Mesin Gurdi yang terdiri dari ragam, klem set, landasan (blok paralel), pencekam mata bor, sarung pengurang, pasak pembuka, *boring head*, dan mata bor. Setelah diketahui perkakas Mesin Gurdi selanjutnya dijelaskan mengenai geometri mata bor (*twist drill*) yang berisi tentang sudut-sudut pada mata bor yaitu sudut helik (*helix angle*), sudut ujung (*point angle /lip angle, $2\chi_r$*), dan sudut bebas (*clearance angle, α*). Diuraikan juga tentang pencekaman mata bor dan benda kerja yang berisi tentang alat pencekaman dan cara pencekaman yang benar. Dan pada akhir bab ini, dibahas tentang elemen dasar pada proses gurdi, serta perencanaan proses bor. Elemen dasar atau parameter proses gurdi pada dasarnya sama dengan parameter proses pemesinan yang lain, akan tetapi dalam proses gurdi selain kecepatan potong, gerak makan, dan kedalaman potong perlu dipertimbangkan pula gaya aksial, dan momen puntir yang diperlukan pada proses gurdi.

Pada **Bab 9** dijelaskan Proses Sekrap (*Shaping*). Bab ini cukup singkat, yakni hanya menguraikan apa itu Mesin Sekrap dan jenis-

jenisnya, kemudian apa saja elemen dasar Mesin Sekrap. Jenis Mesin Sekrap yang ada meliputi Mesin Sekrap datar atau horizontal (*shaper*), Mesin Sekrap vertical (*slotter*), dan Mesin Sekrap eretan (*planner*). Untuk elemen proses sekrap pada dasarnya sama dengan proses pemesinan lainnya, yaitu kecepatan potong, kecepatan pemakanan, waktu pemotongan, dan kecepatan pembentukan beram.

Bab 10 yang menjelaskan Proses Gerinda (*Grinding*), menuliskan jenis-jenis Mesin Gerinda dan menjelaskan batu asah gerinda. Jenis Mesin Gerinda terdiri dari Mesin Gerinda datar, dan Mesin Gerinda silindris. Untuk batu asah dipaparkan mengenai jenis-jenis butir asahan, ukuran butiran asahan, tingkat kekerasan (*grade*), macam-macam perekat, susunan butiran asah, bentuk-bentuk batu gerinda, klasifikasi batu gerinda, spesifikasi batu gerinda dan pemasangan batu gerinda.

Bab 11 berisi uraian tentang Cairan Pendingin yang biasa dipakai pada proses pemesinan. Dimulai dari jenis-jenis Cairan Pendingin yang biasa dipakai, terdiri dari minyak murni (*straight oils*), cairan semi sintetis (*soluble oils semisynthetic fluids*), dan cairan sintetis (*synthetic fluids*). Kemudian dipaparkan cara pemberian Cairan Pendingin yaitu dengan cara manual disiramkan ke benda kerja, disemprotkan (*jet application of fluid*), dan dikabutkan (*mist application of fluid*). Dibahas juga pengaruh Cairan Pendingin pada proses pemesinan sebagai fungsi utama dan dapat juga sebagai fungsi kedua. Selanjutnya dibahas mengenai kriteria pemilihan Cairan Pendingin dilihat dari unjuk kerja proses, harga, keamanan terhadap lingkungan dan keamanan terhadap kesehatan. Dan di akhir Bab ini diuraikan tentang perawatan serta pembuangan Cairan Pendingin yang benar dan aman.

Bab 12 menguraikan tentang Mesin CNC Dasar. Ada dua Mesin CNC dasar yang dijelaskan yakni Mesin Bubut TU 2A dan Mesin Frais TU 3A, karena kedua mesin ini merupakan dasar bagi Mesin CNC generasi di atasnya. Pada keduanya dijelaskan hal yang mirip, yakni data teknologisnya, bagaimana pemrogramannya, serta bagaimana pengoperasiannya. Data teknologis pada Mesin CNC sama dengan pada proses pemesinan lainnya, yaitu terdiri dari kecepatan potong, jumlah putaran, dan kecepatan asutan.

Bab 13 sedikit mengulang Bab 12 dan dilanjutkan membahas Mesin CNC secara lebih detail. Bab ini membahas lebih jelas dan dalam Mesin CNC, khususnya bagaimana suatu Mesin CNC bekerja. Diawali dengan sistem mekanik yang digunakan Mesin CNC, Mesin Perkakas CNC, pengontrolan sumbu Mesin CNC, sistem koordinat Mesin CNC, dan pemrograman Mesin CNC.

Bab 14 buku ini memberi penjelasan sedikit tentang Mesin EDM (*Electrical Discharge Machining*). Informasi yang penting dari mesin ini adalah jenis-jenis Mesin EDM dan cara mengoperasikan mesin tersebut.

Dan pada **Bab 15** memuat penyimpangan ukuran yang terjadi selama proses pemesinan, toleransi, suaian, cara penulisan toleransi ukuran/dimensi, toleransi standar dan penyimpangan fundamental.

Keterangan-keterangan di atas disusun sebagai gambaran menyeluruh isi buku ini, dengan harapan akan mempermudah bagi para pembaca untuk memahami materi-materi yang telah dituliskan dalam buku ini. Penulis terus berusaha untuk dapat menyempurnakan isi buku ini, sehingga dapat memberikan informasi tentang keilmuan teknik pemesinan kepada para pembaca, khususnya siswa Sekolah Menengah Kejuruan.

Daftar Isi

	Halaman
Halaman Sampul	
Pengantar Umum	i
Daftar Isi	vii
JILID 1	
BAB 1. MEMAHAMI DASAR-DASAR KEJURUAN	1
A. Statika dan Tegangan	2
1. Statika	2
2. Tegangan	9
B. Mengenal Elemen Mesin	14
1. Poros	14
2. Bantalan	18
C. Mengenal Material dan Mineral	19
1. Berbagai Macam sifat Logam	19
2. Mineral	21
3. Berbagai Jenis sumber Daya Mineral	21
4. Pemurnian Mineral	22
BAB 2. MEMAHAMI PROSES-PROSES DASAR KEJURUAN	25
A. Mengenal Proses Pengecoran Logam	26
1. Pengertian	26
2. Pembuatan Cetakan Manual	27
3. Pengolahan Pasir Cetak	29
4. Pengecoran Cetakan <i>Ekspandable (Expandable Mold Casting)</i>	29
5. Pengecoran dengan Pasir (<i>Sand Casting</i>)	30
6. Pengecoran dengan Gips (<i>Plaster Casting</i>)	31
7. Pengecoran Gips, Beton, atau Plastik Resin.	31
8. Pengecoran Sentrifugal (<i>Centrifugal Casting</i>)	32
9. <i>Die Casting</i>	33
10. Kecepatan Pendinginan	35
B. Mengenal Proses Pemesin	36
1. Klasifikasi Proses Pemesinan	36
2. Pembentukan Beram (<i>Chips Formation</i>) pada Proses Pemesinan	38
C. Mengenal Proses Pengerjaan Panas	42
1. Pengerolan (<i>Rolling</i>)	42
2. Penempaan (<i>Forging</i>)	43
D. Mengenal Proses Mesin Konversi Energi	43
1. Pengertian Energi	43
2. Macam-Macam Energi	43
3. Klasifikasi Mesin-Mesin Konversi Energi	47

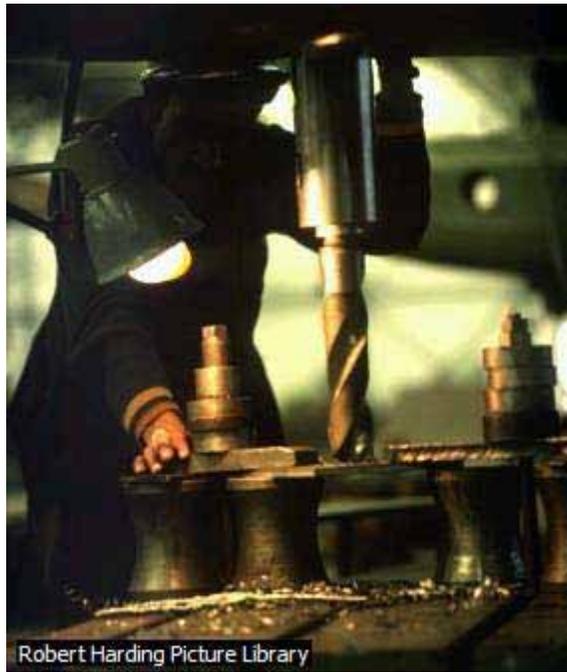
BAB 3. MEREALISASI KERJA YANG AMAN	51
A. Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3)	52
B. Manajemen Bahaya	53
C. Contoh Pengendalian Bahaya Kebisingan (<i>Noise</i>)	55
D. Pencahayaan	58
E. Pengendalian Bahaya Pencemaran Udara/polusi	64
F. Alat Perlindungan Diri	67
G. Penanganan dan Penyimpanan Bahan	71
H. Pencegahan dan Pemadaman Kebakaran	75
1. Pengendalian bahan (yang dapat) terbakar	75
2. Pengendalian titik nyala	75
3. Klasifikasi kebakaran	76
4. Sebab-sebab kebakaran	76
5. Peralatan pemadaman kebakaran	77
6. Petunjuk pemilihan APAR	79
7. Karakteristik APAR	79
I. Pedoman Singkat Antisipasi dan Tindakan Pemadaman Kebakaran	79
J. Fasilitas Penunjang	80
K. Pemeliharaan dan Penggunaan Alat-alat Perkakas	80
 BAB 4. MEMAHAMI KAJIDAH PENGUKURAN	 82
A. Alat Ukur	83
1. Jangka Sorong	83
2. Mikrometer	85
3. Jam Ukur (<i>Dial indicator</i>)	87
A. Sistem Satuan	88
 BAB 5. MEMAHAMI GAMBAR TEKNIK	 91
A. Mengenal Alat Menggambar Teknik	92
1. Kertas Gambar	92
2. Pensil Gambar	93
3. Rapido	95
4. Penggaris	95
5. Jangka	96
6. Penghapus dan Alat Pelindung Penghapus	98
7. Alat-alat Penunjang Lainnya	98
8. Meja Gambar	100
9. Mesin Gambar	100
B. Lembar Kerja	101
1. Alat	101
2. Bahan	101
3. Keselamatan dan Kelematan Kerja	101

C. Membaca Gambar Teknik	102
1. Proyeksi Piktorial	102
2. Proyeksi Isometris	103
3. Proyeksi Dimetris	106
4. Proyeksi Miring (sejajar)	107
5. Gambat Perspektif	107
6. Macam-macam Pandangan	109
7. Bidang-bidang Proyeksi	109
8. Simbol Proyeksi dan Anak Panah	114
9. Penentuan Pandangan	115
10. Gambar Potongan	120
11. Garis Arsiran	130
12. Ukuran Pada Gambar Kerja	133
13. Penulisan Angka Pengukuran	136
14. Pengukuran Ketebalan	142
BAB 6. MENGENAL PROSES BUBUT (<i>TURNING</i>)	151
A. Parameter yang Dapat Diatur pada Mesin Bubut	153
B. Geometri Pahat Bubut	155
C. Perencanaan dan Perhitungan Proses Bubut	158
1. Material Pahat	159
2. Pemilihan Mesin	163
3. PENCEKAMAN Benda Kerja	163
4. Penentuan Langkah Kerja	165
5. Perencanaan Proses Membubut Lurus	167
6. Perencanaan Proses Membubut Tirus	174
7. Perencanaan Proses Membubut Ulir	177
8. Perencanaan Proses Membubut Alur	188
9. Perencanaan Proses Membubut/membuat Kartel	190
BAB 7. MENGENAL PROSES FRAIS (<i>MILLING</i>)	194
A. Klasifikasi Proses Frais	196
1. Frais Periperal (<i>slab milling</i>)	196
2. Frais Muka (<i>Face milling</i>)	197
3. Frais Jari (<i>End milling</i>)	197
B. Metode Proses Frais	197
1. Frais Naik (<i>Up milling</i>)	197
2. Frais Turun (<i>Down milling</i>)	198
C. Jenis Mesin Frais	199
D. Parameter yang Dapat Diatur pada Mesin Frais	202
E. Geometri Pahat Frais	203
F. Peralatan dan Asesoris untuk Memegang Pahat Frais	206
G. Alat PENCEKAM dan Pemegang Benda Kerja pada Mesin Frais	208

H. Elemen Dasar Proses Frais	212
I. Pengerjaan Benda Kerja dengan Mesin Frais	213
1. Proses Frais Datar/rata	214
2. Proses Frais Roda Gigi	218
JILID 2	
BAB 8. MENGENAL PROSES GURDI (<i>DRILLING</i>)	222
A. Mesin gurdi (<i>Drilling machine</i>) dan Jenis-jenisnya	224
1. Mesin Gurdi (<i>Drilling machine</i>)	224
2. Jenis-Jenis Mesin Gurdi	225
3. Ukuran Mesin gurdi	226
4. Beberapa Mesin Gurdi yang Dipakai Pada Proses Produksi	226
B. Perkakas Mesin Gurdi	231
C. Geometri Mata Bor (<i>Twist drill</i>)	233
D. Pengasahan Kembali Mata Bor	237
E. Pencekaman Mata Bor dan Benda Kerja	239
F. Elemen Dasar Proses Gurdi	249
G. Perencanaan Proses Gurdi	251
BAB 9. MENGENAL PROSES SEKRAP (<i>SHAPING</i>)	235
A. Mesin Sekrap dan Jenis-jenisnya	236
1. Jenis-jenis Mesin Sekrap	236
2. Mekanisme Kerja Mesin Sekrap	239
3. Nama Bagian-bagian Mesin Sekrap	239
B. Elemen dasar Perencanaan Proses Sekrap	242
BAB 10. MENGENAL PROSES GERINDA (<i>GRINDING</i>)	253
A. Jenis-jenis Mesin Gerinda	255
1. Mesin Gerinda Datar	255
2. Mesin Gerinda Silindris	267
B. Batu Asah	284
1. Jenis-jenis Butir Asahan/ <i>abrasive</i>	285
2. Ukuran Butiran Asah	286
3. Tingkat Kekerasan (<i>Grade</i>)	286
4. Macam-macam Perekat	287
5. Susunan Butiran Asah	288
6. Bentuk-bentuk Roda Gerinda	289
7. Klasifikasi Batu Gerinda	290
8. Pemasangan Batu Gerinda	291
BAB 11. MENGENAL CAIRAN PENDINGIN UNTUK PROSES PEMESINAN	298
A. Jenis Cairan Pendingin	300
B. Cara Pemberian Cairan Pendingin pada Proses Pemesinan	301

C. Pengaruh Cairan Pendingin pada Proses Pemesinan	304
D. Kriteria Pemilihan Cairan Pendingin	305
E. Perawatan dan Pembuangan Cairan Pendingin	307
BAB 12. MEMAHAMI MESIN CNC DASAR	310
A. Mesin Bubut CNC	311
1. Prinsip Kerja Mesin Bubut CNC TU-2A	312
2. Bagian Utama Mesin Bubut CNC TU-2A	313
3. Kecepatan Potong dan Kecepatan Putar Mesin	323
4. Pemrograman Mesin CNC	325
5. Pengoperasian Disket	329
6. Cara setting Benda Kerja	331
7. Contoh-contoh Aplikasi Fungsi G, Fungsi M, serta Soal Latihan	333
B. Mesin Frais CNC	363
1. Prinsip Kerja Mesin Frais CNC TU-3A	363
2. Bagian Utama Mesin Frais CNC TU-3A	364
3. Kecepatan Potong dan Putaran Mesin	373
4. Pengoperasian Disket	374
5. Cara <i>Setting</i> Pisau terhadap Benda Kerja	376
6. Contoh-contoh Aplikasi Fungsi G, Fungsi M, serta Soal Latihan Bagian I	378
7. Kompensasi Radius Pisau Sejajar Sumbu	389
8. Contoh-contoh Aplikasi Fungsi G, Fungsi M, serta Soal Latihan Bagian II	390
BAB 13. MEMAHAMI MESIN CNC LANJUT	406
A. Mesin Perkakas CNC	410
B. Pengontrolan Sumbu Mesin Perkakas CNC	414
1. Sistem Kontrol Terbuka (<i>Open Loop Control</i>)	414
2. Sistem Kontrol Tertutup (<i>Close Loop Control</i>)	415
3. Sistem Kontrol Langsung dan Sistem Kontrol Tidak Langsung	415
4. Sistem Kontrol Analog dan Sistem Kontrol Digital	417
5. Sistem Kontrol Absolut dan Sistem Kontrol Incremental	417
C. Penamaan Sistem Sumbu (Koordinat) Mesin Perkakas NC	418
1. Penentuan Sumbu Z	418
2. Penentuan Sumbu X	420
3. Penentuan Sumbu Y	420
4. Penentuan Sumbu Putar dan Sumbu Tambahan	420
D. Pemrograman CNC	424
1. Langkah Persiapan	424
2. Langkah Pelaksanaan Pembuatan Program	425

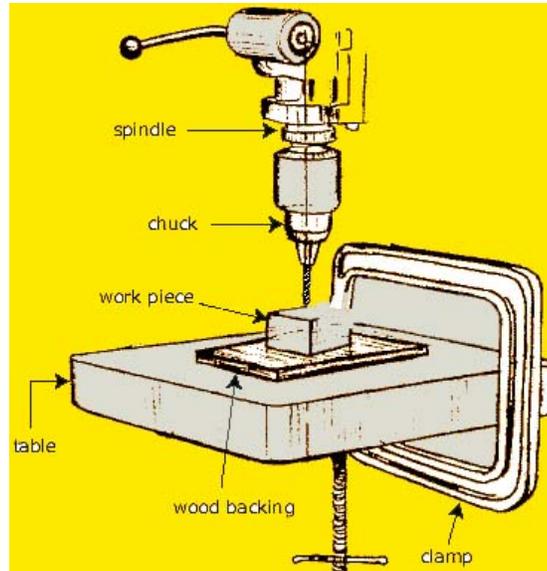
3. Langkah Percobaan	426	
4. Tugas Programmer dalam Pembuatan Program NC	427	
5. Kode dan Format Pemrograman	429	
6. Pengertian Program NC	429	
7. Struktur Program NC	430	
8. Sistem Pemrograman Absolut dan Incremental	431	
9. Kontruksi Program NC	433	
10. Kode G (<i>G-code</i>) dan Fungsi M	434	
11. Pembuatan Program NC	435	
BAB 14. MENGENAL EDM	440	
A. Gambaran Singkat EDM	441	
B. Cara kerja EDM	441	
C. Perkembangan Penggunaan EDM	445	
D. Penggunaan EDM	446	
E. Pemilihan Elektrode	447	
F. Jenis Bahan Elektrode	448	
G. Pembuatan Eektrode	449	
1. Proses Galvano	449	
2. Pembuatan Elektrode pada Umumnya	449	
3. Pembuatan Elektrode Graphite	449	
H. Elektrode untuk Wire EDM	450	
I. Kualitas Hasil Pengerjaan EDM	450	
1. Kelebihan Pemetongan (<i>Overcut</i>)	450	
2. Pengerjaan Penghalusan (<i>Frishing</i>)	451	
3. Penyelesaian Setara Cermin (<i>Mirror finishing</i>)	452	
J. Keterbatasan Proses EDM	452	
BAB 15. MEMAHAMI TOLERANSI UKURAN DAN GEOMETRIK	454	
A. Penyimpangan Selama Proses Pembuatan	455	
B. Toleransi dan Suaian	456	
C. Suaian	457	
D. Cara Penulisan Toleransi Ukuan/dimensi	459	
E. Toleransi Standar dan Penyimpangan Fundamental	461	
DAFTAR PUSTAKA	<table border="1"><tr><td>A</td></tr></table>	A
A		
LAMPIRAN	<table border="1"><tr><td>B</td></tr></table>	B
B		
INDEKS	<table border="1"><tr><td>C</td></tr></table>	C
C		



BAB 8

MENGENAL PROSES GURDI (*DRILLING*)

Proses gurdi adalah proses pemesinan yang paling sederhana di antara proses pemesinan yang lain. Biasanya di bengkel atau *workshop* proses ini dinamakan proses bor, walaupun istilah ini sebenarnya kurang tepat. Proses gurdi dimaksudkan sebagai proses pembuatan lubang bulat dengan menggunakan mata bor (*twist drill*). Sedangkan proses bor (*boring*) adalah proses meluaskan/memperbesar lubang yang bisa dilakukan dengan batang bor (*boring bar*) yang tidak hanya dilakukan pada Mesin Gurdi, tetapi bisa dengan Mesin Bubut, Mesin Frais, atau Mesin Bor. Gambar 8.1. berikut menunjukkan proses gurdi.



Gambar 8 1. Proses gurdi (*drilling*).

Proses gurdi digunakan untuk pembuatan lubang silindris. Pembuatan lubang dengan bor spiral di dalam benda kerja yang pejal merupakan suatu proses pengikisan dengan daya penyerpihan yang besar. Jika terhadap benda kerja itu dituntut kepresisian yang tinggi (ketepatan ukuran atau mutu permukaan) pada dinding lubang, maka diperlukan pengerjaan lanjutan dengan pembenam atau penggerek.

Pada proses gurdi, beram (*chips*) harus keluar melalui alur helix pahat gurdi ke luar lubang. Ujung pahat menempel pada benda kerja yang terpotong, sehingga proses pendinginan menjadi relatif sulit. Proses pendinginan biasanya dilakukan dengan menyiram benda kerja yang dilubangi dengan cairan pendingin, disemprot dengan cairan pendingin, atau cairan pendingin dimasukkan melalui lubang di tengah mata bor.

Karakteristik proses gurdi agak berbeda dengan proses pemesinan yang lain, yaitu :

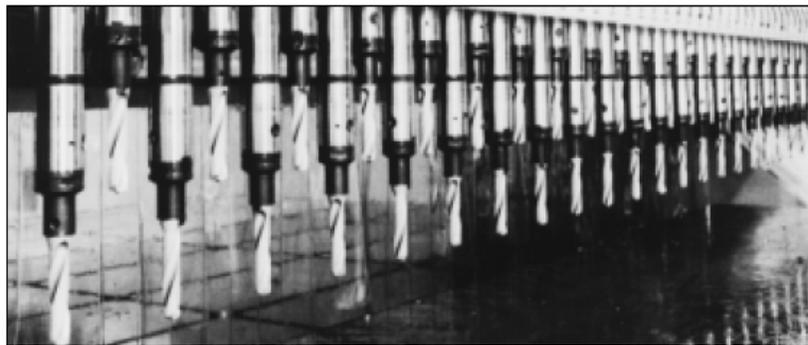
- Beram harus keluar dari lubang yang dibuat.
- Beram yang keluar dapat menyebabkan masalah ketika ukurannya besar dan atau kontinyu.
- Proses pembuatan lubang bisa sulit jika membuat lubang yang dalam.
- Untuk pembuatan lubang dalam pada benda kerja yang besar, cairan pendingin dimasukkan ke permukaan potong melalui tengah mata bor.

A. Mesin Gurdi (*Drilling Machine*) dan Jenis-jenisnya

1. Mesin Gurdi (*Drilling Machine*)

Gurdi adalah sebuah pahat pemotong yang ujungnya berputar dan memiliki satu atau beberapa sisi potong dan galur yang berhubungan *continue* disepanjang badan gurdi. Galur ini, yang dapat lurus atau helix, disediakan untuk memungkinkannya lewatnya serpihan atau fluida pemotong. Meskipun gurdi pada umumnya memiliki dua galur, tetapi mungkin juga digunakan tiga atau empat galur, maka gurdi kemudian dikenal sebagai penggurdi inti. Penggurdi semacam ini tidak dipakai untuk memulai sebuah lubang, melainkan untuk meluaskan lubang atau menyesuaikan lubang yang telah digurdi atau diberi inti.

Mesin yang digunakan untuk melakukan proses gurdi adalah Mesin Gurdi/*Drilling Machine*. Proses pembuatan lubang bisa dilakukan untuk satu pahat saja atau dengan banyak pahat (Gambar 8.2.). Dalam proses produksi pemesinan sebagian besar lubang dihasilkan dengan menggunakan Mesin Gurdi.



Gambar 8 2. Proses pembuatan lubang dengan Mesin Gurdi bisa dilakukan satu per satu atau dilakukan untuk banyak lubang sekaligus.

2. Jenis-jenis Mesin Gurdi

Mesin Gurdi dikelompokkan menurut konstruksi, umumnya :

- Mesin Gurdi *portable*
- Mesin Gurdi peka
 - Pasangan bangku
 - Pasangan lantai
- Mesin Gurdi vertical
 - Tugas ringan
 - Tugas berat
 - Mesin Gurdi gang (kelompok)

- Mesin Gurdi radial
- Mesin Gurdi turet
- Mesin Gurdi spindel jamak
 - Unit tunggal
 - Jenis perpindahan
- Mesin Gurdi produksi otomatis
 - Meja pengarah
 - Jenis perpindahan
- Mesin Gurdi lubang dalam

3. Ukuran Mesin Gurdi

Unit Mesin Gurdi *portable* dispesifikasikan menurut diameter penggurdi maksimum yang dapat dipegangnya. Ukuran dari Mesin Gurdi tegak biasanya ditentukan oleh diameter benda kerja yang paling besar yang dapat digurdi. Jadi sebuah mesin 600 mm adalah mesin yang memiliki paling tidak ruang bebas sebesar 300 mm antara garis tengah penggurdi dengan rangka mesin. Unit yang lebih kecil dari jenis ini dikelompokkan menurut ukuran penggurdi yang dapat ditampung.

Ukuran Mesin Gurdi radial didasarkan pada panjang lengannya dalam meter. Ukuran yang umum adalah 1,2 m; 1,8 m; 2,4 m. Dalam beberapa kasus, diameter dari tiang dalam milimeter juga digunakan dalam menyatakan ukuran.

4. Beberapa Mesin Gurdi yang Dipakai pada Proses Produksi :

a. Mesin Gurdi *portable* dan peka

Mesin Gurdi *portable* (Gambar 8.3.) adalah Mesin Gurdi kecil yang terutama digunakan untuk operasi penggurdian yang tidak dapat dilakukan dengan mudah pada Mesin Gurdi biasa. Yang paling sederhana adalah penggurdi yang dioperasikan dengan tangan. Penggurdi ini mudah dijinjing, dilengkapi dengan motor listrik kecil, beroperasi pada kecepatan cukup tinggi, dan mampu menggurdi sampai diameter 12 mm. Penggurdi yang serupa, yang menggunakan udara tekan sebagai daya, digunakan kalau bunga api dari motor dapat menimbulkan bahaya kebakaran.

Mesin Gurdi peka adalah mesin kecil berkecepatan tinggi dengan konstruksi sederhana yang mirip dengan kempa gurdi tegak biasa (Gambar 8.4.). Mesin ini terdiri atas sebuah standar tegak, sebuah meja horizontal dan sebuah spindel vertical untuk memegang dan memutar penggurdi. Mesin jenis ini memiliki kendali hantaran tangan, biasanya dengan penggerak batang gigi dan pinyon pada selongsong yang memegang spindel putar. Penggurdi ini dapat digerakkan langsung dengan motor, dengan sabuk atau dengan piring gesek. Penggerakan piring gesek yang mempunyai pengaturan kecepatan pengaturan sangat luas, tidak sesuai kecepatan rendah dan pemotongan berat. Kempa

penggurdi peka hanya sesuai untuk pekerjaan ringan dan jarang yang mampu untuk memutar penggurdi lebih dari diameter 15 mm.



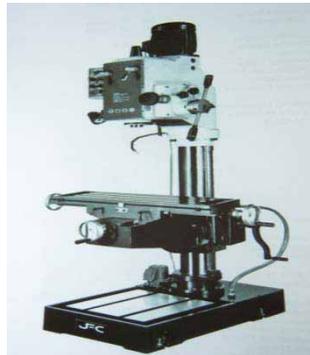
Gambar 8 3. Mesin Gurdi portable.



Gambar 8 4. . Mesin Gurdi peka.

b. Mesin Gurdi vertical

Mesin Gurdi vertical, mirip dengan penggurdi peka, mempunyai mekanisme hantaran daya untuk penggurdi putar dan dirancang untuk kerja yang lebih berat. Gambar 8.5. menunjukkan mesin dengan tiang bentuk bulat. Mesin Gurdi semacam ini dapat dipakai untuk mengetap maupun menggurdi.



Gambar 8 5. Mesin Gurdi vertical.

c. Mesin Gurdi gang (kelompok)

Kalau beberapa spindel penggurdi dipasangkan pada meja tunggal, ini disebut sebagai penggurdi gang atau kelompok. Jenis ini sesuai untuk pekerjaan produksi yang harus melakukan beberapa operasi. Benda kerja dipegang dalam sebuah jig yang dapat diluncurkan pada meja dari satu spindel ke spindel berikutnya. Kalau beberapa operasi harus dilakukan, misalnya menggurdi dua lubang yang ukurannya berbeda dan perlu meluaskannya, maka dipasangkan empat spindel. Dengan kendali hantaran otomatis, maka dua atau lebih dari operasi ini

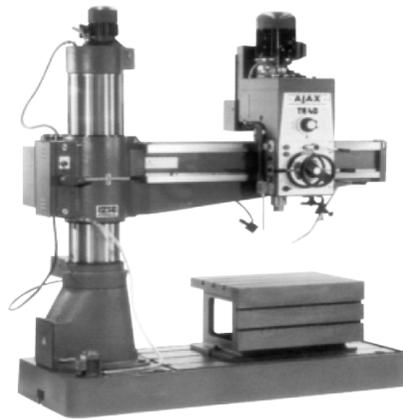
dapat berjalan serempak dengan hanya diawasi oleh seorang operator. Pengaturannya, mirip dengan mengoperasikan beberapa kempa gurdi.

d. Mesin Gurdi radial

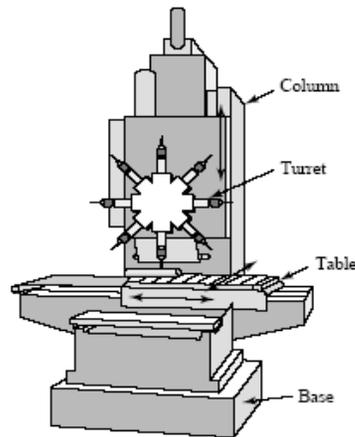
Mesin Gurdi radial dirancang untuk pekerjaan besar, untuk pekerjaan dengan benda kerja tidak memungkinkan berputar, dan untuk pekerjaan menggurdi beberapa lubang. Mesin ini, yang ditunjukkan pada Gambar 8.6., terdiri atas sebuah tiang vertical yang menyangga sebuah lengan yang membawa kepala gurdi. Lengannya dapat berputar berkeliling ke sembarang kedudukan di atas bangku kerja, dan kepala gurdi mempunyai penyetelan di sepanjang lengan ini. Penyetelan ini memungkinkan operator untuk menempatkan penggurdi dengan cepat di sembarang titik di atas benda kerja. Mesin jenis ini hanya dapat menggurdi dalam bidang vertical. Pada mesin semi-vertical kepalanya dapat diputar pada lengan untuk menggurdi lubang pada berbagai sudut dalam bidang vertical. Mesin universal mempunyai tambahan penyetelan putar pada kepala maupun lengan dan dapat menggurdi lubang pada sembarang sudut.

e. Mesin Turet

Mesin Turet mengatasi keterbatasan ruang lantai yang ditimbulkan oleh kempa gurdi kelompok. Sebuah kempa gurdi delapan stasiun turet ditunjukkan dalam Gambar 8.7. Stasiunnya dapat disetel dengan berbagai perkakas.



Gambar 8 6. Mesin Gurdi radial.



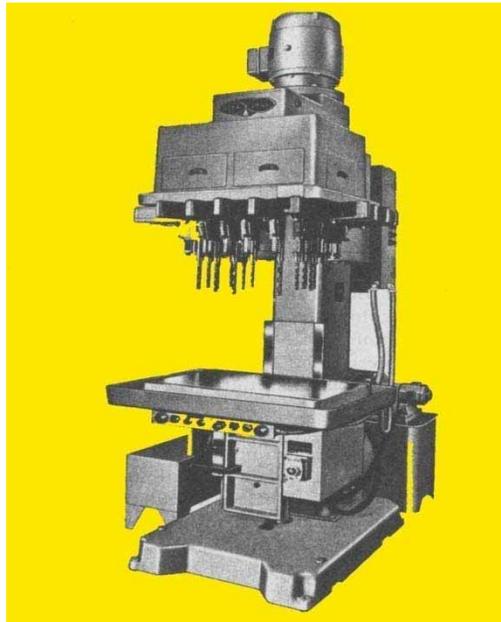
Gambar 8 7. Mesin Turet.

f. Mesin Gurdi spindel jamak

Mesin Gurdi spindel jamak, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 8.8. untuk menggurdi beberapa lubang secara serempak. Mesin Gurdi ini mampu menggurdi banyak suku cadang dengan ketepatan sedemikian rupa sehingga semua suku cadang mampu tukar. Biasanya, sebuah plat yang dilengkapi dengan selongsong yang dikeraskan sangat dibutuhkan untuk memandu penggurdi secara tepat ke benda kerja.

Disain yang umum dari mesin ini memiliki rakitan kepala dengan sejumlah spindel atas tetap yang digerakkan dari pinyon yang mengelilingi roda gigi pusat. Spindel yang berhubungan ditempatkan di bawah roda gigi ini dan dihubungkan dengan spindel yang atas dengan poros penggerak tabung dan dua sambungan universal. Tiga spindel bawah, yang membawa penggurdi, dapat disetel meliputi daerah yang luas.

Mesin Gurdi spindel jamak sering menggunakan sebuah hantaran meja untuk membantu gerakan dari mekanisme kepala beroda gigi yang berat ketika memutar panggurdi. Ini dapat dilakukan dengan beberapa cara: dengan penggerak batang gigi dan pinion, dengan ulir pengarah, atau dengan nok plat putar. Metoda yang tersebut terakhir memberikan gerakan bervariasi yang menghasilkan hantaran yang mendekat dengan cepat dan seragam, serta pengembalian cepat ke kedudukan awal.



Gambar 8 8. Mesin Gurdi spindel jamak.

g. Mesin Gurdi produksi jenis perpindahan

Mesin Gurdi ada yang dirancang sebagai mesin *otomatis*, dilengkapi suatu rangkaian operasi pemesinan pada stasiun yang berurutan. Prinsipnya adalah garis produksi dari mesin yang berhubungan disinkronisasikan dalam operasi, sehingga benda kerja setelah dipasang pada mesin pertama, akan maju secara otomatis melalui berbagai stasiun untuk penyelesaiannya. Penggunaan mesin otomatis dari jenis meja pengarah atau jenis perpindahan, dapat dijelaskan sbb. :

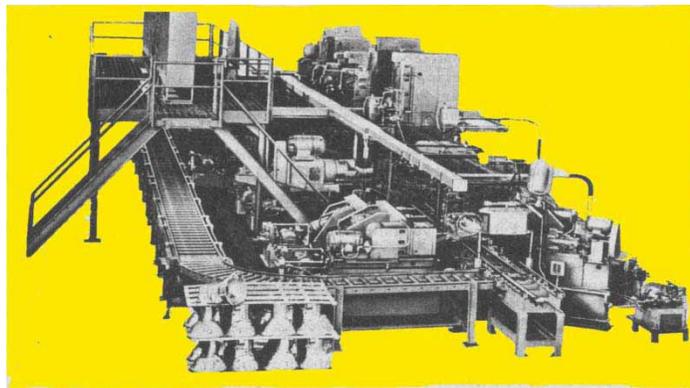
1) Meja Pengarah

Benda kerja yang hanya memerlukan sedikit operasi sesuai untuk mesin meja pengarah, dengan dibuat unit vertical maupun horizontal dan diberi jarak di sekeliling tepi meja pengarah.

2) Jenis Perpindahan

Ciri utama dari mesin perpindahan yaitu adanya alat penanganan atau perpindahan yang sesuai di antara stasiun. Metode yang paling sederhana dan paling ekonomis dari penanganan suku cadang adalah dengan menggerakkannya pada rel atau ban berjalan di antara stasiun. Kalau ini tidak dimungkinkan, karena bentuk dari benda kerja, diperlukan sebuah pemegang tetap untuk tempat pengepitan benda kerja.

Gambar 8.9. menunjukkan sebuah mesin perpindahan otomatis 35 stasiun yang melakukan berbagai operasi pada kotak transmisi. Pemegang benda kerja berbentuk bangku kecil memegang ketat kotak transmisi selama operasi. Mesin perpindahan berkisar dari unit terkecil yang hanya memiliki dua atau tiga stasiun sampai mesin lurus panjang dengan lebih dari 100 stasiun. Penggunaannya terutama dalam industri mobil. Dengan memadatkan jadwal produksi, dimungkinkan untuk menekan biaya produksi yang tinggi dengan jalan pengurangan karyawan. Produk yang diproses dengan mesin itu termasuk blok silinder, kepala silinder, badan kompresor lemari es, dan suku cadang lain yang serupa.



Gambar 8 9. Mesin perpindahan dengan 35 stasiun untuk kotak transmisi.

h. Mesin Gurdi lubang dalam

Beberapa masalah yang tidak dijumpai dalam operasi penggurdian biasa, dapat muncul dalam penggurdian lubang yang panjang/dalam misalnya pada saat menggurdi laras senapan, spindel panjang, batang engkol, dan lain-lain. Dengan bertambahnya panjang lubang, akan makin sulit untuk menyangga benda kerja dan penggurdi secara baik. Pengeluaran serpihan dengan cepat dari operasi penggurdian diperlukan untuk memastikan operasi yang baik dan ketepatan dari penggurdian. Kecepatan putar dan hantaran juga harus ditentukan dengan teliti, karena kemungkinan terjadi lenturan lebih besar dibanding penggurdi yang lebih pendek.

Untuk mengatasi hal ini, telah dikembangkan Mesin Gurdi lubang dalam. Disain mesin ini dikembangkan dari jenis horizontal maupun vertical, bisa konstruksi spindel tunggal maupun spindel jamak, dan mungkin bervariasi dalam hal apakah benda kerja atau penggurdi yang harus berputar. Mesin yang banyak dipakai pada umumnya konstruksinya horizontal, menggunakan sebuah penggurdi pistol pemotongan pusat yang mempunyai mata potong tunggal dengan alur lurus sepanjang gurdi. Minyak bertekanan tinggi diberikan kepada mata potong melalui sebuah lubang dalam penggurdi. Pada penggurdi pistol, hantaran harus ringan untuk mencegah pelenturan dari penggurdi.

B. Perkakas Mesin Gurdi

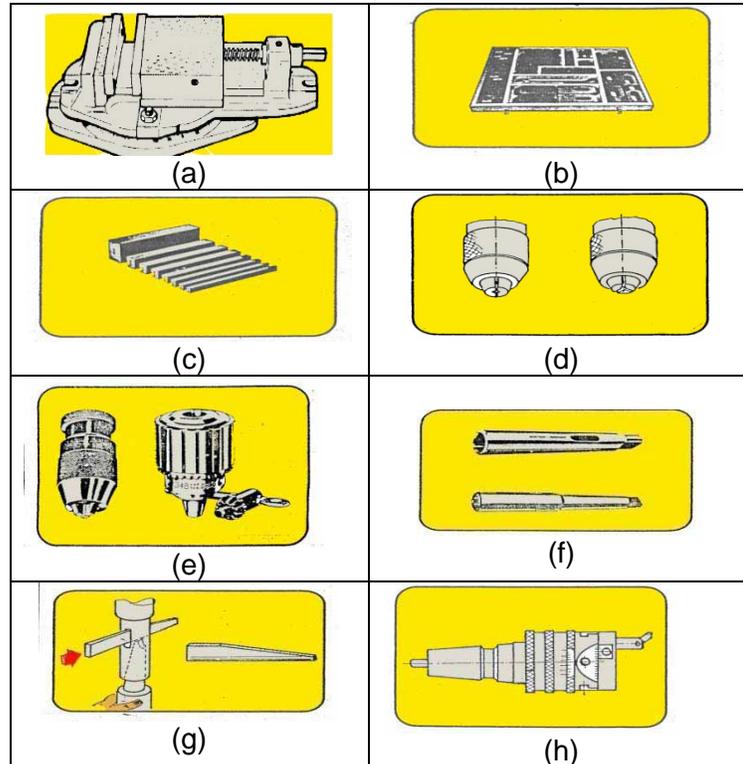
Perkakas sebagai kelengkapan Mesin Gurdi di antaranya ragum, klem set, landasan (blok paralel), pencekam mata bor, sarung pengurang, pasak pembuka, *boring head*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.10., dan mata bor seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.11.

- **Ragum**
Ragum untuk Mesin Gurdi digunakan untuk mencekam benda kerja pada saat akan di bor.
- **Klem set**
Klem set digunakan untuk mencekam benda kerja yang tidak mungkin dicekam dengan ragum.
- **Landasan (blok paralel)**
Digunakan sebagai landasan pada pengeboran lubang tembus, untuk mencegah ragum atau meja mesin turut terbor.
- **Pencekam mata bor**
Digunakan untuk mencekam mata bor yang berbentuk silindris. Pencekam mata bor ada dua macam, yaitu pencekam dua rahang dan pencekam tiga rahang.
- **Sarung bor (*drill socket, drill sleeve*)**
Sarung bor digunakan untuk mencekam mata bor yang bertangkai konis.
- **Pasak pembuka**

Digunakan untuk melepas sarung pengurang dari spindel bor atau melepas mata bor dari sarung pengurang.

- **Boring head**

Digunakan untuk memperbesar lubang baik yang tembus maupun yang tidak tembus.



Gambar 8 10. Perkakas Mesin Gurdi; (a) ragum, (b) klem set, (c) landasan (*block parallel*), (d) pencekam mata bor, (e) cekam bor pengencangan dengan tangan dan kunci, (f) sarung pengurang, (g) pasak pembuka, dan (h) *boring head*.

- **Mata bor**

Mata bor merupakan alat potong pada Mesin Gurdi, yang terdiri dari bor spiral, mata bor pemotong lurus, mata bor untuk lubang yang dalam (*deep hole drill*), mata bor skop (*spade drill*), dan mata bor stellite.

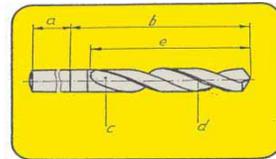
- **Bor spiral**

Digunakan untuk pembuatan lubang yang diameternya sama dengan diameter mata bor.

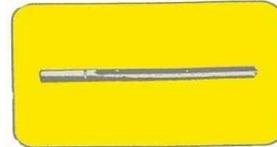
- **Mata bor pemotong lurus**

Digunakan untuk material yang lunak seperti kuningan, tembaga, perunggu dan plastik.

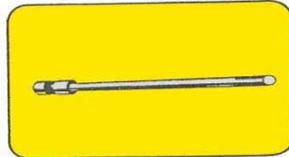
- **Mata bor untuk lubang yang dalam (*deep hole drill*)**
Digunakan untuk membuat lubang yang relatif dalam.
- **Mata bor skop (*spade drill*)**
Digunakan untuk material yang keras tetapi rapuh. Mata potong dapat diganti-ganti.
- **Mata bor stelite**
Digunakan untuk membuat lubang pada material yang telah dikeraskan. Mata borna mempunyai bentuk segitiga dan terbuat dari baja campuran yang tahan panas.



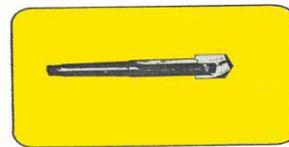
(a)



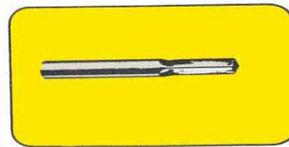
(b)



(c)



(d)

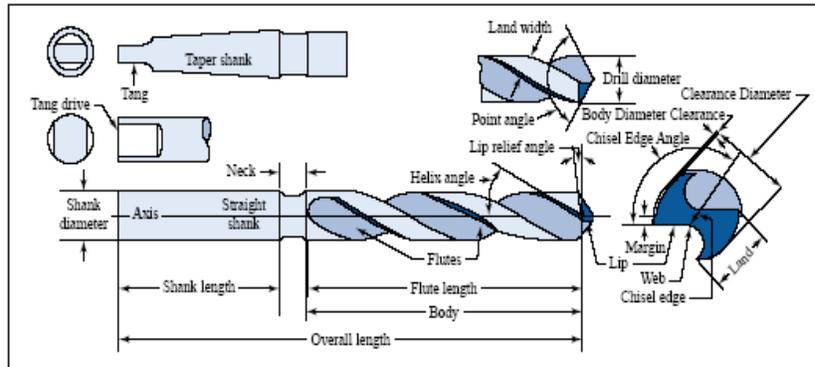


(e)

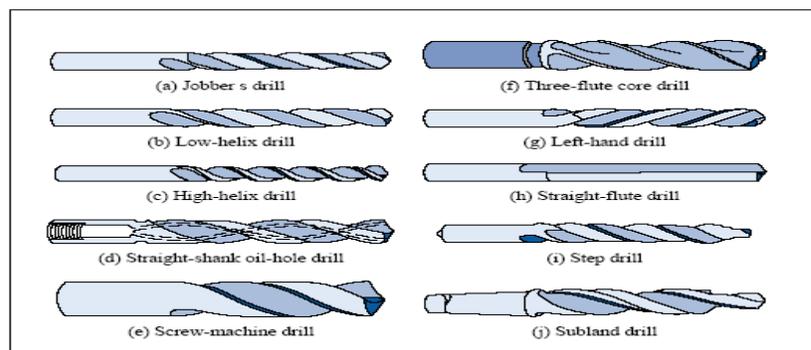
Gambar 8 11. Perkakas Mesin Gurdi; (a) bor spiral, (b) mata bor pemotong lurus, (c) mata bor untuk lubang yang dalam, (d) mata bor skop, dan (e) mata bor stelite.

C. Geometri Mata Bor (Twist Drill)

Nama-nama bagian mata bor ditunjukkan pada Gambar 8.12. Di antara bagian-bagian mata bor tersebut yang paling utama adalah sudut helix (*helix angle*), sudut ujung (*point angle/lip angle*, $2\chi_r$), dan sudut bebas (*clearance angle*, α). Untuk bahan benda kerja yang berbeda, sudut-sudut tersebut besarnya bervariasi (Tabel 8.1).



Gambar 8.12. Nama-nama bagian mata bor dengan sarung tirusnya.



Gambar 8.13. Mata bor khusus untuk pengerjaan tertentu.

Ada beberapa jenis mata bor untuk jenis pekerjaan yang berbeda. Bahan benda kerja dapat juga mempengaruhi jenis dari mata bor yang digunakan. Bentuk beberapa mata bor khusus untuk pengerjaan tertentu ditunjukkan pada Gambar 8.13. Penggunaan dari masing-masing mata bor tersebut adalah :

1. Mata bor helix besar (*high helix drills*) : mata bor ini memiliki sudut helix yang besar, sehingga meningkatkan efisiensi pemotongan, tetapi batangnya lemah. Mata bor ini digunakan untuk memotong logam lunak atau bahan yang memiliki kekuatan rendah.
2. Mata bor helix kecil (*low helix drills*) : mata bor dengan sudut helix lebih kecil dari ukuran normal berguna untuk mencegah pahat bor terangkat ke atas atau terpegang benda kerja ketika membuat lubang pada material kuningan dan material yang sejenis.
3. Mata bor kerja berat (*heavy-duty drills*) : mata bor yang digunakan untuk menahan tegangan yang tinggi dengan cara menebalkan bagian *web*.

4. Mata bor tangan kiri (*left hand drills*) : mata bor standar dapat dibuat juga untuk mata bor kiri. Digunakan pada pembuatan lubang jamak yang mana bagian kepala Mesin Bor didesain dengan sederhana yang memungkinkan berputar berlawanan arah.
5. Mata bor dengan sisi sayat lurus (*straight flute drills*) adalah bentuk ekstrim dari mata bor helix kecil, digunakan untuk membuat lubang pada kuningan dan plat.
6. Mata bor poros engkol (*crankshaft drills*) : mata bor yang didesain khusus untuk mengerjakan poros engkol, sangat menguntungkan untuk membuat lubang dalam pada material yang ulet. Memiliki *web* yang tebal dan sudut helix yang kadang-kadang lebih besar dari ukuran normal. Mata bor ini adalah mata bor khusus yang banyak digunakan secara luas dan menjadi mata bor standar.
7. Mata bor panjang (*extension drills*) : mata bor ini memiliki batang/*shank* yang panjang yang telah ditemper, digunakan untuk membuat lubang pada permukaan yang secara normal tidak akan dapat dijangkau.
8. Mata bor ekstra panjang (*extra-length drills*) : mata bor dengan badan pahat yang panjang, untuk membuat lubang yang dalam.
9. Mata bor bertingkat (*step drills*) : satu atau dua buah diameter mata bor dibuat pada satu batang untuk membuat lubang dengan diameter bertingkat.
10. Mata bor ganda (*subland drills*) : fungsinya sama dengan mata bor bertingkat. Mata bor ini terlihat seperti dua buah mata bor pada satu batang.
11. Mata bor *solid carbide* : untuk membuat lubang kecil pada material paduan ringan, dan material bukan logam, bentuknya bisa sama dengan mata bor standar. Proses pembuatan lubang dengan mata bor ini tidak boleh ada beban kejut, karena bahan *carbide* mudah pecah.
12. Mata bor dengan sisipan karbida (*carbide tipped drills*) : sisipan karbida digunakan untuk mencegah terjadinya keausan karena kecepatan potong yang tinggi. Sudut helix yang lebih kecil dan *web* yang tipis diterapkan untuk meningkatkan kekakuan mata bor ini, yang menjaga keawetan karbida. Mata bor ini digunakan untuk material yang keras, atau material non logam yang abrasif.
13. Mata bor dengan lubang minyak (*oil hole drills*) : lubang kecil di dalam bilah pahat bor dapat digunakan untuk mengalirkan minyak pelumas/pendingin bertekanan ke ujung mata bor. Mata bor ini digunakan untuk membuat lubang dalam pada material yang liat.
14. Mata bor rata (*flat drills*) : batang lurus dan rata dapat digerinda ujungnya membentuk ujung mata bor. Hal tersebut akan memberikan ruang yang besar bagi beram tanpa bagian helix. Mata bor ini digunakan untuk membuat lubang pada jalan kereta api.

MATERIAL	CUTTING SPEEDS 1.		POINT ANGLE	LIP CLEARANCE	COOLANTS
	(METERS/MINUTE)	(FEET/MINUTE)			
	MPM	FPM			
Aluminum And Alloys	61.00 - 91.50	200 - 300	90 - 130 deg	12 - 15 deg	Kerosene/Kerosene & Lard Oil/ Soluble Oil
Armor Plate	12.20 - 18.25	40 - 50	135 - 140 deg	6 - 9 deg	Light Machine Oil
Brass	61.00 - 91.50	200 - 300	118 - 118 deg	12 - 15 deg	Dry/ Soluble Oil/Kerosene/Lard Oil
Bronze	61.00 - 91.50	200 - 300	110 - 118 deg	12 - 15 deg	Dry/ Soluble Oil/Mineral Oil/Lard Oil
Bronze, High Tensile	21.35 - 45.75	70 - 150	100 - 110 deg	12 - 15 deg	Dry/ Soluble Oil/Mineral Oil/Lard Oil
Cast Iron, Soft	30.50 - 45.75	100 - 150	90 - 100 deg	12 - 15 deg	Air Jet Dry/ Soluble Oil
Cast Iron, Medium	21.35 - 30.50	70 - 100	100 - 110 deg	12 - 15 deg	Air Jet Dry/ Soluble Oil
Cast Iron, Hard	21.35 - 30.50	70 - 100	100 - 118 deg	8 - 12 deg	Air Jet Dry/ Soluble Oil
Cast Iron, Chilled	9.15 - 12.20	30 - 40	118 - 135 deg	5 - 9 deg	Air Jet Dry/ Soluble Oil
Copper	61.00 - 91.50	200 - 300	100 - 118 deg	12 - 15 deg	Air Jet Dry/ Soluble Oil
Copper Graphite Alloy (Carbon Drills)	18.30 - 21.35	60 - 70	**_**	**_**	Soluble Oil/Dry/Mineral Oil/Kerosene
Glass (Carbon Drills)	6.10 - 9.15	20 - 30	**_**	**_**	Soluble Oil/Dry/Mineral Oil/Kerosene
Iron, Malleable	15.25 - 27.45	50 - 90	90 - 100 deg	12 - 15 deg	Light Machine Oil
Magnesium And Alloys	76.25 - 122.0	250 - 400	70 - 118 deg	12 - 15 deg	Soluble Oil
Monel Nickel	4.15 - 15.28	30 - 50	118 - 125 deg	10 - 12 deg	Compressed Air/Mineral Oil
Nickel Alloys	12.20 - 18.30	40 - 60	135 - 140 deg	5 - 7 deg	Lard Oil/Soluble Oil
Plastic, Hot Set	30.50 - 91.50	100 - 300	60 - 90 deg	10 - 12 deg	Lard Oil/Soluble Oil
Plastic, Cold Set	30.50 - 91.50	100 - 300	118 - 135 deg	12 - 20 deg	Soap Solution
Steel, Low Carbon, 0.2-0.3ct	24.40 - 33.55	80 - 110	110 - 118 deg	7 - 9 deg	Soap Solution
Steel, Medium Carbon 0.4-0.5c	21.35 - 24.40	70 - 80	118 - 125 deg	7 - 9 deg	Soluble Oil/Mineral Oil/Sulfur Oil/Lard Oil
Steel (High Carbon 1.2c)	15.25 - 18.30	50 - 60	118 - 145 deg	7 - 9 deg	Soluble Oil/Mineral Oil/Sulfur Oil/Lard Oil
Steel, Forged	15.25 - 18.30	50 - 60	118 - 145 deg	7 - 12 deg	Soluble Oil/Mineral Oil/Sulfur Oil/Lard Oil
Steel, Alloy	15.25 - 21.35	50 - 70	118 - 125 deg	10 - 12 deg	Mineral Lard Oil
Steel, Alloy 300 To 400 Brinell	6.10 - 9.15	20 - 30	130 - 140 deg	7 - 10 deg	Soluble Oil
Steel, Stainless, Free Machining	9.15 - 24.40	30 - 80	110 - 118 deg	8 - 12 deg	Soluble Oil
Steel, Stainless, Hard	4.57 - 15.25	15 - 50	118 - 135 deg	6 - 8 deg	Soluble Oil
Steel, Manganese	3.66 - 4.57	12 - 15	140 - 150 deg	7 - 10 deg	Soluble Oil
Stone (Carbide Drills)	7.63 - 9.15	25 - 30	**_**	**_**	Water Solution
Wood	91.50 - 122.2	300 - 400	60 - 70 deg	10 - 15 deg	Dry

Tabel 8 1. Data material, kecepatan potong, sudut mata bor HSS, dan cairan pendingin proses gurdi.

l teknik Pemesinan

15. Mata bor dengan tiga atau empat sisi potong : mata bor ini digunakan untuk memperbesar lubang yang telah dibuat sebelumnya (dengan mata bor atau di-*punch*). Mata bor ini digunakan karena memiliki produktivitas, akurasi, dan kualitas permukaan yang lebih bagus dari pada mata bor standar pada pengerjaan yang sama.
16. Bor senter (*center drill*) : merupakan kombinasi mata bor dan *countersink* yang sangat baik digunakan untuk membuat lubang senter (Gambar 8.14.).

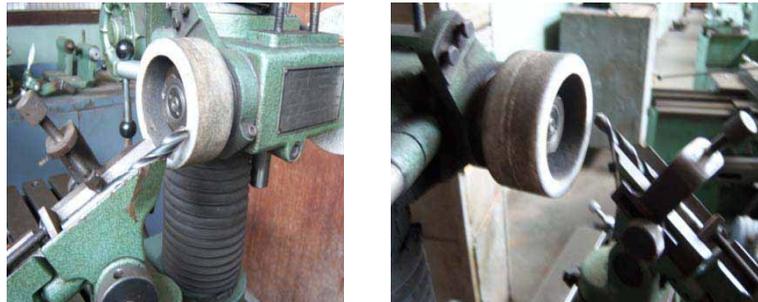


Gambar 8 14. Bor senter (*center drill*).

D. Pengasahan Kembali Mata Bor

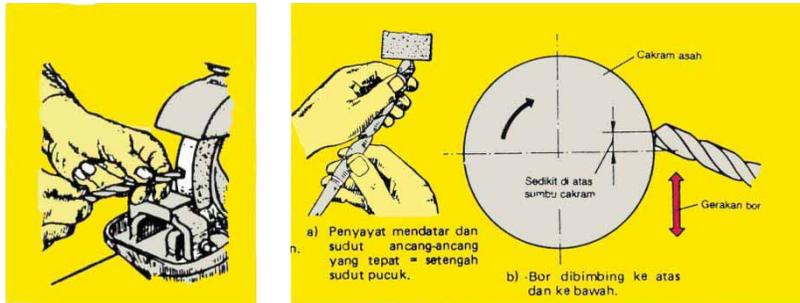
Pengasahan kembali dapat dilakukan pada mesin asah bor atau peralatan perlengkapan asah serta bisa juga dengan tangan.

1. Pengasahan sempurna penyayat hanya dapat dicapai dengan mesin asah bor atau perlengkapan asah (Gambar 8.15.). Keuntungannya, kehilangan bahan perkakas akibat pengasahan minimal dan ketepatan sudut penyayat semakin akurat. Mesin ini dapat disetel sesuai dengan sesuai garis tengah bor dan panjang bor. Dengan memiringkan bor atau perlengkapan asah, maka setiap sudut ujung dan sudut bebas yang dikehendaki atau koreksi bor tertentu, dapat diasah secara tepat.
2. Jika bor diasah dengan menggunakan tangan (secara cara manual), maka dibutuhkan banyak latihan, pengetahuan, dan konsentrasi. Pada pengasahan secara manual, mata bor harus didinginkan secara intensif dengan cara mencelupkan mata bor ke cairan pendingin. Jika dalam keadaan terpaksa/darurat dilakukan pengasahan kering, maka bor tidak boleh dipanasi melebihi daya tahan panas tangan, karena ini dapat mengakibatkan hangus dan bahaya retak pengasahan.



Gambar 8 15. Pengasahan mata bor dengan mesin asah.

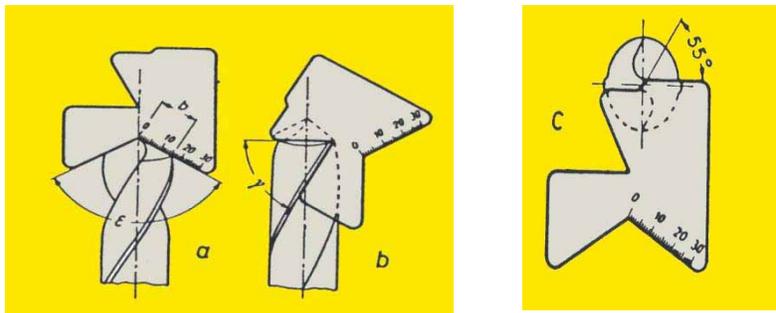
Pengasahan mata bor dengan tangan (Gambar 8.16.), mata bor didekatkan pada cakram dengan sudut penyetulan yang besarnya setengah sudut pucuk (Gambar 8.16a). Mata bor yang diasah harus diberi dudukan mendatar dan pucuk bor diposisikan sedikit di atas sumbu cakram (Gambar 8.16b). Pada kedudukan ini bor dibimbing ke atas dan ke bawah. Bidang penyayat mata bor pertama diasah, kemudian diputar 180° dan bidang penyayat kedua diasah.



Gambar 8 16. Pengasahan dengan tangan.

Penera/mal asahan digunakan untuk memeriksa kebenaran hasil pengasahan (Gambar 8.17.), yang diperiksa ialah sudut pucuk, sudut asah relief dan sudut penyayat lintang. Penera yang digunakan ialah penera tetap dan penera yang dapat disetel untuk macam-macam sudut pucuk.

Pengujian dilakukan menurut metode celah cahaya. Penera asah harus diletakkan dengan benar pada bor.

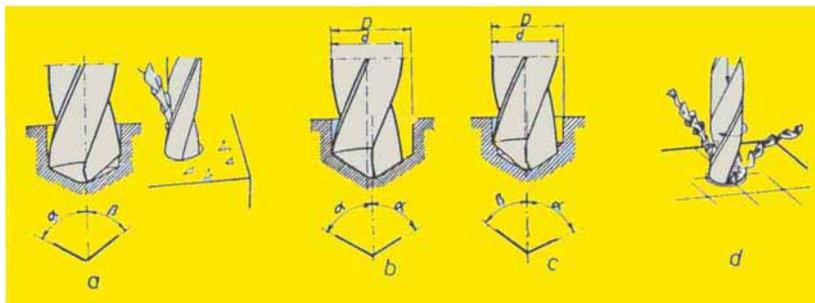


Gambar 8 17. Penggunaan penera tetap.

Kesalahan yang dapat ditimbulkan akibat pengasahan dengan tangan adalah :

1. Sudut pucuk tidak sama (Gambar 8.18a.). Pucuk bor memang berada di tengah, namun yang melaksanakan penyayat hanya satu penyayat. Akibatnya, bor dibebani sepihak, penyayat cepat aus, bor melenceng, sehingga lubang bor menjadi tidak tepat dan kasar.
2. Panjang penyayat tidak sama (Gambar 8.18b.), namun kedua sudut pucuknya sama besar, pucuk bor tidak terletak di tengah. Akibatnya, garis tengah lubang lebih besar dari pada garis tengah bor.
3. Sudut pucuk dan panjang penyayat tidak sama (Gambar 8.18c.), bor dibebani sepihak. Akibatnya, lubang lebih besar dan tidak bersih, bor cepat tumpul, dan penyayat bisa retak.
4. Pengasahan relief terlalu kecil. Akibatnya, bor dapat tersandung dalam lubang, sehingga diperlukan tekanan laju yang lebih besar.
5. Pengasahan relief terlalu besar. Akibatnya, bor bisa tersangkut dan patah.

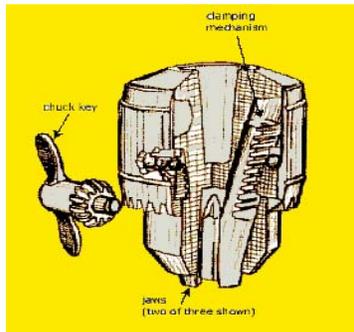
Pedoman dasar : Kedua penyayat harus senantiasa sama panjang dan memiliki sudut yang sama besar.



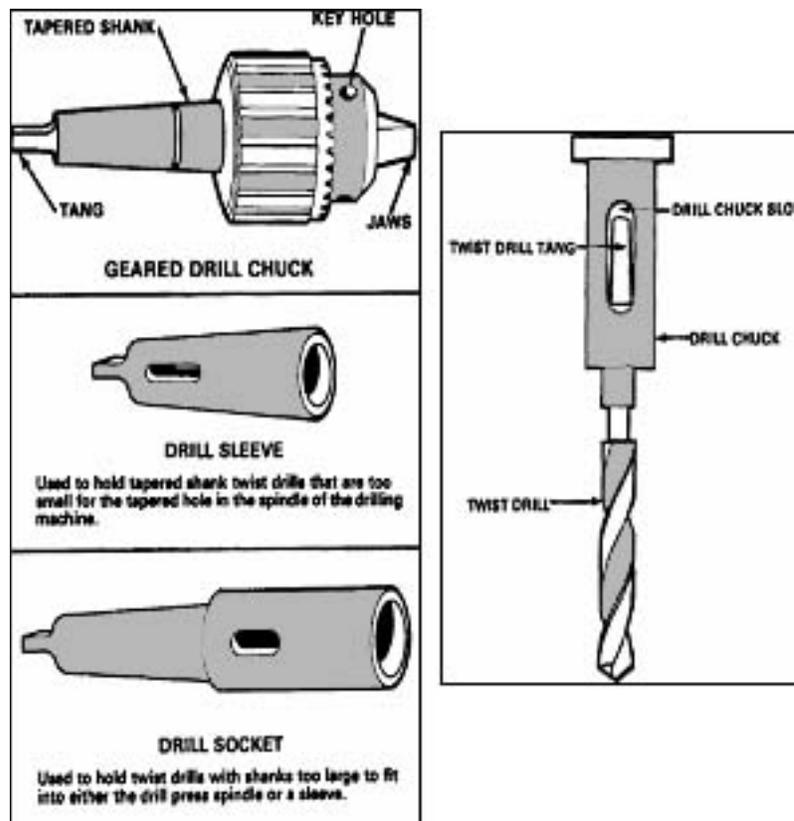
Gambar 8 18. Kesalahan pengasahan; (a) sudut pucuk tidak sama, (b) panjang penyayat tidak sama, (c) sudut pucuk dan panjang penyayat tidak sama, dan (d) pembentukan serpih merata pada penyayat yang panjangnya sama dan sudut pucuk yang sama.

E. Pencekaman Mata Bor dan Benda Kerja

Cekam mata bor yang biasa digunakan adalah cekam rahang tiga (Gambar 8.19.). Kapasitas pencekaman untuk jenis cekam mata bor ini maksimal diameter 13 mm. Apabila diameter mata bor lebih besar dari 13 mm, maka untuk memasang mata bor tersebut tidak menggunakan cekam. Apabila mata bor terlalu kecil untuk dimasukkan pada tempat pahat gurdi maka perlu disambung dengan sarung tirus/*drill sleeve* (Gambar 8.20.). Apabila masih kurang besar karena diameter lubang pada mesin terlalu besar, sarung tirus tersebut disambung lagi dengan sambungan sarung tirus/*drill socket*.

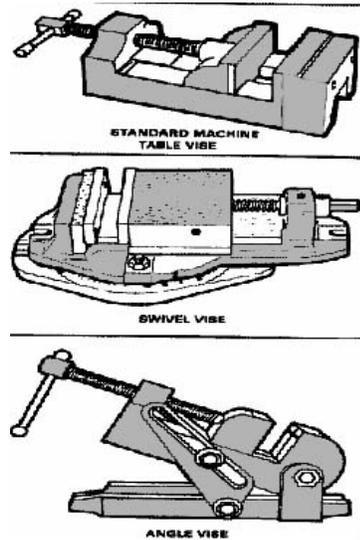


Gambar 8 19. Cekam mata bor rahang tiga dengan kapasitas maksimal mata bor 13 mm.



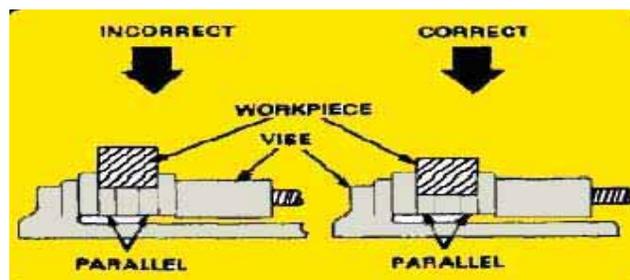
Gambar 8 20. Cekam bor terpasang pada batang tirus, sarung tirus (*drill sleeve*), dan sambungan sarung tirus (*drill socket*), dan mata bor yang dipasang pada dudukan pahat gurdi.

Benda kerja yang akan dikerjakan pada Mesin Gurdi bentuknya bisa bermacam-macam. Untuk benda berbentuk kotak, pencekaman benda kerja bisa menggunakan ragum (Gambar 8.21.). Benda kerja yang tidak terlalu besar ukurannya biasanya dicekam dengan ragum meja (*table vise*) atau ragum putar (*swivel vise*). Apabila diinginkan membuat lubang pada posisi menyudut pencekaman bisa menggunakan ragum sudut (*angle vise*).



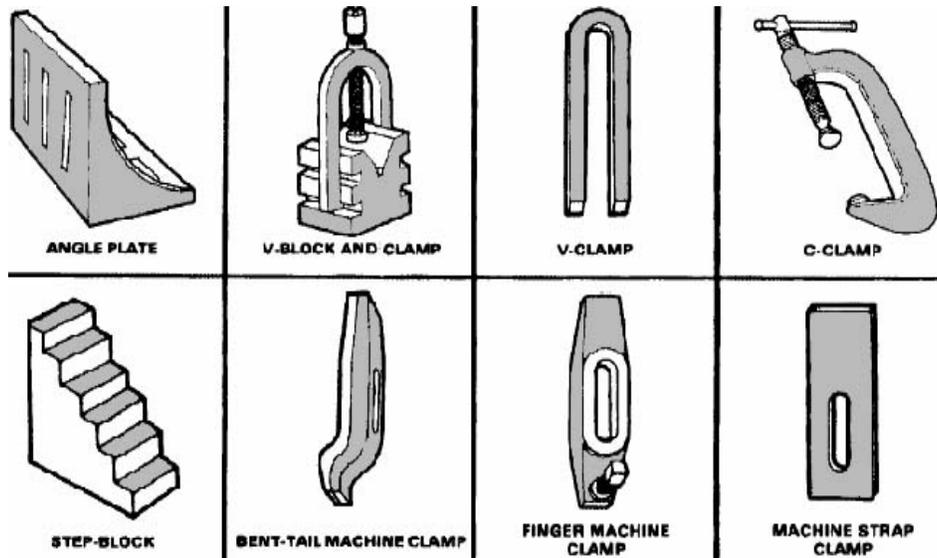
Gambar 8 21. Ragum meja (*table vise*), Ragum putar (*swivel vise*), dan Ragum sudut (*angle vise*) untuk mencekam benda kerja pada Mesin Gurdi.

Benda kerja yang dipasang pada ragum hendaknya diatur supaya bagian yang menonjol tidak terlalu tinggi (Gambar 8.22.). Selain itu agar pada waktu benda kerja ditekan oleh mata bor tidak berubah posisi, maka di bawah benda kerja perlu didukung oleh dua buah balok paralel.



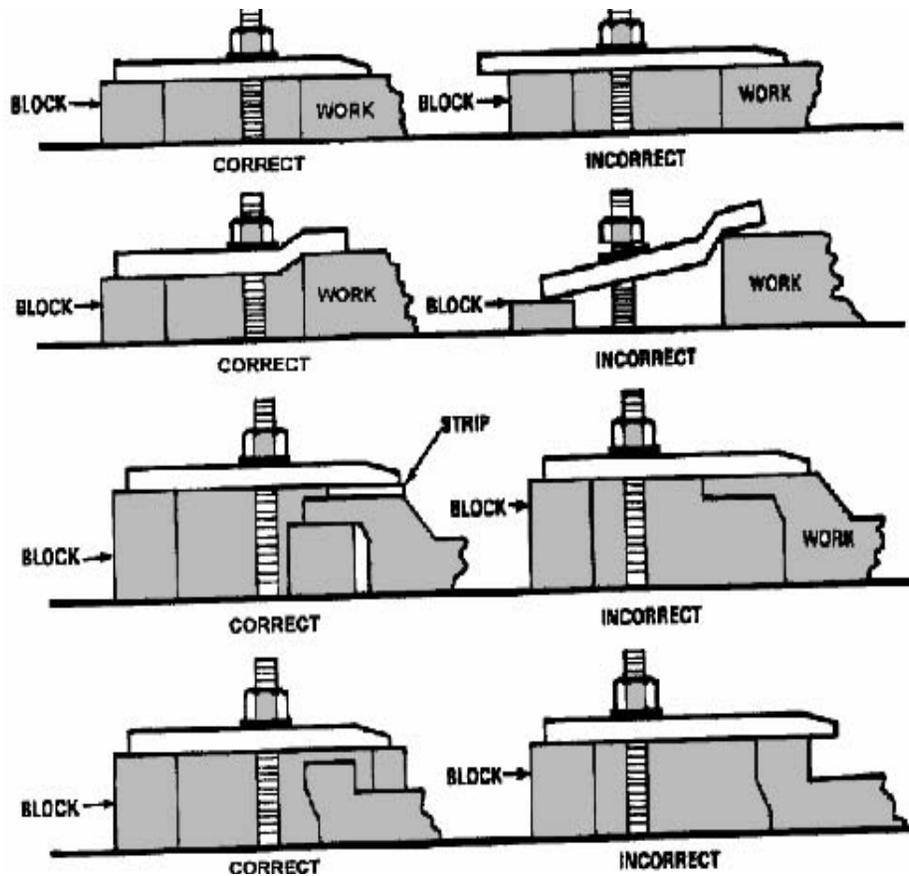
Gambar 8 22. Pemasangan benda kerja sebaiknya tidak terlalu tinggi, dan didukung oleh dua buah paralel.

Agar ragum tidak bergetar atau bergerak ketika proses pembuatan lubang, sebaiknya ragum diikat dengan klem C (Gambar 8.23). Beberapa alat bantu pencekaman yang lain bisa juga digunakan untuk mengikat benda kerja pada meja Mesin Gurdi. Benda kerja dengan bentuk tidak teratur, terlalu tebal atau terlalu tipis tidak mungkin bisa dipegang oleh ragum, maka pengikatan pada meja Mesin Gurdi dilakukan dengan alat bantu pencekaman (Gambar 8.23.) dengan bantuan beberapa buah baut T.



Gambar 8 23. Alat bantu pencekaman benda kerja pada meja Mesin Gurdi : pelat siku (*Angle Plate*), Blok dan klem (*V-Block and Clamp*), Klem V (*V-Clamp*), Klem C (*C-Clamp*), Blok bertingkat (*Step-Block*), Klem ekor melengkung (*Bent-tail Machine Clamp*), Klem jari (*Finger Machine Clamp*), dan Klem pengikat (*Machine Strap Clamp*).

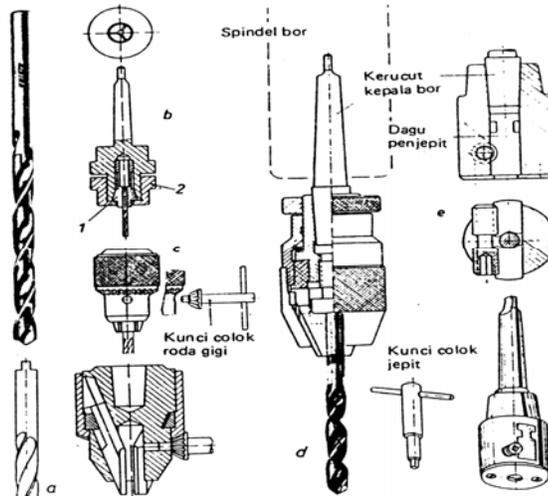
Pengikatan benda kerja yang benar (*correct*) dan yang tidak benar (*incorrect*) dapat dilihat pada Gambar 8.24.



Gambar 8 24. Cara pengikatan benda kerja di meja Mesin Gurdi dengan bantuan klem dan baut T.

1. Pengencangan Bor

Bor dengan gagang silindris (Gambar 8.25.) pada umumnya dibuat sampai garis tengah 16 mm. Model khusus dengan lidah pembawa untuk gaya puntir yang lebih besar (Gambar 8.25a.) hanya cocok untuk kepala bor yang sesuai, ia tidak dapat berputar di dalam kepala bor, sehingga dengan demikian gagang dan dagu penjepit lebih awet. Bor dengan gagang segi empat digunakan untuk Mesin Bor tangan (uliran bor, palang bor dan sebagainya).

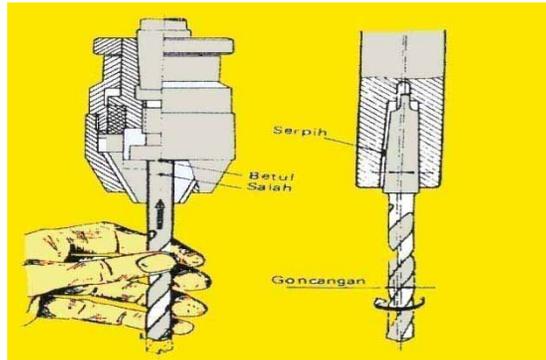


Gambar 8 25. Mata bor spiral dengan gagang silindris dan kepala bor.

Aturan-aturan kerja pada pengencangan mata bor.

- a) Perhatikan pengencangan mata bor yang benar. Hanya bor yang tidak goyah dan duduk erat, memberi jaminan kerja yang tepat dan bersih. Jika bor tidak duduk dengan erat di dalam kepala bor, maka ia dapat macet di dalam benda kerja yang dibor atau terbawa disertai kejutan – bahayanya bisa patah! Jika hal ini terjadi, maka gagang bor tergesek dan terbentuk tarikan yang merupakan penyebab kenyataan bahwa bor tidak dapat lagi dekencangkan tepat senter, ia bergetar, memberi lubang yang tidak tepat dan seterusnya.
- b) Bor dengan gagang silindris harus ditancapkan sampai menumpu pada dasar kepala bor (Gambar 8.26). Jika ia tidak menyentuh dasar, pada saat pemboran ia akan bergeser ke arah sumbu. Akibatnya, ukuran kedalaman lubang bor tidak tepat, bor terpeleset, tersangkut dan patah.
- c) Kepala penjepit harus dibersihkan dari waktu ke waktu, diperbaiki dan bila perlu diganti. Pengerjaan dengan kepala bor yang rusak tidak dibolehkan.
- d) Bor dengan gagang kerucut. Gagang kerucut dan kerucut dalam harus bersih. Tidak boleh terdapat serpih, lekukan, debu, minyak atau gemuk pada gagang atau kerucut dalam, karena hal ini dapat mengakibatkan bergetarnya atau terpelesetnya bor (Gambar 8.27.).
- e) Selubung reduksi. Biasanya tidak boleh dipasangkan lebih dari dua selubung bertumpukan karena dapat mengakibatkan bergetarnya bor dan tidak bundar putarannya.

Periksa setelah pengencangan apakah bor berputar tepat bundar!

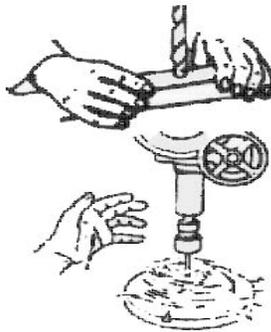


Gambar 8 26. Bor harus dikencangkan dengan benar

Gambar 8 27. Kerucut perkakas dibersihkan

2. Pengencangan Benda Kerja.

Gaya puntir spindel bor yang muncul bisa berakibat memutar benda kerja. Untuk menghindarkan kecelakaan (luka tangan, Gambar 8.28), benda kerja harus dikencangkan dengan erat waktu pemboran.



Gambar 8 28. Kencangkan benda kerja dengan erat.

Aturan kerja pada pengencangan benda kerja :

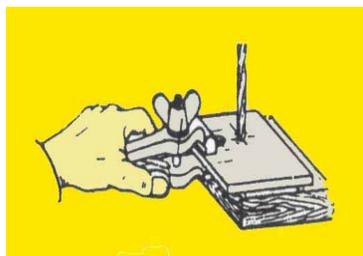
- Sebelum dilakukan pengencangan, bersihkan meja bor dan bidang alas benda kerja, alat pengencang, perlengkapan bor dan sejenisnya secara teliti dari serpil/kotoran supaya didapat landasan yang tepat dan aman.
- Amankan benda kerja dari benda yang tidak dipakai. Benda-benda kerja yang tidak dikencangkan dengan erat akan tergoncang, lubang bor menjadi lebih besar dan tidak tepat. Terutama oleh bor spiral

pendek benda kerja yang tidak dikencangkan atau pengencangannya buruk, akan mudah terseret ke atas. Bahaya ini terutama terdapat juga pada pemboran pelat logam. Akibatnya, kerusakan benda kerja, atau bor patah.

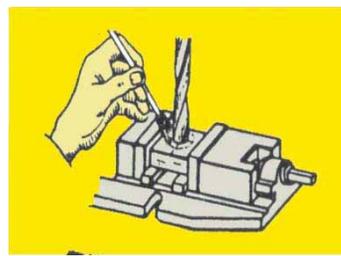
- c. Benda kerja (contohnya baja U, siku dan pipih) tidak boleh bergetar pada saat pemboran, karena bor akan bergetar. Akibatnya, penyayat retak dan cepat menumpul.
- d. Pengencangan benda kerja bukan hanya bila lubang yang dibor besar, semua pemboran benda kerja harus dipegang kuat secara meyakinkan.

Contoh pengencangan :

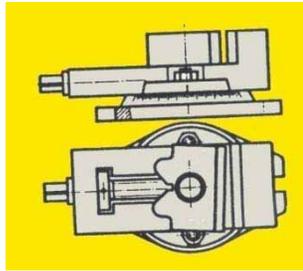
- Pelat logam dan sejenisnya harus diamankan dengan menahannya pada jepitan kikir (Gambar 8.29.), untuk itu benda kerja tersebut diletakkan di atas alas kayu.
- Benda kerja yang pendek dan kecil harus dijepitkan pada ragum (Gambar 8.30.). Ragum mesin dapat dilengkapi dengan dagu penjepit yang lurus dan sejajar. Dengan sebuah dagu penjepit yang dapat dikencangkan, benda kerja (Gambar 8.31.) dapat diputar dengan skala derajat, atau dapat diputar untuk pemboran lubang pada berbagai arah. Pengencangan dilakukan oleh baut ulir dengan engkol atau kunci (Gambar 8.30, 8.31, 8.32). Pada produksi massa, pengencangan secara cepat dan waktu pengencangan yang singkat, pengencangan dilakukan dengan engkol tangan eksentris atau dengan udara kempa.
- Benda kerja silindris dikencangkan di dalam catok penyenter (Gambar 8.32.), dengan penjepit (Gambar 8.34) atau dengan sebuah prisma bor (Gambar 8.35). Gambar 8.35 kanan memperlihatkan sebuah prisma bor yang dapat disetel, sehingga dapat melakukan pemboran tembus secara leluasa.



Gambar 8 29. Pengencangan plat logam.

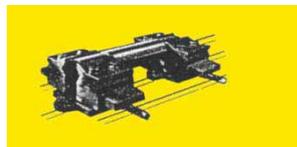


Gambar 8 30. Penjepitan pada ragum.

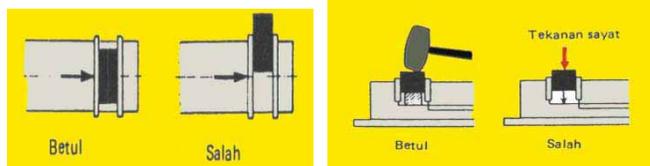


Gambar 8 31. Ragum mesin dengan penjepit yang dapat diputar.

Perhatikan! Benda kerja harus dijepit di tengah-tengah ragum (Gambar 8.33). Pada pengencangan benda kerja yang rendah harus digunakan alas yang sama tingginya, jika tidak benda kerja akan terperosok ke bawah akibat tekanan. Periksa posisi benda kerja dengan siku sebelum dikencangkan. Penyiapan pusat lubang benda kerja dapat dilakukan dengan sebuah penitik (penyenter) yang dijepitkan di dalam spindel bor.



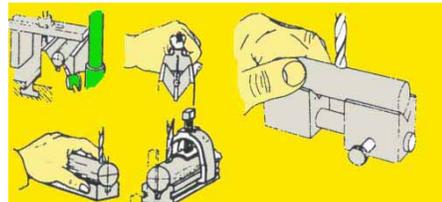
Gambar 8 32. Ragum mesin penyenter.



Gambar 8 33. Penjepitan yang betul dan yang salah.



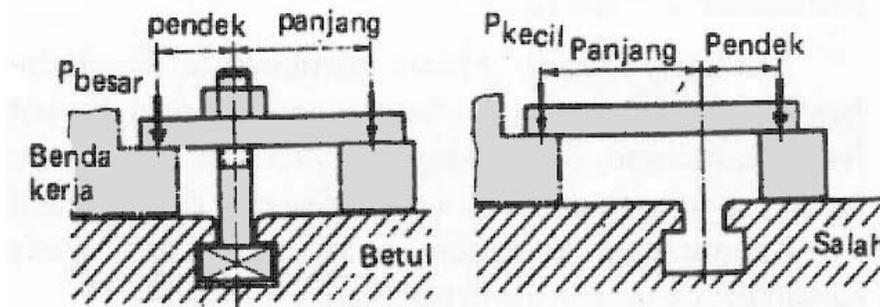
Gambar 8 34. Penjepit



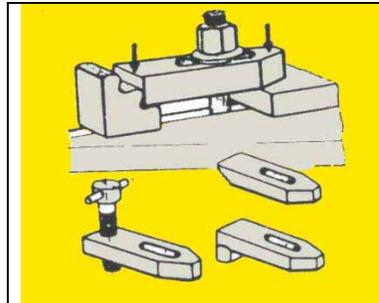
Gambar 8 35. Prisma bor yang dapat disetel.

- Benda kerja yang berat dan memakan tempat dikencangkan pada meja bor, misalnya dengan besi penjepit dan ganjal (Gambar 8.37.) serta unsur penjepit lainnya.
Perhatikan ! Meja bor harus bersih dan bebas dari serpih besi atau kaki penjepit harus mendekap rapat pada benda kerja dan alas pengganjal. Alas harus mantap dan besi penjepit harus kuat. Sekerup pengencang harus disusun sedekat mungkin pada benda kerja (Gambar 8.36.), supaya tekanannya merata.
Pada pengencangan yang tidak tepat, benda kerja dapat terlontar, sehingga tidak hanya perkakas dan mesin yang rusak, melainkan dapat juga menimbulkan kecelakaan berat bagi operator mesin. Pada lubang tembus harus diperhatikan bahwa bor tidak sampai melubangi meja pengencang, tetapi masuk ke dalam lubang serpih atau kayu alas pengganjal.
- Pengencangan di dalam peralatan pelengkap bor, benda kerja yang akan dibor dimasukkan dalam sebuah rangka (peralatan pelengkap) dan dikencangkan dengan erat. Bor diberi jalur penuntun yang sangat tepat di dalam sebuah lubang dudukan bor (Gambar 8.38b). Penggunaannya pada produksi berantai.

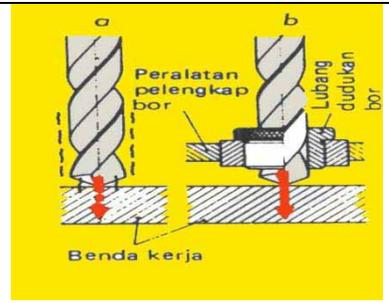
Peralatan pelengkap bor memungkinkan penghematan waktu karena penggoresan lubang tidak perlu dilakukan. Jika banyak lubang yang dikerjakan pada benda kerja yang rumit penghematan waktu dan ketepatan yang tinggi itu akan jauh lebih besar dibandingkan dengan melalui proses penggoresan. Selain itu, tiap benda kerja benar-benar sama dengan benda kerja lainnya, mereka dapat dipertukarkan.



Gambar 8.36. Pengencangan yang betul dan yang salah dengan ganjal besi pengencang.



Gambar 8 37. Pengencangan dengan besi pengganjal.



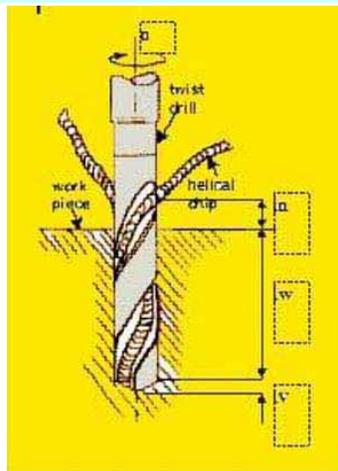
Gambar 8 38.
 a. Pemboran tanpa penuntunan.
 b. Pemboran penuntunan.

F. Elemen Dasar Proses Gurdi

Parameter proses gurdi dapat ditentukan berdasarkan gambar proses gurdi (Gambar 8.39.), rumus-rumus kecepatan potong, dan gerak makan. Parameter proses gurdi pada dasarnya sama dengan parameter proses pemesian yang lain, akan tetapi dalam proses gurdi selain kecepatan potong, gerak makan, dan dan kedalaman potong perlu dipertimbangkan pula gaya aksial, dan momen puntir yang diperlukan pada proses gurdi. Parameter proses gurdi tersebut adalah :

9) Kecepatan potong :

$$v = \frac{\pi dn}{1000}; m / menit \dots\dots\dots (8.1)$$



Gambar 8 39. Gambar skematis proses gurdi/drilling.

10) Gerak makan (*feed*)

- Untuk Mesin Gurdi jenis gerak makan dilakukan secara manual (*Hand-feed Drilling Machine*), tidak ada rumus tertentu yang digunakan, karena proses pemakanan dilakukan berdasarkan perkiraan operator mesin.
- Untuk Mesin Gurdi dengan gerak makan dilakukan secara otomatis oleh tenaga motor listrik (*Power-feed Drilling Machine*) gerak makan bisa ditentukan berdasarkan Tabel 8.2 .

MATERIAL AND CUTTING SPEED (FT PER MINUTE)											
Diameter of drill (in.)	Aluminum	Brass & Bronze	Cast iron	Mild steel 0.2-0.3 carbon (LOW)	Steel 0.4-0.5 carbon (MED)	Tool steel 1.2 carbon and drop forgings	Conn. rod molybdenum steel	3.5 nickel steel	Stainless steel and monel metal	Malleable iron	Feed per revolution (in.)
	300	200	100	110	80	80	55	80	50	85	
	Revolutions per minute										
1/16	18,336	12,224	6,112	6,724	4,863	3,668	3,404	3,978	3,056	5,192	0.0015
1/8	9,168	6,112	3,056	3,362	2,444	1,834	1,702	1,988	1,528	2,596	0.002-0.003
3/16	6,108	4,072	2,036	2,242	1,630	1,222	1,120	1,324	1,018	1,734	0.004
1/4	4,584	3,056	1,528	1,681	1,222	917	851	994	764	1,298	0.006
5/16	3,668	2,444	1,222	1,344	978	733	672	794	611	1,038	0.006
3/8	3,054	2,036	1,018	1,121	815	611	560	662	509	867	0.008
7/16	2,822	1,748	874	921	699	524	481	568	437	742	0.007
1/2	2,282	1,528	764	840	611	459	420	497	382	648	0.008
9/16	2,037	1,358	679	747	543	407	373	441	340	577	0.008
5/8	1,836	1,224	612	673	489	367	337	398	306	520	0.009
11/16	1,665	1,110	556	611	444	333	300	360	273	472	0.009
3/4	1,524	1,016	506	559	408	306	279	330	254	433	0.010
13/16	1,422	948	474	521	379	285	261	308	237	403	0.010
7/8	1,314	878	438	482	349	262	241	286	219	371	0.011
15/16	1,221	814	407	448	320	244	224	265	204	346	0.012
1	1,146	764	382	420	308	229	210	258	191	325	0.013
1 1/16	1,077	718	359	395	287	215	197	233	180	305	0.013
1 1/8	1,020	680	340	374	272	204	187	221	170	288	0.014
1 3/16	966	644	322	354	258	193	177	209	161	274	0.014
1 1/4	918	612	306	337	245	183	168	199	153	260	0.015
1 5/16	873	582	291	320	233	175	160	189	146	248	0.015
1 3/8	834	556	278	306	222	167	153	180	139	236	0.015
1 7/16	795	530	265	292	212	159	146	172	133	225	0.015
1 1/2	762	508	254	279	204	153	140	165	127	216	0.015
1 9/16	732	488	244	268	195	146	134	159	122	207	0.016
1 5/8	702	468	234	267	188	141	129	152	117	201	0.016
1 11/16	678	452	225	249	181	136	124	147	113	192	0.016
1 3/4	654	436	218	240	175	131	120	142	109	186	0.016
1 13/16	630	420	210	231	168	126	116	137	105	179	0.016
1 7/8	612	408	204	224	163	122	112	133	102	173	0.016
1 15/16	591	394	197	216	158	118	108	128	99	168	0.016
2	573	382	191	210	153	115	105	124	96	162	0.016

1. Rotational speed value for carbide twist drills are 200 to 300 percent higher than H.S.S.

Tabel 8.2. Putaran mata bor dan gerak makan pada beberapa jenis bahan.

Selain menggunakan Tabel 8.2, gerak makan bisa diperkirakan dengan rumus empiris berikut :

- Untuk baja

$$f = 0,084\sqrt[3]{d}; mm / put \dots\dots\dots(8.2)$$

- Untuk besi tuang

$$f = 0,1\sqrt[3]{d}; mm / put \dots\dots\dots(8.3)$$

11) Kedalaman potong :

$$a = d / 2; mm \dots\dots\dots(8.4)$$

12) Waktu pemotongan :

$$t_c = \frac{l_t}{2 fn}; menit \dots\dots\dots(8.5)$$

13) Kecepatan pembentukan beram

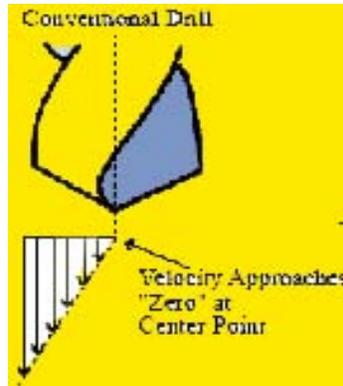
$$Z = \frac{\pi d^2}{4} \frac{2 fn}{1000}; cm^3 / menit \dots\dots\dots(8.6)$$

G. Perencanaan Proses Gurdi

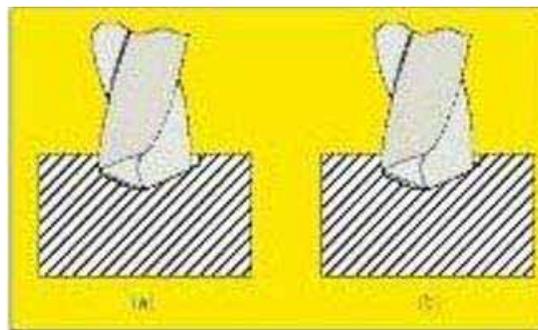
Mesin Gurdi bisa membuat lubang dengan jangkauan diameter 1/16 inchi sampai dengan 2 inchi (sekitar 1,6 mm sampai dengan 50 mm). Perencana proses gurdi hendaknya merencanakan langkah pembuatan lubang terutama untuk lubang dengan diameter relatif besar (di atas 10 mm). Hal tersebut perlu dilakukan karena pada mata bor yang relatif besar, ujungnya tumpul, sehingga pada tengah pahat tidak terjadi penyayatan tetapi proses ekstrusi. Selain itu pada sumbu pahat (diameter mata bor = 0), kecepatan potongnya adalah nol (rumus 8.1), sehingga penekanan pahat ke bawah menjadi sangat berat (Gambar 8.40.). Berdasarkan uraian di atas maka untuk membuat lubang dengan diameter relatif besar hendaknya diawali dengan mata bor yang memiliki diameter lebih kecil dulu. Misalnya untuk membuat lubang diameter 20 mm, diawali dengan mata bor 5 mm, kemudian 8 mm, dan 16 mm.

Proses pembuatan lubang dengan menggunakan mata bor biasanya adalah lubang awal, yang nantinya akan dilanjutkan dengan pengerjaan lanjutan, sehingga ketelitian dimensi lubang bukan menjadi tuntutan utama. Ketelitian proses gurdi adalah pada posisi lubang yang dibuat terhadap bidang yang menjadi basis pengukuran maupun terhadap

lubang yang lain. Permasalahan yang terjadi pada proses gurdi 90 persen disebabkan karena kesalahan penggerindaan ujung mata bor. Kesalahan penggerindaan tersebut bisa menimbulkan sudut ujung salah/ tidak simetris, dan panjang sisi potong yang tidak sama (Gambar 8.41.). Hal tersebut mengakibatkan posisi lubang tidak akurat.



Gambar 8 40. Proses gurdi konvensional, pada sumbu pahat kecepatan potong adalah nol. Kecepatan potong membesar ke arah diameter luar.



Gambar 8 41. (a) Mata bor dengan sudut sisi potong sama tetapi panjangnya berbeda, dan (b) mata bor dengan sudut sisi potong dan panjang sisi potong tidak sama,

Lubang yang dibuat dengan mata bor, apabila nantinya dibuat ulir dengan proses pengetapan harus diperhitungkan diameternya agar diperoleh ulir yang sempurna. Rumus diameter lubang atau diameter mata bor untuk ulir dengan kisar dan diameter tertentu adalah :

$$TDS = OD - \frac{1}{N} \dots \dots \dots (8.7)$$

Keterangan :

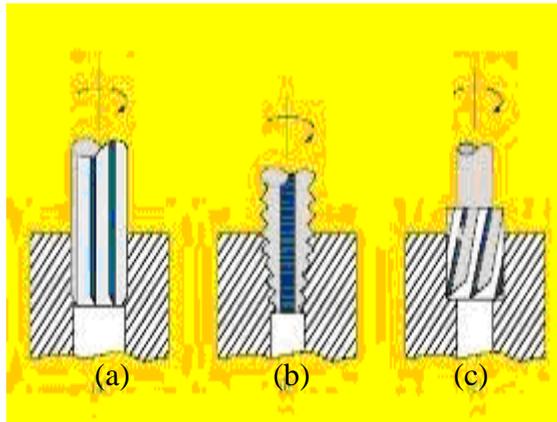
TDS = *Tap drill size*/ukuran lubang (inchi)

METRIC SERIES				
Screw thread size and pitch	Outside diameter of screw (in.)	Tap drill size	Decimal equivalent of drill size	
4.0mm x .70.....	.1575	3.30mm	.1299	
5.0mm x .80.....	.1968	4.20mm	.1654	
6.3mm x 1.00.....	.2480	5.30mm	.2087	
8.0mm x 1.25.....	.3150	6.80mm	.2677	
10.0mm x 1.50.....	.3937	8.50mm	.3346	
12.0mm x 1.75.....	.4724	10.20mm	.4016	
14.0mm x 2.00.....	.5512	12.00mm	.4724	
16.0mm x 2.00.....	.6299	14.00mm	.5512	
20.0mm x 2.50.....	.7874	17.50mm	.6890	
24.0mm x 3.00.....	.9449	21.00mm	.8268	
30.0mm x 3.50.....	1.1811	26.50mm	1.0433	
36.0mm x 4.00.....	1.4173	32.00mm	1.2598	
42.0mm x 4.50.....	1.6535	37.50mm	1.4764	
48.0mm x 5.00.....	1.8898	43.00mm	1.6929	
56.0mm x 5.50.....	2.2047	50.50mm	1.9882	
64.0mm x 6.00.....	2.5197	58.00mm	2.2837	
72.0mm x 6.00.....	2.8346	66.00mm	2.5984	
80.0mm x 6.00.....	3.1456	74.00mm	2.9134	
90.0mm x 6.00.....	3.5433	84.00mm	3.3071	
100.0mm x 6.00.....	3.9370	94.00mm	3.7008	
NATIONAL TAPER PIPE THREAD PITCHES AND TAP DRILL SIZES				
Nominal thread size (in.)	Threads per inch	Major pipe diameter (in.)	Tap drill size (in.)	Decimal equivalent of drill size (in.)
1/8.....	27	0.405	21/64	0.32813
1/4.....	18	0.540	29/64	0.45313
3/8.....	18	0.875	19/32	0.59375
1/2.....	14	0.840	23/32	0.71875
3/4.....	14	1.050	15/16	0.9375
1.....	11 1/2	1.315	1 3/16	1.1875
1 1/4.....	11 1/2	1.660	1 15/32	1.46875
1 1/2.....	11 1/2	1.900	1 23/32	1.71875
2.....	11 1/2	2.375	2 3/16	2.1875
2 1/2.....	8	2.875	2 11/16	2.6875
3.....	8	3.500	3 5/16	3.3125
3 1/2.....	8	4.00	3 13/16	3.8125
4.....	8	4.500	4 3/16	4.1875

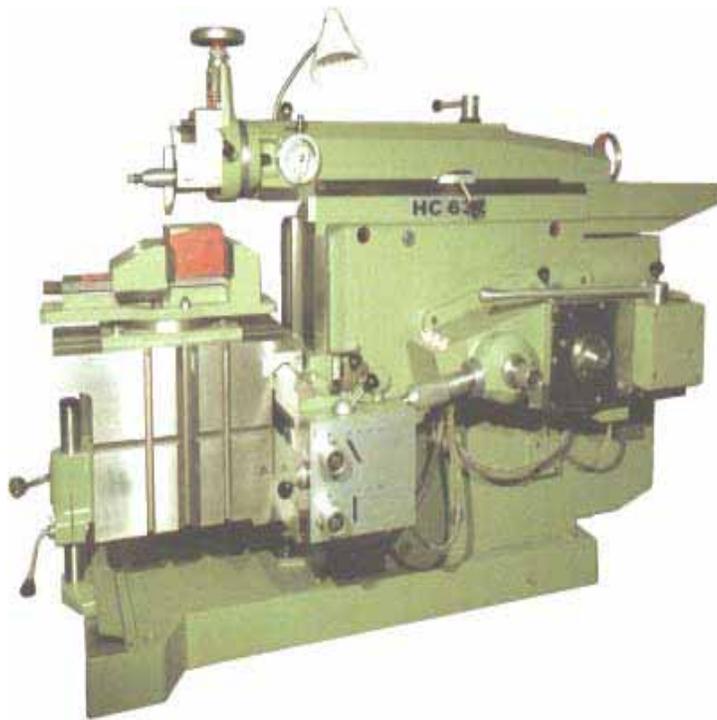
Tabel 8 4. Kisar ulir dan ukuran diameter mata bor.

Proses pembuatan lubang dengan Mesin Gurdi biasanya dilakukan untuk pengerjaan lubang awal. Pengerjaan selanjutnya dilakukan setelah lubang dibuat oleh mata bor (Gambar 8.42.). Proses kelanjutan dari pembuatan lubang tersebut misalnya : *reaming* (meluaskan lubang untuk mendapatkan diameter dengan toleransi ukuran

tertentu), *taping* (pembuatan ulir), dan *counterboring* (lubang untuk kepala baut tanam).



Gambar 8 42. Proses kelanjutan setelah dibuat lubang dengan : (a) *reaming*, (b) *tapping*, dan (c) *counterboring*.



BAB 9 MENGENAL PROSES SEKRAP (*SHAPING*)

Mesin Sekrap (*shaping machine*) disebut pula mesin ketam atau serut. Mesin ini digunakan untuk mengerjakan bidang-bidang yang rata, cembung, cekung, beralur, dll., pada posisi mendatar, tegak, ataupun miring. Mesin Sekrap adalah suatu mesin perkakas dengan gerakan utama lurus bolak-balik secara vertikal maupun horizontal.

Prinsip pengerjaan pada Mesin Sekrap adalah benda yang disayat atau dipotong dalam keadaan diam (dijepit pada ragum) kemudian pahat bergerak lurus bolak-balik atau maju mundur melakukan penyayatan. Hasil gerakan maju mundur lengan mesin/pahat diperoleh dari motor yang dihubungkan dengan roda bertingkat melalui sabuk (*belt*). Dari roda bertingkat, putaran diteruskan ke roda gigi antara dan dihubungkan ke roda gigi penggerak engkol yang besar. Roda gigi tersebut beralur dan dipasang engkol melalui tap. Jika roda gigi berputar maka tap engkol berputar eksentrik menghasilkan gerakan maju mundur lengan. Kedudukan tap dapat digeser sehingga panjang eksentrik berubah dan berarti pula panjang langkah berubah. Mekanisme ini dapat dilihat pada Gambar 9.4.

A. Mesin Sekrap dan Jenis-jenisnya

1. Jenis-jenis Mesin Sekrap

Mesin Sekrap adalah mesin yang relatif sederhana. Biasanya digunakan dalam ruang alat atau untuk mengerjakan benda kerja yang jumlahnya satu atau dua buah untuk *prototype* (benda contoh). Pahat yang digunakan sama dengan pahat bubut. Proses sekrap tidak terlalu memerlukan perhatian/ konsentrasi bagi operatornya ketika melakukan penyayatan. Mesin Sekrap yang sering digunakan adalah Mesin Sekrap horizontal. Selain itu, ada Mesin Sekrap vertical yang biasanya dinamakan mesin *slotting/slotter*. Proses sekrap ada dua macam yaitu proses sekrap (*shaper*) dan *planner*. Proses sekrap dilakukan untuk benda kerja yang relatif kecil, sedang proses *planner* untuk benda kerja yang besar.

Mesin Sekrap datar atau horizontal (*shaper*)



Gambar 9 1. Mesin Sekrap datar atau horizontal (*shaper*).

Mesin jenis ini umum dipakai untuk produksi dan pekerjaan serba-guna terdiri atas rangka dasar dan rangka yang mendukung lengan horizontal (lihat Gambar 9.1). Benda kerja didukung pada rel silang sehingga memungkinkan benda kerja untuk digerakkan ke arah menyalang atau vertical dengan tangan atau penggerak daya.

Pada mesin ini pahat melakukan gerakan bolak-balik, sedangkan benda kerja melakukan gerakan insut. Panjang langkah maksimum sampai 1000 mm, cocok untuk benda pendek dan tidak terlalu berat.

Mesin Sekrap vertical (*slotter*)

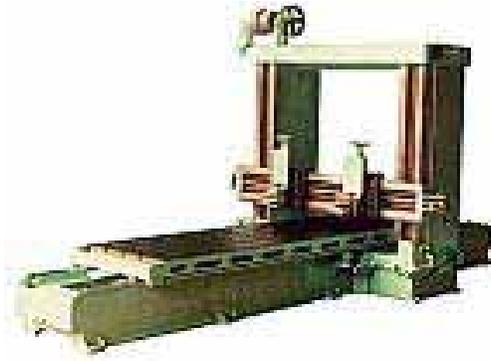


Gambar 9 2. Mesin Sekrap vertical (*slotter*).

Mesin Sekrap jenis ini digunakan untuk pemotongan dalam, menyerut dan bersudut serta untuk pengerjaan permukaan-permukaan yang sukar dijangkau. Selain itu mesin ini juga bisa digunakan untuk operasi yang memerlukan pemotongan vertical (Gambar 9.2). Gerakan pahat dari mesin ini naik turun secara vertical, sedangkan benda kerja bisa bergeser ke arah memanjang dan melintang.

Mesin jenis ini juga dilengkapi dengan meja putar, sehingga dengan mesin ini bisa dilakukan pengerjaan pembagian bidang yang sama besar.

Mesin Sekrap eretan (*planner*)

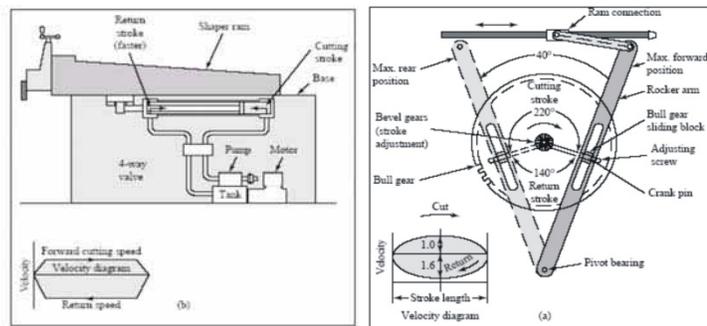


**Gambar 9 3. Mesin Sekrap eretan
(*planner*).**

Mesin *planner* digunakan untuk mengerjakan benda kerja yang panjang dan besar (berat). Benda kerja dipasang pada eretan yang melakukan gerak bolak-balik, sedangkan pahat membuat gerakan insutan dan gerak penyetulan. Lebar benda ditentukan oleh jarak antar tiang-tiang mesin. Panjang langkah mesin jenis ini ada yang mencapai 200 sampai 1000 mm.

B. Mekanisme Kerja Mesin Sekrap

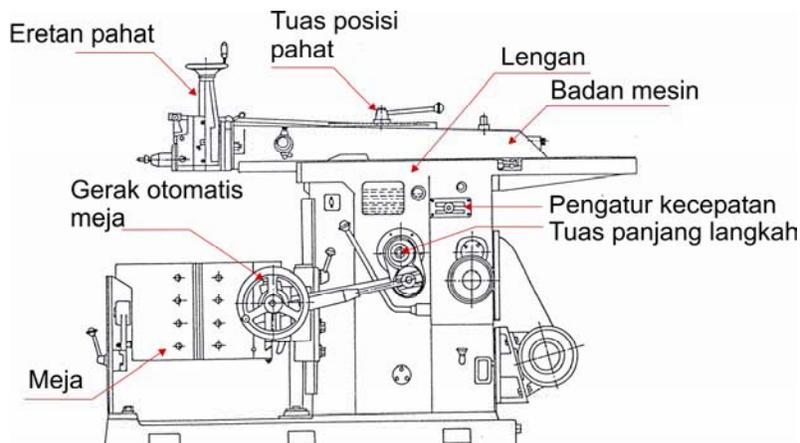
Mekanisme yang mengendalikan Mesin Sekrap ada dua macam yaitu mekanik dan hidrolis. Pada mekanisme mekanik digunakan *crank mechanism* (Gambar 9.4.). Pada mekanisme ini roda gigi utama (*bull gear*) digerakkan oleh sebuah pinion yang disambung pada poros motor listrik melalui *gear box* dengan empat, delapan, atau lebih variasi kecepatan. RPM dari roda gigi utama tersebut menjadi langkah per menit (*strokes per minute, SPM*). Gambar skematik mekanisme dengan sistem hidrolis dapat dilihat pada Gambar 9.4. Mesin dengan mekanisme sistem hidrolis kecepatan sayatnya dapat diukur tanpa bertingkat, tetap sama sepanjang langkahnya. Pada tiap saat dari langkah kerja, langkahnya dapat dibalikkan sehingga jika mesin macet lengannya dapat ditarik kembali. Kerugiannya yaitu penyetelan panjang langkah tidak teliti.



Gambar 9 4. Mekanisme Mesin Sekrap.

C. Nama Bagian Mesin Sekrap

a) Bagian utama mesin (lihat Gambar 9.5.)



Gambar 9 5. Bagian utama mesin.

Badan mesin

Merupakan keseluruhan mesin tempat mekanik penggerak dan tuas pengatur (Gambar 9.5.).

Meja mesin

Fungsinya merupakan tempat kedudukan benda kerja atau penjepit benda kerja. Meja mesin didukung dan digerakkan oleh eretan lintang dan eretan tegak. Eretan lintang dapat diatur otomatis (Gambar 9.5.).

Lengan

Fungsinya untuk menggerakkan pahat maju mundur. Lengan diikat dengan engkol menggunakan pengikat lengan. Kedudukan lengan di atas badan dan dijepit pelindung lengan agar gerakannya lurus (Gambar 9.5.).

Eretan pahat

Fungsinya untuk mengatur ketebalan pemakanan pahat. Dengan memutar roda pemutar maka pahat akan turun atau naik. Ketebalan pemakanan dapat dibaca pada *dial*. Eretan pahat terpasang di bagian ujung lengan dengan ditumpu oleh dua buah mur baut pengikat. Eretan dapat dimiringkan untuk penyekrapan bidang bersudut atau miring. Kemiringan eretan dapat dibaca pada pengukur sudut eretan (Gambar 9.5.).

Pengatur kecepatan

Fungsinya untuk mengatur atau memilih jumlah langkah lengan mesin per menit. Untuk pemakanan tipis dapat dipercepat. Pengaturan harus pada saat mesin berhenti (Gambar 9.5.).

Tuas panjang langkah

Berfungsi mengatur panjang pendeknya langkah pahat atau lengan sesuai panjang benda yang disekrap. Pengaturan dengan memutar tap ke arah kanan atau kiri (Gambar 9.5.).

Tuas posisi pahat

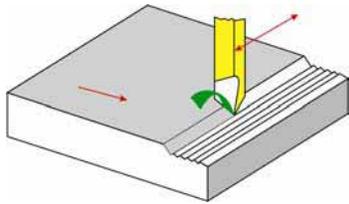
Tuas ini terletak pada lengan mesin dan berfungsi untuk mengatur kedudukan pahat terhadap benda kerja. Pengaturan dapat dilakukan setelah mengendorkan pengikat lengan (Gambar 9.5.).

Tuas pengatur gerakan otomatis meja melintang

Untuk menyekrap secara otomatis diperlukan pengaturan-pengaturan panjang engkol yang mengubah gerakan putar mesin pada roda gigi menjadi gerakan

lurus meja. Dengan demikian meja melakukan gerak insutan (*feeding*).

Alat potong



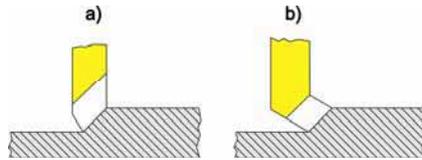
Gambar 9 6. Prinsip pemotongan.

1) Prinsip dasar pemotongan

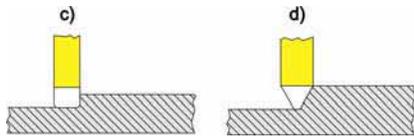
Pahat bergerak maju mundur, benda kerja bergerak ke arah melintang. Pemotongan hanya terjadi pada gerak langkah maju, pada saat langkah mundur benda kerja bergeser (Gambar 9.6.).

2) Bentuk pahat sekrap (Gambar 9.7.)

- a) pahat sekrap kasar lurus
- b) pahat sekrap kasar lengkung

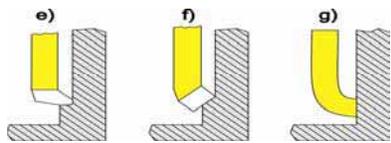


Gambar 9 7, Pahat sekrap kasar lurus dan melengkung.



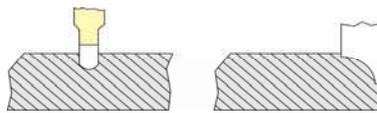
Gambar 9 8. Pahat sekrap datar dan runcing.

- c) pahat sekrap datar (Gambar 9.8.)
- d) pahat sekrap runcing (Gambar 9.8.)
- e) pahat sekrap sisi (Gambar 9.9.)



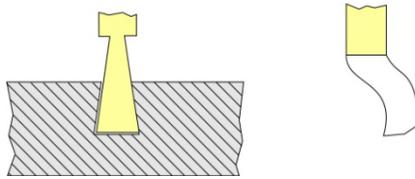
Gambar 9 9. Pahat sekrap sisi, sisi kasar dan sisi rata.

- f) pahat sekrap sisi kasar (Gambar 9.9.)
- g) pahat sekrap sisi datar (Gambar 9.9.)
- h) pahat sekrap profil (Gambar 9.10.)

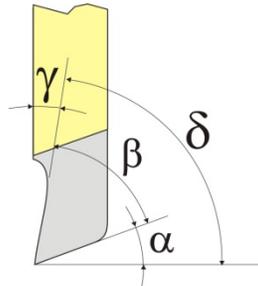


Gambar 9 10. Pahat sekrap profil.

- i) pahat sekrap masuk ke dalam atau pahat sekrap masuk ke luar lurus, (lihat Gambar 9.11).
- j) pahat sekrap masuk dalam atau pahat sekrap masuk ke luar diteruskan, (lihat Gambar 9.11)



Gambar 9 11. Pahat sekrap dalam lurus dan pahat luar.



Gambar 9 12. Sudut asah pahat.

3) Sudut asah pahat

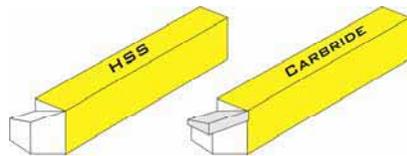
Sudut sudut pahat (Gambar 9.12.)

α = sudut bebas

β = sudut mata potong (baji)

γ = sudut buang

δ = sudut potong ($\alpha + \beta$)



Gambar 9 13. Jenis pahat sekrap.

4) Jenis bahan pahat

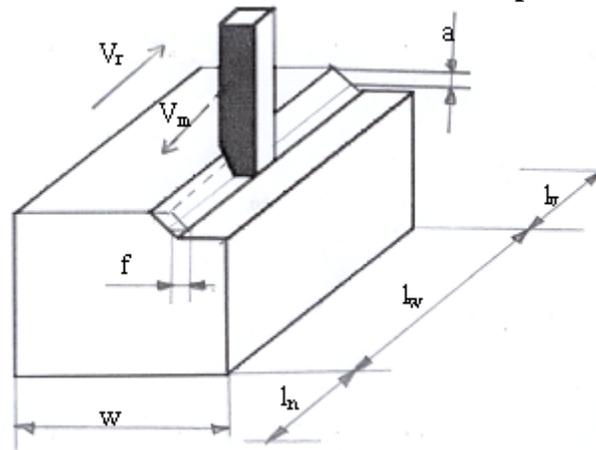
a) H.S.S (Gambar 9.13.)

Digunakan untuk memotong material yang mempunyai tegangan tarik tinggi.

b) Carbide (Gambar 9.13.)

Digunakan untuk benda-benda tuangan.

D. Elemen Dasar dan Perencanaan Proses Sekrap



Gambar 9 14. Proses sekrap.

Elemen Dasar Proses Sekrap

Elemen pemesinan dapat dihitung dengan rumus-rumus yang identik dengan elemen pemesinan proses pemesinan yang lain. Pada proses sekrap gerak makan (f) adalah gerakan pahat per langkah penyayatan, kecepatan potong adalah kecepatan potong rata-rata untuk gerak maju dan gerak kembali dengan perbandingan kecepatan = V_m/V_r . Harga $R_s < 1$. (Gambar 9.14.), Elemen dasar tersebut adalah :

- a. Kecepatan potong rata-rata :

$$v = \frac{n_p \cdot l_t \cdot (1 + R_s)}{2.1000}; \text{mm/menit} \dots\dots\dots(9.1)$$

$$l_t = l_v + l_w + l_n$$

n_p = jumlah langkah per menit

$$l_v \approx 20 \text{ mm}$$

$$l_n \approx 10 \text{ mm}$$

- b. Kecepatan makan :

$$v_f = f \cdot n_p; \text{mm/menit} \dots\dots\dots(9.2)$$

f = gerak makan ; mm/langkah

- c. Waktu pemotongan :

$$t_c = \frac{w}{v_f}; \text{menit} \dots\dots\dots(9.3)$$

- d. Kecepatan penghasiian beram :

$$Z = a \cdot f \cdot \bar{v}; \text{cm}^3/\text{menit} \dots\dots\dots(9.4)$$

Besar kecilnya kecepatan potong tergantung pada jenis material yang dipotong dan alat yang digunakan. Daftar kecepatan potong dapat dilihat pada tabel 9.1.

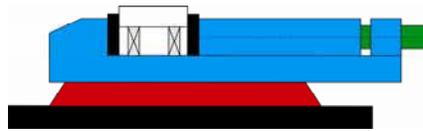
Cutting tool	Machine steel				Tool steel			
	Speed per minute		Feed		Speed per minute		Feed	
	ft	m	In.	mm	ft	m	In.	mm
H.S.S	80	24	.010	0.25	50	15	.015	0.38
Carbide	150	46	.010	0.25	150	46	.012	0.30
Cutting tool	Cast iron				Brass			
	Speed per minute		Feed		Speed per minute		Feed	
	ft	m	In.	mm	ft	m	In.	mm
H.S.S	60	18	.020	0.51	160	48	.010	0.25
Carbide	100	30	.012	0.30	300	92	.015	0.38

Tabel 9 1. *Shaper Speeds dan Feeds.*

Perencanaan Proses Sekrap

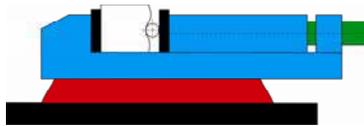
- a. Pencekaman benda kerja

Benda persegi yang kecil dapat dipasang pada ragum, (lihat Gambar 9.15.).



Gambar 9 15. Pencekaman benda kerja persegi.

Sebelum proses sekrap dilakukan perlu diperiksa kesejajaran garis ukuran yang akan disekrap dengan mulut ragum. Untuk mempermudah proses pensejajaran antara mulut ragum dan bagian yang akan disekrap digunakanlah parallel blok.

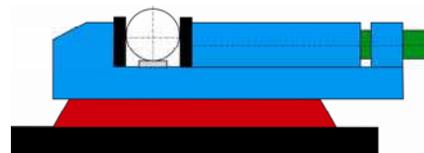


Gambar 9 16. Pencekam-an benda yang tidak rata.

Pencekaman benda kerja disesuaikan dengan *contour* permukaan benda kerja yang akan disekrap. Untuk mencekam benda kerja yang memiliki permukaan tidak beraturan atau tidak rata kita

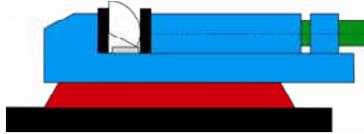
harus memasang dan menggajal benda kerja dengan besi bulat yang dapat menekan pada satu titik, (lihat Gambar 9.16).

Untuk menjepit benda kerja yang berbentuk tabung, ada kalanya di bagian bawah benda kerja diganjol dengan semacam pelat yang tipis atau bisa juga



Gambar 9 17. Pencekaman sumbu atau tabung.

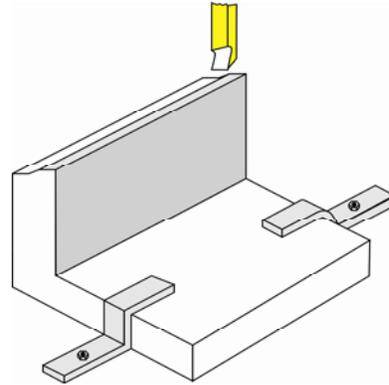
menggunakan parallel blok. (Gambar 9.17).



Gambar 9 18. Pengekaman benda segmen atau sektor.

Benda kerja yang mempunyai dimensi cukup besar dan tidak mungkin dicekam dengan ragum, dapat dicekam dengan klem menggunakan klem (Gambar 9.19.). Perhatikan posisi pengekleman benda kerja terhadap arah pemotongan.

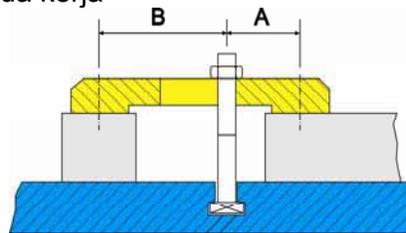
Selain itu, paralel blok yang ada juga bisa dimanfaatkan untuk sebagai landasan pada saat proses pengekaman benda kerja yang berbentuk segmen atau sektor (Gambar 9.18).



Gambar 9 19. Pengekleman benda kerja.

b. Syarat pengekleman benda kerja

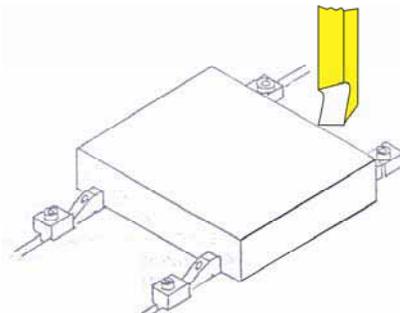
Ada beberapa syarat yang harus dipenuhi ketika kita melakukan pengekleman benda kerja (Gambar 9.20.)



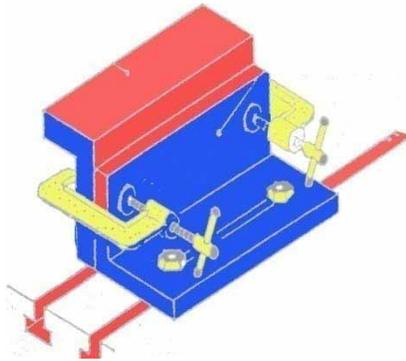
Gambar 9 20. Syarat pengekleman.

- 1) Klem harus horizontal
- 2) Jarak A harus lebih kecil dari B
- 3) Mur dan baut T harus terpasang dengan ukuran yang sesuai dengan alur meja.

Benda kerja besar yang akan dipotong seluruh permukaannya, biasanya diklem dengan klem samping (Gambar 9.21.). Jumlah klem yang digunakan tergantung besar kecilnya benda kerja.



Gambar 9 21. Klem samping.

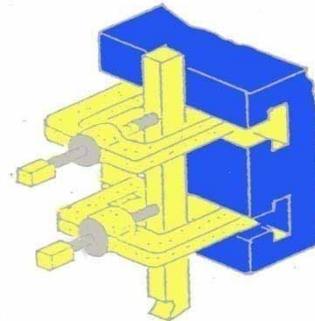


Gambar 9 22. Pengekleman benda dengan blok siku.

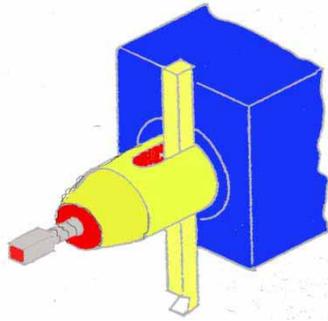
Blok siku juga bisa dipergunakan sebagai alat bantu pengekleman benda kerja (Gambar 9.22.). Caranya, blok siku diikat dengan baut T pada meja sekrap, kemudian benda kerja yang akan disekrap diklem dengan blok siku yang sudah terpasang pada meja sekrap.

c. Pencekaman alat potong

Pencekaman alat potong atau pahat pada Mesin Sekrap disesuaikan dengan ukuran mesindan meja mesin. Gambar 9.23 adalah cara pencekaman pahat pada Mesin Sekrap dengan ukuran yang besar.



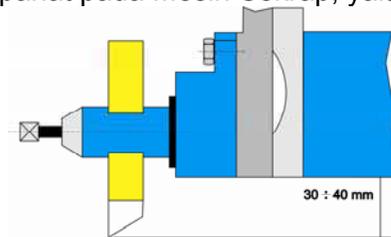
Gambar 9 23. Pencekaman Mesin Sekrap besar.



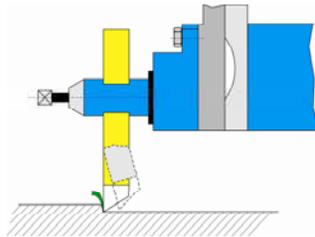
Gambar 9 24. Pencekaman pahat Mesin Sekrap kecil

- 1) Pahat dipasang pada rumah ayunan kira-kira 30 |40 mm keluar dari rumah ayunan, (lihat Gambar 9.25.). Pada posisi ini pahat cukup kuat untuk menahan beban potong.

Gambar 9.24 adalah pencekaman pahat pada Mesin Sekrap kecil. Yang perlu diingat pada saat mencekam pahat pada mesin sekrap, pahat diusahakan dicekam sekuat mungkin. Hal ini dikarenakan pada saat langkah pemakanan, pahat adalah salah satu bagian yang mengalami benturan (*impact*) terbesar dengan benda kerja. Ada beberapa hal yang harus diperhatikan dalam pemasangan pahat pada Mesin Sekrap, yaitu :



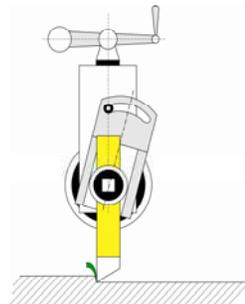
Gambar 9 25. Posisi pemasangan pahat.



Gambar 9 26. Keadaan pahat yang terlalu panjang.

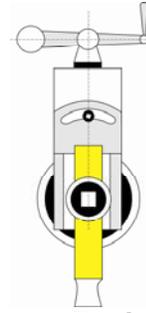
- 2) Pencekaman pahat diusahakan sependek mungkin. Dikarenakan, jika pemasangan pahat terlalu panjang, pada saat terjadi *impact* maka pahat akan menjadi lentur dan kemungkinan besar pahat akan patah, (Gambar 9.26.).

- 3) Pada saat langkah pemakanan, rumah ayunan pahat dimiringkan berlawanan arah dengan sisi potong pahat, (Gambar 9.27.).



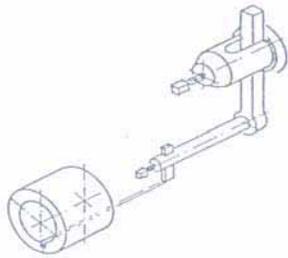
Gambar 9 27. Posisi rumah ayunan berlawanan dengan sisi potong pahat

- 4) Pada saat proses pembuatan alur pada benda kerja, rumah ayunan pahat dipasang tegak lurus terhadap sisi potong pahat. (Gambar 9.28.)



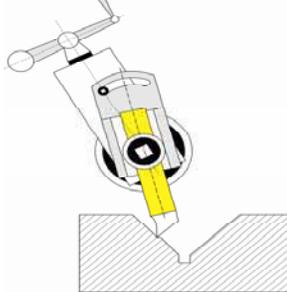
Gambar 9 28. Posisi rumah ayunan tegak lurus.

- 5) Pada proses pembuatan alur dalam, pahat harus mempergunakan alat bantu tambahan yaitu klem pemegang pahat, dengan alat ini memungkinkan pahat untuk membuat alur dengan kedalaman yang diinginkan, (Gambar 9.29.).

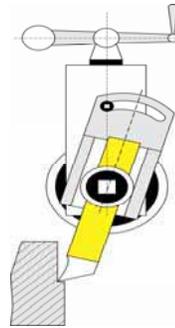


Gambar 9 29. Alat bantu pemegang pahat.

- 6) Pada saat langkah pemotongan sisi benda kerja, posisikan rumah ayunan dan pahat dalam keadaan miring/membuat sudut lancip terhadap benda kerja, (Gambar 9.30.).



Gambar 9 30. Posisi pahat pada pemotongan sudut.



Gambar 9 31. Posisi pahat pada pemotongan sisi.

- 7) Pada saat langkah pemakanan menyudut pada benda kerja, posisikan rumah ayunan dan pahat miring terhadap bidang yang akan disayat/membentuk

sudut lancip. (Gambar 9.31.)

d. Proses sekrap

Menjalankan mesin

Lengan digerakkan dengan cara memutar roda pemeriksa untuk melihat kemungkinan tertabraknya lengan

Menentukan banyak langkah per menit

Motor mesin dihidupkan

Dengan cara memasukkan tuas kopling mesin mulai bekerja

Mencoba langkah pemakanan (*feeding*) dari meja, mulai dari langkah halus sampai langkah kasar

Perhatikan seluruh gerak mesin

Menghentikan kerja mesin dilakukan dengan cara melepas tuas kopling kemudian matikan motor.

Proses penyekrapan

Penyekrapan datar

Penyekrapan bidang rata adalah penyekrapan benda kerja agar menghasilkan permukaan yang rata. Penyekrapan bidang rata dapat dilakukan dengan cara mendatar (horizontal) dan cara tegak (Vertical). Pada penyekrapan arah mendatar yang bergerak adalah benda kerja atau meja ke arah kiri kanan. Pahat melakukan langkah penyayatan dan ketebalan diatur dengan menggeser eretan pahat. Adapun langkah persiapan penyekrapan bidang mendatar yaitu :

- (1) Pemasangan benda kerja pada ragum
- (2) Pemasangan pahat rata
- (3) Pengaturan panjang langkah pahat
- (4) Pengaturan kecepatan langkah pahat
- (5) Pengaturan gerakan meja secara otomatis
- (6) *Setting* pahat terhadap benda kerja.

Penentuan ketebalan penyayatan pahat. Untuk pemakanan banyak digunakan pahat kasar. Besarnya *feeding* diambil = $\frac{1}{3}$ dari tebal pemakanan :

- (1) Kedalaman pemotongan dilakukan dari eretan alat potong
- (2) *Feeding* dilakukan oleh gerakan meja
- (3) Meja bergeser pada saat lengan luncur bergerak mundur.

Penyekrapan tegak

Pada penyekrapan tegak, yang bergerak adalah eretan pahat naik turun. Pengaturan ketebalan dilakukan dengan menggeser meja. Pahat harus diatur sedemikian rupa (menyudut) sehingga hanya bagian ujung saja yang menyayat dan bagian sisi dalam keadaan bebas. Tebal

pemakanan di atur tipis ± 50 mm.

Langkah kerja penyekrapan tegak sesuai dengan penyekrapan yang datar.

- (1) Kedalaman pemotongan dilakukan oleh gerakan meja
- (2) *Feeding* dilakukan oleh gerakan eretan alat potong.

Penyekrapan menyudut

Penyekrapan bidang menyudut adalah penyekrapan benda kerja agar menghasilkan permukaan yang miring/sudut. Pada penyekrapan ini yang bergerak adalah eretan pahat maju mundur.

Pengaturan ketebalan dilakukan dengan memutar eretan pahat sesuai dengan kebutuhan sudut pemakanan :

- (1) Kedalaman pemotongan dilakukan oleh gerakan meja
- (2) *Feeding* dilakukan oleh eretan alat pemotong.

Penyekrapan alur

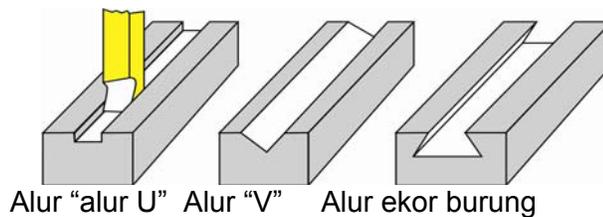
Menurut alur penyekrapan, Mesin Sekrap dapat digunakan untuk membuat alur :

- (1) Alur terus luar
- (2) Alur terus dalam
- (3) Alur buntu
- (4) Alur tembus.

Secara garis besar, pembuatan alur pada Mesin Sekrap harus memperhatikan beberapa hal sebagai berikut :

- (1) Pembuatan garis batas luar
- (2) Pengerjaan pahat
- (3) Pengerjaan pendahuluan.

Alur terus luar di antaranya adalah alur "U", alur "V", dan alur ekor burung.



Gambar 9 32. Penyekrapan alur luar.

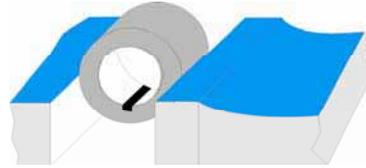
Penyekrapan alur "V" dan ekor burung merupakan penyekrapan yang paling rumit karena memerlukan ketekunan dan kesabaran. Prinsip pengerjaannya merupakan gabungan dari beberapa proses penyekrapan. Berhasil atau tidaknya pembuatan alur "V" dan ekor burung tergantung dari pengaturan eretan pahat, pengasahan sudut pahat dan pemasangan pahatnya. Pada penyekrapan alur ekor burung

atau alu "V" yaitu :

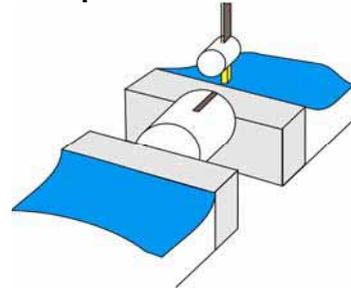
1. Diawali dengan penyekrapan alur biasa
2. Selanjutnya memasang pahat lancip
3. Mengatur eretan pahat
4. Mengatur posisi pahat
5. Lakukan secara hati-hati dan pemakanannya harus tipis.

Alur tembus dalam umumnya untuk alur pasak pada roda gigi atau *pully*. Untuk penyekrapan alur pasak memerlukan tangkai pemegang pahat (pemegang pahat tambahan) yang memungkinkan pahat masuk ke dalam lubang yang akan dibuat alur dalam.

Penyekrapan alur pasak luar yang buntu lebih rumit karena gerakan pahatnya terbatas. Untuk itu harus dibuat pengerjaan awal pada mesin bor atau frais. Batas alur pasak harus di buat dengan cara membuat lubang dengan *end mill* sesuai dengan ukuran lebar dan dalamnya alur. Agar pajang langkah terbatas, maka harus diatur terlebih dahulu sesuai dengan panjang alur. Penyekrapan dapat dilakukan bertahap apabila lebar alur melebihi lebar pahat yang digunakan.



Gambar 9 33. Penyekrapan alur pasak.



Gambar 9 34. Penyekrapan alur.



BAB 10

MENGENAL PROSES GERINDA (GRINDING)

Kemampuan menajamkan alat potong dengan mengasahnya dengan pasir atau batu telah ditemukan oleh manusia primitif sejak beberapa abad yang lalu. Alat pengikis digunakan untuk membuat batu gerinda pertama kali pada jaman besi, dan pada perkembangannya dibuat lebih bagus untuk proses penajaman. Di awal tahun 1900-an, penggerindaan mengalami perkembangan yang sangat cepat seiring dengan kemampuan manusia membuat butiran abrasif seperti silikon karbida dan aluminium karbida. Selanjutnya dikembangkan mesin pengasah yang lebih efektif yang disebut Mesin Gerinda. Mesin ini dapat mengikis permukaan logam dengan cepat dan mempunyai tingkat akurasi yang tinggi sesuai dengan bentuk yang diinginkan.

Mesin Gerinda adalah salah satu mesin perkakas yang digunakan untuk mengasah/memotong benda kerja dengan tujuan tertentu. Prinsip kerja Mesin Gerinda adalah batu gerinda berputar bersentuhan dengan benda kerja sehingga terjadi pengikisan, penajaman, pengasahan, atau pemotongan.



Gambar 10 1. Mesin Gerinda silindris.

A. Jenis-jenis Mesin Gerinda



Gambar 10 2. Mesin Gerinda datar.

1. Mesin Gerinda Datar

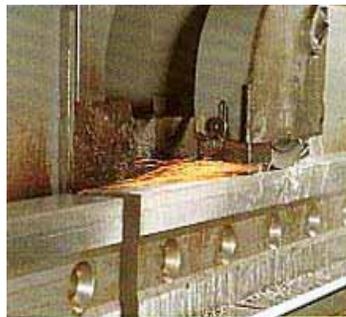
a. Pengertian

Penggerindaan datar adalah suatu teknik penggerindaan yang mengacu pada pembuatan bentuk datar, bentuk, dan permukaan yang tidak rata pada sebuah benda kerja yang berada di bawah batu gerinda yang berputar.

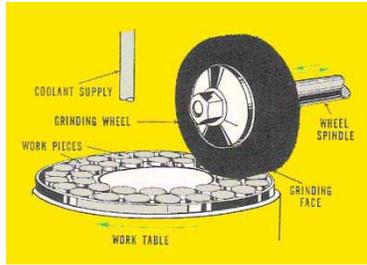
Pada umumnya Mesin Gerinda digunakan untuk penggerindaan permukaan yang meja mesinnya bergerak horizontal bolak-balik.

Benda kerja dicekam pada kotak meja magnetik, digerakkan maju-mundur di bawah batu gerinda. Meja pada Mesin Gerinda datar dapat dioperasikan secara manual atau otomatis. Berdasarkan sumbu utamanya, Mesin Gerinda datar dibagi menjadi 4 macam :

- 1) Mesin Gerinda datar horizontal dengan gerak meja bolak-balik, Mesin Gerinda ini digunakan untuk menggerinda benda-benda dengan permukaan rata dan menyudut, (lihat Gambar 10.3).



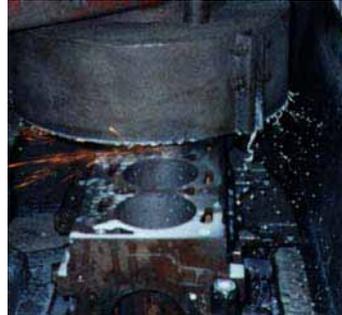
Gambar 10 3. Gerinda datar horizontal-meja bolak-balik.



Gambar 10 4. Mesin Gerinda datar horizontal-gerak meja berputar.

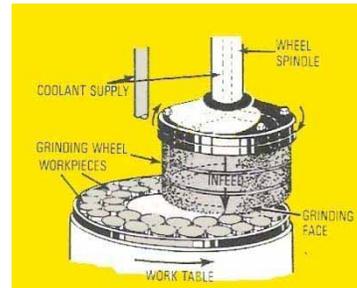
1. Mesin Gerinda datar horizontal dengan gerak meja berputar, mesin jenis ini dipergunakan untuk menggerinda permukaan rata poros, (lihat Gambar 10.4).

2. Mesin Gerinda datar vertical dengan gerak meja bolak-balik, mesin jenis ini digunakan untuk menggerinda benda-benda berpermukaan rata, lebar dan menyudut, (lihat Gambar 10.5).



Gambar 10 5. Mesin Gerinda datar vertical-gerak meja bolak-balik.

3. Mesin Gerinda datar vertical dengan gerak meja berputar, mesin jenis ini dipergunakan untuk menggerinda permukaan rata poros, (lihat Gambar 10.6).

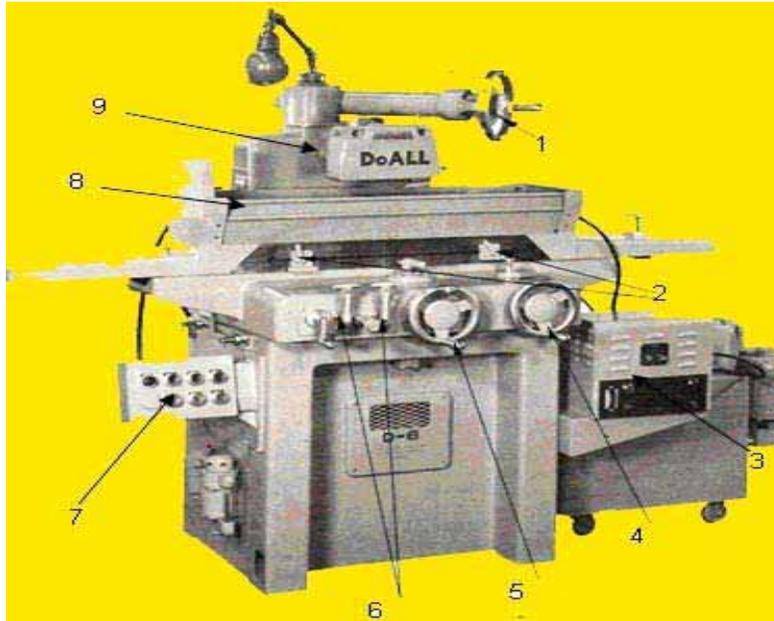


Gambar 10 6. Mesin Gerinda datar vertical-gerak meja berputar.

Berdasarkan prinsip kerjanya Mesin Gerinda datar dibagi menjadi 2 macam :

1. Mesin Gerinda datar semi otomatis, proses pemotongan dapat dilakukan secara manual (tangan) dan otomatis mesin.
2. Mesin Gerinda datar otomatis, proses pemotongan diatur melalui program (NC/*Numerical Control* dan CNC/*Computer Numerically Control*).

a. **Bagian-bagian utama Mesin Gerinda datar :**



Gambar 10 7. Mesin Gerinda datar.

Keterangan Gambar 10.7. :

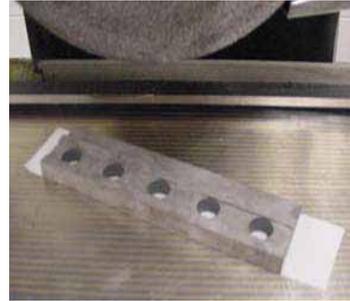
- 1) Spindel pemakanan batu gerinda
Penggerak pemakanan batu gerinda.
- 2) Pembatas langkah meja mesin
- 3) Sistem hidrolik
Penggerak langkah meja mesin.
- 4) Spindel penggerak meja mesin naik turun
- 5) Spindel penggerak meja mesin kanan-kiri
- 6) Tuas pengontrol meja mesin
- 7) Panel kontrol
Bagian pengatur prises kerja mesin.
- 8) Meja mesin
Tempat dudukan benda kerja yang akan digerinda.
- 9) Kepala utama
Bagian yang menghasilkan gerak putar batu gerinda dan

gerakan pemakanan.

b. Perlengkapan Mesin Gerinda datar :

1) Meja magnet listrik

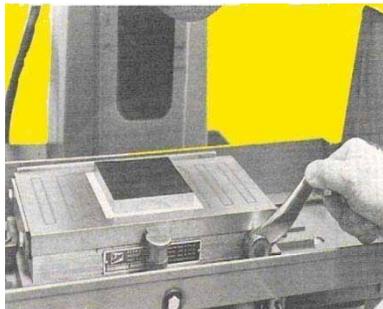
Pencekaman terjadi akibat adanya medan magnet yang ditimbulkan oleh aliran listrik (lihat Gambar 10.8). Pada Mesin Gerinda datar yang berfungsi sebagai pencekam benda kerja adalah meja mesin gerinda itu sendiri.



Gambar 10 8. Meja magnet listrik.

Adapun proses pencekaman benda kerja menggunakan meja magnet listrik, yaitu :

- a) Permukaan meja magnet dibersihkan dan magnet dalam posisi OFF. Benda kerja diletakkan pada permukaan meja magnet dan diatur pada posisi garis kerja medan magnet.
- b) Pencekaman menggunakan prinsip elektromagnetik. Batangan-batangan yang diujungnya diatur sehingga menghasilkan kutub magnet utara dan selatan secara bergantian bila dialiri arus listrik.
- c) Supaya aliran medan magnet melewati benda kerja digunakan logam *non ferro* yang disisipkan pada plat atas pencekam magnet.
- d) Melepas benda kerja dilakukan dengan memutuskan aliran listrik yang menuju pencekam magnet dengan menggunakan tombol *on/off*.



Gambar 10 9. Meja magnet permanen.

2. Meja magnet permanen

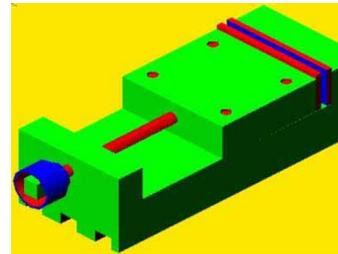
Pencekaman terjadi akibat adanya magnet permanen yang terdapat pada pencekam, (lihat Gambar 10.9). Pada Mesin Gerinda jenis ini, magnet yang mengalir meja bersifat permanen, proses pencekaman benda kerja menggunakan mesin yang dilengkapi dengan meja

jenis ini hampir sama dengan proses pencekaman benda kerja pada Mesin Gerinda datar pada umumnya. Akan tetapi ada beberapa hal yang membedakan mesin jenis ini dengan Mesin Gerinda pada umumnya, yaitu :

- a) Perbedaannya terletak pada sumber magnet yang telah dimiliki, tanpa menggunakan aliran arus listrik (lempengan magnet permanen).
- b) Lempengan-lempengan magnet permanen terletak di antara logam anti magnet yang dipasang di antara plat atas dan bawah.
- c) Plat atas mempunyai plat sisipan anti magnet yang berfungsi mengarahkan aliran medan magnet.
- d) Posisi tuas 'ON', posisi lempengan magnet sebidang dengan kutub sisipan di plat atas. Medan magnet mengalir dari kutub selatan ke kutub luar (plat atas) dan melewati benda kerja diteruskan ke kutub utara dan plat bawah sehingga benda kerja akan tercekam.
- e) Benda kerja diatur pada posisi garis kerja aliran medan magnet yang terdapat pada pencekam magnet.
- f) Posisi tuas 'OFF', aliran magnet dipindahkan karena lempengan magnet dan sisipan tidak segaris kerja aliran medan magnet. Plat atas dan sisipan akan menutupi aliran yang menuju ke benda kerja sehingga benda kerja tidak tercekam.

3) Ragum mesin presisi

Pencekaman menggunakan ragum mesin presisi adalah benda kerja yang semua bidang digerinda, di mana antara satu dengan yang lainnya saling tegak lurus dan sejajar, (lihat Gambar 10.10.).



Gambar 10.10. Ragum mesin presisi.

Adapun proses pengikatan/pencekaman benda kerja menggunakan ragum presisi sebagai berikut :

- a) Permukaan benda kerja yang dijepit oleh ragum ini menghasilkan bidang yang akan tergerinda dengan kesikuan dan kesejajaran yang baik.
- b) Ragum dicekam dengan menggunakan pencekam magnet dalam posisi yang bisa dirubah-rubah sesuai dengan pengerindaan yang diinginkan. Bidang-bidang dari ragum digunakan sebagai bidang dasar dan penahan.
- c) Permukaan bidang pencekam dan yang tercekam harus bersih dari kotoran-kotoran yang mengganggu pencekaman dan ketelitian pengerindaan.
- d) Untuk menggerinda benda kerja tegak lurus, ragum diputar 90° tanpa harus membuka penjepitan benda kerja, dengan syarat permukaan benda kerja lebih tinggi dari permukaan

rahang ragum.



Gambar 10.11. Ragum sinus.

4) Meja sinus

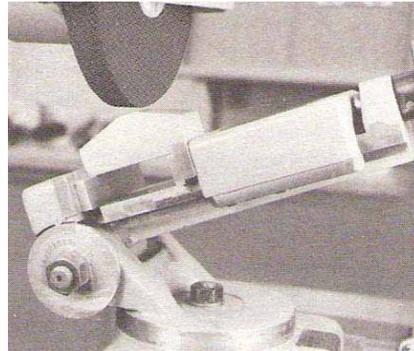
Meja sinus dapat digunakan untuk mencekam benda kerja dalam penggerindaan yang membentuk sudut dengan ketelitian mencapai detik, (lihat Gambar 10.11).

Adapun proses pencekaman benda kerja dengan ragum sinus sebagai berikut:

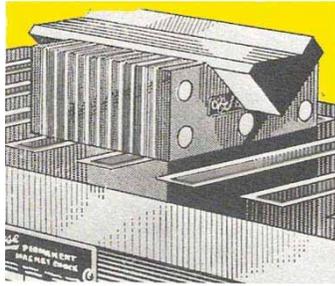
- a) Meja ini dicekam pada meja magnet
- b) Kemiringan sudut yang dikehendaki diatur dengan cara mengganjal pada bagian bawah memakai *slip-gauges*
- c) Benda kerja dipasang pada bidang atas meja sinus dengan sistem pencekaman meja magnet.

5) Meja sinus universal

Meja sinus universal digunakan untuk membentuk sudut kearah vertical dan kearah horizontal, (lihat Gambar 10.12).



Gambar 10.12. Meja sinus universal



Gambar 10.13. Blok penghantar magnet.

6) Blok penghantar magnet

Berfungsi untuk meneruskan aliran medan magnet dari sumber magnet ke benda kerja. Ada tiga bentuk standar blok penghantar, yaitu persegi, segitiga dan alur V atau Blok V, (lihat Gambar 10.13).

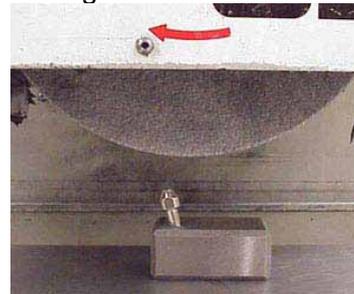
7) Pencekaman khusus

a) Blok penghantar medan magnet (*packing* berlapis), digunakan untuk mencekam benda kerja yang tidak memungkinkan dicekam langsung pada meja magnet.

b) Blok penghantar medan magnet beralur V, digunakan untuk mencekam benda kerja menyudut dengan sudut istimewa.

8) Pengasah batu gerinda (*dresser*)

Dresser digunakan untuk mengasah batu gerinda, (lihat Gambar 10.14). Adapun cara penggunaan *dresser* untuk mengasah batu gerinda sebagai berikut:



Gambar 10.14. Dresser

- Dresser* diletakkan di atas meja magnet tepat di bawah batu gerinda, sesuai tempat batu gerinda yang akan diasah
- Sentuhkan batu gerinda pada *dresser* dengan menaikkan meja mesin sedikit saja
- Saat menggerinda jangan lupa hidupkan pendingin agar batu gerinda tidak terjadi panas berlebih
- Dressing* dilakukan satu kali langkah sudah cukup untuk membersihkan batu gerinda dan menajamkannya.

c. Proses penggerindaan

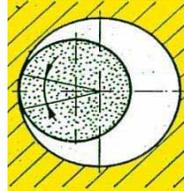
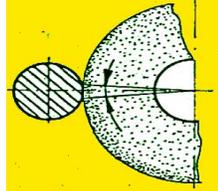
1) Pemilihan batu gerinda

Ada beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan dalam pemilihan batu gerinda yang akan dipergunakan pada proses penggerindaan, antara lain:

- Sifat fisik benda kerja, menentukan pemilihan jenis

butiran abrasive. Tegangan tarik tinggi – AL_2O_3 , tegangan tarik rendah – SiC, Boron nitrid dan intan.

- b) Banyaknya material yang harus digerinda dan hasil akhir yang diinginkan, menentukan pemilihan ukuran butiran abrasive.
- c) Busur singgung penggerindaan (Gambar 10.15.)
 Busur singgung besar → Batu gerinda lunak
 Busur singgung kecil → Batu gerinda keras.



Busur singgung kecil

Busur singgung besar

Gambar 10 15. Busur singgung.

- d) Kekerasan batu gerinda

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi tingkat kekerasan batu gerinda, yaitu :

- (1) Konstruksi mesin
- (2) Kecepatan potong benda kerja

Kecepatan potong adalah faktor yang berubah-ubah dan mempengaruhi dalam pemilihan tingkat kekerasan batu gerinda.

- e) Kecepatan putar batu gerinda

Secara teoritis kecepatan putar batu gerinda dapat dihitung menggunakan rumus :

$$n = \frac{V_c \times 1000 \times 60}{\pi \times d}$$

Di mana :

- n = kecepatan putar (rpm)
- V_c = kecepatan potong (m/det)
- d = diameter batu gerinda (mm)

Contoh 1 :

Sebuah batu gerinda berdiameter 120 mm, akan bekerja dengan kecepatan potong 20 m/det. Hitung berapa kecepatan putar batu gerinda mesin tersebut!

Jawab : $n = \frac{V_c \times 1000 \times 60}{\pi \times d}$

$$= \frac{20m/det \times 1000 \times 60}{3,14 \times 120mm}$$

$$= 3185 \text{ rpm}$$

Contoh 2 :

Sebuah batu gerinda berdiameter 275 mm mempunyai kecepatan putar batu gerinda 1700 rpm, hitung kecepatan potong batu gerinda!

Jawab : $V_c = \frac{\pi \times d \times n}{1000 \times 60}$

$$= \frac{3,14 \times 275mm \times 1700rpm}{1000 \times 60}$$

$$= 25 \text{ m/det.}$$

2. Mengoperasikan Mesin Gerinda datar

- a) Tekan saklar utama (*main switch*) pada posisi ON untuk menghidupkan mesin. Saklar utama ini berfungsi untuk menghubungkan aliran listrik dari jala-jala listrik dengan mesin, (lihat Gambar 10.16).



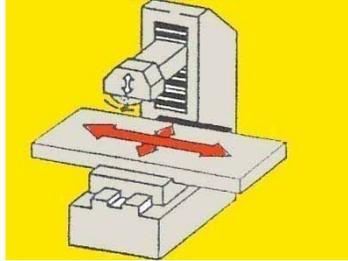
Gambar 10.16. Saklar Mesin Gerinda

- b) Tekan saklar pengendali sistem hidrolik, saklar ini akan meneruskan arus dari saklar utama, untuk menghidupkan pompa hidrolik. Tenaga yang dihasilkan dari sistem hidrolik pada mesin ini, digunakan untuk menggerakkan meja mesin ke arah melintang (Gambar 10.16).
- c) Tekan tombol ON pada panel utama, sehingga motor batu gerinda akan berputar, hasil putaran motor inilah yang akan menggerakkan batu gerinda (Gambar 10.16).

3. Gerakan utama Mesin Gerinda datar :

Prinsip kerja utama dari Mesin Gerinda datar adalah gerakan bolak-balik benda kerja, dan gerak rotasi dari *tool*. Dilihat dari prinsip kerja utama mesin tersebut, Mesin Gerinda datar secara garis besar mempunyai tiga gerakan utama, yaitu :

- a) Gerak putar batu gerinda
- b) Gerak meja memanjang dan melintang
- c) Gerak pemakanan.



Gambar 10 17. Gerak arah meja.

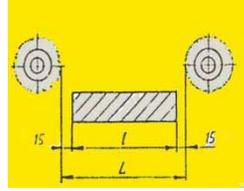
4. Metode penggerindaan :

Pada proses kerja pemesinan gerinda datar, ada dua metode penggerindaan yang sering dilakukan. Selain dirasa lebih efisien, metode tersebut juga mempermudah operator mesin dalam *setting* pergerakan mesin, selain itu kedua metode tersebut secara teoritis juga disesuaikan dengan bentuk (*contour*) dari benda kerja. Adapun metode penggerindaan yang sering digunakan, yaitu :

a) Penggerindaan keliling

Metode penggerindaan ini sangat cocok untuk penggerindaan permukaan, alur dan pasak. Dengan metode penggerindaan keliling ini, sebelum mesin kita jalankan, kita perlu mengatur langkah pergerakan mesin. Langkah pergerakan mesin bisa kita atur dengan cara sebagai berikut :

- (1) Pengaturan langkah meja pada penggerindaan keliling
Pengaturan langkah meja adalah menentukan jarak gerakan memanjang meja, yaitu jarak bebas sebelum proses pemakanan benda kerja dan jarak setelah pemakanan benda kerja.



Gambar 10 18. Langkah memanjang.

Dari gambar ilustrasi di samping, (lihat Gambar 10.19) panjang gerakan memanjang meja Mesin Gerinda datar (L), secara teoritis bisa dihitung menggunakan rumus :

$$L = l + (2.15) \text{ mm}$$

Di mana:

L = panjang gerak memanjang (mm)

l = panjang benda kerja (mm)

15 = jarak ujung batu gerinda terhadap ujung benda kerja (mm)

(2) Pengaturan langkah gerak melintang

Pengaturan langkah gerak melintang meja adalah menentukan jarak gerakan melintang meja, yaitu jarak bebas sebelum proses pemakanan benda kerja dan jarak setelah pemakanan benda kerja.

Dari Gambar ilustrasi di samping, (lihat Gambar 10.20) jarak melintang dari Mesin Gerinda datar bisa dihitung menggunakan rumus:

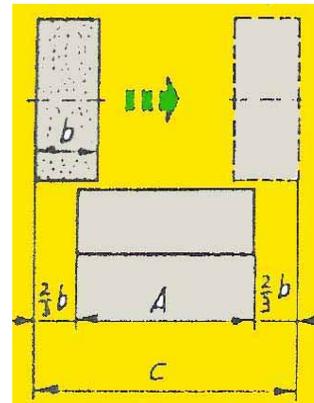
$$c = A + (4/3 \cdot b) \text{ mm}$$

Di mana:

c = panjang gerak melintang (mm)

A = lebar benda kerja (mm)

b = tebal batu gerinda (mm)



Gambar 10 19. Panjang langkah melintang

(3) Menghitung waktu kerja mesin :

Waktu kerja mesin adalah waktu yang dibutuhkan oleh mesin untuk menyelesaikan satu proses penggerindaan. Waktu kerja mesin bisa dihitung dengan menggunakan rumus :

$$t_m = \frac{2 \times L \times i}{v \times 1000}$$

Waktu pengerindaan tanpa pemakanan ke

$$tm = \frac{2 \times L \times B \times i}{v \times 1000 \times s}$$

Waktu pengerindaan dengan pemakanan ke

Di mana:

l = panjang benda kerja (mm)

L = panjang pengerindaan (mm)

i = jumlah pemakanan

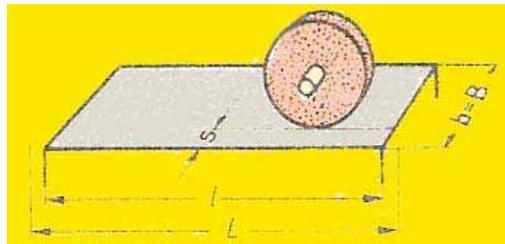
v = kecepatan gerak meja (m/menit)

b = tebal benda kerja (mm)

B = tebal pengerindaan/ $B = b$ (mm)

s = pemakanan menyamping (mm/langkah)

Agar lebih jelas perhatikan Gambar 10.20 berikut ini beserta contoh-contoh soal.



Gambar 10 20. Pengerindaan keliling.

Contoh :

Sebuah besi kotak, panjang 190 mm dan lebar 150 mm yang akan digerinda. Dengan jumlah pemakanan 4 kali, lebar batu gerinda 20 mm, pemakanan ke samping 6 mm/langkah, kecepatan gerak meja 2 m/menit. Hitung waktu pengerindaan!

Jawab :

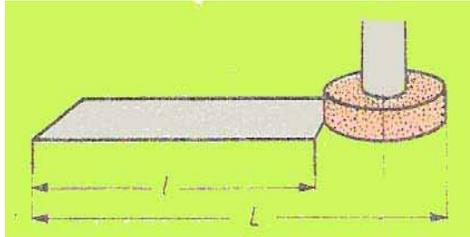
$$B = b = 150 \text{ mm};$$

$$L = l + 2 \times 5 \text{ mm} = 190 + 10 \text{ mm} \\ = 200 \text{ mm}$$

$$tm = \frac{2 \times L \times B \times i}{v \times 1000 \times s} \\ = \frac{2 \times 200 \text{ mm} \times 150 \text{ mm} \times 4}{2 \text{ m / mnt} \times 1000 \times 6 \text{ mm}} \\ = 20 \text{ menit}$$

b) Penggerindaan muka (depan)

Penggerindaan muka/depan memiliki keuntungan lebih jika dibandingkan dengan penggerindaan keliling. Penggerindaan muka secara teoritis memiliki waktu mesin yang lebih cepat dibandingkan penggerindaan keliling. Hal ini bisa kita lihat dengan perhitungan di bawah ini :



Gambar 10 21. Penggerindaan muka.

Contoh :

Sebuah besi kotak memiliki panjang 750 mm yang akan digerinda dengan 4 kali pemakanan. Kecepatan gerak meja 2 m/menit. Hitung waktu penggerindaan!

Jawab:

$$L = l + \text{diameter batu gerinda}$$

$$L = 750 \text{ mm} + 150 \text{ mm} = 900 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} tm &= \frac{2 \times L \times B \times i}{v \times 1000 \times s} \\ &= \frac{2 \times 900 \text{ mm} \times 4}{2 \text{ m / mnt} \times 1000} \\ &= 3,6 \text{ menit} \end{aligned}$$

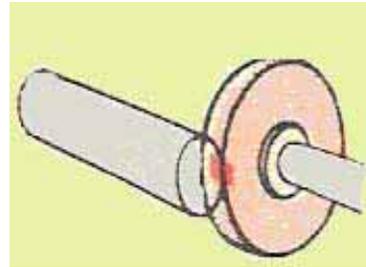
5. Mesin Gerinda Silindris

a. Pengertian

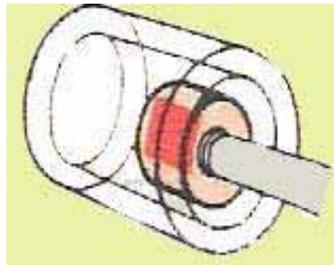
Mesin Gerinda silindris adalah alat pemesinan yang berfungsi untuk membuat bentuk-bentuk silindris, silindris bertingkat, dan sebagainya. Berdasarkan konstruksi mesinnya, Mesin Gerinda silindris dibedakan menjadi empat macam, yaitu :

1) Gerinda silindris luar

Mesin Gerinda silindris luar berfungsi untuk menggerinda diameter luar benda kerja yang berbentuk silindris dan tirus.



Gambar 10 22. Gerinda silindris luar.



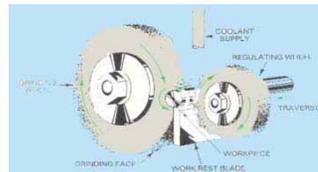
Gambar 10 23. Gerinda silindris dalam.

3) Mesin Gerinda silinder luar tanpa center (*centreless*)

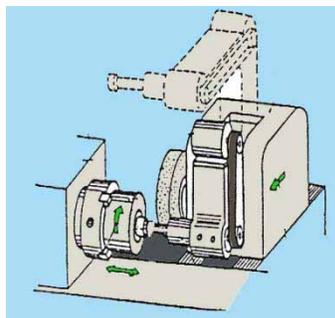
Mesin Gerinda silindris jenis ini digunakan untuk menggerinda diameter luar dalam jumlah yang banyak/massal baik panjang maupun pendek.

2) Mesin gerinda silindris dalam

Mesin Gerinda silindris jenis ini berfungsi untuk menggerinda benda-benda dengan diameter dalam yang berbentuk silindris dan tirus.



Gambar 10 24. Gerinda silindris luar tanpa center.

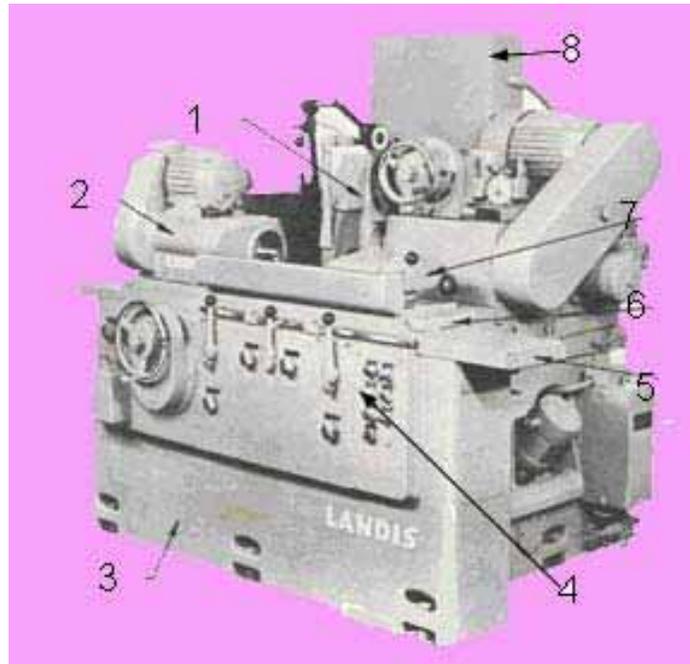


Gambar 10 25. Gerinda silindris universal.

4) Mesin Gerinda silindris universal

Sesuai namanya, Mesin Gerinda jenis ini mampu untuk menggerinda benda kerja dengan diameter luar dan dalam baik bentuk silindris.

b. Bagian-bagian utama Mesin Gerinda silindris :

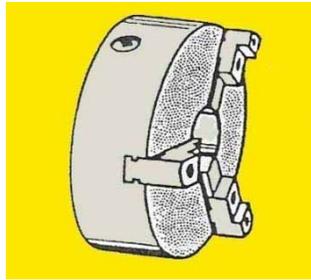


Gambar 10 26. Mesin erinda silindris

Keterangan gambar :

- 1) Kepala utama
Bagian yang menghasilkan gerak putar batu gerinda.
- 2) Spindel utama benda kerja (*workhead*)
Bagian yang mengatur kecepatan putar dan pencekaman benda kerja.
- 3) Kaki mesin
Sebagai pendukung mesin
- 4) Panel kontrol
Bagian pengatur proses kerja mesin
- 5) Meja bawah
Dudukan meja atas
- 6) Meja atas
Tempat dudukan kepala lepas di spindel utama benda kerja dan dapat diatur sudutnya.
- 7) Kepala lepas (*tailstock*)
Menyangga benda kerja pada pencekaman diantara dua senter.
- 8) Perlengkapan pendingin
Tempat pengatur aliran cairan pendingin

c. Perlengkapan Mesin Gerinda silindris



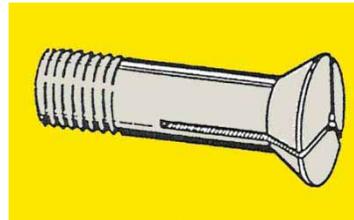
Gambar 10.27.
Cekam rahang tiga

1) Cekam rahang tiga

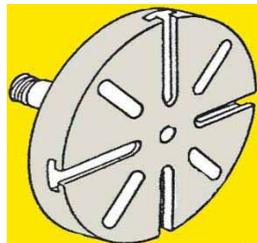
Cekam rahang tiga universal ini digunakan untuk mencekam benda kerja pada saat penggerindaan. Cekam ini dihubungkan langsung dengan motor penggerak.

2) Collet

Collet pada Mesin Gerinda silinder berfungsi untuk mencekam benda kerja dengan permukaan yang halus.



Gambar 10.28. Collet



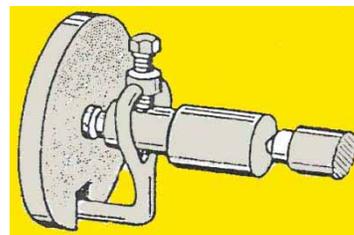
Gambar 10.29. Face plate.

3) Face Plate

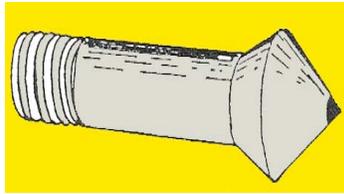
Face plate pada Mesin Gerinda silinder digunakan untuk menggerinda permukaan diameter dalam benda kerja. Face plate juga bisa berfungsi sebagai pengganti ragum (*chuck*).

4) Pembawa (*lathe dog*)

Pembawa pada Mesin Gerinda silindris digunakan untuk mencekam benda kerja pada pengekaman diantara dua senter.



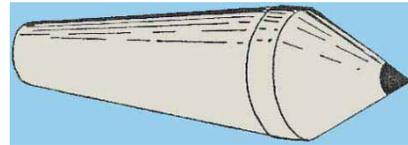
Gambar 10.30. Pembawa



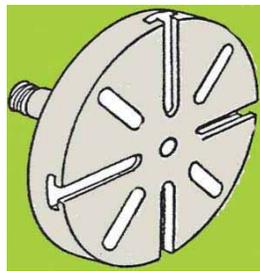
Gambar 10.31.
Senter dengan ulir.

6) Senter tanpa ulir

Senter tanpa ulir ini berfungsi sebagai penumpu benda kerja.



Gambar 10.32. Senter tanpa ulir.



Gambar 10.33.
Cekam magnet.

5) Senter dengan ulir

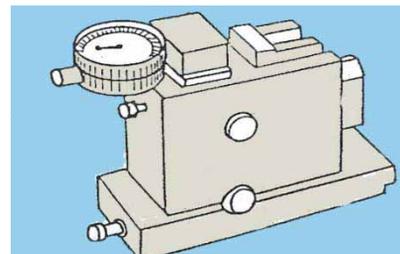
Pada Mesin Gerinda silinder alat ini berfungsi sebagai senter penyangga dan dipasang pada spindel utama benda kerja untuk pengekaman di antara dua senter.

7) Cekam magnet

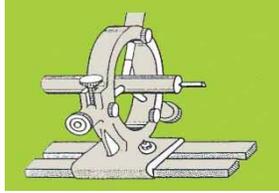
Cekam magnet pada mesin ini berfungsi untuk mengikat benda kerja berdiameter agak besar tetapi pendek. Cekam magnet ini mempunyai prinsip kerja yang hampir sama dengan meja pada Mesin Gerinda datar.

8) *Dial Indicator*

Dial indicator pada mesin ini digunakan untuk mengoreksi kemiringan meja mesin.



Gambar 10.34. *Dial Indicator*.



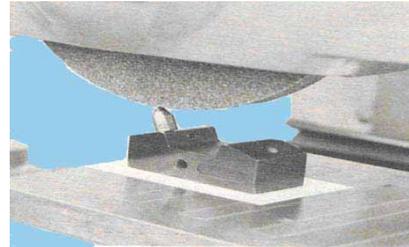
Gambar 10.35. Penyangga.

9) Penyangga tetap (*Fix Steady*)

Penyangga tetap ini berfungsi untuk menumpu benda kerja yang cukup panjang, pada saat proses penggerindaan.

10) Pengasah batu gerinda (*dresser*)

Dresser digunakan untuk mengasah batu gerinda. *Dresser* ada dua macam, yaitu *dresser* dengan intan tunggal dan *dresser* dengan butiran intan yang disatukan.



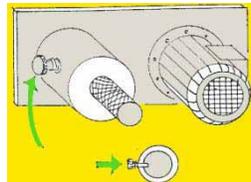
Gambar 10.36. *Dresser*

d. Pencekaman benda kerja pada Mesin Gerinda silindris

Pencekaman adalah proses pengikatan benda kerja sebelum proses pengerjaan, pengikatan ini bertujuan agar pada saat proses pengerjaan, benda kerja tidak lepas karena adanya putaran mesin. Berikut ini adalah cara pencekaman benda kerja, dengan menggunakan alat cekam yang *support* dengan Mesin Gerinda silindris.

1) Memasang dan melepas benda kerja pada sistem pencekaman cekam rahang tiga.

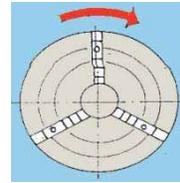
a) Untuk menghindari kerusakan ulir spindel utama benda kerja dan cekam, bersihkan ulir dengan baik.



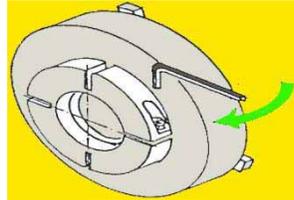
Gambar 10.37. Pena pengunci.

b) Tekan pena pengunci ketika memasang cekam, agar spindel utama tidak berputar (Gambar 10.37.).

- c) Cekam rahang tiga dipasang pada spindel utama benda kerja dengan cara memutar searah jarum jam (Gambar 10.38).



Gambar 10.38. Cekam rahang tiga.



Gambar 10.39. Kunci ring leher cekam.

- d) Kunci ring pengikat pada leher cekam dengan kuat untuk menghindari lepasnya cekam pada saat motor dijalankan (lihat Gambar 10.39).

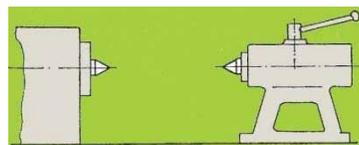
- e) Memasang benda kerja dapat dilakukan dengan memutar lubang kunci cekam searah jarum jam, dan sebaliknya untuk melepasnya, (Gambar 10.40).



Gambar 10.40. Melepas benda kerja.

2) Memasang dan melepas benda kerja pada sistem pencekaman diantara dua senter

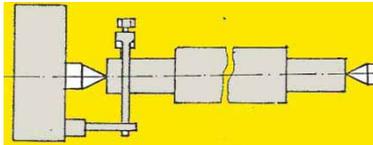
- a) Lubang poros spindel utama benda kerja, senter, dan lubang poros kepala lepas harus dibersihkan dengan baik.



Gambar 10.41. Pemasangan senter kepala lepas.

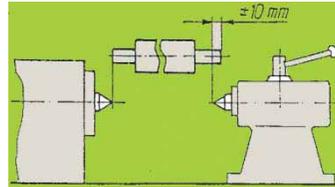
- b) Senter dipasang pada spindel utama benda kerja dan kepala lepas. Kemudian pasang pin pembawa pada poros spindel utama benda kerja (Gambar 10.41.).

c) Benda kerja diikat salah satu ujungnya dengan menggunakan alat pembawa (*Lathe dog*) (Gambar 10.42).



Gambar 10.42.

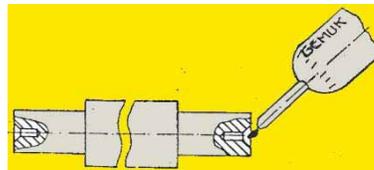
Pencekaman *lathe-dog*.



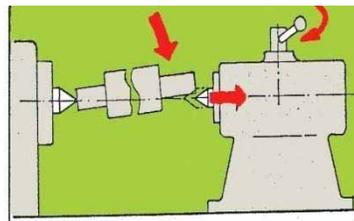
Gambar 10.43.
Pengaturan jarak.

d) Jarak antara senter spindle utama benda kerja dan senter kepala lepas harus diatur lebih pendek (± 10 mm) dari panjang benda kerja (Gambar 10.43.).

e) Untuk menghindari panas akibat gesekan, lumasi kedua lubang senter benda kerja dengan oli, (lihat Gambar 10.44.).



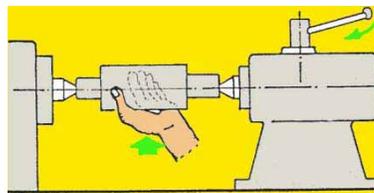
Gambar 10.44. Pelumasan



Gambar 10.45.
Pemasangan benda kerja.

f) Pemasangan benda kerja diantara dua senter dengan cara tuas pengatur pegas ditarik sehingga benda kerja dapat terpasang diantara dua senter. Perhatikan posisi alat pembawa, (lihat Gambar 10.45.).

g) Untuk melepas benda kerja dari cekaman dapat dilakukan dengan cara memegang benda kerja dengan tangan kemudian tuas pengatur tekanan

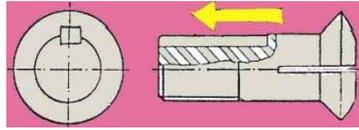


Gambar 10.46.
Pelepasan benda kerja.

senter ditarik sehingga benda kerja terbebaskan dari pencekaman, (lihat Gambar 10.46.).

3) Memasang dan melepas benda kerja pada sistem pencekaman *collet*

- a) Memilih collet dengan toleransi ukuran benda kerja yang akan dicekam. Membersihkan *collet*, lubang poros spindel utama benda kerja dengan baik.

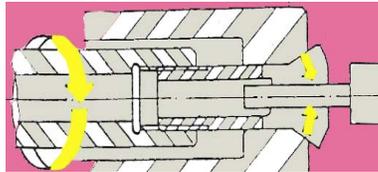


Gambar 10.47.
Penempatan

- b) Pemasangan *collet* dapat dilakukan dengan cara menempatkan alur pasak pada *collet* dengan pasak yang terdapat pada lubang

poros spindel utama benda kerja sehingga *collet* dapat masuk ke dalam lubang poros spindel utama benda kerja, (lihat Gambar 10.47.).

- c) Benda kerja dimasukkan pada lubang pedekaman *collet* semaksimal mungkin. Kemudian pasang batang penarik (*drawbar*), kunci poros



Gambar 10.48.
Pencekaman pada *collet*.

spindel utama benda kerja, dan putar batang penarik sampai benda kerja tercekam dengan baik, (lihat Gambar 10.48.).

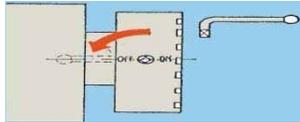


Gambar 10.49.
Pelepasan pencekaman.

- d) Melepas pencekaman benda kerja dapat dilakukan dengan mengendorkan batang penarik, (Gambar 10.49.).

4) Memasang dan melepas benda kerja pada sistem pencekaman magnet

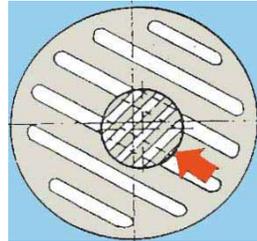
- a) Pemasangan cekam magnet sama dengan pemasangan cekam rahang tiga.



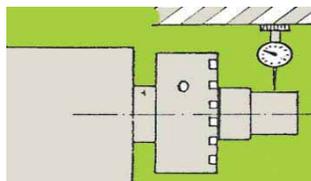
Gambar 10.50.
Pencekaman magnet.

b) Pencekam magnet diatur pada posisi OFF (Gambar 10.50).

c) Atur posisi benda kerja ditengah-tengah pencekam magnet dan atur pencekam magnet pada posisi ON (Gambar 10.51).



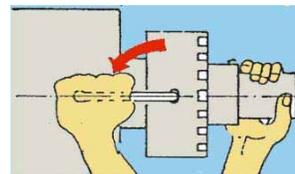
Gambar 10.51.
Pencekaman benda kerja.



Gambar 10.52. Penggunaan *dial indicator*

d) Untuk mendapatkan kesumbuan benda kerja yang baik, gunakan *dial indicator* (Gambar 10.52.).

Melepas benda kerja dengan cara, pegang benda kerja dengan tangan, kemudian atur pencekam pada posisi OFF, (lihat Gambar 10.53).

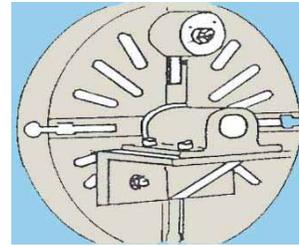


Gambar 10.53. Pelepasan

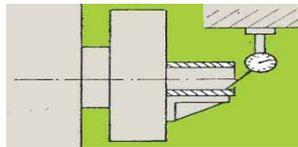
5) Memasang dan melepas benda kerja pada sistem pencekaman plat pencekam (*face-plate*)

(a) Pemasangan plat pencekam sama dengan pemasangan cekam rahang tiga.

(b) Pencekaman benda kerja dilakukan dengan cara menempatkan benda kerja dipermukaan plat cekam dengan menggunakan klem, mur serta baut yang terdapat pada alur T pada plat cekam, (lihat Gambar 10.54.).



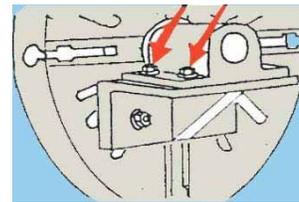
Gambar 10.54.
Pencekaman benda kerja.



Gambar 10.55.

Penggunaan *dial indicator*. Melepas benda kerja dilakukan dengan cara mengendorkan mur-mur dan klem pencekam sehingga benda kerja terlepas dari pencekaman, (lihat Gambar 10.56).

(c) Untuk mendapatkan kesenteran benda kerja yang baik, gunakan *dial indicator*, (Gambar 10.55.).



Gambar 10.56.
Pelepasan benda kerja.

e. Proses pemesinan

1) Pemilihan batu gerinda

Ada beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan dalam pemilihan batu gerinda yang akan digunakan, antara lain:

- a) Sifat fisik benda kerja, menentukan pemilihan jenis butiran abrasive. Tegangan tarik tinggi – AL_2O_3 , tegangan tarik rendah – SiC, Boron nitrid dan intan.
- b) Banyaknya material yang harus dipotong dan hasil akhir yang diinginkan, menentukan pemilihan ukuran butiran abrasive.
- c) Busur singgung penggerindaan
Busur singgung besar → Batu gerinda lunak,
Busur singgung kecil → Batu gerinda keras.

2) Faktor yang mempengaruhi tingkat kekerasan batu gerinda :

- a) Kecepatan putar batu gerinda
- b) Kecepatan potong benda kerja
- c) Konstruksi mesin

Kecepatan potong adalah faktor yang berubah-ubah dan mempengaruhi dalam pemilihan tingkat kekerasan batu gerinda.

f. Perhitungan teoritis pada Mesin Gerinda silindris

1) Menghitung kecepatan putar batu gerinda

Kecepatan putar batu gerinda secara teoritis dapat dihitung dengan rumus :

$$n = \frac{v_c \times 1000 \times 60}{\pi \times d} (rpm)$$

Di mana :

n = kecepatan putar (rpm)

V_c = kecepatan potong (m/det)

d = diameter batu gerinda (mm)

Contoh :

Sebuah batu gerinda dengan diameter 100 mm, kecepatan potong 10 m/det. Hitung kecepatan putar batu gerinda!

Jawab :

$$\begin{aligned} n &= \frac{v_c \times 1000 \times 60}{\pi \times d} \\ &= \frac{10m/det \times 1000 \times 60}{3,14 \times 100mm} \\ &= 1910 \text{ rpm} \end{aligned}$$

2) Menghitung kecepatan putar benda kerja.

Kecepatan putar benda kerja secara teoritis dapat dihitung dengan rumus :

$$n_w = \frac{v_w \times 1000}{\pi \times d} (rpm)$$

Di mana :

n_w = kecepatan putar benda kerja (rpm)

V_w = kecepatan potong benda kerja (m/mnt).

d = diameter benda kerja (mm)

Contoh:

Sebuah poros dengan diameter 50 mm yang akan digerinda dengan kecepatan potong 15m/menit. Hitung kecepatan putar batu gerinda!

Jawab :

$$\begin{aligned}
 n_w &= \frac{v_w \times 1000}{\pi \times d} \\
 &= \frac{15 \text{ m/menit} \times 1000}{3,14 \times 20 \text{ mm}} \\
 &= 239 \text{ rpm}
 \end{aligned}$$

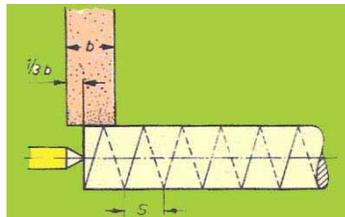
3) Menghitung kecepatan gerak meja (*feeding*) pada Mesin Gerinda silindris.

Kecepatan gerak meja Mesin Gerinda silindris secara teoritis dapat dihitung dengan rumus :

$$L_s = n_w \times s$$

Di mana :

- L_s = kec. gerak meja (m/mnt)
- n_w = kec. putar benda kerja (rpm)
- S = kec. pemotongan setiap putaran benda kerja (m/putaran).



Gambar 10.57. Gerak pemakanan.

Contoh :

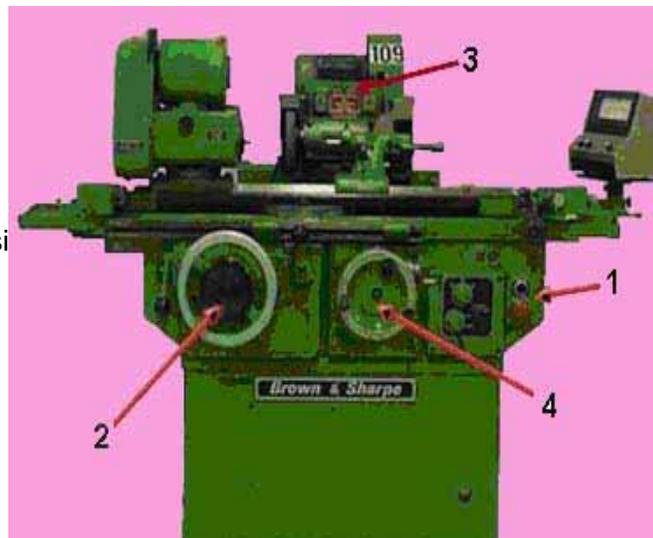
Sebuah poros akan digerinda dengan kecepatan putar benda kerja 250 rpm, kecepatan pemotongan setiap putaran 0,02 m/putaran. Hitung kecepatan gerak meja!

Jawab :

$$\begin{aligned}
 L_s &= n_w \times s \\
 &= 250 \text{ rpm} \times 0,02 \text{ m/ putaran} \\
 &= 5 \text{ m/menit}
 \end{aligned}$$

g. Mengoperasikan Mesin Gerinda silindris

Teknik Pemesi



Gambar 10.58. Langkah mengoperasikan Mesin Gerinda silindris.

- 1) Sakelar utama
Langkah pertama sakelar utama di"ON" kan pada saat akan menghidupkan mesin. Bagian ini berfungsi menghubungkan aliran listrik dari jala-jala listrik ke mesin.
- 2) Spindel gerakan meja
Atur spindel gerakan meja dengan memutar searah putaran jarum jam, atur panjang langkah meja sesuai panjang benda kerja, maka secara otomatis poros spindel utama benda kerja berputar.
- 3) Tombol batu gerinda
Tekan sakelar batu gerinda untuk menggerakkan batu gerinda.
- 4) Spindel meja melintang
Putar spindel meja melintang untuk melakukan pemakanan penggerindaan.

h. Gerakan-gerakan utama

Mesin Gerinda silindris memiliki empat gerakan utama pada saat beroperasi, yaitu:

- 1) Gerak meja memajang
- 2) Gerak putar benda kerja
- 3) Gerak putar batu gerinda
- 4) Gerak pemakanan

i. Aksi pemotongan

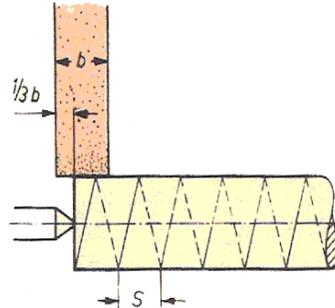
Adalah aksi yang timbul pada saat batu gerinda yang berputar menyentuh permukaan benda kerja. Aksi pemotongan dilakukan oleh beribu-ribu sisi potong butiran

pemotong dengan putaran tinggi.

j. Metode penggerindaan pada Mesin Gerinda silindris

1) Penggerindaan diameter luar

a) Penggerindaan memanjang diameter luar silindris diantara dua senter



Gambar 10.59.

Penggerindaan memanjang diameter luar silindris di antara 2 senter.

Langkah meja pada saat pengerjaan benda kerja dengan metode ini, secara teoritis dapat dihitung dengan rumus :

$$L = l + 2/3.b$$

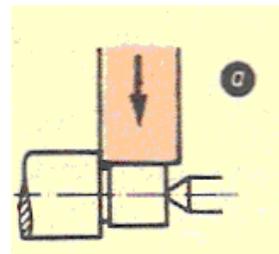
Di mana:

L = panjang gerak meja mesin

l = panjang benda kerja

b = tebal batu gerinda

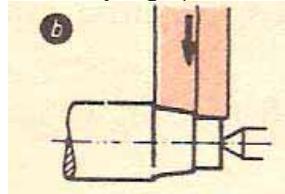
b) Penggerindaan tegak lurus, digunakan pada penggerindaan silindris, konis dan bertingkat. Panjang bidang yang akan digerinda tidak melebihi tebal batu gerinda.



Gambar 10.60.

Penggerindaan tegak lurus.

Pada penggerindaan ini tidak ada gerakan memanjang, (Gambar 10.60.).



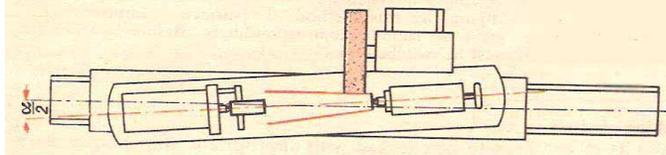
Gambar 10.61.

Penggerindaan bentuk.

c) Penggerindaan bentuk, prinsipnya sama dengan penggerindaan tegak lurus, perbedaannya terletak pada bentuk batu gerinda yang dibentuk, (Gambar 10.61.).

d) Penggerindaan tirus luar

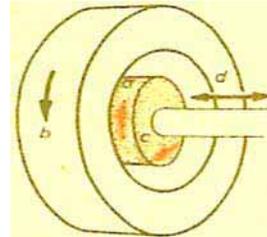
Penggerindaan ini dilakukan dengan cara menggeser meja bagian atas. Pergeseran maksimum adalah 12° . Penggerindaan dilakukan seperti penggerindaan silindris memanjang, (Gambar 10.62.).



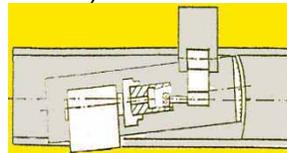
Gambar 10.62. Penggerindaan tirus luar.

2) Penggerindaan diameter dalam

a) Penggerindaan diameter dalam dengan benda kerja berputar. Prinsipnya sama dengan penggerindaan diameter luar. Diameter roda gerinda tidak boleh lebih besar dari $\frac{3}{4}$ lubang diameter benda kerja. Spindel



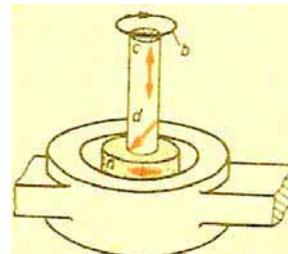
Gambar 10.63. Penggerindaan dalam dengan benda kerja berputar.



Gambar 10.64. Penggerindaan tirus dalam.

b) Penggerindaan tirus dalam, dilakukan dengan cara menggeser meja sebesar sudut ketirusan ($\alpha/2$). Penggerindaan ini bisa dilakukan jika sudut ketirusan maksimal benda kerja kurang dari 12° (Gambar 10.64.).

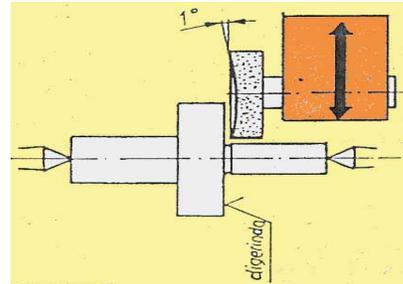
c) Penggerindaan dalam dengan benda kerja diam. Penggerindaan ini dilakukan jika ukuran dan bentuk benda kerja terlalu besar dan tidak dapat dicekam, (lihat Gambar 10.65).



Gambar 10.65. Penggerindaan dalam dengan benda kerja diam

3) Penggerindaan muka

Penggerindaan ini dilakukan untuk menggerinda muka (*facing*) sebuah silinder. Sebelum proses penggerindaan dimulai, batu gerinda harus ditruing 1° ke arah pusat, meja diatur tepat 90° , sehingga akan menghasilkan permukaan yang tegak lurus terhadap sisi memanjang diameter benda kerja.



Gambar 10.66.
Penggerindaan muka.

k. Media pendingin

Media pendingin pada Mesin Gerinda biasa disebut *collant*. *Collant* ini berupa cairan yang disemprotkan mesin pada benda kerja yang digerinda, dan pada batu gerinda.

1) Tujuan pendinginan :

- a) Mendinginkan panas yang timbul pada benda kerja.
- b) Membersihkan permukaan batu gerinda dari kotoran yang menempel.

2) Syarat-syarat pendinginan :

- a) Mampu menyerap panas dengan baik
- b) Tidak mudah panas
- c) Mempunyai tingkat kekentalan rendah (viscositas rendah)
- d) Tidak mengandung asam.

3) Jenis-jenis pendingin :

a) *Soluble oil*

Oli tambang dengan bahan tambah, bila dicampur dengan air akan terbentuk suatu campuran yang berwarna putih seperti susu. Tipe oli yang ditemukan dipasaran, Dromus D dan E produksi SHELL.

b) Pendingin campuran kimia

Campuran kimia yang mengandung *sodium nitrite*, *triethanolamine* dan *sodium mercaptobenzothiazole*. Pendingin ini mempunyai keseimbangan yang baik, pelindung karat yang baik dan mempunyai sifat tembus pandang. Contoh : BP, ENERGOL GF15.

4) Cara-cara pendinginan yang baik :

- a) Posisi *nozle* harus dapat diatur sehingga cairan pendinginan dengan tepat menyemprot pada benda kerja dan alat potong.
- b) Sirkulasi dan sistem penyaringan pendingin harus dapat menjamin keseimbangan cairan pendingin.

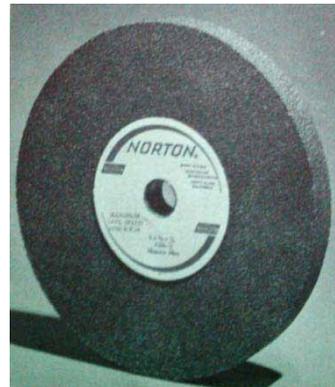
I. Keselamatan kerja gerinda

Ada beberapa faktor yang harus diperhatikan agar dalam melakukan pengerjaan gerinda aman. Maksud aman di sini aman bagi operator mesin dan Mesin Gerinda itu sendiri.

- 1) Periksa batu gerinda apakah ada retakan sebelum dipasang.
- 2) Lakukan pengetesan batu gerinda untuk kesenteran sumbunya.
- 3) Lakukan uji coba putaran sebelum digunakan.
- 4) Jangan melebihi kecepatan putar yang diijinkan.
- 5) Gunakan kaca mata pengaman.
- 6) Saat menggerinda pada gerinda duduk, dudukan benda kerja harus berjarak 2 mm dari batu gerinda, jika tidak benda kerja akan masuk diantara dudukan dan batu gerinda sehingga dapat merusak batu gerinda.
- 7) Selama melakukan penggerindaan kering, beram harus disingkirkan.
- 8) Jangan membuka tutup pengaman.
- 9) Jangan menyentuh batu gerinda yang berputar.

B. Batu Asah/Batu Gerinda

Batu gerinda banyak digunakan di bengkel-bengkel pengerjaan logam. Batu gerinda sebetulnya juga menyayat seperti penyayatan pada pisau *milling*, hanya penyayatannya sangat halus, dan tatalnya tidak terlihat seperti *milling*. Tatal hasil penggerindaan ini sangat kecil seperti debu.



Gambar 10.67. Batu gerinda.

Dari berbagai bentuk batu gerinda sebenarnya bahan utamanya hanya terdiri dari dua jenis pokok, yaitu butiran bahan asah/pemotong (*abrasive*), dan perekat (*bond*). Fungsi batu gerinda :

- Untuk penggerindaan silindris, datar dan profil
- Menghilangkan permukaan yang tidak rata

- Untuk pekerjaan *finishing* permukaan
- Untuk pemotongan
- Penajaman alat-alat potong

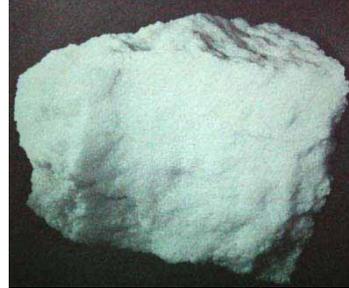
1. Jenis-jenis Butir Asahan/*Abrasive*

a) Aluminium Oxide
(Al_2O_3),

Merupakan jenis yang paling banyak digunakan sebagai bahan pembuatan roda/batu gerinda.

Bahan ini dipergunakan untuk menggerinda benda kerja

yang mempunyai tegangan tarik tinggi. Misalnya baja carbon, baja paduan, HSS. Simbol : A (Gambar 10.68.).



Gambar 10.68. Aluminium oksida.



Gambar 10.69. Silikon karbida.

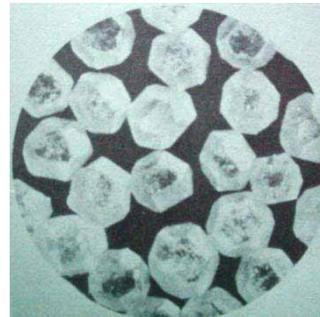
b) *Silicon*

Carbida (SiC)

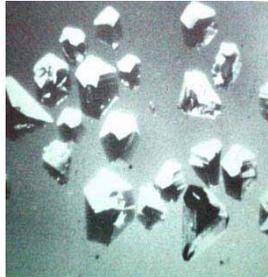
Merupakan bahan yang sangat keras, kekerasannya mendekati intan. Digunakan untuk menggerinda benda kerja bertegangan tarik rendah. Misalnya, besi tuang kelabu, grafit, aluminium, kuningan dan carbida. Simbol: C.

c) *Diamond/intan*

Bahan asah yang sangat keras, digunakan untuk menggerinda benda kerja dengan kekerasan sangat tinggi. Contohnya carbida semen, keramik, kaca, granit, marmer, batu permata. Simbol : D.



Gambar 10.70. MBS Diamond.



Gambar 10.71.
Boron Nitrit.

d) Boron
Nitride (BN)

Bahan ini digunakan untuk menggerinda benda kerja yang sangat keras. Kristal bahan ini berbentuk kubus.

Contoh : baja perkakas dengan kekerasan di atas 65 HRC, karbida.
Simbol : CBN.

Butiran asahan atau abrasive memiliki sifat kegetasan. Kegetasan, ialah sifat butiran untuk menahan diri dan membentuk runcingan yang baru, sehingga butiran tetap menyayat tidak menggesek.

2. Ukuran Butiran Asah

Serbuk abrasive dibuat dalam banyak ukuran dan dikelompokkan berdasarkan ukuran saringan yang digunakan untuk menyaring butiran asah.

Tabel 10.1. Klasifikasi ukuran butiran asahan.

No.	Ukuran Butiran	Tingkat Kekasaran
1	6 – 12	Sangat kasar
2	14 – 24	Kasar
3	30 – 60	Sedang
4	70 – 120	Halus
5	150 – 240	Sangat halus

Cara pembacaan butiran asah dengan sistim saringan adalah sebagai berikut : butiran asah dilewatkan pada suatu penyaring yang mempunyai mata jala per inchi linier atau butiran asah akan lewat pada saringan dengan jumlah lubang lebih sedikit dan akan tertahan pada penyaring dengan jumlah mata saringan setingkat lebih rapat.

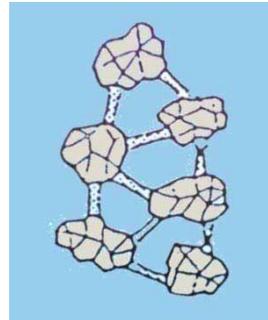
Contoh : Butiran asah 30, berarti butiran akan lolos pada penyaring dengan jumlah mata jala 24 per inchi dan akan tertahan pada penyaring dengan jumlah mata jala 30 per inchi.

3. Tingkat Kekerasan (Grade)

Tingkat kekerasan adalah kemampuan perekat untuk mengikat butiran pemotong dalam melawan pelepasan butiran akibat adanya tekanan pemotongan, bukan kekerasan dari butiran asah. Ada 2 macam tingkat kekerasan baru gerinda, yaitu :

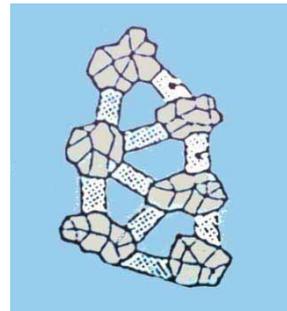
- a. Roda gerinda lunak
Jumlah perekat kecil. Batu

gerinda jenis ini mempunyai sifat mudah untuk melepaskan butiran di bawah tekanan pemotongan tertentu. Digunakan untuk menggerinda material yang keras, karena butiran asah akan cepat lepas dan berganti dengan butiran asah yang masih baru dan tajam.



Gambar 10.72. Butiran asah dengan perekat.

- b. Batu gerinda keras
 Jumlah persentase perekat besar. Batu gerinda jenis ini mempunyai sifat sulit untuk melepaskan butiran di bawah tekanan pemotongan tertentu. Digunakan untuk menggerinda material yang lunak, karena material lunak, tidak membutuhkan butiran asah yang selalu tajam.



Gambar 10.73. Perekat besar.

Kekerasan batu gerinda diberi kode alfabet, seperti pada tabel di bawah ini:

Tabel 10.2. Tingkat kekerasan batu gerinda.

Lunak sekali	E	F	G	H
Lunak	J	K		
Sedang	L	M	N	
Keras	O	P		
Sangat keras	Q	R	S	

4. Macam-macam Perekat

a. Perekat Tembikar/*Vitrified-bond*

Perekat ini paling banyak digunakan dalam pembuatan batu gerinda, yakni hampir 80 % batu gerinda dibuat dengan perekat ini. Bahan dasar perekat ini adalah keramik tanah liat dan mempunyai sifat tidak mudah berubah walaupun ada pengaruh dari luar, seperti, air, oli, atau perubahan suhu udara sehari – hari. Semua perekat tembikar tidak fleksibel, artinya tidak tahan benturan, maka Batu gerinda potong tidak dibuat dengan perekat ini. Keistimewaan batu gerinda

ini adalah tahan terhadap air, oli asam, dan panas.

b. *Perekat Silikat/Silicat-bond*

Digunakan untuk membuat batu gerinda yang kegunaannya mengasah benda kerja yang sensitif terhadap panas, misalnya pisau frais, bor, dan pahat HSS. Perekat jenis ini mudah melepaskan butiran.

c. *Perekat Bakelit/Resinoid-bond*

Dipakai untuk pembuatan batu gerinda dengan kecepatan tinggi, sangat cocok untuk penggerindaan baja, tuangan, mengasah gergaji, dan pembuatan gigi gergaji. Karena perekat ini mempunyai sifat fleksibilitas tinggi, maka banyak digunakan untuk pembuatan batu gerinda tipis sampai ketebalan 0.8 mm. Perekat ini diberi kode huruf B.

d. *Perekat Karet/Rubber-bond*

Perekat karet mempunyai elastisitas tinggi dan diberi kode huruf R. Perekat ini dipakai untuk pembuatan batu gerinda yang digunakan untuk pekerjaan presisi atau pun kasar. Contoh untuk penggerinda poros engkol dan pembuangan bekas pengelasan bahan stainless. Perekat ini juga dapat dipakai untuk pembuatan batu gerinda potong, karena daya elastisnya memenuhi syarat untuk batu gerinda tipis.

e. *Perekat Embelau/Shellac-bond*

Diberi kode E, digunakan untuk pekerjaan presisi dan permukaan sangat halus lebih halus dari perekat bakelit, ketahanan terhadap panas rendah, dan dapat dibuat tipis. Contoh untuk penggerinda nok, rol kertas, dll.

f. *Perekat logam/metal-bond*

Digunakan untuk mengikat butiran pemotong *Boron Nitride* dan intan. *Bronz* + butiran = Galvanis.

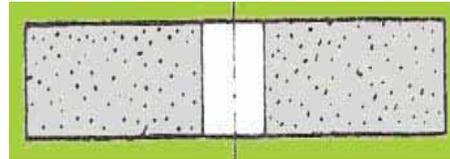
5. Susunan Butiran Asah

- a. Yang dimaksud dengan susunan butiran asah adalah jarak antar butiran asah yang terdapat pada suatu batu gerinda.
- b. Dengan ukuran butiran yang sama dapat disusun dengan jarak yang berbeda-beda : renggang, sedang, dan rapat.
- c. Agar tidak keliru dalam penggunaannya, serta untuk memudahkan dalam pengecekan, maka ukuran kerenggangan itu ditunjukkan dengan kode nomor. Nomor berkisar 0 s. d. 12, untuk menunjukkan dari tingkat rapat (0) sampai tingkat renggang (12).

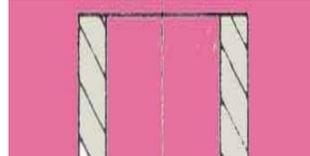
6. Bentuk-bentuk Batu Gerinda

a. Batu gerinda lurus

Bentuk ini biasa digunakan untuk menggerinda bagian luar dan bagian dalam, baik pada Mesin Gerinda silindris, permukaan atau pun Mesin Gerinda meja, (Gambar 10.74.).



Gambar 10.74. Batu gerinda lurus.



Gambar 10.75.
Batu gerinda silindris.

b. Batu gerinda silindris

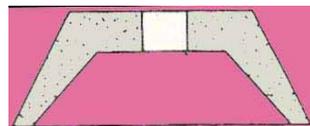
Fungsinya, untuk menggerinda sisi benda kerja. Batu gerinda ini *compatible* dengan Mesin Gerinda sumbu tegak dan sumbu mendatar, (lihat Gambar 10.75.).

c. Batu gerinda mangkuk lurus

Fungsinya adalah untuk menggerinda bagian sisi benda kerja baik yang dipakai pada Mesin Gerinda sumbu tegak ataupun sumbu mendatar (Gambar 10.76.).



Gambar 10.76. Batu gerinda mangkuk lurus.



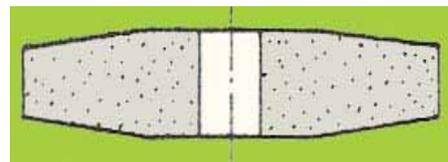
Gambar 10.77.
Batu gerinda mangkuk miring.

d. Batu gerinda mangkuk miring

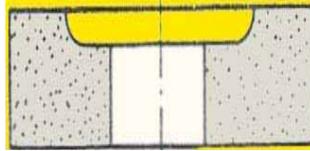
Fungsi utamanya untuk menggerinda/mengasah alat potong, misalnya pisau frais, pahat bubut, pisau-pisau bentuk, dll., (Gambar 10.77.).

e. Batu gerinda tirus dua sisi

Fungsi utamanya membersihkan percikan las pada benda-benda setelah dilas, (Gambar 10.78)



Gambar 10.78.
Batu gerinda tirus dua sisi.



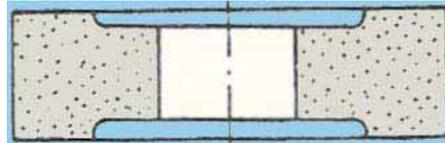
Gambar 10.79. Batu gerinda cekung satu sisi

f. Batu gerinda cekung satu sisi

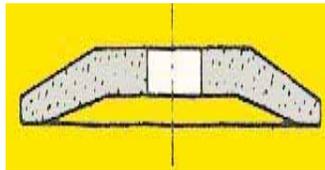
Pada prinsipnya Batu gerinda ini digunakan untuk penggerindaan silindris, tapi banyak juga untuk penggerindaan pahat bubut, (Gambar 10.79.).

g. Batu gerinda cekung dua sisi

Fungsi utama untuk penggerindaan silindris, (Gambar 10.80.).



Gambar 10.80. Batu gerinda cekung satu dua sisi.



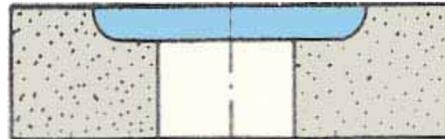
Gambar 10.81
Batu gerinda piring.

h. Batu gerinda piring

Fungsi utamanya untuk menggerinda pisau-pisau frais pada gerinda alat potong, (Gambar 10.81.).

i. Batu gerinda piring sisi radius

Fungsi utamanya untuk membentuk gigi gergaji (*gumming*), bukan mengasah, (lihat Gambar 10.82.).



Gambar 10.82.
Batu gerinda piring sisi radius.

7. Klasifikasi Batu Gerinda

Label batu gerinda yang menempel pada batu gerinda berisi :

- Jenis bahan asah
- Ukuran butiran asah
- Tingkat kekerasan
- Susunan butiran asah
- Jenis bahan perekat

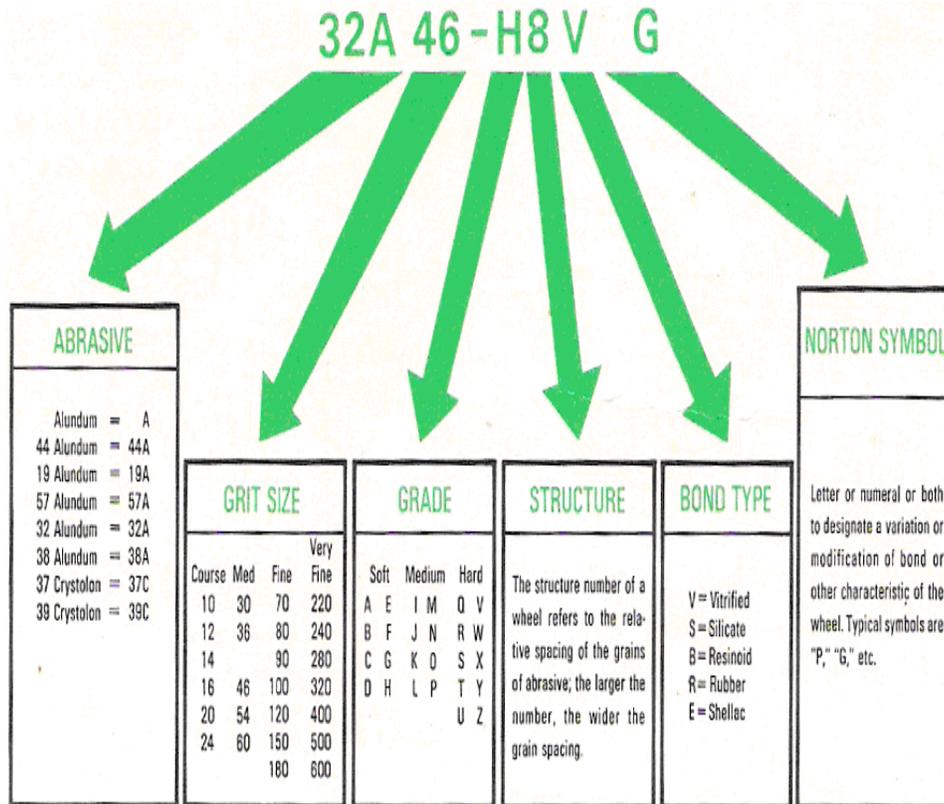
Contoh :

Label/identitas RG 38 A 36 L 5 V BE, artinya :

- 38 = Kode pabrik
 A = Jenis bahan asah
 A – Aluminium Oxide
 C – Silisium Carbida
 D – Diamon

- 36 = Ukuran butiran asah
- L = Tingkat kekerasan
- 5 = Susunan butiran asah
- V = Jenis bahan perekat
 - V – Vitrified S – silicate
 - R – Rubber B – Resinoid E – Shellac

Jadi RG dengan label 38 A 36 L 5 V BE adalah sebuah batu gerinda dengan bahan asah oksida alumunium, berukuran 36 butir per inchi, mempunyai susunan sedang, perekat tembikar. Bagan contoh kode batu gerinda, pada Gambar 10.83.



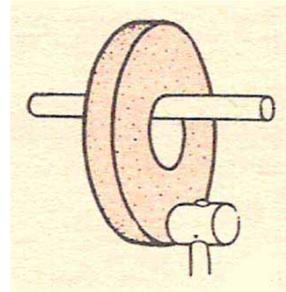
Gambar 10.83. Kode Batu Gerinda.

8. Pemasangan Batu gerinda

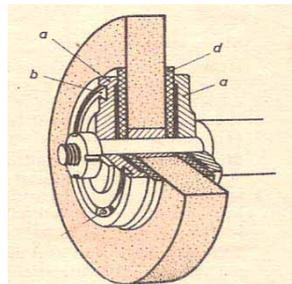
Pemasangan batu gerinda merupakan hal yang sangat penting karena akan mempengaruhi kualitas hasil penggerindaan. Jika terjadi kesalahan sangat fatal maka akan berakibat buruk pada operatornya. Dengan kata lain benda kerja bisa rusak dan operatornya pun bisa celaka. Untuk mencegahnya, lakukan beberapa langkah-langkah urutan pemasangan batu gerinda sebagai berikut :

a. Pemeriksaan batu gerinda

Setiap batu gerinda yang akan dipakai harus diperiksa lebih dahulu fisiknya. Kondisi fisik itu meliputi kondisi batu gerinda kemungkinan retak dan kondisi bus pengaman. Memeriksa kemungkinan retak, salah satu cara dapat dilakukan adalah dengan menggantung batu gerinda pada kawat atau besi kecil yang dimasukkan pada lubangnya. Kemudian batu gerinda dipukul pelan-pelan dengan palu karet/kayu sambil didengarkan suaranya, (Gambar 10.84.).



Gambar 10.84. Pemeriksaan Keretakan batu gerinda.



Gambar 10.85. Pemasangan batu gerinda.

b. Pemasangan batu gerinda

Pemasangan batu gerinda ada yang langsung dan tak langsung. Biasanya pemasangan langsung ada pada Mesin Gerinda meja dan yang tak langsung pada Mesin Gerinda presisi. Maksud tak langsung di sini bahwa batu gerinda pemasangannya melalui *collet* batu gerinda dan selama

batu gerinda ini masih dipakai tidak boleh dilepas kecuali akan diganti atau diperiksa kembali kesetimbangannya. Pada pemasangan batu gerinda baik langsung atau tak langsung harus memperhatikan hal-hal sebagai berikut :

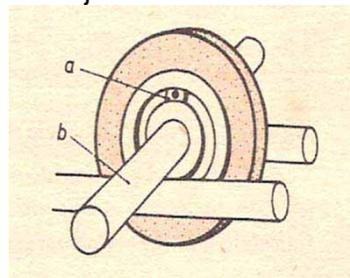
- 1) Yakinkan kertas pelapis masih melekat seluruhnya dengan rata pada kedua sisinya.
- 2) Periksa sekeliling batu gerinda, apakah ia tidak bertatal, tidak cacat dan bebas dari oli atau gemuk.
- 3) Yakinkan bahwa lubang batu gerinda tidak rusak. Hilangkan noda-noda atau bagian yang kasar menggunakan sekrap tangan.
- 4) Pengepasan sumbu batu gerinda diusahakan masuk dengan pas pada lubang batu gerinda, tidak longgar atau pun dipaksakan. Dengan kata lain lubang batu gerinda harus bisa masuk pada pasangannya dengan pas tanpa

- kelonggaran.
- 5) Kondisi permukaan seluruh permukaan ring pelapis, flens dan batu gerinda harus benar-benar rapat, serta tidak terhalang oleh tatal atau benda-benda lain.
 - 6) Bus selongsong pada lubang gerinda harus ada, bentuk dan ukurannya tidak boleh berubah, misalnya lonjong atau melebar.
 - 7) Ring pelapis harus rata menempel pada permukaan batu gerinda. Ukuran diameter ring pelapis tidak boleh terlalu kecil dari pada ukuran diameter flensnya. Apa bila ring pelapis terbuat dari kertas maka tebalnya tidak boleh lebih dari 0.5 mm, dan jika terbuat dari kulit tidak boleh lebih dari 3,2 mm..
 - 8) Diameter flens tidak boleh kurang dari $\frac{1}{3}$ diameter batu gerinda. Bentuk flens harus mempunyai pembebas. Dan, diameter lubangnya harus cocok dengan poros Mesin Gerinda.
 - 9) Ulir spindel, baik Mesin Gerinda presisi atau tangan, putaran ulir harus mempunyai arah yang berlawanan dengan arah putaran sumbu mesin.
 - 10) Mengeraskan mur/baut. Meskipun baut yang dikeraskan hanya bersinggungan dan menekan flens tidak langsung pada as batu gerinda, namun pengerasan tetap harus dilakukan secara hati-hati dan dijaga agar jangan sampai membuat cacat batu gerinda. Sedangkan pengikatannya harus cukup kuat, tidak kendur dan tidak terlalu keras.

c. Menyetimbangkan batu gerinda

Pada kenyataannya setiap batu gerinda tidak mempunyai kerapatan yang sama pada setiap titikny. Hal ini bisa dicek dengan cara memutar batu gerinda pada sumbunya, kemudian ditunggu sampai berhenti. Jika ada titik tertentu selalu berada di bawah, batu gerinda tidak setimbang. Batu gerinda ini jika akan digunakan harus disetimbangkan terlebih dahulu. Batu gerinda dikatakan setimbang apabila saat diputar pada sumbunya dapat berhenti di mana saja.

Pada proses penggerindaan presisi, kesetimbangan batu gerinda merupakan hal yang sangat penting dibandingkan dengan penggerindaan tangan/manual. Batu gerinda yang setimbang akan



Gambar 10.86.

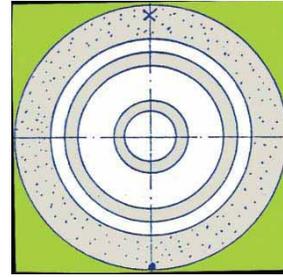
menghilangkan getaran, serta akan mendapatkan hasil yang permukaannya lebih baik dan memakainya lebih mudah. Penyeimbangan batu gerinda.

Dalam penyetimbangan batu gerinda ada beberapa peralatan yang dibutuhkan antara lain : *collet* batu gerinda, bobot penyetimbang, sumbu penyetimbang, dan dudukan penyetimbang. Bobot penyetimbang berfungsi untuk mengimbangi titik-titik yang lebih rapat (berat) dan dipasang pada alur muka yang ada pada *collet*.

Langkah-langkah penyetimbangan batu gerinda :

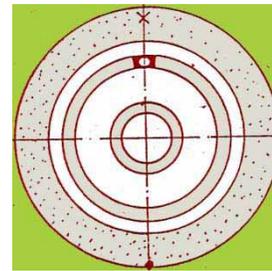
- 1) Batu gerinda yang terpasang pada arbor, diletakkan pada jalur penyetimbang. Posisi arbor harus tegak lurus dan di tengah kedua jalur penyetimbang. Untuk mendapatkan ketegak-lurusan arbor, dapat menggunakan alat ukur *waterpass*, (Gambar 10.86.).
- 2) Batu gerinda dibiarkan bergulir ke kiri dan ke kanan dengan sendirinya sampai berhenti. Bagian yang terberat ada pada bagian yang terbawah (pusat gravitasi).

- 3) Batu gerinda ditandai dengan kapur pada bagian teratas yang berlawanan dengan pusat gravitasi, (Gambar 10.87.).



Gambar 10.87.
Penandaan dengan kapur dan pemasangan bobot penyetimbang.

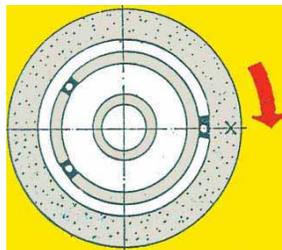
- 4) Salah satu bobot penyeimbang dipasang dan dikencangkan searah dengan tanda kapur dan berlawanan dengan pusat gravitasi bumi. Dan jangan digeser selama penyetimbangan berlangsung, (lihat Gambar 10.88).



Gambar 10.88.
Penandaan dengan kapur dan pemasangan bobot penyeimbang.

Dua bobot penyeimbang lainnya dipasang dekat dengan pusat gravitasi dan masing-masing mempunyai jarak yang sama ke bobot penyeimbang yang pertama, (Gambar 10.89.).

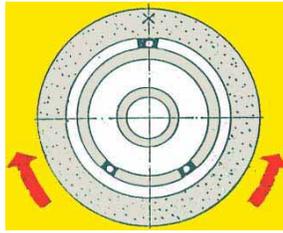
Gambar 10.89.
Penandaan dengan kapur dan pemasangan bobot penyeimbang.



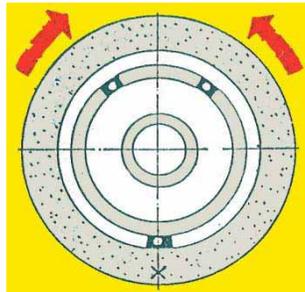
Gambar 10.90.
Pengaturan bobot

- 5) Batu gerinda diletakkan kembali di posisi tengah jalur dudukan penyeimbang. Batu gerinda diputar 90° ke arah kanan dan dilepaskan sampai berhenti dengan sendirinya, (Gambar 10.90).

penyeimbang.



Gambar 10.91.
Pengaturan bobot penyeimbang.

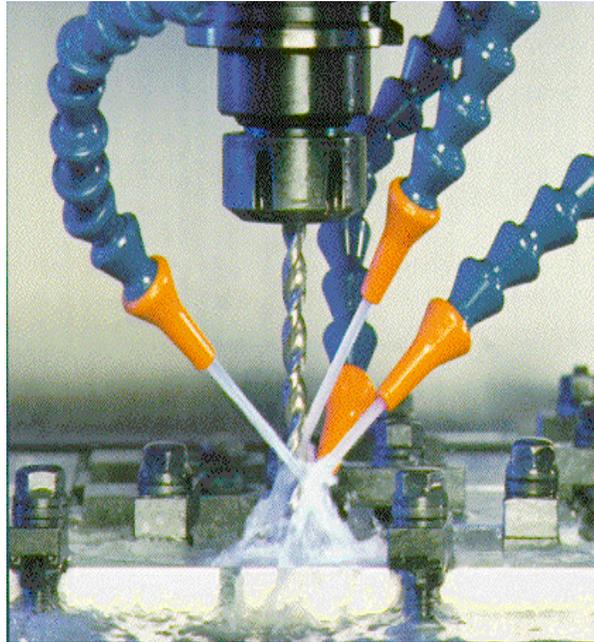


Gambar 10.92.
Pengaturan bobot penyeimbang.

6) Bila batu gerinda kembali pada posisi pertama, dua bobot penyetimbang harus diatur mendekati bobot penyetimbang yang pertama, (lihat Gambar 10.91.).

7) Sebaliknya, bila batu gerinda bergulir berlawanan dengan posisi pertama (tanda kapur bawah), dua bobot penyetimbang harus digeser menjauhi bobot penyetimbang yang pertama, (lihat Gambar 10.92).

8) Batu gerinda dikatakan setimbang bila bisa berhenti di setiap tempat.



BAB 11 MENGENAL CAIRAN PENDINGIN UNTUK PROSES PEMESINAN

Cairan pendingin mempunyai kegunaan yang khusus dalam proses pemesinan. Selain untuk memperpanjang umur pahat, cairan pendingin dalam beberapa kasus, mampu menurunkan gaya dan memperhalus permukaan produk hasil pemesinan. Selain itu, cairan pendingin juga berfungsi sebagai pembersih/pembawa beram (terutama dalam proses gerinda) dan melumasi elemen pembimbing (*ways*) mesin perkakas serta melindungi benda kerja dan komponen mesin dari korosi. Bagaimana cairan pendingin itu bekerja pada daerah kontak antara beram dengan pahat, sebenarnya belumlah diketahui secara pasti mekanismenya. Secara umum dapat dikatakan bahwa peran utama cairan pendingin adalah untuk mendinginkan dan melumasi.

Pada mekanisme pembentukan beram, beberapa jenis cairan pendingin mampu menurunkan Rasio Penempatan Tebal Beram (λ_h) yang mengakibatkan penurunan gaya potong. Pada daerah kontak antara beram dan bidang pahat terjadi gesekan yang cukup besar, sehingga adanya cairan pendingin dengan gaya lumas tertentu akan mampu menurunkan gaya potong. Pada proses penyayatan, kecepatan potong yang rendah memerlukan cairan pendingin dengan daya lumas tinggi sementara pada kecepatan potong tinggi memerlukan cairan pendingin dengan daya pendingin yang besar (*high heat absorptivity*). Pada beberapa kasus, penambahan unsur tertentu dalam cairan pendingin akan menurunkan gaya potong, karena bisa menyebabkan terjadinya reaksi kimiawi yang berpengaruh dalam bidang geser (*shear plane*) sewaktu beram terbentuk. Beberapa peneliti menganggap bahwa sulfur (S) atau karbon tetraklorida (CCl_4) pada daerah kontak (di daerah kontak mikro) dengan temperatur dan tekanan tinggi akan bereaksi dengan besi (benda kerja) membentuk FeS atau $FeCl_3$ pada batas butir sehingga mempermudah proses penggeseran metal menjadi beram.

Pada proses gerinda, cairan pendingin mampu membantu pembersihan beram yang menempel di rongga antara serbuk abrasif, sehingga mempermudah kelangsungan proses pembentukan beram. Dengan cairan pendingin temperatur tinggi yang terjadi di lapisan luar benda kerja bisa dikurangi, sehingga tidak merusak struktur *metalografi* benda kerja. Proses kimiawi diperkirakan juga terjadi dalam proses gerinda, oleh karena itulah cairan pendinginnya ditambahi beberapa unsur.

Dari ulasan singkat di atas dapat disimpulkan bahwa Cairan Pendingin jelas perlu dipilih dengan seksama sesuai dengan jenis pekerjaan. Beberapa jenis cairan pendingin akan diulas pada sub bab pertama berkaitan dengan klasifikasi cairan pendingin dan garis besar kegunaannya. Pemakaian cairan pendingin dapat dilakukan dengan berbagai cara (disemprotkan, disiramkan, dikururkan, atau dikabutkan) akan dibahas kemudian dan dilanjutkan dengan pengaruh cairan pendingin pada proses pemesinan. Efektivitas cairan pendingin hanya

dapat diketahui dengan melakukan percobaan pemesinan, karena mekanisme proses pembentukan beram begitu kompleks, sehingga tidak cukup hanya dengan menelitinya melalui pengukuran berbagai sifat fisik/kimiawinya. Salah satu cara pemesinan yang relatif sederhana (cepat dan murah) untuk meneliti efektivitas cairan pendingin adalah dengan melakukan pembubutan muka (*facing-test*).

A. Jenis Cairan Pendingin

Cairan pendingin yang biasa dipakai dalam proses pemesinan dapat dikategorikan dalam empat jenis utama yaitu :

1. *Straight oils* (minyak murni)
2. *Soluble oils*
3. *Semisynthetic fluids* (cairan semi sintetis)
4. *Synthetic fluids* (cairan sintetis).

Minyak murni (*straight oils*) adalah minyak yang tidak dapat diemulsikan dan digunakan pada proses pemesinan dalam bentuk sudah diencerkan. Minyak ini terdiri dari bahan minyak mineral dasar atau minyak bumi, dan kadang mengandung pelumas yang lain seperti lemak, minyak tumbuhan, dan ester. Selain itu bisa juga ditambahkan aditif tekanan tinggi seperti Chlorine, Sulphur dan Phosporus. Minyak murni ini berasal salah satu atau kombinasi dari minyak bumi (*naphthenic, paraffinic*), minyak binatang, minyak ikan atau minyak nabati. Viskositasnya dapat bermacam-macam dari yang encer sampai yang kental tergantung dari pemakaian. Pencampuran antara minyak bumi dengan minyak hewani atau nabati menaikkan daya pembasahan (*wetting action*) sehingga memperbaiki daya lumas. Penambahan unsur lain seperti sulfur, klor atau fosfor (*EP additives*) menaikkan daya lumas pada temperatur dan tekanan tinggi. Minyak murni menghasilkan pelumasan terbaik, akan tetapi sifat pendinginannya paling jelek di antara cairan pendingin yang lain.

Minyak sintetis (*synthetic fluids*) tidak mengandung minyak bumi atau minyak mineral dan sebagai gantinya dibuat dari campuran organik dan anorganik alkaline bersama-sama dengan bahan penambah (*additive*) untuk penangkal korosi. Minyak ini biasanya digunakan dalam bentuk sudah diencerkan (biasanya dengan rasio 3 sampai 10%). Minyak sintetis menghasilkan unjuk kerja pendinginan terbaik di antara semua cairan pendingin. Cairan ini merupakan larutan murni (*true solutions*) atau larutan permukaan aktif (*surface active*). Pada larutan murni, unsur yang dilarutkan terbesar di antara molekul air dan tegangan permukaan (*surface tension*) hampir tidak berubah. Larutan murni ini tidak bersifat melumasi dan biasanya dipakai untuk sifat penyerapan panas yang tinggi dan melindungi terhadap korosi. Sementara itu dengan penambahan unsur lain yang mampu membentuk kumpulan molekul akan mengurangi

tegangan permukaan menjadi jenis cairan permukaan aktif sehingga mudah membasahi dan daya lumasnya baik.

Soluble Oil akan membentuk emulsi ketika dicampur dengan air. Konsentrat mengandung minyak mineral dasar dan pengemulsi untuk menstabilkan emulsi. Minyak ini digunakan dalam bentuk sudah diencerkan (biasanya konsentrasinya = 3 sampai 10%) dan unjuk kerja pelumasan dan penghantaran panasnya bagus. Minyak ini digunakan luas oleh industri pemesinan dan harganya lebih murah di antara cairan pendingin yang lain.

Cairan semi sintetik (*semi-synthetic fluids*) adalah kombinasi antara minyak sintetik (A) dan *soluble oil* (B) dan memiliki karakteristik ke dua minyak pembentuknya. Harga dan unjuk kerja penghantaran panasnya terletak antara dua buah cairan pembentuknya tersebut. Jenis cairan ini mempunyai karakteristik sebagai berikut :

1. Kandungan minyaknya lebih sedikit (10% s.d 45% dari tipe B)
2. Kandungan pengemulsinya (molekul penurun tegangan permukaan) lebih banyak dari tipe A
3. Partikel minyaknya lebih kecil dan lebih tersebar. Dapat berupa jenis dengan minyak yang sangat jenuh ("*super-fatted*") atau jenis EP (*Extreme Pressure*).

B. Cara Pemberian Cairan Pendingin pada Proses Pemesinan

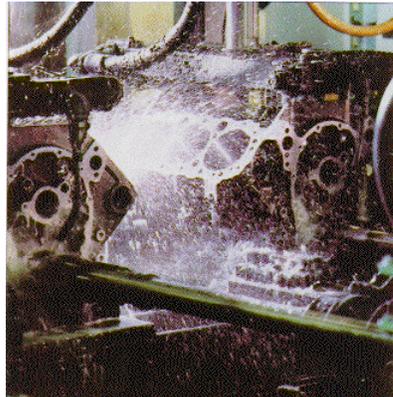
Cairan pendingin jelas hanya akan berfungsi dengan baik jikalau cairan ini diarahkan dan dijaga alirannya pada daerah pembentukan beram. Dalam praktek sering ditemui bahwa cairan tersebut tidak sepenuhnya diarahkan langsung pada bidang beram pahat di mana beram terbentuk karena keteledoran operator. Mungkin pula, karena daerah kerja mesin tidak diberi tutup, operator sengaja mengarahkan semprotan cairan tersebut ke lokasi lain sebab takut cairan terpancar ke semua arah akibat perputaran pahat. Pemakaian cairan pendingin yang tidak berkesinambungan akan mengakibatkan bidang aktif pahat akan mengalami beban yang berfluktuasi. Bila pahatnya jenis karbida atau keramik (yang relatif getas) maka pengerutan dan pemuaihan yang berulang kali akan menimbulkan retak mikro yang justru menjadikan penyebab kerusakan fatal. Dalam proses gerinda rata bila cairan pendingin dikucurkan di atas permukaan benda kerja maka akan dihembus oleh batu gerinda yang berputar kencang sehingga menjauhi daerah pengerindaan.

Dari ulasan singkat di atas dapat disimpulkan bahwa selain dipilih cairan pendingin harus juga dipakai dengan cara yang benar. Banyak cara yang dipraktekkan untuk mengefektifkan pemakaian cairan pendingin, yakni sebagai berikut :

1. Secara manual. Apabila mesin perkakas tidak dilengkapi dengan sistem cairan pendingin, misalnya Mesin Gurdi atau Frais jenis

“bangku” (*bench drilling/milling machine*) maka cairan pendingin hanya dipakai secara terbatas. Pada umumnya operator memakai kuas untuk memerciki pahat gurdi, tap atau frais dengan minyak pendingin. Selama hal ini dilakukan secara teratur dan kecepatan potong tak begitu tinggi maka umur pahat bisa sedikit diperlama. Penggunaan alat sederhana penetes oli yang berupa botol dengan selang berdiameter kecil akan lebih baik karena akan menjamin keteraturan penetesannya minyak. Penggunaan pelumas padat (gemuk/vaselina, atau *molybdenum-disulfide*) yang dioleskan pada lubang-lubang yang akan ditap sehingga dapat menaikkan umur pahat pengulir.

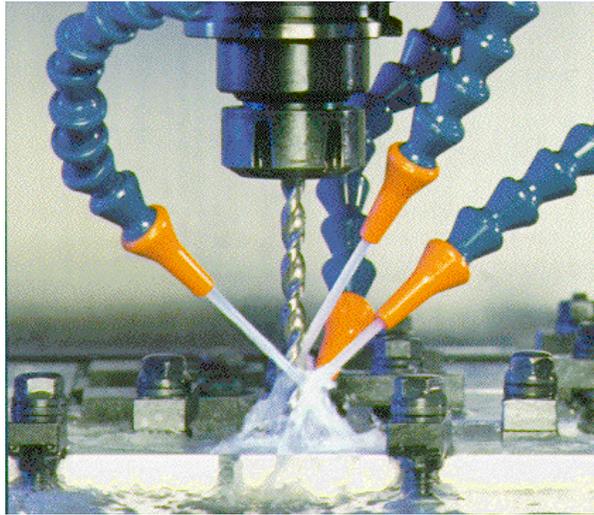
2. Disiramkan ke benda kerja (*flood application of fluid*). Cara ini memerlukan sistem pendingin, yang terdiri atas pompa, saluran, nozel, dan tangki, dan itu semua telah dimiliki oleh hampir semua mesin perkakas yang standar. Satu atau beberapa nozel dengan selang fleksibel diatur sehingga cairan pendingin disemprotkan pada bidang aktif pemotongan. Keseragaman pendinginan harus diusahakan dan bila perlu dapat dibuat nozel khusus. Pada pemberian cairan pendingin ini seluruh benda kerja di sekitar proses pemotongan disirami dengan cairan pendingin melalui saluran cairan pendingin yang jumlahnya lebih dari satu (Gambar 11.1).



Gambar 11 1. Pemberian cairan pendingin dengan cara menyiramkan pada benda kerja.

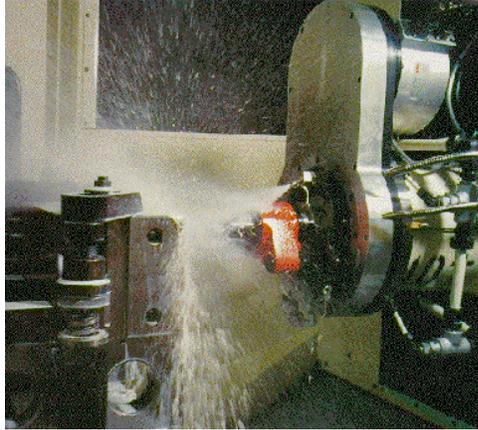
3. Disemprotkan (*jet application of fluid*). Dilakukan dengan cara mengalirkan cairan pendingin dengan tekanan tinggi melewati saluran pada pahat. Untuk penggurdian lubang yang dalam (*deep hole drilling; gun-drilling*) atau pengefraisan dengan posisi yang sulit dicapai dengan semprotan biasa. Spindel mesin perkakas dirancang khusus karena harus menyalurkan cairan pendingin ke lubang pada pahat. Pada proses pendinginan dengan cara ini cairan pendingin disemprotkan langsung ke daerah pemotongan (pertemuan antara

pahat dan benda kerja yang terpotong). Sistem pendinginan benda kerja dibuat dengan cara menampung cairan pendingin dalam suatu tangki yang dilengkapi dengan pompa yang dilengkapi filter pada pipa penyedotnya. Pipa keluar pompa disalurkan melalui pipa/selang yang berakhir di beberapa selang keluaran yang fleksibel, (Gambar 11.2). Cairan pendingin yang sudah digunakan disaring dengan filter pada meja mesin kemudian dialirkan ke tangki penampung.



Gambar 11.2. Cara pendinginan dengan cairan pendingin disemprotkan langsung ke daerah pemotongan pada proses pembuatan lubang.

4. *Dikabutkan (mist application of fluid)*. Pemberian cairan pendingin dengan cara ini cairan pendingin dikabutkan dengan menggunakan semprotan udara dan kabutnya langsung diarahkan ke daerah pemotongan, (Gambar 11.3). Partikel cairan sintetik, semi sintetik, atau emulsi disemprotkan melalui saluran yang bekerja dengan prinsip seperti semprotan nyamuk. Cairan dalam tabung akan naik melalui pipa berdiameter kecil, karena daya vakum akibat aliran udara di ujung atas pipa, dan menjadi kabut yang menyemprot keluar. Pemakaian cairan pendingin dengan cara dikabutkan dimaksudkan untuk memanfaatkan daya pendinginan karena penguapan.



Gambar 11 3. Pemberian cairan pendingin dengan cara mengabutkan cairan pendingin.

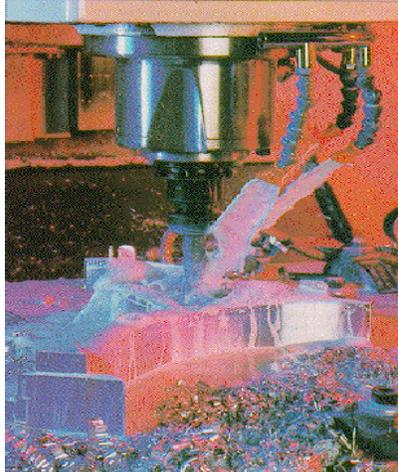
C. Pengaruh Cairan Pendingin pada Proses Pemesinan

Cairan pendingin pada proses pemesinan memiliki beberapa fungsi, yaitu fungsi utama dan fungsi kedua. Fungsi utama adalah fungsi yang dikehendaki oleh perencana proses pemesinan dan operator mesin perkakas. Fungsi kedua adalah fungsi tak langsung yang menguntungkan dengan adanya penerapan cairan pendingin tersebut. Fungsi cairan pendingin tersebut adalah :

1. Fungsi utama dari cairan pendingin pada proses pemesinan adalah :
 - a. Melumasi proses pemotongan khususnya pada kecepatan potong rendah.
 - b. Mendinginkan benda kerja khususnya pada kecepatan potong tinggi.
 - c. Membuang beram dari daerah pemotongan.
2. Fungsi kedua cairan pendingin adalah :
 - a. Melindungi permukaan yang disayat dari korosi
 - b. Memudahkan pengambilan benda kerja, karena bagian yang panas telah didinginkan.

Penggunaan cairan pendingin pada proses pemesinan ternyata memberikan efek terhadap pahat dan benda kerja yang sedang dikerjakan. Pengaruh proses pemesinan menggunakan cairan pendingin yaitu :

- Memperpanjang umur pahat.
- Mengurangi deformasi benda kerja karena panas.
- Permukaan benda kerja menjadi lebih baik (halus) pada beberapa kasus.
- Membantu membuang/membersihkan beram (Gambar 11.4)



Gambar 11 4. Beram hasil pemotongan tersingkir karena ada aliran cairan pendingin sehingga memudahkan dalam penanganan/ pembersihannya.

D. Kriteria Pemilihan Cairan Pendingin

Pemakaian cairan pendingin biasanya mengefektifkan proses pemesinan. Untuk itu ada beberapa kriteria untuk pemilihan cairan pendingin tersebut, walaupun dari beberapa produsen mesin perkakas masih mengizinkan adanya pemotongan tanpa cairan pendingin. Kriteria utama dalam pemilihan cairan pendingin pada proses pemesinan adalah :

1. Unjuk kerja proses
 - ✓ Kemampuan penghantaran panas (*heat transfer performance*)
 - ✓ Kemampuan pelumasan (*lubrication performance*)
 - ✓ Pembuangan beram (*chip flushing*)
 - ✓ Pembentukan kabut fluida (*fluid mist generation*)
 - ✓ Kemampuan cairan membawa beram (*fluid carry-off in chips*)
 - ✓ Pencegahan korosi (*corrosion inhibition*)
 - ✓ Stabilitas cairan (*fluid stability*)
2. Harga
3. Keamanan terhadap lingkungan
4. Keamanan terhadap kesehatan (*health hazard performance*)

Untuk beberapa proses pemesinan yaitu : gudi (*drilling*), reamer (*reaming*), pengetapan (*taping*), bubut (*turning*), dan pembuatan ulir (*threading*) yang memerlukan cairan pendingin, saran penggunaan cairan pendingin dapat dilihat pada Tabel 11.1. Bahan benda kerja yang dikerjakan pada proses pemesinan merupakan faktor penentu jenis cairan pendingin yang digunakan pada proses pemesinan.

Tabel 11 1. Cairan pendingin yang direkomendasikan untuk beberapa material benda kerja.

Material	Drilling	Reaming	Tapping	Turning	Threading	Milling
Aluminium	Soluble Oil Kerosene Kerosene and Lard Oil	Soluble Oil Kerosene Mineral Oil	Soluble Oil Mineral Oil	Soluble Oil	Soluble Oil Kerosene and Lard Oil	Soluble Oil Lard Oil Lard or Mineral Oil
Brass	Dry Soluble Oil Kerosene and Lard Oil	Soluble Oil Dry	Soluble Oil Lard Oil Dry	Soluble Oil	Soluble Oil Lard Oil	Soluble Oil Dry
Bronze	Dry Soluble Oil and Lard Oil Mineral Oil	Soluble Oil Lard Oil Dry	Soluble Oil Lard Oil Dry	Soluble Oil	Soluble Oil Lard Oil	Soluble Oil Dry
Cast Iron	Dry Soluble Oil Dry jet	Soluble Oil Mineral Lard Oil	Mineral Lard Oil	Soluble Oil Mineral Lard-Oil Dry	Dry Soluble Oil	Dry Soluble Oil
Copper	Dry Soluble Oil or Lard Oil Kerosene Mineral Lard Oil	Soluble Oil Lard Oil Dry	Soluble Oil Mineral Lard Oil	Soluble Oil	Soluble Oil Lard Oil	Soluble Oil Dry
Malleable Iron	Dry Soda water	Dry Soda water	Soluble Oil	Soluble Oil	Lard Oil Soda water	Dry Soda water
Monel Metal	Soluble Oil Lard Oil	Soluble Oil Lard Oil	Mineral Oil Sulfurized Oil	Soluble Oil	Lard Oil	Soluble Oil
Steel Alloys	Soluble Oil Sulfurized Oil Mineral	Soluble Oil Mineral Lard Oil	Soluble Oil Mineral Oil	Soluble Oil	Lard Oil Sulfurized Oil	Lard Oil Mineral Lard Oil

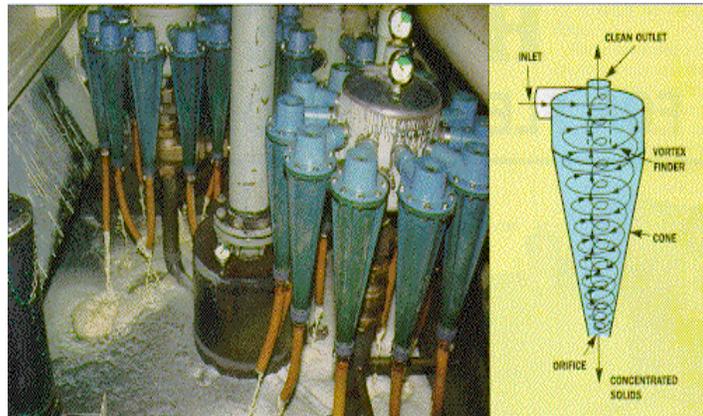
	Lard Oil					
Steel Forging Low Carbon	Soluble Oil Sulfurized Lard Oil Lard Oil Mineral Lard Oil	Soluble Oil Mineral Lard Oil	Soluble Oil Lard Oil	Soluble Oil	Soluble Oil Mineral Lard Oil	Soluble Oil Mineral Lard Oil
Tool Steel	Soluble Oil Sulfurized Oil Mineral Lard Oil	Soluble Oil Sulfurized Oil Lard Oil	Mineral Lard Oil Sulfurized Oil	Soluble Oil	Lard Oil Sulfurized Oil	Soluble Oil Lard Oil

E. Perawatan dan Pembuangan Cairan Pendingin

Perawatan cairan pendingin meliputi memeriksa :

- ✓ Konsentrasi dari emulsi soluble oil (menggunakan refractometer)
- ✓ pH (dengan pH meter)
- ✓ Kuantitas dari minyak yang tercampur (kebocoran minyak hidrolik ke dalam sistem cairan pendingin)
- ✓ Kuantitas dari partikel (kotoran) pada cairan pendingin.

Hal yang dilakukan pertama kali untuk merawat cairan pendingin adalah menambah konsentrat atau air, membersihkan kebocoran minyak, menambah *biocides* untuk mencegah pertumbuhan bakteri dan menyaring partikel-partikel kotoran dengan cara *centrifuging*, (Gambar 11.5).



Gambar 11 5. Peralatan *centrifuging* untuk cairan pendingin.

Cairan pendingin akan menurun kualitasnya sesuai dengan lamanya waktu pemakaian yang diakibatkan oleh pertumbuhan bakteri, kontaminasi dengan minyak pelumas yang lain, dan partikel kecil logam hasil proses pemesinan. Apabila perawatan rutin sudah tidak ekonomis lagi maka sebaiknya dibuang. Apabila bekas cairan pendingin tersebut

dibuang di sistem saluran pembuangan, maka sebaiknya diolah dulu agar supaya komposisi cairan tidak melebihi batas ambang limbah yang diijinkan.

Perawatan cairan pendingin sama pentingnya dengan perawatan jenis dan cara pemakaiannya. Sebagaimana umumnya yang dipraktekkan cairan pendingin yang telah lama berada dalam tangki mesin perkakas perlu diganti bila telah terjadi degradasi dengan berbagai efek yang tidak diinginkan seperti bau busuk, korosi, dan penyumbatan sistem aliran cairan pendingin. Hal ini pada umumnya disebabkan oleh bakteri atau jamur.

Bakteri *aerobik* dan *anaerobik* bisa hidup dan berkembang biak dalam air yang mengandung mineral dan minyak (*proteleum*, minyak nabati atau hewani). Semakin tinggi jumlah kandungan mineral dan minyak ini maka kemungkinan degradasi cairan karena bakteri semakin tinggi. Meskipun konsentrat dari emulsi atau cairan sintetik telah diberi zat anti bakteri akan tetapi dalam jangka lama cairan pendingin tetap akan terserang bakteri. Hal ini disebabkan oleh penambahan air untuk mengencerkan cairan yang cenderung mengental, karena airnya menguap atau kontaminasi dari berbagai sumber. Penambahan zat anti bakteri pada cairan pendingin yang telah kotor dan bau tidak efektif karena zat ini justru merangsang pertumbuhan bakteri lainnya. Keasaman air penambah bisa menimbulkan masalah karena mineral yang terkandung di dalamnya akan menambah konsentrasi mineral dalam cairan pendingin.

Bakteri *aerobik* yang sering menimbulkan masalah adalah bakteri *Pseudomonas Oleovorans* dan *Pseudomonas*. Bakteri *Pseudomonas Oleovorans* hidup dari minyak yang terpisah dari emulsinya, membentuk lapisan yang mengambang di permukaan cairan dalam tangki. Meskipun tidak mengandung minyak cairan sintetik, dalam waktu lama dapat tercemari oleh unsur minyak (pelumas meja mesin perkakas, partikel minyak dari benda kerja hasil proses sebelumnya dan sumber pencemar lainnya). Bakteri *Pseudomonas Aerugenosa* hidup dari hampir semua mineral dan minyak yang ada dalam cairan pendingin. Meskipun bakteri ini menyukai oksigen guna pertumbuhannya, jika perlu mereka bisa hidup tanpa oksigen (*anaerobik*) sehingga kadang dinamakan bakteri aerobik fakultatif.

Sementara itu, bila cairan mengandung unsur sulfat akan merangsang pertumbuhan bakteri *Desulfovibrio Desulfuricans* yang merupakan bakteri anaerobik dengan produknya yang khas berupa bau telur busuk. Jika pada cairan mengandung besi (beram benda kerja fero) maka cairan akan berubah hitam (kotor) yang dapat menodai permukaan benda kerja, mesin, dan perkakas lainnya.

Bakteri di atas sulit diberantas dan hampir selalu ada pada cairan pendingin. Selain mengganggu karena baunya, cairan pendingin yang

telah terdegradasi ini bisa menyebabkan iritasi (gatal-gatal) bagi operator mesin. Bakteri menghasilkan produk asam yang menjadikan sumber penyebab korosi. Bakteri memakan mineral yang sengaja ditambahkan untuk menaikkan daya lumas (*surface active additives*). Akibatnya, semakin lama cairan ini semakin tidak efektif.

Cairan pendingin yang telah lama berada dalam tangki mesin cenderung menguap dan meninggalkan residu yang makin lama makin bertumpuk. Air penambah yang mempunyai keasaman tinggi akan menambah mineral sehingga menaikkan residu. Dalam kasus ini tidak ada cara lain selain menggantikan keseluruhan cairan pendingin yang telah terdegradasi.

Air yang digunakan untuk membuat emulsi atau cairan pendingin perlu diperiksa keasamannya. Jika air ini terlalu banyak mineralnya bila perlu harus diganti. Untuk menurunkan keasaman (dengan mendestilasikan, “melunakkan” dengan *Zeolit* atau *Deionizer*) jelas memerlukan ongkos, sementara cairan pendingin yang dibuat atau yang selalu ditambahi air keasaman tinggi akan memerlukan penggantian yang lebih sering dan ini akan menaikkan ongkos juga.

Bakteri sulit diberantas tetapi dapat dicegah kecepatan berkembang biaknya dengan cara-cara yang cocok. Jika sudah ada tanda-tanda mulainya degradasi maka cairan pendingin harus diganti dengan segera. Seluruh sistem cairan pendingin perlu dibersihkan (dibilas beberapa kali) diberi zat anti bakteri, selanjutnya barulah cairan pendingin “segar” dimasukkan. Dengan cara ini “umur” cairan pendingin dapat diperlama (4 s.d. 6 bulan).



BAB 12

MEMAHAMI MESIN CNC DASAR

Perkembangan teknologi komputer saat ini telah mengalami kemajuan yang amat pesat. Dalam hal ini komputer telah diaplikasikan ke dalam alat-alat mesin perkakas di antaranya Mesin Bubut, Mesin Frais, Mesin Skrap, Mesin Bor, dll. Hasil perpaduan teknologi komputer dan teknologi mekanik inilah yang selanjutnya dinamakan CNC (*Computer Numerically Controlled*). Sistem pengoperasian CNC menggunakan program yang dikontrol langsung oleh komputer. Secara umum konstruksi mesin perkakas CNC dan sistem kerjanya adalah sinkronisasi antara komputer dan mekaniknya. Jika dibandingkan dengan mesin perkakas konvensional yang setaraf dan sejenis, mesin perkakas CNC lebih unggul baik dari segi ketelitian (*accurate*), ketepatan (*precision*), fleksibilitas, dan kapasitas produksi. Sehingga di era modern seperti saat ini banyak industri-industri mulai meninggalkan mesin-mesin perkakas konvensional dan beralih menggunakan mesin-mesin perkakas CNC.

Secara garis besar pengertian mesin CNC adalah suatu mesin yang dikontrol oleh komputer dengan menggunakan bahasa numerik (perintah gerakan yang menggunakan angka dan huruf). Sebagai contoh: apabila pada layar monitor mesin kita tulis **M03** maka spindel utama mesin akan berputar, dan apabila kita tulis **M05** maka spindel utama mesin akan berhenti berputar.

Mesin CNC tingkat dasar yang ada pada saat ini dibagi menjadi dua kelompok, yaitu Mesin CNC *Two Axis* atau yang lebih dikenal dengan Mesin Bubut (*Lathe Machine*) dan Mesin CNC *Three Axis* atau yang lebih dikenal dengan Mesin Frais (*Milling Machine*).

A. Mesin Bubut CNC

Mesin Bubut CNC secara garis besar dapat digolongkan menjadi dua, yaitu :

1. Mesin Bubut CNC *Training Unit (CNC TU)*
2. Mesin Bubut CNC *Production Unit (CNC PU)*

Kedua mesin tersebut mempunyai prinsip kerja yang sama, akan tetapi yang membedakan kedua tipe mesin tersebut adalah penggunaannya di lapangan. CNC *TU* dipergunakan untuk pelatihan dasar pemrograman dan pengoperasian CNC yang dilengkapi dengan EPS (*External Programing Sistem*). Mesin CNC jenis *Training Unit* hanya mampu dipergunakan untuk pekerjaan-pekerjaan ringan dengan bahan yang relatif lunak.

Sedangkan Mesin CNC *PU* dipergunakan untuk produksi massal, sehingga mesin ini dilengkapi dengan assesoris tambahan seperti sistem pembuka otomatis yang menerapkan prinsip kerja hidrolis, pembuangan tatal, dan sebagainya.

Gerakan Mesin Bubut CNC dikontrol oleh komputer, sehingga semua gerakan yang berjalan sesuai dengan program yang diberikan, keuntungan dari sistem ini adalah memungkinkan mesin untuk diperintah mengulangi gerakan yang sama secara terus menerus dengan tingkat ketelitian yang sama pula.

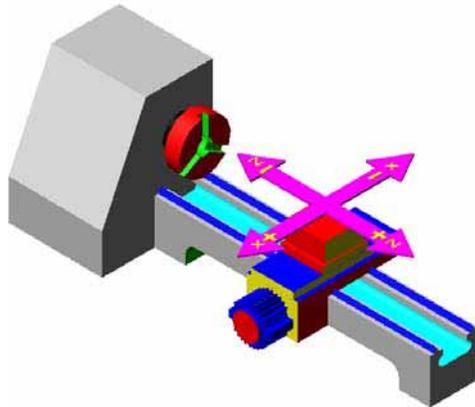
1. Prinsip Kerja Mesin Bubut CNC TU-2 Axis

Mesin Bubut CNC TU-2A mempunyai prinsip gerakan dasar seperti halnya Mesin Bubut konvensional yaitu gerakan ke arah melintang dan horizontal dengan sistem koordinat sumbu X dan Z. Prinsip kerja Mesin Bubut CNC TU-2A juga sama dengan Mesin Bubut konvensional yaitu benda kerja yang dipasang pada cekam bergerak sedangkan alat potong diam.

Untuk arah gerakan pada Mesin Bubut diberi lambang sebagai berikut :

- a. Sumbu X untuk arah gerakan melintang tegak lurus terhadap sumbu putar.
- b. Sumbu Z untuk arah gerakan memanjang yang sejajar sumbu putar.

Untuk memperjelas fungsi sumbu-sumbu Mesin Bubut CNC TU-2A dapat dilihat pada gambar ilustrasi di bawah ini :



Gambar 12.1. Mekanisme arah gerakan Mesin Bubut.

2. Bagian Utama Mesin Bubut CNC TU 2-A



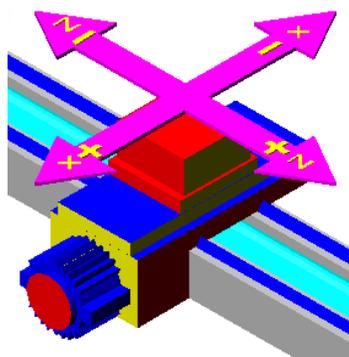
Gambar 12.2. Mesin Bubut CNC TU-2A

a. Bagian mekanik

1) Motor Utama

Motor utama adalah motor penggerak cekam untuk memutar benda kerja. Motor ini adalah jenis motor arus searah/DC (*Direct Current*) dengan kecepatan putaran yang variabel. Adapun data teknis motor utama adalah:

- Jenjang putaran 600 – 4000 rpm
- Power Input* 500 Watt
- Power Output* 300 Watt



Gambar 12.3. Ilustrasi gerak eretan.

2) Eretan/support

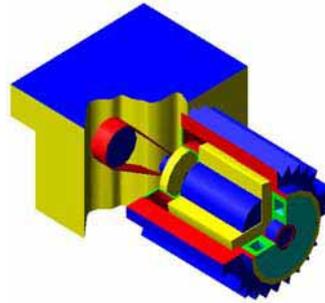
Eretan adalah gerak persum-buan jalannya mesin. Untuk Mesin Bubut CNC TU-2A dibedakan menjadi dua bagian, yaitu :

- Eretan memanjang (sumbu Z) dengan jarak lintasan 0–300 mm.
- Eretan melintang (Sumbu X) dengan jarak lintasan 0–50 mm.

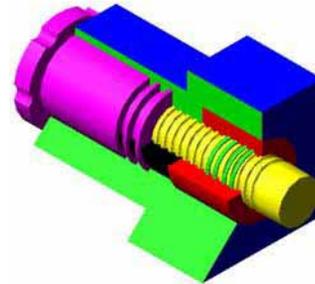
3) Step motor

Step motor berfungsi untuk menggerakkan eretan, yaitu gerakan sumbu X dan gerakan sumbu Z. Tiap-tiap eretan memiliki step motor sendiri-sendiri, adapun data teknis step motor sebagai berikut:

- a). Jumlah putaran 72 langkah
- b). Momen putar 0.5 Nm.
- c). Kecepatan gerakan :
 - Gerakan cepat maksimum 700 mm/menit.
 - Gerakan operasi manual 5 – 500 mm/menit.
 - Gerakan operasi mesin CNC terprogram 2 – 499 mm/menit.

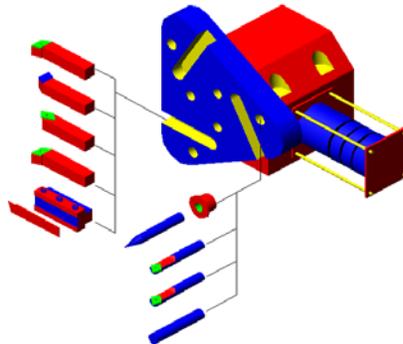


Gambar 12.4. Step motor.



Gambar 12.5.
Poros berulir dengan bantalan.

4) Rumah alat potong (*revolver/ toolturret*)



Gambar 12.6. *Revolver*

Rumah alat potong berfungsi sebagai penjepit alat potong pada saat proses pengerjaan benda kerja. Adapun alat yang dipergunakan disebut *revolver* atau *toolturret*, *revolver* digerakkan oleh step motor sehingga bisa dige-rakkan secara manual maupun terprogram.

Pada *revolver* bisa dipasang enam alat potong sekaligus yang terbagi mejadi dua bagian, yaitu :

- a) Tiga tempat untuk jenis alat potong luar dengan ukuran 12x12 mm.
Misal: pahat kanan luar, pahat potong, pahat ulir, dll.
- b) Tiga tempat untuk jenis alat potong dalam dengan maksimum diameter 8 mm.
Misal: pahat kanan dalam, bor, *center drill*, pahat ulir dalam, dll.

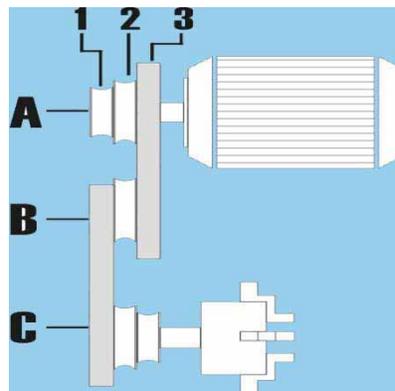
5) Cekam

Cekam pada Mesin Bubut berfungsi untuk menjepit benda kerja pada saat proses penyayatan berlangsung. Kecepatan spindel Mesin Bubut ini diatur menggunakan transmisi sabuk. Pada sistem transmisi sabuk dibagi menjadi enam transmisi penggerak.



Gambar 12.7. Cekam

Adapun tingkatan sistem transmisi penggerak *spindle* utama mesin CNC TU-2A, bisa dilihat dari gambar ilustrasi berikut :

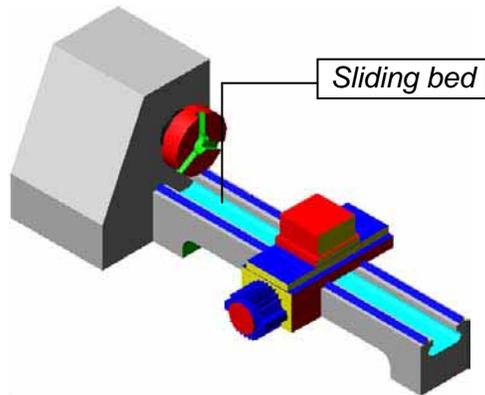


Gambar 12.8.
Transmisi penggerak.

Enam tingkatan *pulley* penggerak tersebut memungkinkan untuk pengaturan berbagai putaran sumbu utama. Sabuk perantara *pulley A* dan *pulley B* bersifat tetap dan tidak dapat diubah, sedangkan sabuk perantara *pulley B* dengan *pulley C* dapat dirubah sesuai kecepatan putaran yang diinginkan, yaitu pada posisi BC1, BC2, dan BC3.

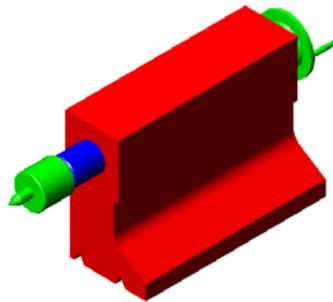
6) Meja mesin

Meja mesin atau *sliding bed* sangat mempengaruhi baik buruknya hasil pekerjaan menggunakan Mesin Bubut ini, hal ini dikarenakan gerakan memanjang eretan (gerakan sumbu Z) tertumpu pada kondisi *sliding bed* ini. Jika kondisi *sliding bed* sudah aus atau cacat bisa dipastikan hasil pembubutan menggunakan mesin ini tidak akan maksimal, bahkan benda kerja juga rusak. Hal ini juga berlaku pada Mesin Bubut konvensional.



Gambar 12.9. *Sliding bed*.

7) Kepala lepas

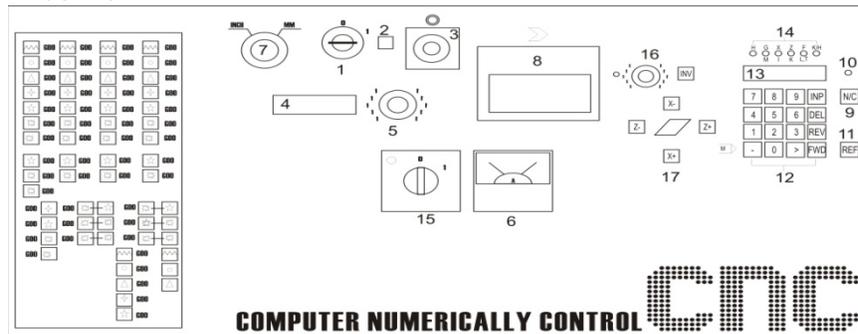


Gambar 12.10. Kepala lepas.

Kepala lepas berfungsi sebagai tempat pemasangan senter putar pada saat proses pembubutan benda kerja yang relatif panjang. Pada kepala lepas ini bisa dipasang pengecam bor, dengan diameter mata bor maksimum 8 mm. Untuk mata bor dengan diameter lebih dari 8 mm, ekor mata bor harus memenuhi syarat ketirusan MT1.

b. Bagian pengendali/kontrol

Bagian pengendali/kontrol merupakan bak kontrol mesin CNC yang berisikan tombol-tombol dan saklar serta dilengkapi dengan monitor. Pada bok kontrol merupakan unsur layanan langsung yang berhubungan dengan operator. Gambar berikut menunjukkan secara visual dengan nama-nama bagian sebagai berikut :

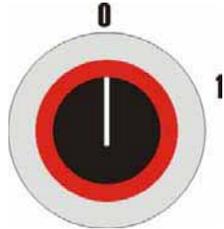


Gambar 12. 11. Bagian-bagian pengendali/kontrol.

Keterangan :

1. Saklar utama
2. Lampu kontrol saklar utama
3. Tombol emergensi
4. Display untuk penunjukan ukuran
5. Saklar pengatur kecepatan sumbu utama
6. Amperemeter
7. Saklar untuk memilih satuan metric atau inch
8. *Slot disk drive*
9. Saklar untuk pemindah operasi manual atau CNC (H=*hand/manual*, C= CNC)
10. Lampu control pelayanan CNC
11. Tombol START untuk eksekusi program CNC
12. Tombol masukan untuk pelayanan CNC
13. Display untuk penunjukan harga masing-masing fungsi (X, Z, F, H), dll.
14. Fungsi kode huruf untuk masukan program CNC
15. Saklar layanan sumbu utama
16. Saklar pengatur asutan
17. Tombol koordinat sumbu X, Z.

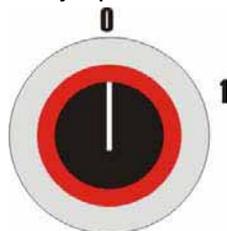
⇒ **Saklar utama/main switch**



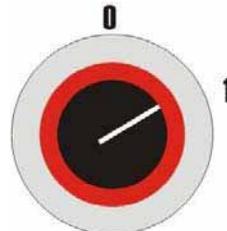
Gambar. 12.12. Saklar utama.

Saklar utama adalah pintu masuk aliran listrik ke kontrol pengendali CNC. Cara kerja saklar utama yaitu jika kunci saklar utama diputar ke posisi 1 maka arus listrik akan masuk ke kontrol CNC.

Sebaliknya jika kunci saklar utama diputar kembali ke angka 0 maka arus listrik yang masuk ke kontrol CNC akan terputus. Untuk lebih jelasnya perhatikan gambar di bawah ini:



Kondisi Mati

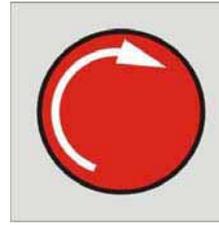


Listrik Masuk ke Kontrol CNC

Gambar 8. 13 Ilustrasi Cara Kerja Saklar Utama

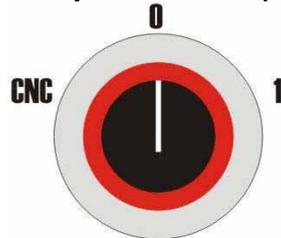
⇒ **Tombol darurat/emergency switch**

Tombol ini digunakan untuk memutus aliran listrik yang masuk ke kontrol mesin. Hal ini dilakukan apabila akan terjadi hal-hal yang tidak diinginkan akibat kesalahan program yang telah dibuat.



Gambar 12.14. *Emergency switch.*

⇒ **Saklar operasi mesin (operating switch)**

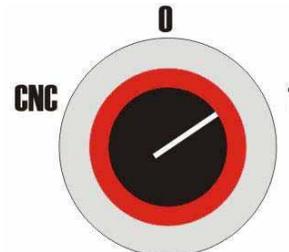


Gambar 12.15. Saklar operasi.

Saklar layanan mesin ini digunakan untuk memutar sumbu utama yang dihubungkan dengan rumah alat potong. Saklar ini yang mengatur perputaran sumbu utama sesuai menu yang dijalankan, yaitu perputaran manual dan CNC.

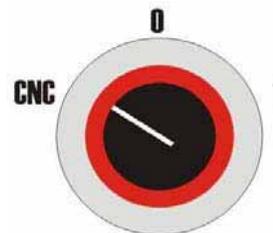
Cara kerja saklar operasi adalah sebagai berikut :

- a) Jika saklar diputar pada angka 1 maka menu yang dipilih adalah menu manual (lihat Gambar 12.16), yaitu pergerakan eretan, kedalaman pemakanan tergantung oleh operator.



Gambar 12. 16. Ilustrasi saklar operasi manual.

- b) Jika saklar diputar pada "CNC" berarti menu yang dipilih adalah menu CNC (lihat Gambar 12.17), yaitu semua pergerakan yang terjadi dikontrol oleh komputer baik itu gerakan sumbu utama gerakan eretan, maupun kedalaman pemakanan.



Gambar 12. 17. Ilustrasi saklar operasi CNC.

⇒ **Saklar pengatur kecepatan sumbu utama**

Saklar ini berfungsi untuk mengatur kecepatan putar alat potong pada sumbu utama. Saklar ini bisa berfungsi pada layanan CNC maupun manual. Kecepatan putaran sumbu utama mesin CNC TU-2A berkisar antara 50 - 3000 RPM, sesuai tabel putaran pada mesin.

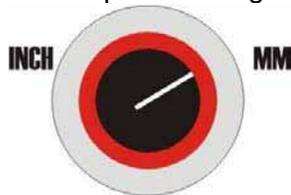


Gambar 12. 18. Saklar pengatur kecepatan sumbu utama.

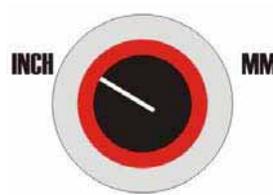
Cara pengoperasian saklar pengatur kecepatan sumbu utama ini adalah, saklar pengatur kecepatan sumbu utama diputar ke arah kanan mendekati angka 100 untuk meningkatkan kecepatan putaran *spindle*. Untuk mengurangi kecepatan *spindle* putar kembali saklar pengatur kecepatan sumbu utama ke arah kiri mendekati angka 0.

⇒ **Saklar layanan dimensi mesin**

Saklar ini berfungsi untuk mengatur layanan dimensi yang akan bekerja pada mesin CNC, yaitu layanan dalam bentuk satuan Metris maupun Inch. Cara kerja saklar ini, apabila mesin akan difungsikan pada dimensi tertentu, maka simbol penunjuk saklar diputar pada titik satuan dimensi yang sesuai dengan program kerja. Agar lebih jelas lihat dan perhatikan gambar ilustrasi berikut ini :

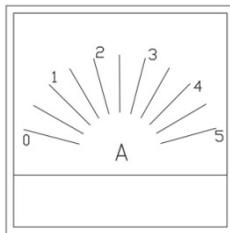


Gambar 12.19. Penunjukan saklar dalam satuan Metris.



Gambar 12.20. Penunjukan saklar dalam satuan Inch.

⇒ **Ampere Meter**



Gambar 12.21 Ampere Meter

Ampere meter berfungsi sebagai *display* besarnya pemakaian arus aktual dari motor utama. Fungsi utama dari ampere meter ini untuk mencegah beban berlebih pada motor utama.

Arus yang diijinkan pada saat pengoperasian mesin adalah 4 Ampere. Apabila mesin dioperasikan secara terus menerus (kontinu) besarnya arus aktual yang diijinkan sebesar 2 Ampere. Besarnya beban arus aktual pada motor utama pada saat pengoperasian dapat dikurangi dengan cara mengurangi kedalaman dan kecepatan penyayatan.

⇒ **Disk Drive**



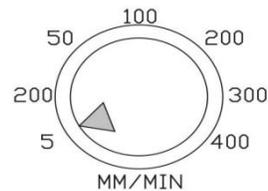
Gambar 12.22. Disk drive

Disk drive pada mesin CNC dimaksudkan untuk pelayanan pengoperasian disket. Dengan pelayanan disket dapat dilakukan :

- a) Menyimpan data dari memori mesin ke dalam memori disket.
- b) Memindah data program dari data ke dalam memori mesin.

⇒ **Saklar pengatur asutan (feed override)**

Saklar ini berfungsi sebagai pengatur kecepatan gerakan asutan dari eretan mesin. Saklar ini hanya dipergunakan pada pengoperasian mesin secara manual. Kecepatan asutan untuk mesin CNC-TU2A berkisar antara 5–400 mm/menit.



Gambar 12. 23.

Saklar pengatur asutan.

Untuk menjalankan gerakan cepat (*rapid*) dapat menggunakan tombol  yang ditekan secara bersamaan dengan tombol koordinat sumbu X dan Z yang dikehendaki.



Tombol ini berfungsi untuk memindahkan fungsi dari fungsi CNC ke fungsi manual, atau sebaliknya.



Tombol ini berfungsi untuk menyimpan data pada memori mesin.



Tombol ini berfungsi untuk menghapus satu karakter/kata untuk diganti.



Tombol ini berfungsi untuk memindah cursor kembali ke nomor blok program sebelumnya.



Tombol ini berfungsi untuk memindah cursor menuju nomor blok berikutnya.



Tombol untuk:
- Memasukkan data bernilai negatif, tombol ini ditekan setelah memasukkan nilai/angka yang

dikehendaki.

- Memasukkan data dengan karakter M. Contoh: M99, M03, M05.
- Menguji kebenaran program, setelah program selesai dibuat, tekan dan tahan tombol ini, secara otomatis program yang telah dibuat akan dicek kebenarannya oleh komputer.



Tombol ini berfungsi untuk memindahkan cursor.



Kombinasi tombol untuk menyisipkan satu baris blok program.



(Tekan tombol ~ diikuti tombol **INP**).



Kombinasi tombol untuk menghapus satu baris blok program.



(Tekan tombol ~ diikuti tombol **DEL**).



Kombinasi tombol untuk :



- Menghapus alarm.
(Tekan tombol **REV** diikuti tombol **INP**)
- Kembali ke awal program.



Kombinasi tombol untuk mengeksekusi program agar berhenti sementara.



(Tekan tombol **INP** diikuti tombol **FWD**).



Tombol kombinasi untuk mengeksekusi program secara satu persatu dalam setiap blok program.



Kombinasi ini biasa digunakan sebagai salah satu cara pengecekan kebenaran program.

(Tekan tombol **1** disusul tombol **START**)



Tombol ini dipergunakan untuk mengeksekusi program secara keseluruhan.



Tombol kombinasi untuk menghapus program secara keseluruhan dari memori mesin.

(Tekan tombol **DEL** diikuti **INP**)

FUNGSI G

- G 00 : Gerak lurus cepat (tidak boleh menyayat)
- G 01 : Gerak lurus penyayatan
- G 02 : Gerak melengkung searah jarum jam (CW)
- G 03 : Gerak melengkung berlawanan arah jarum jam (CCW)
- G 04 : Gerak penyayatan (feed) berhenti sesaat
- G 21 : Baris blok sisipan yang dibuat dengan menekan tombol ~ dan INP
- G 25 : Memanggil program sub routine
- G 27 : Perintah meloncat ke nomor blok yang dituju
- G 33 : Pembuatan ulir tunggal
- G 64 : Mematikan arus step motor
- G 65 : Operasi disket (menyimpan atau memanggil program)
- G 73 : Siklus pengeboran dengan pemutusan tatal
- G 78 : Siklus pembuatan ulir
- G 81 : Siklus pengeboran langsung
- G 82 : Siklus pengeboran dengan berhenti sesaat
- G 83 : Siklus pengeboran dengan penarikan tatal
- G 84 : Siklus pembubutan memanjang
- G 85 : Siklus pereameran
- G 86 : Siklus pembuatan alur
- G 88 : Siklus pembubutan melintang
- G 89 : Siklus pereameran dengan waktu diam sesaat
- G 90 : Program absolut
- G 91 : Program Incremental
- G 92 : Penetapan posisi pahat secara absolut

FUNGSI M

- M 00 : Program berhenti
- M 03 : Spindle / sumbu utama berputar searah jarum jam (CW)
- M 05 : Putaran spindle berhenti
- M 06 : Perintah penggantian alat potong (tool)
- M 17 : Perintah kembali ke program utama
- M 30 : Program berakhir
- M 99 : Penentuan parameter I dan K

KODE ALARM

- A 00 : Kesalahan perintah pada fungsi G atau M
- A 01 : Kesalahan perintah pada fungsi G02 dan G03
- A 02 : Kesalahan pada nilai X
- A 03 : Kesalahan pada nilai F

- A 04 : Kesalahan pada nilai Z
- A 05 : Kurang perintah M30
- A 06 : Putaran spindle terlalu cepat
- A 09 : Program tidak ditemukan pada disket
- A 10 : Disket diprotek
- A 11 : Salah memuat disket
- A 12 : Salah pengecekan
- A 13 : Salah satuan mm atau inch dalam pemuatan
- A 14 : Salah satuan
- A 15 : Nilai H salah
- A 17 : Salah sub program

3. Kecepatan Potong dan Kecepatan Putar Mesin

a. Pengertian kecepatan potong

Kecepatan potong adalah suatu harga yang diperlukan dalam menentukan kecepatan pada saat proses penyayatan atau pemotongan benda kerja. Harga kecepatan potong ditentukan oleh jenis alat potong, dan jenis benda kerja yang dipotong.

Adapun rumus dasar untuk menentukan kecepatan potong adalah:

$$V_c = \frac{\pi \times d \times n}{1000} \text{ m/menit}$$

Di mana:

- V_c = Kecepatan potong (m/menit).
- d = Diameter benda kerja (mm).
- n = Jumlah putaran tiap menit.
- π = 3,14

Harga kecepatan potong dipengaruhi oleh beberapa faktor di antaranya :

- 1) Bahan benda kerja atau jenis material.
- 2) Semakin tinggi kekuatan bahan yang dipotong, maka harga kecepatan potong semakin kecil.
- 3) Jenis alat potong (Tool).
- 4) Semakin tinggi kekuatan alat potongnya semakin tinggi pula kecepatan potongnya.
- 5) Besarnya kecepatan penyayatan / asutan.
- 6) Semaki besar jarak asutan, maka harga kecepatan potong semakin kecil.
- 7) Kedalaman penyayatan/pemotongan.
- 8) Semakin tebal penyayatan, maka harga kecepatan potong semakin kecil.

b. Jumlah putaran

Jumlah putaran sumbu utama dapat ditentukan dengan menggunakan rumus :

$$n = \frac{V_c \times 1000}{\pi d} \text{ put/menit}$$

Di mana:

V_c = Kecepatan potong (m/menit).

d = Diameter benda kerja (mm).

n = Jumlah putaran tiap menit.

π = 3,14

c. Kecepatan asutan

Asutan adalah pemotongan benda. Asutan sendiri dibedakan menjadi dua, yaitu :

- 1) Asutan dalam mm/putaran (f)
- 2) Asutan dalam mm/menit (F)

Rumus dasar perhitungan asutan adalah:

$$F (\text{mm/menit}) = n (\text{put/menit}) \times f (\text{mm/put})$$

Dari beberapa rumusan di atas, didapat suatu tabel perbandingan antara diameter benda kerja, kecepatan potong, dan putaran mesin.

Tabel 12.1. Hubungan diameter benda kerja, kecepatan potong, dan putaran mesin.

Diameter (mm)	Vc (m/menit)	Kecepatan Putar (put/menit)
5	20/30/40	1250/1900/2500
6	20/30/40	1050/1600/2100
7	20/30/40	900/1300/1800
8	20/30/40	800/1200/1550
9	20/30/40	700/1050/1400
10	20/30/40	650/950/1250
12	30/40/70	780/1050/1225
14	40/50/70	900/1150/1550
16	40/50/70	780/1000/1400
18	40/50/70	700/900/1250
20	40/50/70	625/800/1100
25	40/50/70	500/650/900
30	40/50/70	425/550/750
35	40/50/70	360/450/650
40	50/70/100	400/570/800
45	50/70/100	350/500/700
50	50/70/100	225/450/650

Contoh penggunaan tabel di atas, kita misalkan diameter benda kerja 20 mm, kecepatan potong (V_c)= 40 mm, maka kecepatan putar (n) = 625 put/menit.

4. Pemrograman Mesin CNC

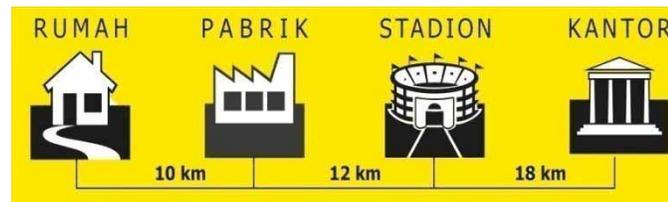
Pemrograman adalah suatu urutan perintah yang disusun secara rinci tiap blok per blok untuk memberikan masukan mesin perkakas CNC tentang apa yang harus dikerjakan. Untuk menyusun pemrograman pada mesin CNC diperlukan :

a. Metode pemrograman

Metode pemrograman dalam mesin CNC ada dua, yaitu :

1) Metode Incremental

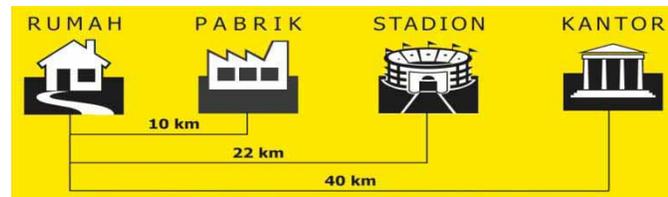
Adalah suatu metode pemrograman dimana titik referensinya selalu berubah, yaitu titik terakhir yang dituju menjadi titik referensi baru untuk ukuran berikutnya. Untuk lebih jelasnya lihat gambar berikut ini :



Gambar 12. 24. Skema metode Incremental

2) Metode Absolut

Adalah suatu metode pemrograman dimana titik referensinya selalu tetap yaitu satu titik / tempat dijadikan referensi untuk semua ukuran berikutnya. Untuk lebih jelasnya lihat gambar di bawah ini.



Gambar 12.25. Skema metode Absolut

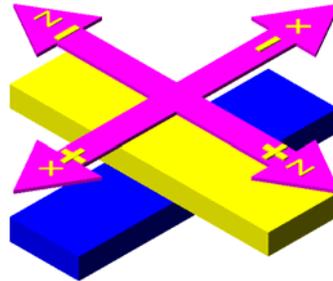
b. Bahasa pemrograman

Bahasa pemrograman adalah format perintah dalam satu blok dengan menggunakan kode huruf, angka, dan simbol. Di dalam mesin perkakas CNC terdapat perangkat komputer yang disebut dengan Machine Control Unit (MCU). MCU ini berfungsi menterjemahkan bahasa kode ke dalam bentuk

gerakan persumbuan sesuai bentuk benda kerja. Kode-kode bahasa dalam mesin perkakas CNC dikenal dengan kode G dan M, di mana kode-kode tersebut sudah distandarkan oleh ISO atau badan Internasional lainnya. Dalam aplikasi kode huruf, angka, dan simbol pada mesin perkakas CNC bermacam-macam tergantung sistem kontrol dan tipe mesin yang dipakai, tetapi secara prinsip sama. Sehingga untuk pengoperasian mesin perkakas CNC dengan tipe yang berbeda tidak akan ada perbedaan yang berarti. Misal : mesin perkakas CNC dengan sistem kontrol EMCO, kode-kodenya dimasukkan ke dalam standar DIN. Dengan bahasa kode ini dapat berfungsi sebagai media komunikasi antar mesin dan operator, yakni untuk memberikan operasi data kepada mesin untuk dipahami. Untuk memasukkan data program ke dalam memori mesin dapat dilakukan dengan keyboard atau perangkat lain (disket, kaset dan melalui kabel RS-232).

c. Sistem persumbuan pada Mesin Bubut CNC-TU2A

Sebelum mempelajari sistem penyusunan program terlebih dahulu harus memahami betul sistem persumbuan Mesin Bubut CNC-TU2A. Ilustrasi Gambar 12.26. di samping ini adalah skema eretan melintang dan eretan memanjang, di mana mesin dapat diperintah bergerak sesuai program.



Gambar 12.26. Skema persumbuan Mesin Bubut CNC-TU2A.

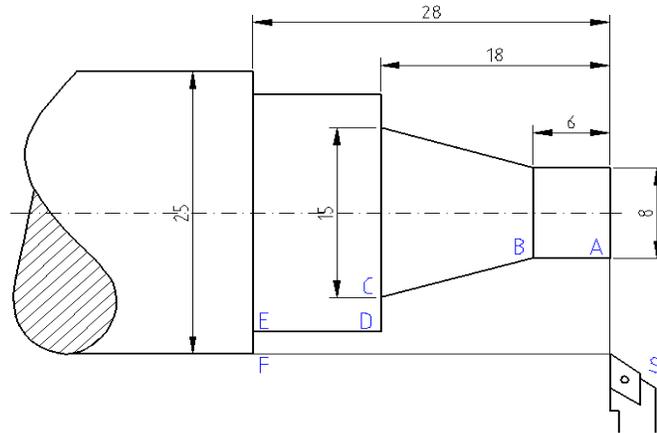
Pada umumnya gerakan melintang Mesin Bubut adalah sumbu X, sedangkan gerakan memanjang Mesin Bubut adalah sumbu Z.

d. Contoh pemrograman

Berikut contoh pemrograman dengan metode absolut dan incremental. Program berikut adalah langkah *finishing* pengerjaan suatu benda kerja.

1) Contoh program Incremental

Pemrograman secara incremental adalah pemrograman dengan perhitungan yang didasarkan pada posisi nol berada, artinya gerakan *tool* berikutnya didasarkan pada posisi *tool* sebelumnya. Untuk lebih jelasnya lihat ilustrasi di bawah ini, serta cermati angka-angkanya.



Gambar 12.27. Contoh gambar untuk pemrograman.

Buatlah susunan program proses *finishing* dari gambar benda kerja di atas!

Susunan Program untuk *Finishing*

N	G	X	Z	F	
00	M03				
01	00	-850	0	35	Dari S ke A
02	01	0	-600	35	Dari A ke B
03	01	350	-1200	35	Dari B ke C
04	01	300	0	35	Dari C ke D
05	01	0	1000	35	Dari D ke E
06	01	200	0	35	Dari E ke F
07	00	0	2800		Dari F ke S
08	M05				
09	M30				

Keterangan dari program di atas :

- N 00 : Mesin diperintahkan memutar *spindle chuck* searah jarum jam (M03).
- N 01 : Pahat diperintahkan maju lurus tidak menyayat(G00, X-850, Z0) dari S ke A.
- N 02 : Pahat diperintahkan menyayat lurus memanjang (G01, X 0, Z-600, F 35) dari A ke B.
- N 03 : Pahat diperintahkan menyayat tirus (G01, X 350, Z-1200, F 35) dari B ke C.
- N 04 : Pahat diperintahkan menyayat mundur lurus (G01, X300, Z0, F 35) dari C ke D.
- N 05 : Pahat diperintahkan menyayat lurus memanjang (G01, X0, Z-1000, F35) dari D ke E.
- N 06 : Pahat diperintahkan menyayat mundur lurus

(G01,X200,Z0,F35) dari E ke F.

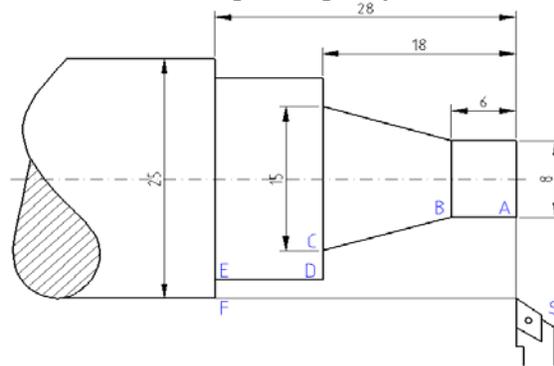
N 07 : Pahat diperintahkan gerak cepat tidak menyayat (G00, X0, Z2800) dari F kembali ke S.

N 08 : Mesin diperintahkan untuk menghentikan putaran *spindle* utama (M05).

N 09 : Mesin diperintahkan selesai (M30)

2) Contoh program Absolut

Penyusunan program absolut sistem penghitungannya didasarkan pada satu titik referensi. Nilai X adalah diameter benda kerja, sedangkan nilai Z adalah jarak dari titik referensi ke arah memanjang. Untuk lebih jelasnya lihat ilustrasi di bawah ini, serta cermati angka-angkanya.



Gambar 12.28. Contoh gambar untuk pemrograman

Buatlah susunan program proses *finishing* dari gambar benda kerja di atas.

N	G	X	Z	F	
00	G92	2500	0		
01	M03				
02	G00	800	0	35	Dari S ke A
03	G01	800	-600	35	Dari A ke B
04	G01	1500	-1800	35	Dari B ke C
05	G01	2100	-1800	35	Dari C ke D
06	G01	2100	-2800	35	Dari D ke E
07	G01	2500	-2800	35	Dari E ke F
08	G00	2500	0		Dari F ke S
09	M05				
10	M30				

Keterangan dari program di atas :

N 00 : Informasi disampaikan pada mesin bahwa posisi pahat pada diameter 25 mm, dan tepat diujung benda (G92, X2500, Z0).

N 01 : Mesin diperintahkan memutar *spindle chuck* searah

jarum jam (M03).

N 02 : Pahat diperintahkan maju lurus tidak menyayat(G00, X800, Z0) dari S ke A.

N 03 : Pahat diperintahkan menyayat lurus memanjang (G01, X800, Z-600, F 35) dari A ke B.

N 04 : Pahat diperintahkan menyayat tirus (G01, X 1500, Z-1800, F 35) dari B ke C.

N 05 : Pahat diperintahkan menyayat mundur lurus (G01, X2100, Z-1800, F 35) dari C ke D.

N 06 : Pahat diperintahkan menyayat lurus memanjang (G01, X2100, Z-1800, F35) dari D ke E.

N07 :Pahat diperintahkan menyayat mundur lurus (G01,X2500,Z-2800,F35) dari E ke F.

N 08 : Pahat diperintahkan gerak cepat tidak menyayat (G00, X2500, Z0) dari F kembali ke S.

N 09 : Mesin diperintahkan untuk menghentikan putaran *spindle* utama (M05).

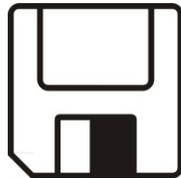
N 10 : Mesin diperintahkan selesai (M30).

5. Pengoperasian Disket

Pada Mesin Bubut CNC-TU2A dilengkapi dengan penggerak disket atau *disk drive* yang berfungsi untuk pengoperasian disket. Dengan sistem layanan disket ini semua program CNC dapat disimpan ke dalam disket atau dapat memindahkan program CNC dari disket ke dalam memori mesin. Hal ini dilakukan karena kemampuan mesin yang terbatas, yakni mesin hanya mampu menyimpan data ketika mesin dalam kondisi hidup, sedangkan apabila mesin dimatikan, semua data program yang ada di dalam memori mesin akan hilang.

Ada beberapa kemungkinan yang dapat menyebabkan data yang ada di dalam memori mesin hilang, antara lain :

- Tombol emergensi ditekan.
- Terjadi gangguan listrik, yang menyebabkan terputusnya aliran listrik yang masuk ke mesin.



Gambar 12.29. Disket

Apabila terjadi hal-hal tersebut di atas, dengan sistem pelayanan disket akan memudahkan operator untuk memasukkan data-data program ke dalam memori mesin melalui data program yang tersimpan di dalam disket.

Jenis disket yang digunakan dalam pengoperasian mesin adalah disket DS, DD(*double side, double density*) dengan ukuran disket 3,5 Inch. Untuk pengoperasian disket pada Mesin Bubut CNC-

TU2A ada beberapa urutan yaitu :

a. Memformat disket

Memformat disket adalah pengisian lintasan *track* dan *sector* sehingga dapat dipergunakan untuk menyimpan data program. Adapun langkah memformat disket sebagai berikut :

- 1) Masukkan disket pada *disk drive* maka lampu led akan menyala.
- 2) Pindahkan cursor pada kolom G dengan menekan tombol 
- 3) Tulis G65 kemudian tekan tombol, (pada monitor tertayang fungsi pita)
- 4) Tekan tombol  +  secara bersamaan, maka pada monitor akan tampil pita hapus dan tertulis C er (*erase*), tunggu sampai format selesai.

b. Menyimpan program dari mesin ke dalam disket

- 1) Masukkan disket pada *disk drive* maka lampu led akan menyala.
- 2) Pindahkan cursor pada kolom G dengan menekan tombol 
- 3) Tulis G65 kemudian tekan tombol  (pada monitor tertayang fungsi pita)
- 4) Tekan tombol  (pada monitor tertayang menyimpan program no P....).
- 5) Nomor program untuk menyimpan dapat dipilih :
P00 – P99
000 – 999
- 6) Tulis nomer program yang diinginkan, misal 281 kemudian tekan tombol  (pada monitor akan tertayang nomer 281 akan tersimpan dan mesin akan menampilkan program-program yang tersimpan di dalam disket) tunggu sampai proses penyimpanan selesai.

c. Memanggil program dari disket ke mesin

- 1) Masukkan disket pada *disk drive* maka lampu led akan menyala.
- 2) Pindahkan cursor pada kolom G dengan menekan tombol 
- 3) Tulis G65 kemudian tekan tombol , (pada monitor tertayang fungsi pita)
- 4) Tekan tombol  (pada monitor tertayang fungsi pita....).
- 5) Tulis nomer program yang akan dipanggil, misal 282,

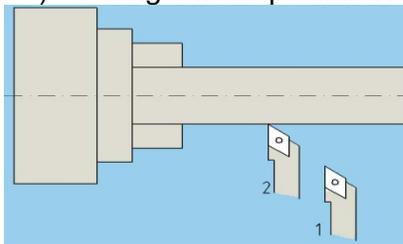
kemudian tekan tombol **INP** (pada monitor akan tertayang : program tersimpan dan mesin akan menampilkan program-program yang tersimpan di dalam disket) kemudian disusul program akan terbaca, maksudnya nomer program yang tersimpan di dalam disket akan ditampilkan. Tunggu sampai proses pembacaan selesai.

6. Cara *Setting* Benda Kerja

Untuk melaksanakan eksekusi program-program CNC dengan penyayatan benda terlebih dahulu dilakukan *setting* pisau terhadap benda kerja. *Setting* dapat dilakukan dengan dua cara yaitu :

a. *Setting* benda kerja dengan metode incremental

- 1) Pasang benda kerja pada cekam, kunci dengan kuat.
- 2) Putar cekam dengan kecepatan yang sesuai dan yakinkan putaran sudah senter.
- 3) *Setting* terhadap sumbu X :



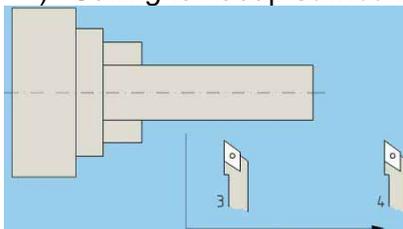
- a) Gerakkan pahat mendekati permukaan benda kerja, dan atur kecepatan penyayatan pelan-pelan.
- b) Sentuhkan ujung pahat pada permukaan benda kerja dan yakinkan ujung pahat sudah menyentuh permukaan benda kerja, (lihat gambar 12.30.).

Gambar 12. 30. *Setting* kedudukan *tool* terhadap sb. X benda kerja.

Lihat harga X pada monitor, misal X=-520, hapus harga X dengan tombol **DEL**, sehingga harga X menjadi nol (00).

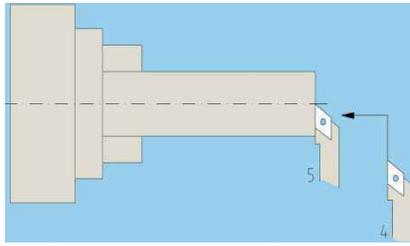
- c) *Setting* kedudukan pahat/*tool* terhadap sumbu X sudah selesai.

4) *Setting* terhadap sumbu Z



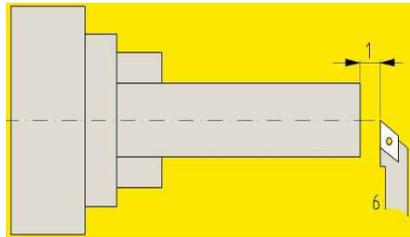
- a) Bebaskan ujung pahat dari permukaan benda kerja, dan gerakkan bebas pahat ke kanan mendekati permukaan samping kanan benda kerja.
- b) Gerakkan ujung pahat mendekati permukaan sisi samping kanan benda kerja dengan kecepatan sayat pelan-pelan.

Gambar 12. 31. Langkah *setting* kedudukan *tool* terhadap sb. Z benda kerja.



Gambar 12. 32. *Setting* kedudukan *tool* terhadap sb. Z benda kerja.

- c) Sentuhkan pahat pada permukaan benda kerja dan yakinkan pahat sudah menyentuh permukaan benda kerja (lihat Gambar 12.32.). Lihat harga Z pada monitor, misal harga $Z=250$, hapus harga Z dengan tombol **DEL**, sehingga harga $Z=00$.



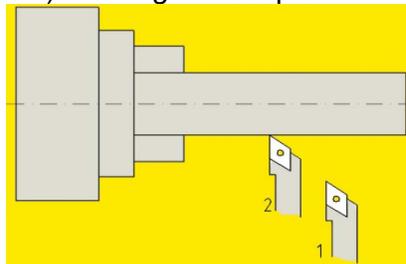
Gambar 12. 33. *Setting* akhir kedudukan *tool* terhadap sb. Z benda kerja.

- d) Gerakkan pahat ke kanan sesuai titik awal penyayatan yang dikehendaki, misal harga $Z=100$ (1mm), maka pahat digerakkan 1 mm, ke sebelah kanan titik referensi benda kerja, (lihat Gambar 12. 33.).

- e) *Setting* kedudukan pahat/*tool* terhadap sumbu Z sudah selesai

b. *Setting* benda kerja dengan metode absolut

- 1) Ukurlah diameter benda kerja dan catat harga diameter, misal : 22 mm.
- 2) Pasang benda kerja pada cekam, kunci dengan kuat.
- 3) Putar cekam dengan kecepatan yang sesuai dan yakinkan putaran sudah senter.
- 4) *Setting* terhadap **sumbu X** :



Gambar 12. 34. *Setting* kedudukan *tool* terhadap sb.X benda kerja.

- a) Gerakkan pahat mendekati permukaan benda kerja, dan atur kecepatan penyayatan pelan-pelan.
- b) Sentuhkan ujung pahat pada permukaan benda kerja dan yakinkan pahat sudah menyentuh permukaan benda kerja, (lihat Gambar 12.34).

- Lihat harga X pada monitor, misal X=-720, hapus harga X dengan tombol **DEL**, sehingga harga X menjadi nol (00).
- c) Tekan tombol **INP** dan tulis harga diameter benda kerja X= 2200 kemudian tekan **INP**.
- d) *Setting* kedudukan pahat/*tool* terhadap sumbu X sudah selesai.
- 5) *Setting* terhadap **sumbu Z** :
 Untuk *setting* kedudukan *tool* terhadap sumbu Z, metode absolut caranya sama seperti *setting* kedudukan *tool* terhadap sumbu Z pada metode incremental.

7. Contoh-contoh Aplikasi Fungsi G, Fungsi M, serta Soal Latihan

a. Fungsi G 00

Perintah atau fungsi dengan sandi G 00 adalah perintah gerakan lurus, cepat, dan tidak menyayat. Penempatan fungsi ini pada kolom kedua, pada blok program. Untuk lebih jelasnya lihat gambar berikut :

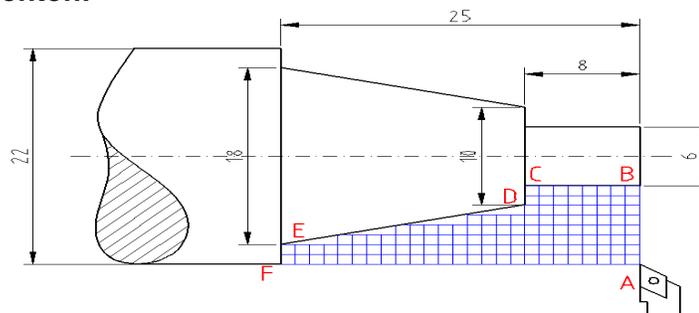
N	G	X	Z	F	H
.....	00	.....	.....	.....	.....

Gambar 12. 35. Ilustrasi blok program fungsi G 00.

Keterangan:

- N : Nomor Blok
- G : Kolom input fungsi atau perintah
- X : Diameter yang dituju
- Z : Gerak memanjang
- F : Kecepatan langkah penyayatan
- H : Kedalaman penyayatan

Contoh:



Gambar 12.36. Contoh gambar kerja simulasi G00.

Susunlah program simulasi *plotter* (tanpa benda kerja) mengikuti alur gerakan A-B-C-D-E-F-A. Program *plotter* dibuat dengan metode Absolut dan Incremental.

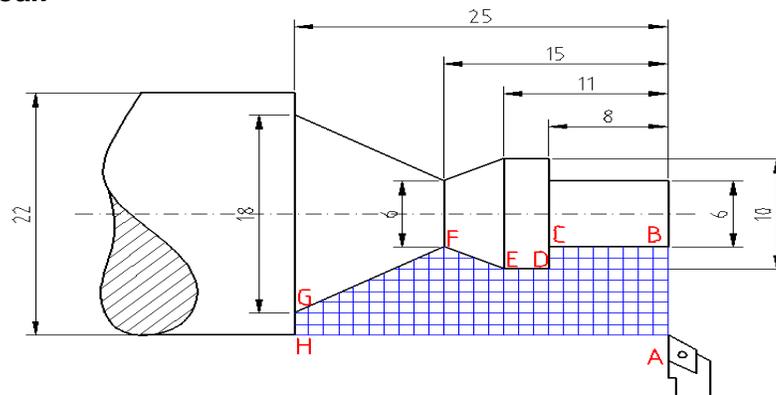
Metode Absolut

N	G	X	Z	F	H
00	92	2200	0		
01	M03				
02	00	600	0		
03	00	600	-800		
04	00	1000	-800		
05	00	1800	-2500		
06	00	2200	-2500		
07	00	2200	0		
08	M30				

Metode Incremental

N	G	X	Z	F	H
00	M03				
01	00	-600	0		
02	00	00	-800		
03	00	200	00		
04	00	400	-1700		
05	00	200	00		
06	00	00	-2500		
07	M30				

Soal:



Gambar 12. 37. Soal latihan membuat simulasi G00.

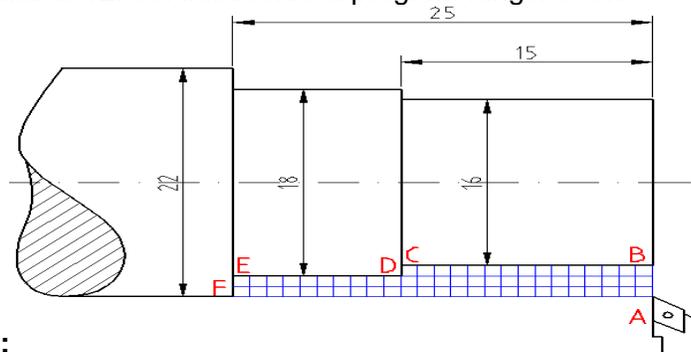
Susunlah program simulasi *plotter* (tanpa benda kerja) mengikuti alur gerakan A-B-C-D-E-F-G-H-A.

b. Fungsi G 01

Perintah atau fungsi dengan sandi G 01 adalah perintah gerakan lurus, menyayat. Penempatan fungsi ini pada kolom kedua, pada blok program. Untuk lebih jelasnya lihat gambar berikut :

N	G	X	Z	F	H
.....	01	.....	.....	.....	.....

Gambar 12. 38. Ilustrasi blok program fungsi G 01.



Contoh:

Gambar 12.39. Contoh gambar kerja simulasi G01.

Metode Absolut

N	G	X	Z	F	H
00	92	2200	00		
01	M 03				
02	01	2000	00		
03	01	2000	-2500	35	
04	01	2200	-2500	35	
05	00	2200	00		
06	01	1800	00	35	
07	01	1800	-2500	35	
08	01	2200	-2500	35	
09	00	2200	00		
10	01	1600	00	35	
11	01	1600	-1500	35	
12	01	1800	-1500	35	
13	00	2200	0		
14	M 05				
15	M 30				

Soal:

Buatlah susunan program incremental dari gambar 12.39. di atas!!

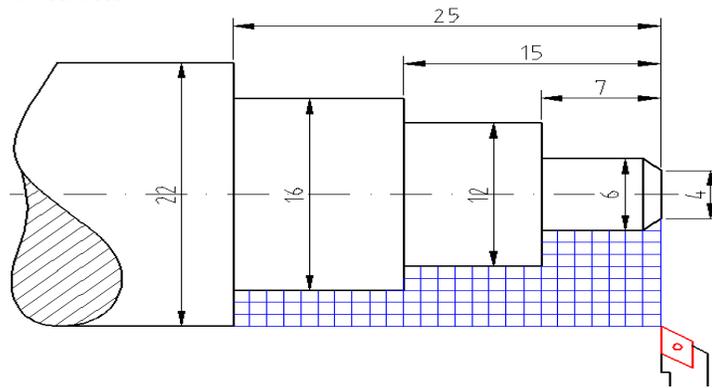
c. Fungsi G 84

Perintah atau fungsi dengan sandi G 84 adalah perintah pembubutan siklus. Penempatan fungsi ini pada kolom kedua, pada blok program. Untuk lebih jelasnya lihat gambar berikut :

N	G	X	Z	F	H
.....	84	.....	.....	.....	.....

Gambar 12. 40. Ilustrasi blok program fungsi G 84.

Contoh:



Gambar 12.41. Contoh gambar kerja simulasi G084.

Metode Absolut

N	G	X	Z	F	H
00	92	2200	00		
01	M 03				
02	84	1600	-2500	35	100
03	00	1600	00		
04	84	1200	-1500	35	100
05	00	1200	00		
06	84	600	-700	35	100
07	00	600	100		
08	00	400	100		
09	01	600	-100	35	
10	01	600	-700	35	
11	01	1200	-700	35	

12	01	1200	-1500	35	
13	01	1600	-1500	35	
14	01	1600	-2500	35	
15	01	2200	-2500	35	
16	00	2200	00		
17	M 05				
18	M 30				

Soal:

Buatlah susunan program incremental dari gambar 12.41. di atas.

d. Fungsi G 02

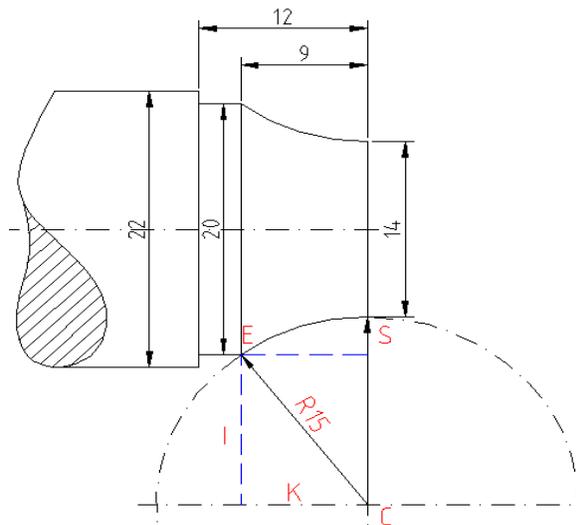
Perintah atau fungsi dengan sandi G 02 adalah perintah pembubutan radius/melengkung searah jarum jam (CW). Penempatan fungsi ini pada kolom kedua, pada blok program. Untuk lebih jelasnya lihat gambar berikut :

N	G	X	Z	F	H
.....	02	.....	.....	.....	.....
.....	M99	I.....	K.....	.....	.....

Gambar 12. 42. Ilustrasi blok program fungsi G 02.

M99 adalah penentuan parameter I dan K. Parameter I adalah jarak titik *start* melengkung sampai ke titik pusat lengkungan, tegak lurus searah sumbu X. Sedangkan parameter K adalah jarak titik *start* melengkung sampai ke titik pusat lengkungan, tegak lurus searah sumbu Z. Perintah M99 ini dipergunakan apabila radius atau lengkungan yang akan dibuat mempunyai sudut lebih dari 90°. Agar lebih jelas perhatikan contoh-contoh berikut ini.

Contoh : 1



Gambar 12.43. Contoh gambar kerja simulasi G02-1.

Dari gambar 12.43. di atas dapat diketahui bahwa besar
 $I=SC=R=15$
 $K=0$

Maka program melengkung dari S ke E sebagai berikut :

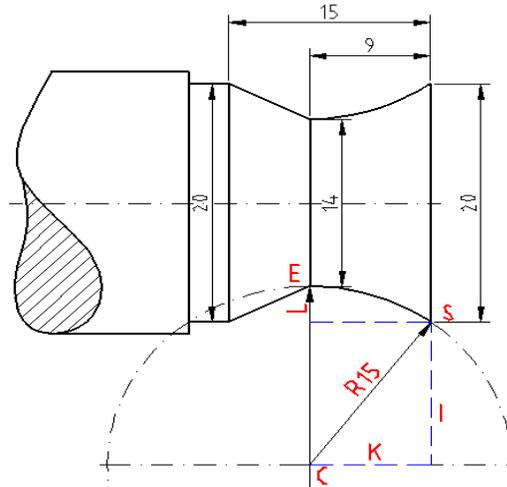
Metode Absolut

N	G	X	Z	F	H
....	
....	00	1400	00		
....	02	2000	-900	35	
....	M99	I:1500	K:0		
....	

Metode Incremental

N	G	X	Z	F	H
....	
....	02	300	-900	35	
....	M99	I:1500	K:0		
....	

Contoh : 2



Gambar 12. 44. Contoh gambar kerja simulasi G02-2.

Dari gambar 12. 44 di atas dapat diketahui

$$SC = EC = R = 15$$

$$EL = (20 - 14) : 2 = 3$$

$$I = LC = EC - EL = 15 - 3 = 2$$

$$K = SL = 9$$

Maka program gerakan melengkung dari S ke E sebagai berikut :

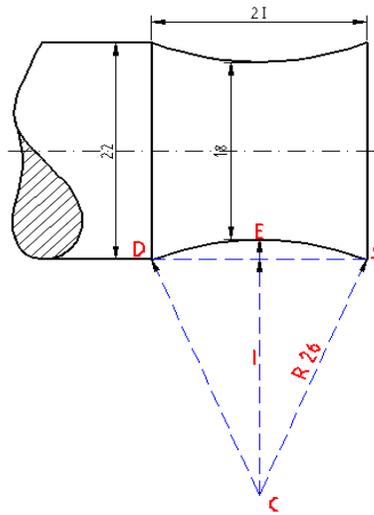
Metode Absolut

N	G	X	Z	F	H
....	
....	00	2000	0		
....	02	1400	-900	35	
....	M99	I:1200	K:900		
....	

Metode Incremental

N	G	X	Z	F	H
....	
....	02	-300	-900	35	
....	M99	I:1200	K:900		
....	

Contoh: 3



Gambar 12.45. Contoh gambar kerja simulasi G02-3.

Dari gambar 12.45 di atas diketahui $R = 26$, $K = 20:2 = 10$ sehingga bisa kita hitung nilai I dengan rumus pitagoras.

$$I = \sqrt{(R^2 - K^2)}$$

$$I = \sqrt{26^2 - 10^2}$$

$$I = \sqrt{676 - 100}$$

$$I = \sqrt{576}$$

$$I = 24$$

Susunan program gerakan dari S ke E, E ke D adalah :

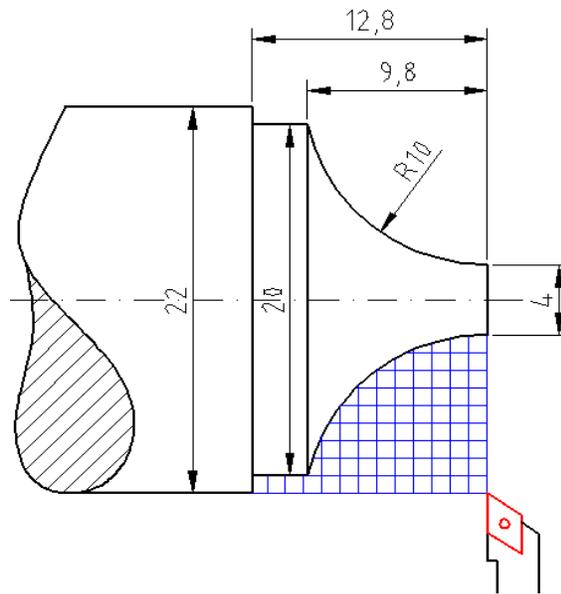
Metode Absolut

N	G	X	Z	F	
.....	01	2200	00	35	
.....	02	1800	-1000	35	S ke E
.....	M99	I:2400	K:1000		
.....	02	2200	-2000	35	E ke D
.....	M99	I:2400	00		

Metode Incremental

N	G	X	Z	F	
.....	02	-200	-1000	35	S ke E
.....	M99	I:2400	K: 1000		
.....	02	200	-1000	35	E ke D
.....	M99	I:2400	0		

Soal:



Gambar 12.46. Contoh gambar kerja simulasi G02-4.

Buat susunan program G02 dengan metode absolut dan incremental dari gambar 12.46. di atas.

e. Fungsi G 03

Perintah atau fungsi dengan sandi G03 adalah perintah pembubutan radius/melengkung berlawanan arah jarum jam (CCW). Penempatan fungsi ini pada kolom kedua, pada blok program. Untuk lebih jelasnya lihat gambar berikut :

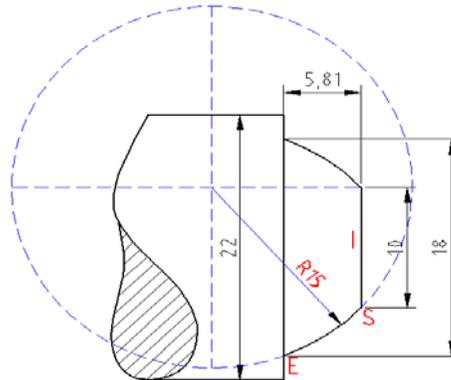
N	G	X	Z	F	H
.....	03	.....	.....	.....	.....
.....	M99	I.....	K.....	.....	.....

Gambar 12. 47. Ilustrasi blok program fungsi G 03.

M99 adalah penentuan parameter I dan K. parameter I adalah jarak titik *start* melengkung sampai ke titik pusat lengkungan, tegak lurus searah sumbu X. Sedangkan parameter K adalah jarak titik *start* melengkung sampai ke titik pusat lengkungan, tegak lurus searah sumbu Z.

Pada mesin EMCO CNC TU-2A, gerakan perintah G03 dengan nilai pergerakan ke arah X dan Z sama bisa dijalankan tanpa menggunakan program M99. Pada mesin jenis ini nilai I dan K selalu incremental positif.

Contoh: 1



Gambar 12.48. Contoh gambar kerja simulasi G03-1.

Dari gambar 12.48 di atas dapat diketahui $R=15$, $l=10$. Jadi besarnya K dapat dihitung dengan rumus pitagoras.

$$K = \sqrt{(R^2 - l^2)}$$

$$K = \sqrt{15^2 - 10^2}$$

$$K = \sqrt{225 - 100}$$

$$K = \sqrt{125}$$

$$K = 11.18$$

Susunan program gerakan dari S ke E sebagai berikut :

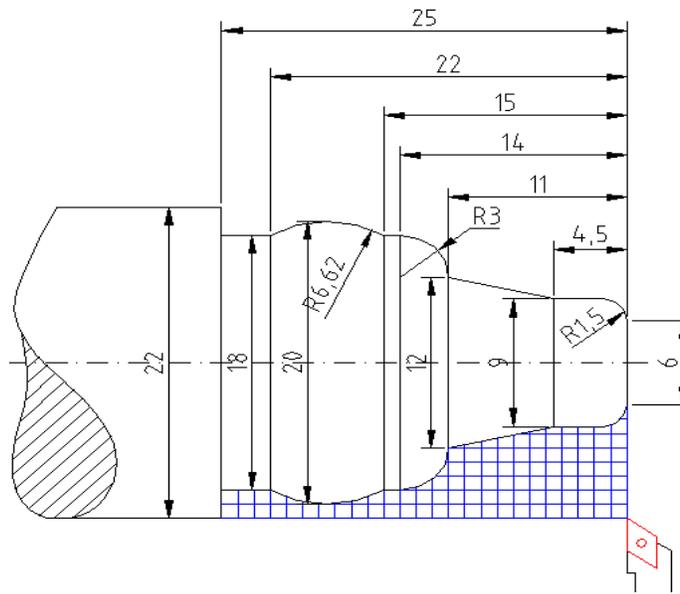
Metode Absolut

N	G	X	Z	F	
.....	
.....	01	1000	0	35	
.....	03	1800	-581		
.....	M99	I:1000	K:1118	35	
.....	

Metode Incremental

N	G	X	Z	F	
.....	03	400	-581	35	
.....	M99	I:1000	K:1118	35	
.....	

Soal:



Gambar 12.49. Soal latihan aplikasi fungsi G03.

Buatlah susunan program absolut dan incremental dari gambar kerja di atas.

f. Fungsi G 04

Fungsi dengan sandi G04 adalah perintah diam sesaat. Aplikasi ini memerintahkan komputer untuk menghentikan *feeding* beberapa saat, dengan kondisi *spindle* masih berputar. Untuk lebih jelasnya kita lihat simulasi blok programn G04 sebagai berikut :

N	G	X	Z	F	H
.....	04	300	.....	.....	.....

Gambar 12. 50. Ilustrasi blok program G 04.

Pada kolom X, kolom tersebut diisi dengan angka tenggat waktu berhenti *feeding* mesin. X= 300 dimaksudkan *feeding* mesin berhenti selama 3 detik.

g. Fungsi G 21

Aplikasi G21 adalah aplikasi penyisipan satu blok program.

Aplikasi ini bisa dibentuk menggunakan tombol kombinasi 

. Setelah blok sisipan terbentuk, perintah G21 yang tercantum pada kolom G, bisa dihapus baru kemudian diisikan program sisipan. Lebih jelas lihat ilustrasi berikut :

N	G	X	Z	F	
....	00	....	....	....	(tekan ~+INP)
....	01	....	....	....

N	G	X	Z	F	
....	00	....	....	....
....	21	....	....	....	(hapus fungsi G21, kemudian isi blok ini dengan program yang dikehendaki)
....	01	....	....	....

Gambar 12. 51. Ilustrasi blok program G21.

h. Fungsi G 25

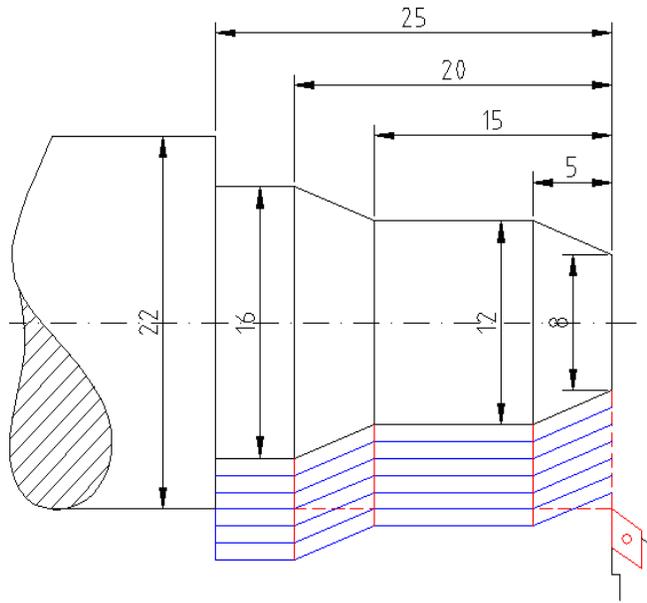
Fungsi dengan sandi G25 adalah perintah pemanggilan sub program. Sub program dipergunakan pada saat kita melakukan pekerjaan pengulangan dengan pola bidang yang sama dan sebangun. Berikut adalah ilustrasi blok program untuk aplikasi fungsi G25.

N	G	X	Z	F	H
.....	25				L30

Gambar 12. 52. Ilustrasi blok program G25.

Maksud dari L 30 pada kolom H di atas adalah nomor blok sub program yang akan dipanggil pada saat proses pengerjaan benda kerja. Sub program yang dibuat selalu dalam bentuk incremental. Agar lebih jelas kita lihat contoh penggunaan aplikasi G25 berikut ini.

Contoh:



Gambar 12.53. Contoh gambar kerja simulasi G25.

Buatlah susunan program G25 dari gambar kerja di atas.

Metode Absolut

N	G	X	Z	F	H
00	92	2200	100		
01	M03		0		
02	00	2000	100		
03	25				L20
04	00	1800	100		
05	25				L20
06	00	1600	100		
07	25				L20
08	00	1400	100		
09	25				L20
10	00	1200	100		
11	25				L20
12	00	1000	100		
13	25				L20
14	00	800	100		
15	25				L20
16	00	2200	100		
17	M05				
18	M30				
19					
20	91				
21	01	100	-600	35	

22	01	0	-1000	35	
23	01	100	-500	35	
24	01	0	-500	35	
25	00	0	2600		
27	00	-400	0		
28	90				
29	M17				

Soal:

Buat susunan program incremental dari Gambar 12.53. di atas.

i. Fungsi G 27

Fungsi G27 adalah aplikasi program melompat blok. Aplikasi ini dikombinasikan dengan fungsi M06 yaitu aplikasi penggantian *tool*. Agar lebih jelas lihat ilustrasi dari fungsi G27 di bawah ini.

N	G	X	Z	F	H
.....
30	27				L40
31	M06	1200	-100		T01
32	00	1000	100		
.....
40	M06	1500	200		T02
41	00	1200	-200		
.....

Gambar 12.54. Ilustrasi blok program G27

j. Fungsi G 88

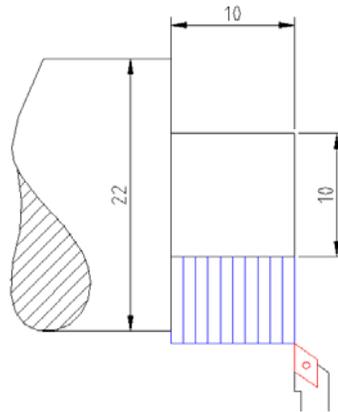
Fungsi G88 adalah aplikasi siklus program pembubutan melintang, penempatan fungsi G88 terletak pada kolom G blok program, untuk lebih jelasnya lihat gambar ilustrasi berikut ini

N	G	X	Z	F	H
.....	88				

Gambar 12.55. Ilustrasi blok program G88.

Pada kolom X diisi dengan nilai diameter nominal benda kerja yang akan dituju, lebih jelasnya lihat contoh berikut ini :

Contoh:



Gambar 12. 56. Contoh gambar kerja simulasi G88-1.

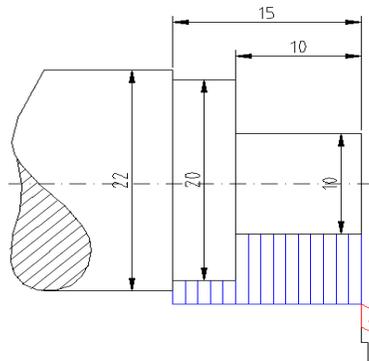
Metode Absolut

N	G	X	Z	F	H
00	92	2200	100		
01	M03				
02	88	1000	-1000	25	100
03	M05				
04	M30				

Metode Incremental

N	G	X	Z	F	H
01	M03				
02	88	-600	-1000	25	100
03	M05				
04	M30				

Soal:



Gambar 12. 57. Contoh gambar kerja simulasi G88-2.

Susunlah program fungsi G88 dari Gambar 12.57 di atas dengan metode incremental dan absolut.

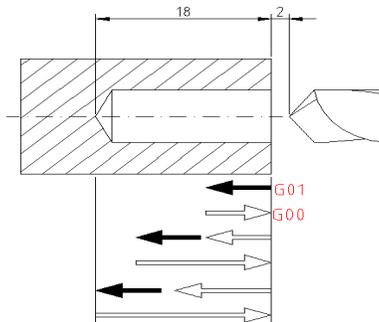
k. Fungsi G 83

Fungsi G83 adalah aplikasi pemrograman pengeboran dengan penarikan total keluar. Pada kolom Z, diisi dengan nilai dalamnya pengeboran.

N	G	X	Z	F	H
.....	83	.....	.....	.....

Gambar 12. 58. Ilustrasi blok program G83.

Contoh:



Gambar 12.59. Contoh gambar kerja simulasi G83.

Buatlah program pengeboran dari Gambar 12.59 dengan metode absolut dan incremental.

Metode Absolut

N	G	X	Z	F	
....	
....	83		-1800	35	

Metode Incremental

N	G	X	Z	F	
....	
....	83		-2000	35	

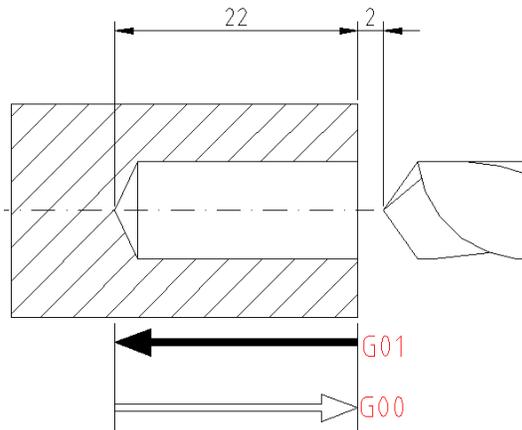
l. Fungsi G 81

Fungsi G81 adalah aplikasi pemrograman pengeboran langsung. Pada kolom Z, diisi dengan nilai kedalaman pengeboran.

N	G	X	Z	F	H
.....	81	.....	.....	.....

Gambar 12. 60. Ilustrasi blok program G81.

Contoh:



Gambar 12.61. Contoh gambar kerja simulasi G81.

Buatlah program pengeboran dari Gambar 12.61 dengan metode absolut dan incremental.

Metode Absolut

N	G	X	Z	F	
....	
....	81		-2200	35	

Metode Incremental

N	G	X	Z	F	
....	
....	81		-2400	35	

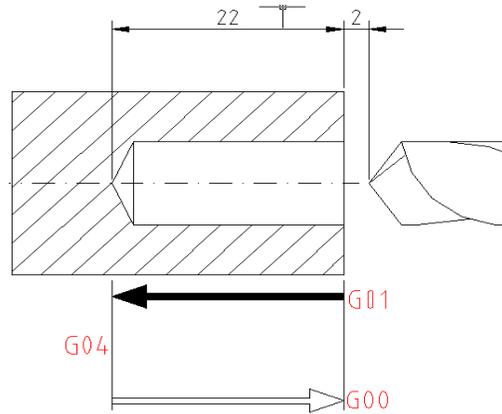
m. Fungsi G 82

G82 adalah aplikasi program pengeboran langsung, dengan pemberhentian sesaat di akhir pengeboran. Pada aplikasi ini kolom Z diisi dengan dalamnya pengeboran.

N	G	X	Z	F	H
.....	82	.....	.....	.....

Gambar 12.62. Ilustrasi blok program G82

Contoh:



Gambar 12.63. Contoh gambar kerja simulasi G82.

Buatlah program pengeboran dari Gambar 12.63. dengan metode absolut dan incremental.

Metode Absolut

N	G	X	Z	F	
....	
....	82		-2200	35	

Metode Incremental

N	G	X	Z	F	
....	
....	82		-2400	35	

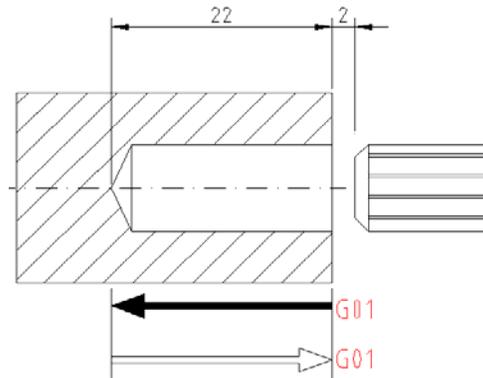
n. Fungsi G 85

G85 adalah aplikasi program siklus pereameran. *Reamer* bisa diartikan sebagai peluasan, yaitu peluasan lubang hasil pengeboran. *Pereameran* dilakukan karena pada saat pembuatan lubang, tidak ada ukuran mata bor yang cocok dengan diameter lubang yang akan dibuat. Pereameran juga berfungsi sebagai penghalus lubang yang sudah dibuat. Pada aplikasi ini kolom Z diisi dengan nilai kedalaman pereameran.

N	G	X	Z	F	H
.....	85	.....	.....	.....

Gambar 12.64 Ilustrasi blok program G85.

Contoh:



Gambar 12.65. Contoh gambar kerja simulasi G85.

Buatlah susunan program pereameran dari gambar 12.65 di atas dengan metode absolut dan incremental.

Metode Absolut

N	G	X	Z	F	
.....	
.....	85		-2200	35	

Metode Incremental

N	G	X	Z	F	
.....	
.....	85		-2400	35	

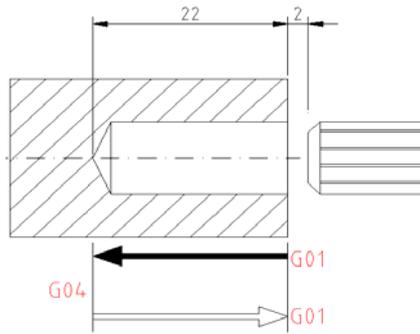
o. Fungsi G 89

Fungsi G89 adalah aplikasi program penghalusan secara langsung, dengan tenggat waktu berhenti di akhir penghalusan. Pada aplikasi ini kolom Z diisi dengan nilai kedalaman penghalusan.

N	G	X	Z	F	H
.....	89	.....	.....	.....

Gambar 12. 66. Ilustrasi blok program G89.

Contoh:



Gambar 12.67. Contoh gambar kerja simulasi G89.

Buatlah susunan program penghalusan dari Gambar 12.67 di atas dengan metode absolut dan incremental.

Metode Absolut

N	G	X	Z	F	
.....	
.....	89		-2200	35	

Metode Incremental

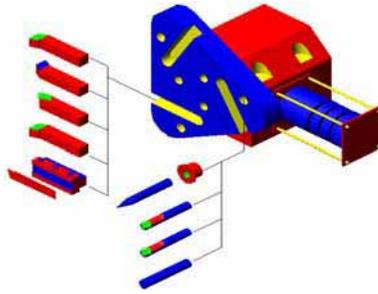
N	G	X	Z	F	
.....	
.....	89		-2400	35	

p. Fungsi M06

M06 adalah fungsi penggantian alat pada Mesin Bubut CNC-TU2A. Penggantian *tool* ini dilakukan pada saat kita melakukan pembubutan komplek. Pada mesin CNC-TU2A hal ini bisa dilakukan langsung tanpa melepas pahat dan mengantinya satu demi satu karena mesin ini dilengkapi dengan *revolver*. Berikut adalah ilustrasi blok pemrograman penggantian alat pada mesin CNC-TU2A :

N	G	X	Z	F	H
.....	M06	.....	.....	.....

Gambar 12.68. Ilustrasi blok program M06.

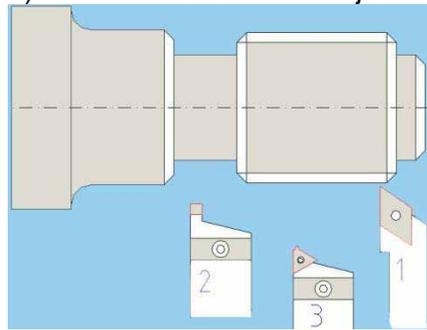


Gambar 12.69. *Revolver*

Pada aplikasi M06 ini kolom F diisi dengan sandi T, yaitu sandi perputaran *revolver* terhadap pisau aktif untuk menentukan jenis pisau baru. Karena bentuk *tool* yang berbeda, setiap *tool* memiliki selisih jarak (*jarak setting*) terhadap benda kerja yang berbeda pula.

Karena itu sebelum kita melakukan penggantian alat pada pembubutan kompleks, perlu dilakukan *setting* tiap *tool* terhadap benda kerja. Adapun langkah-langkahnya sebagai berikut :

1) Menentukan urutan kerja alat potong



Gambar 12.70. Urutan pemakaian pisau/*tool*.

Untuk pengerjaan bubut kompleks seperti pada benda kerja di samping urutan *tool*/pisau yang dipergunakan adalah :

- a) Pahat kanan luar
- b) Pahat potong
- c) Pahat ulir luar

2) Menentukan data alat potong

Penentuan data alat potong sangat penting karena dengan penentuan ini akan mempermudah pemrograman. Pada lembar data alat potong. Nantinya akan diisi dengan harga selisih terhadap sumbu Z referensi.

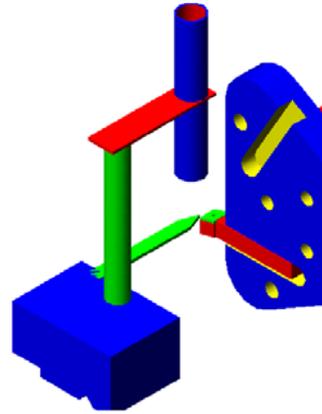
3) Mencari selisih panjang tiap-tiap alat potong

Untuk menentukan selisih panjang tiap *tool* diperlukan alat bantu optik. Alat bantu ini semacam lup tapi tidak dilengkapi dengan lensa pembalik sehingga bayangan yang dihasilkan berlawanan dengan kenyataannya. Adapun langkah *setting* masing-masing *tool* sebagai berikut :

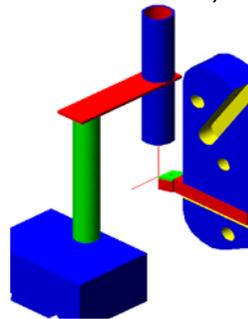
- a) Pasang senter tetap pada cekam.
- b) Pasang senter tetap kecil pada *revolver*.
- c) Dekatkan kedua ujung senter dan samakan ketinggiannya.
- d) Mundurkan *revolver* pasang alat optik pada meja mesin.
- e) Setel ketinggian plat ukur yang ada apada alat optik dengan ketinggian senter yang terpasang pada cekam.

f) Periksa dan *setting* ketinggian semua *tool* yang telah dipasang pada alat potong terhadap plat ukur yang terpasang alat optik, (lihat Gambar 9. 71).

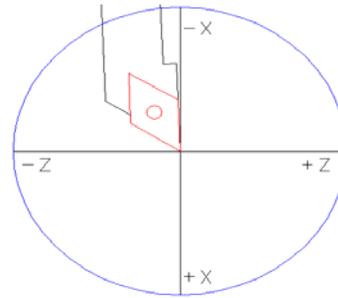
g) Gerakkan pahat kanan luar sebagai pahat referensi, ke bawah alat optik sehingga ujung pahat kanan berada pada kwadran II, dan menempel pada persilangan garis silang X dan Z. (Gambar 12.72 dan Gambar 12.73).



Gambar 12.71. *Setting* ketinggian *tool* terhadap plat ukur.

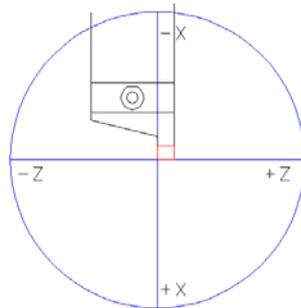


Gambar 12.72. *Setting* pahat referensi.

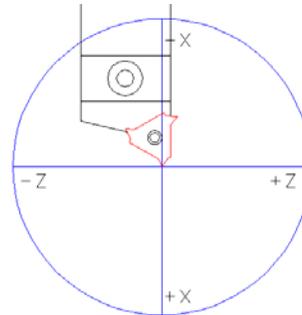


Gambar 12.73. Posisi pahat kanan luar pada kwadran II

- h) Tekan tombol DEL untuk menghapus nilai X dan Z, sehingga nilai $X=0$ dan $Z=0$.
- i) Mundurkan posisi *revolver* dan putarlah *revolver* untuk *setting* pisau yang kedua, posisikan *tool* tersebut pada persilangan sumbu X dan Z, setiap pen*setting*an catat selisih nilai sumbu X dan sumbu Z.
- j) Nilai selisih X dan Z, nantinya diisi pada kolom X dan Z setiap penggantian *tool*.
- k) Jika posisi pahat kanan luar terletak pada kwadran II alat optik, pahat alur dan pahat ulir terletak pada kwadran yang berbeda. Berikut gambar cerminan posisi pen*setting*an beberapa pahat.

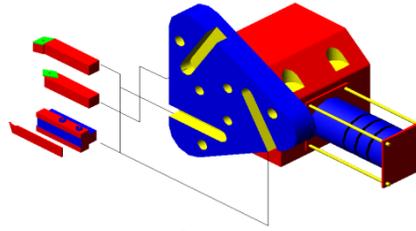


Gambar 12.74. Posisi pahat alur pada kwadran I.



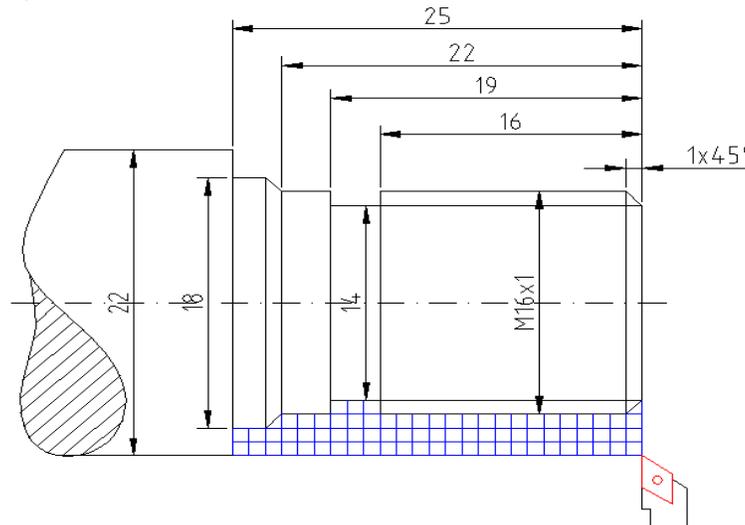
Gambar 12.75. Posisi pahat ulir.

- l) Pasang ketiga *tool* pada *revolver* sesuai urutan penggunaan masing-masing *tool*, (Gambar 12.76).



Gambar 12.76. Pemasangan *tool* pada *revolver*.

Contoh:



Gambar 12.77. Contoh gambar kerja simulasi M06.

Buatlah program penguliran dari Gambar 12.77. dengan metode absolut.

Metode Absolut

N	G	X	Z	F	
00	92	2200	100		
01	M06	00	00	T00	
02	M03				
03	84	1800	-2500	35	100
04	00	1800	100		
05	01	1600	-2200	35	
06	01	1800	-2300	35	
07	00	2200	-2300		
08	M05				
09	00	3000	5000		
10	M06	- 88	1150	T02	
11	M03				
12	00	1800	-1600		
13	86	1400	-1900	25	300
14	M05				
15	00	2200	3000		
16	M06	75	- 332	T02	
17	M03				
18	00	1610	100		
19	78	1476	- 1650	K100	10
20	M05				
21	00	2200	3000		
22	M06	00	00	T02	
23	00	2200	100		
24	M30				

Keterangan :

Blok program N09-N24

Maksud dari gerak **G00** pada blok N 09, *revolver* dijauhkan dari benda kerja sebelum proses penggantian *tool*. Sedangkan pada blok N 10, nilai **X= - 88**, dan **Z= 1150** adalah nilai selisih jarak *setting* pahat nomer 2 terhadap pahat kanan luar. Pada kolom **F** blok program N 10, terisi **T02**, adalah perintah gerak *revolver* untuk berotasi sebanyak dua kali terhadap pahat kanan luar, untuk diganti pahat alur. Setelah penggantian *tool* selesai, pahat alur didekatkan dengan bagian yang akan dibuat alur, blok program N 13 adalah proses siklus pengaluran.

Setelah siklus pengaluran selesai, putaran *spindle* utama dihentikan untuk proses penggantian alat.

Pada proses penggantian pahat ulir, langkah-langkahnya sama dengan proses penggantian pahat alur. Pada siklus penguliran, yaitu blok N19, pada kolom **F** terisi **K100**, K100 adalah kisar dari ulir yang dibuat, sedangkan pada kolom **H=10**, maksudnya tinggi ulir luar dibuat dalam sepuluh kali langkah penyayatan.

Blok N21-24 adalah proses penggantian pahat ulir luar kembali ke pahat kanan luar.

Soal:

Buat susunan program incremental dari Gambar 12.77. di atas.

q. Fungsi G 78

Fungsi G78 adalah aplikasi pemrograman siklus pembuatan ulir. Berikut adalah ilustrasi blok pemrograman siklus penguliran pada mesin CNC TU-2A :

N	G	X	Z	K	H
.....	78	.....	.....	.....

Gambar 6.712. Ilustrasi blok program G78.

Pada aplikasi G78 pada kolom K merupakan kolom nilai kisar ulir yang akan dibuat. Sebelum kita mempelajari lebih jauh tentang siklus penguliran dengan menggunakan aplikasi G78, kita pelajari lagi tentang dasar-dasar perhitungan penguliran.

Tabel 12. 2 Hubungan kisar ulir dengan putaran mesin.

Kisar Ulir (mm)	Putaran (Rpm)
0.02 – 0.5	950
0.5 – 1	500
1 – 1.5	320
1.5 – 2	250
2 – 3	170
3 – 4	120
4 – 4.99	100

Berdasarkan standar ISO ketentuan ulir yang benar sebagai berikut :

- 1) Tinggi ulir luar (h) : **0,6134.P**
- 2) Tinggi ulir dalam (h) : **0,5413.P**

Tabel 12. 3 Hubungan kisar ulir dengan Tinggi Ulir.

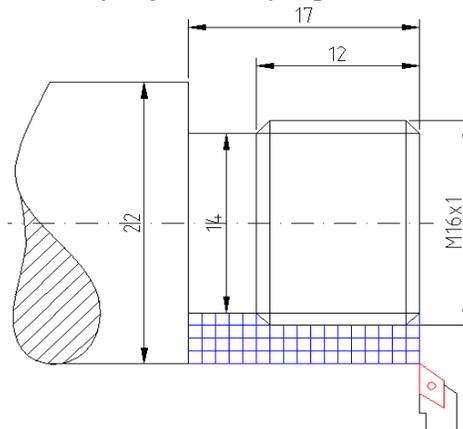
Kisar Ulir (mm)	Tinggi Ulir (mm)
0.5	0.307
0.6	0.368
0.7	0.429
0.75	0.460
0.8	0.491
1	0.613
1.25	0.767
1.5	1.074
1.75	1.227
2	1.380
2.25	1.534
2.5	1.687
2.75	1.840

Tabel 12. 4 Hubungan kisar ulir dengan Tinggi Ulir.

Kisar Ulir (mm)	Tinggi Ulir (mm)
3	0.5
4	0.7
5	0.8
6	1
8	1.25
10	1.5
12	1.75
16	2.0
20	2.5

Contoh:

Berikut adalah contoh penyusunan program G78.



Gambar 12.79 Contoh gambar kerja simulasi G78.

Buatlah program penguliran dari Gambar 12.79. dengan metode absolut.

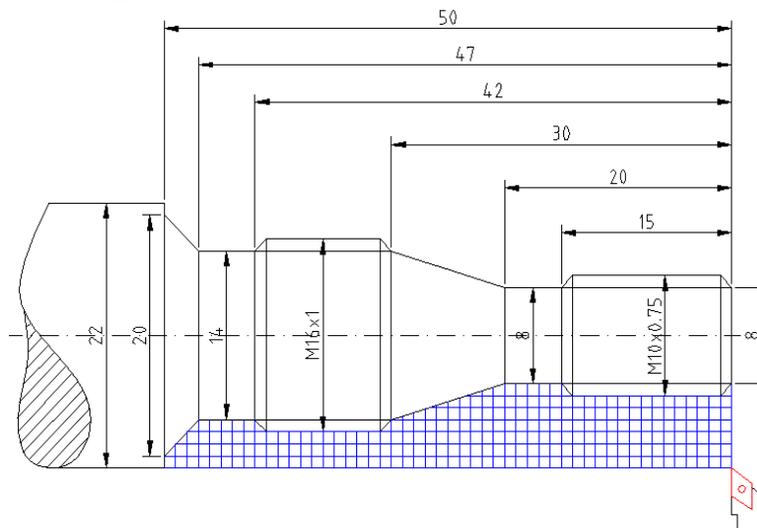
Metode Absolut

N	G	X	Z	F	
00	92	2200	100		
01	M06	00	00	T00	
02	M03				
03	84	1600	-1700	35	100
04	00	1400	100		
05	01	1400	0	35	
06	01	1600	-100	35	
07	01	1600	-1100	35	
08	01	1400	-1200	35	
09	01	1400	-1700	35	
10	01	2200	-1700	35	
11	00	3000	5000		
12	M05				
13	M06	172	-84	T02	
14	M03				
15	00	1700	100		
16	78	1477	-1300	K100	20
17	00	3000	5000		
18	M05				
19	M06	0	0	T04	
20	00	2200	100		
21	M30				

Metode Incremental

N	G	X	Z	F	
00	M06	0	0	T00	
01	M03				
02	84	-300	-1800	35	100
03	00	-400	0		
04	01	0	-100	35	
05	01	100	-100	35	
06	01	0	-1000		
07	01	-100	-100		
08	01	0	-500		
09	01	400	0		
10	00	400	6800		
11	M05				
12	M06	-172	-84	T02	
13	M03				
14	00	-650	-5000		
15	78	-112	-1400	K100	
16	00	650	5000		
17	M05				
18	M06	0	0	T04	
19	00	-400	-5000		
20	M30				

Soal:



Gambar 12.80. Gambar kerja simulasi G78.

Susunlah simulasi program G78 dari Gambar 12.80 di atas dengan metode absolut dan incremental.

r. Fungsi G 86

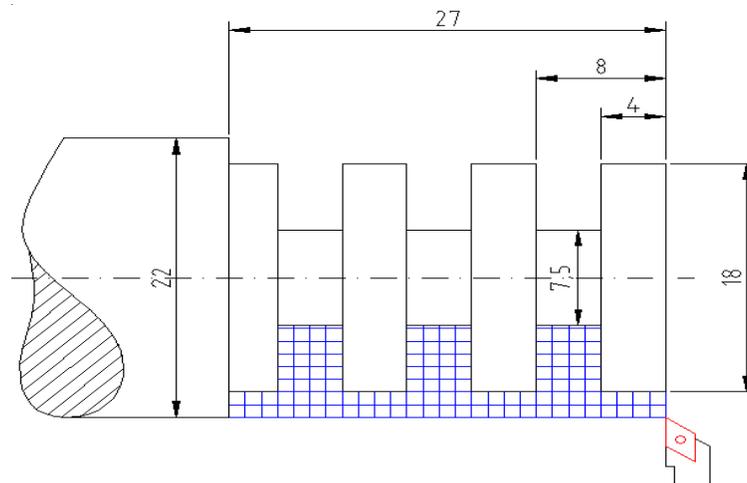
Fungsi G86 adalah aplikasi pemrograman siklus pembubutan alur. Berikut adalah ilustrasi blok pemrograman siklus pengaluran pada mesin CNC-TU2A:

N	G	X	Z	K	H
.....	86	.....	.....	.....

Gambar 12.81. Ilustrasi Blok Program G86.

Pada pemrograman siklus pengaluran ini, kolom H diisi dengan lebar pahat, sedangkan kolom X diisi dengan diameter akhir yang akan dituju. Lihat contoh berikut ini:

Contoh:



Gambar 12.82. Contoh gambar kerja simulasi G86.

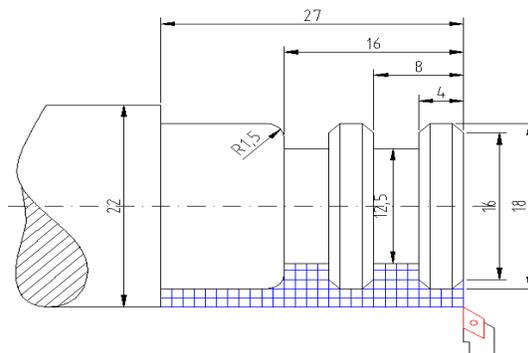
Dari Gambar 12.82. di atas buatlah simulasi pemrograman dengan sistem absolut.

Metode Absolut

N	G	X	Z	F	H
00	92	2200	100		
01	M06	00	00	T00	
02	M03				
03	84	1800	-2700	35	100
04	00	3000	5000		
05	M05				
06	M06	-207	-388		
07	M03				
08	00	2200	-400		
09	25				
10	00	2200	-1200		
11	25				
12	00	2200	-2000		
13	25				
14	00	3000	5000		
15	M05				
16	M06	0	0	T04	
17	00	2200	100		
18	M30				
19	91				
20	86	-725	-400	35	300
21	90				
22	M17				

Tugas: Buatlah simulasi pemrograman siklus pengaluran dari Gambar 12.82. dengan metode incremental.

Soal:



Gambar 12.83. Gambar kerja simulasi G86

Dari Gambar 12.83. di atas buatlah simulasi pemrograman dengan sistem absolut dan incremental.

B. Mesin Frais CNC

Mesin Frais CNC secara garis besar dapat digolongkan menjadi dua, yaitu :

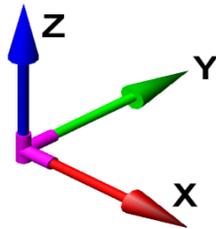
- a) Mesin Frais CNC *Training Unit*
- b) Mesin Frais CNC *Production Unit*

Kedua mesin tersebut mempunyai prinsip kerja yang sama, akan tetapi yang membedakan kedua tipe mesin tersebut adalah penggunaannya di lapangan. CNC Frais *Training Unit* dipergunakan untuk pelatihan dasar pemrograman dan pengoperasian CNC yang dilengkapi dengan EPS (*External Programing Sistem*). Mesin CNC jenis *Training Unit* hanya mampu dipergunakan untuk pekerjaan-pekerjaan ringan dengan bahan yang relatif lunak.

Sedangkan Mesin Frais CNC *Production Unit* dipergunakan untuk produksi massal, sehingga mesin ini dilengkapi dengan assesoris tambahan seperti sistem pembuka otomatis yang menerapkan prinsip kerja hidrolis, pembuangan tatal, dan sebagainya.

Gerakan Mesin Frais CNC dikontrol oleh komputer, sehingga semua gerakan yang berjalan sesuai dengan program yang diberikan, keuntungan dari sistem ini adalah mesin memungkinkan untuk diperintah mengulang gerakan yang sama secara terus menerus dengan tingkat ketelitian yang sama pula.

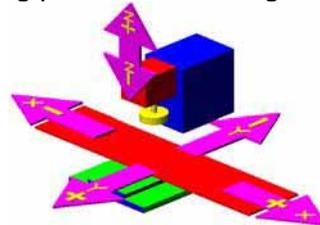
1. Prinsip Kerja Mesin Frais CNC TU 3 Axis



Gambar 12.84.
Sistem koordinat Mesin
CNC TU-3A.

- a) Sumbu X untuk arah gerakan horizontal.
- b) Sumbu Y untuk arah gerakan melintang.
- c) Sumbu Z untuk arah gerakan vertikal.

Mesin Frais CNC TU-3A menggunakan sistem persumbuan dengan dasar sistem koordinat Cartesius, (Gambar 12.84.). Prinsip kerja mesin CNC TU-3A adalah meja bergerak melintang dan horizontal sedangkan pisau / pahat berputar. Untuk arah gerak persumbuan Mesin Frais CNC TU-3A tersebut diberi lambang persumbuan sebagai berikut :

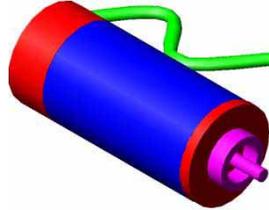


Gambar 12.85. Skema pergerakan koordinat Mesin CNC TU-3A.

2. Bagian Utama Mesin Frais CNC TU3A

a. Bagian mekanik

1) Motor utama



Gambar 12.86. Motor utama.

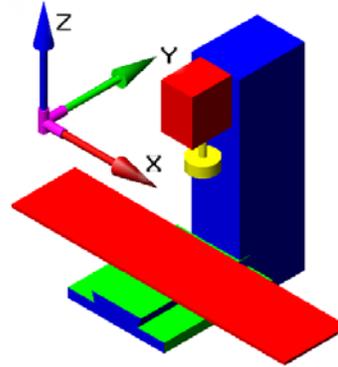
Motor utama adalah motor penggerak cekam untuk memutar benda kerja. Motor ini adalah jenis motor arus searah/ DC (*Direct Current*) dengan kecepatan putaran yang variabel.

Adapun data teknis motor utama adalah :

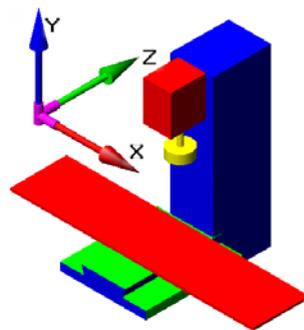
- a) Jenjang putaran 600 – 4000 rpm
- b) Power *Input* 500 Watt
- c) Power *Output* 300 Watt

2) Eretan

Eretan merupakan gerak persumbuan jalannya mesin. Pada mesin 3 axis, mesin ini mempunyai dua fungsi gerakan kerja, yaitu gerakan kerja posisi vertikal dan gerakan kerja pada posisi horizontal, adapun yang dimaksud dengan gerakan kerja tersebut adalah :



Gambar 12.87. Skema mesin posisi vertikal.



Gambar 12.88. Skema mesin posisi horizontal

a) Posisi vertikal

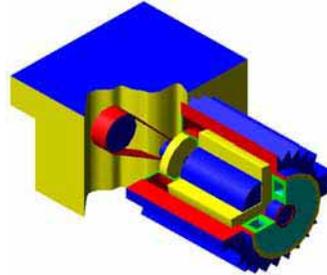
- (1) Eretan memanjang sumbu X (0-199,9 mm)
- (2) Eretan melintang sumbu Y (0-99.99 mm)
- (3) Eretan vertikal sumbu Z (0-199.99mm)

- b) Posisi horizontal
- (1) Eretan memanjang sumbu Z (0-199,9 mm)
 - (2) Eretan melintang sumbu X (0-99.99 mm)
 - (3) Eretan vertikal sumbu Y (0-199.99mm)

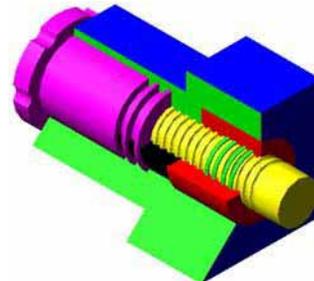
3) Step motor

Step motor berfungsi untuk menggerakkan eretan, yaitu gerakan sumbu X dan gerakan sumbu Z. Tiap-tiap eretan memiliki step motor sendiri-sendiri, adapun data teknis step motor adalah :

- a) Jumlah putaran 72 langkah.
- b) Momen putar 0.5 Nm.
- c) Kecepatan gerakan :
 - Gerakan cepat maksimum 700 mm/menit.
 - Gerakan operasi manual 5-500 mm/menit.
 - Gerakan operasi mesin CNC terprogram 2-499 mm/menit.



Gambar 12.89. Step motor.



Gambar 12.90. Poros berulir dengan bantalan.

4) Rumah alat potong

Rumah alat potong digunakan untuk menjepit *tool holder* (alat potong) pada saat proses pengerjaan benda kerja. Sumber putaran rumah alat potong dihasilkan dari motor utama, dengan kecepatan putaran 300-200 RPM. Pada mesin jenis *training unit* rumah alat potong hanya memungkinkan memegang satu alat, berbeda dengan jenis *production unit* yang dilengkapi alat semacam *revolver*, sehingga memungkinkan untuk membawa lebih dari satu *tool holder*.

5) Penjepit alat potong



Gambar 12.91.
Tool holder.

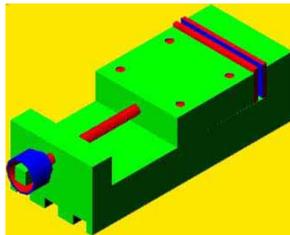
Alat bantu tersebut berfungsi untuk memperkuat pengekaman dari *tool holder*. Alat bantu tersebut dinamakan *collet*. *Collet* terbuat dari bahan logam, di mana diame terlubang pada *collet* sesuai dengan besarnya diameter pisau.



Gambar 12.92. *Collet*

Penjepit alat potong atau *tool holder* pada Mesin Frais adalah adalah penjepit manual, alat ini digunakan untuk menjepit pisau pada saat penyayatan benda kerja. bentuk penjepit ini bias any disesuaikan dengan bentuk rumah alat potong. Di bagian dalam *tool holder* dilengkapi sebuah alat bantu pengekaman.

6) Ragum

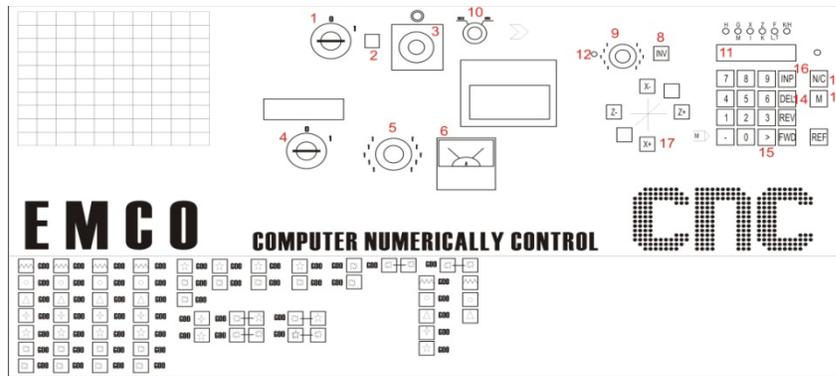


Gambar 12.93. Ragum

Ragum pada mesin CNC TU-3A berfungsi untuk menjepit benda kerja pada saat proses penyayatan. Ragum pada mesin ini dilengkapi dengan sebuah *stopper*. Ragum bisa diganti sesuai kebutuhan. Ragum pada mesin ini dioperasikan secara manual.

b. Bagian pengendali/kontrol

Bagian pengendali/kontrol merupakan bak kontrol mesin CNC yang berisikan tombol-tombol dan saklar serta dilengkapi dengan monitor. Pada kotak kontrol merupakan unsur layanan langsung yang berhubungan dengan operator. Gambar berikut menunjukkan secara visual dengan nama-nama bagian sebagai berikut:

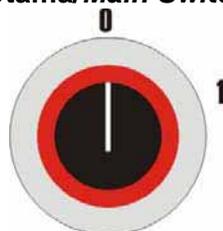


Gambar 12.94. Bagian pengendali.

Keterangan :

1. Saklar utama
2. Lampu kontrol saklar utama
3. Tombol darurat
4. Saklar operasi mesin
5. Saklar pengatur kecepatan sumbu utama
6. Amperemeter
7. Tombol untuk eretan melintang, memanjang
8. Tombol shift
9. Saklar pengatur feeding meja
10. Tombol pengatur posisi metric-inch
11. Display pembaca gerakan
12. lampu kontrol untuk pelayanan manual
13. Saklar option CNC atau manual
14. Tombol DEL
15. Tombol untuk memindah fungsi sumbu X, Y, Z
16. Tombol INP
17. Tombol M

⇒ **Saklar Utama/Main Switch**

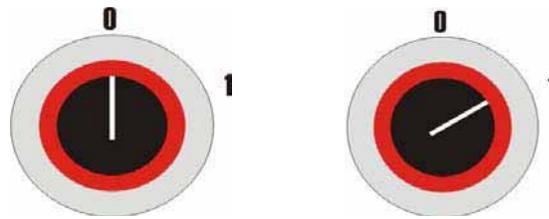


Gambar. 12.95.

Saklar utama (*main switch*).

Saklar utama adalah pintu masuk aliran listrik ke kontrol pengendali CNC. Cara kerja saklar utama yaitu jika kunci saklar utama diputar ke posisi 1 maka arus listrik akan masuk ke kontrol CNC.

Sebaliknya jika kunci saklar utama diputar kembali ke angka 0 maka arus listrik yang masuk ke kontrol CNC akan terputus. Untuk lebih jelasnya perhatikan gambar di bawah ini:



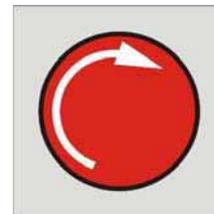
Kondisi mati

Listrik masuk ke kontrol CNC

Gambar 12.96. Ilustrasi cara kerja saklar utama.

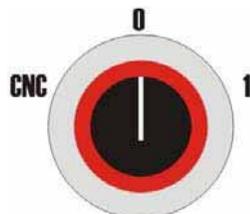
⇒ **Tombol Darurat / Emergency Switch**

Tombol ini digunakan untuk memutus aliran listrik yang masuk ke kontrol mesin. Hal ini dilakukan apabila akan terjadi hal-hal yang tidak diinginkan akibat kesalahan program yang telah dibuat.



Gambar 12.97. Emergency switch.

⇒ **Saklar Operasi Mesin (Operating Switch)**

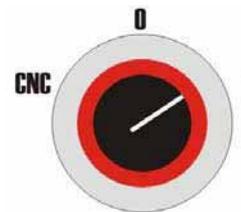


Gambar 12.98. Saklar operasi

Saklar layanan mesin ini digunakan untuk memutar sumbu utama yang dihubungkan dengan rumah alat potong. Saklar ini yang mengatur perputaran sumbu utama sesuai menu yang dipilih, yaitu perputaran manual atau CNC.

Cara kerja saklar operasi adalah sebagai berikut:

- 1) Jika saklar diputar pada angka 1 maka menu yang dipilih adalah menu manual, (lihat Gambar 9.95), yaitu pergerakan eretan, kedalaman pemakanan tergantung oleh operator.



Gambar 12.99. Ilustrasi saklar operasi manual.

2) Jika saklar diputar pada “CNC” berarti menu yang dipilih adalah menu CNC (lihat Gambar 9.96), yaitu semua pergerakan yang terjadi dikontrol oleh komputer baik itu pergerakan sumbu utama, pergerakan eretan, maupun kedalaman pemakanan.



Gambar 12.100. Ilustrasi saklar operasi CNC.

⇒ **Saklar Pengatur Kecepatan Sumbu Utama**

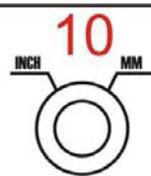
Saklar ini berfungsi untuk mengatur kecepatan putar alat potong pada sumbu utama, saklar ini bisa berfungsi pada layanan CNC maupun manual. Kecepatan putaran sumbu utama mesin CNC TU-3A berkisar antara 200-2000 Rpm, sesuai tabel putaran pada mesin .



Gambar 12.101. Saklar pengatur kecepatan sumbu utama.

Cara pengoperasian saklar pengatur kecepatan sumbu utama ini adalah, saklar pengatur kecepatan sumbu utama diputar ke arah kanan mendekati angka 100 untuk meningkatkan kecepatan putaran *spindle*. Untuk mengurangi kecepatan *spindle* putar kembali saklar pengatur kecepatan sumbu utama ke arah kiri mendekati angka 0.

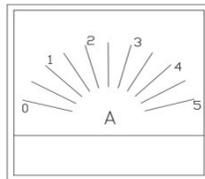
⇒ **Saklar Layanan Posisi Mesin**



Gambar 12.102. Saklar layanan posisi mesin.

Saklar layanan ini digunakan untuk mengatur posisi mesin, apakah option yang digunakan adalah posisi horizontal atau vertikal. Saklar ini juga berfungsi sebagai pemindah dimensi, dari metric ke inch atau sebaliknya.

⇒ **Ampere Meter**



Gambar 12.103. Ampere Meter

Ampere meter berfungsi sebagai display besarnya pemakaian arus aktual dari motor utama. Fungsi utama dari ampere meter ini untuk mencegah beban berlebih pada motor utama pada saat mesin dioperasikan.

Arus yang diijinkan pada saat pengoperasian mesin adalah 4 Ampere, apabila mesin dioperasikan secara terus menerus (kontinyu) besarnya arus aktual yang diijinkan sebesar 2 Ampere. Besarnya beban arus aktual pada motor utama pada saat pengoperasian dapat dikurangi dengan cara mengurangi kedalaman dan kecepatan penyayatan.

⇒ **Disk Drive**



Gambar 12.104. *Disk drive*

Disk drive pada mesin CNC TU-3A dimaksudkan untuk pelayanan pengoperasian disket.

Dengan pelayanan disket dapat dilakukan :

- a. Menyimpan data dari memori mesin ke dalam memori disket.
- b. Memindah data program dari data ke dalam memori mesin.

⇒ **Fungsi Tombol**



Tombol ini berfungsi untuk memindahkan fungsi dari fungsi CNC ke fungsi manual, atau sebaliknya.



Tombol ini berfungsi untuk menyimpan data pada memori mesin.



Tombol ini berfungsi untuk menghapus satu karakter/kata untuk diganti.



Tombol ini berfungsi untuk memindah cursor kembali ke nomor blok program sebelumnya.



Tombol ini berfungsi untuk memindah cursor menuju nomor blok berikutnya.



Tombol untuk :

- Memasukkan data bernilai negatif, tombol ini ditekan setelah memasukkan nilai/angka yang dikehendaki.
- Memasukkan data dengan karakter M. Contoh: M99, M03, M05.
- Menguji kebenaran program, setelah program selesai dibuat, tekan dan tahan tombol ini, secara otomatis program yang telah dibuat akan dicek kebenarannya oleh komputer.



Tombol ini berfungsi untuk memindahkan cursor.

 	<p>Kombinasi tombol untuk menyisipkan satu baris blok program. (Tekan tombol ~ diikuti tombol INP).</p>
 	<p>Kombinasi tombol untuk menghapus satu baris blok program. (Tekan tombol ~ diikuti tombol DEL).</p>
 	<p>Kombinasi tombol untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Menghapus alarm. (Tekan tombol REV diikuti tombol INP) - Kembali ke awal program.
 	<p>Kombinasi tombol untuk mengeksekusi program agar berhenti sementara. (Tekan tombol INP diikuti tombol FWD).</p>
 	<p>Tombol kombinasi untuk mengeksekusi program secara satu persatu dalam setiap blok program. Kombinasi ini biasa digunakan sebagai salah satu cara pengecekan kebenaran program. (Tekan tombol 1 disusul tombol START)</p>
	<p>Tombol ini dipergunakan untuk mengeksekusi program secara keseluruhan.</p>
 	<p>Tombol kombinasi untuk menghapus program secara keseluruhan dari memori mesin. (Tekan tombol DEL diikuti INP)</p>

Fungsi G, M, Kode Alarm

FUNGSI G

- G 00 : Gerak lurus cepat (tidak boleh menyayat)
- G 01 : Gerak lurus penyayatan
- G 02 : Gerak melengkung searah jarum jam (CW)
- G 03 : Gerak melengkung berlawanan arah arum jam (CCW)
- G 04 : Gerak penyayatan (feed) berhenti sesaat
- G 21 : Baris blok sisipan yang dibuat dengan menekan tombol ~ dan INP
- G 25 : Memanggil program sub routine
- G 27 : Perintah meloncat ke nomor blok yang dituju
- G 64 : Mematikan arus step motor.
- G 65 : Operasi disket (menyimpan atau memanggil program)
- G 73 : Siklus pengeboran dengan pemutusan tatal

- G 81 : Siklus pengeboran langsung
- G 82 : Siklus pengeboran dengan berhenti sesaat
- G 83 : Siklus pengeboran dengan penarikan total
- G 85 : Siklus pereameran
- G 89 : Siklus pereameran sampai batas ukuranyang ditentukan
- G 90 : Program absolut
- G 91 : Program Incremental
- G 92 : Penetapan posisi pahat secara absolute

FUNGSI M

- M 00 : Program berhenti
- M 03 : Spindel/sumbu utama berputar searah jarum jam (CW)
- M 05 : Putaran spindel berhenti
- M 06 : Perintah penggantian alat potong (tool)
- M 17 : Perintah kembali ke program utama
- M 30 : Program berakhir
- M 99 : Penentuan parameter I dan K

KODE ALARM

- A 00 : Kesalahan perintah pada fungsi G atau M
- A 01 : Kesalahan perintah pada fungsi G02 dan G03
- A 02 : Kesalahan pada nilai X
- A 03 : Kesalahan pada nilai F
- A 04 : Kesalahan pada nilai Z
- A 05 : Kurang perintah M30
- A 06 : Kurang perintah M03
- A 07 : Tidak ada arti
- A 08 : Pita habis pada penyipanan ke kaset
- A 09 : Program tidak ditemukan pada disket
- A 10 : Disket diprotek
- A 11 : Salah memuat disket
- A 12 : Salah pengecekan
- A 13 : Salah satuan mm atau inch dalam pemuatan
- A 14 : Salah posisi kepala frais
- A 15 : Nilai Y salah
- A 16 : Tidak ada nilai radius pisau frais
- A 17 : Salah sub program
- A 18 : Jalannya kompensasi radius pisau frais lebih dari Nol

3. Kecepatan Potong dan Putaran Mesin

a. Pengertian kecepatan potong

Kecepatan potong adalah suatu harga yang diperlukan dalam menentukan kecepatan pada proses penyayatan atau pemotongan benda kerja. Harga kecepatan potong tersebut ditentukan oleh jenis alat potong dan jenis benda kerja yang dipotong.

Adapun rumus dasar untuk menentukannya kecepatan potong adalah :

$$V_s = \frac{\pi \times d \times S}{1000} \text{ m/menit}$$

Keterangan :

V_s : kecepatan potong dalam m/menit

D : diameter pisau dalam mm

S : Kecepatan putar spindel dalam rpm

π : 3,14

faktor-faktor yang mempengaruhi harga kecepatan potong

- 1). Bahan benda kerja/material
Semakin tinggi kekuatan bahan yang dipotong, maka harga kecepatan potongnya semakin kecil
- 2). Jenis alat potong
Semakin tinggi kekuatan alat potongnya, maka harga kecepatan potongnya semakin besar.
- 3). besarnya kecepatan penyayatan/asutan
semakin besar jarak asutan, maka kecepatan potongnya semakin kecil.
- 4). kedalaman penyayatan/pemotongan
semakin tebal penyayatan, maka harga kecepatan potongnya semakin kecil.

b. Jumlah putaran

Jika harga kecepatan potong benda kerja diketahui maka jumlah putaran sumbu utama dapat dihitung dengan ketentuan :

$$n = \frac{V_c \times 1000}{\pi d} \text{ Put/menit}$$

c. Kecepatan asutan (F)

Secara teoritis kecepatan asutan bisa dihitung dengan rumus :

$$F = n \times f_{pt} \times Z_n$$

Keterangan :

n : jumlah putaran dalam put/menit

f_{pt} : feed per teeth dalam mm

Z_n : jumlah gigi pisau

Contoh:

Diketahui pisau HSS *Shell Endmill* Ø 40 mm dengan jumlah gigi 6 buah, dipergunakan menyayat besi St 36 kecepatan potong 25 m/menit, kecepatan pergigi (fpt) 0,02 mm.

Ditanyakan :

- Berapa jumlah putaran mesin ?
- Berapa kecepatan penyayatan ?

Jawab :

$$a. n = \frac{V_c \times 1000}{\pi d}$$

$$n = \frac{25 \times 1000}{3,14 \times 40} = 199,044 \text{ pu/menit}$$

$$b. F = n \times fpt \times Z_n$$

$$F = 199.044 \times 0.02 \times 6$$

$$= 23,885 \text{ mm/menit}$$

4. Pengoperasian Disket

Pada Mesin Bubut CNC TU-3A dilengkapi dengan penggerak disket atau *disk drive* yang berfungsi untuk pengoperasian disket. Dengan sistem layanan disket ini semua program CNC dapat disimpan ke dalam disket atau dapat memindahkan program CNC dari disket ke dalam memori mesin. Hal ini dilakukan karena kemampuan mesin yang terbatas, yakni mesin hanya mampu menyimpan data ketika mesin dalam kondisi hidup, sedangkan apabila mesin dimatikan, semua data program yang ada di dalam memori mesin akan hilang.

Ada beberapa kemungkinan yang dapat menyebabkan data yang ada di dalam memori mesin hilang, antara lain :

- Tombol darurat ditekan.
- Terjadi gangguan listrik, yang menyebabkan terputusnya aliran listrik yang masuk ke mesin.



Apabila terjadi hal-hal tersebut di atas, dengan sistem pelayanan disket akan memudahkan operator untuk memasukkan data-data program ke dalam memori mesin melalui data program yang tersimpan di dalam disket.

Gambar 12.105. Disket

Jenis disket yang digunakan dalam pengoperasian mesin adalah disket DS, DD(*double side, double density*) dengan ukuran disket 3,5 Inch.

Untuk pengoperasian disket pada Mesin Bubut CNC TU-

3A ada beberapa urutan yaitu :

a. Memformat disket

Memformat disket adalah pengisian lintasan *track* dan *sector* sehingga adapat dipergunakan untuk menyimpan data program. Adapun langkah memformat disket sebagai berikut :

- 1) Masukkan disket pada *disk drive* maka lampu led akan menyala.
- 2) Pindahkan cursor pada kolom G dengan menekan tombol .
- 3) Tulis **G65** kemudian tekan tombol , (pada monitor tertayang fungsi pita)
- 4) Tekan tombol  +  secara bersamaan, maka pada monitor akan tampil pita hapus dan tertulis **C er** (*erase*), tunggu sampai format selesai.

b. Menyimpan program dari mesin ke dalam disket

- 1) Masukkan disket pada *disk drive* maka lampu led akan menyala.
- 2) Pindahkan cursor pada kolom G dengan menekan tombol .
- 3) Tulis **G65** kemudian tekan tombol , (pada monitor tertayang fungsi pita)
- 4) Tekan tombol  (pada monitor tertayang **menyimpan program no P....**).
Nomor program untuk menyimpan dapat dipilih
P00 – P99 , 000 – 999
- 5) Tulis nomer program yang diinginkan, misal **281** kemudian tekan tombol  (pada monitor akan tertayang nomer **281 akan tersimpan dan mesin akan menampilkan program yang tersimpan di dalam disket** tunggu sampai proses penyimpanan selesai.

c. Memanggil program dari disket ke mesin

- 1) Masukkan disket pada *disk drive* maka lampu led akan menyala.
- 2) Pindahkan cursor pada kolom G dengan menekan tombol .
- 3) Tulis **G65** kemudian tekan tombol , (pada monitor tertayang fungsi pita)
- 4) Tekan tombol  (pada monitor tertayang **fungsi pita....**).
- 5) Tulis nomer program yang akan dipanggil, misal 282,

kemudian tekan tombol **INP** (pada monitor akan tertayang : program tersimpan dan mesin akan menampilkan program-program yang tersimpan di dalam disket) kemudian disusul program akan terbaca, maksudnya nomer program yang tersimpan di dalam disket akan ditampilkan. Tunggu sampai proses pembacaan selesai.

5. Cara *Setting* Pisau terhadap Benda Kerja

Sebelum melaksanakan eksekusi program-program CNC dengan benda kerja terlebih dahulu dilakukan *setting* pisau terhadap benda kerja. *Setting* ini menepatkan titik nol benda kerja yang sudah terlebih dahulu kita tentukan dengan sumbu pisau frais terhadap tiga bidang benda kerja dengan cara penyayatan manual.

Setting benda kerja ini dapat dilaksanakan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

Misal : *setting* pisau frais dengan \varnothing 10 mm, kecepatan putar spindel utama 1500 put/menit.

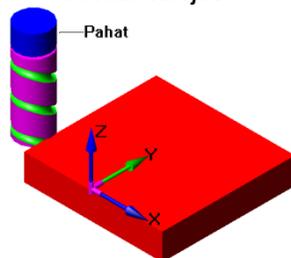
Posisi awal pisau frais berada – 15 mm terhadap titik nol sumbu X benda kerja.

0 mm terhadap sumbu Y benda kerja.

10 mm di atas permukaan benda kerja pada sumbu Z.

a. *Setting* pisau terhadap benda kerja pada sumbu X :

- 1) Periksa diameter pisau yang dipergunakan kemudian tentukan putaran spindel utama.
- 2) Pasang benda kerja pada ragum dan jepit dengan kuat.
- 3) Putar spindel utama dan yakinkan putaran sudah senter.
- 4) Turunkan pisau dengan menggerakkan sumbu **Z** dan atur kedalaman yang diperlukan di sebelah sisi luar benda kerja.



Gambar 12.106. *Setting* tool terhadap sumbu X.

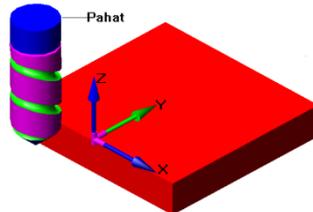
- 5) Sentuhkan pisau ke arah sumbu **+ X** pada sisi luar benda kerja dengan menggerakkan pelan-pelan ke arah benda kerja, setelah pisau menyentuh benda kerja pada monitor akan tertayang nilai harga **X**, misal : **X = 201**. hapus nilai harga **X** dengan tombol **DEL**, sehingga nilai harga **X = 00**.

Tekan tombol **INP** dan tulis -500, kemudian tekan **INP** maka pada monitor nilai harga **X = -500**. Nilai **X = 500**= radius pisau

frais 5 mm. nilai minus **X** menunjukkan arah. Maka setting terhadap sumbu **X** sudah selesai. (Lihat Gambar 9.102)

b. *Setting* pisau terhadap benda kerja pada sumbu **Y** :

Pisau masih tetap pada posisi di atas, bebaskan pisau terhadap benda kerja dan geser ke arah sumbu **-Y**, kemudian gerakkan pisau ke kanan ke arah sumbu **+X**.



Gambar 12.107. *Setting Tool* terhadap sumbu **Y**

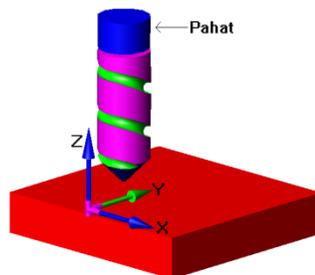
1). Sentuhkan pisau ke arah sumbu **+Y** pada setelah sisi luar benda kerja dengan menggerakkan pelan-pelan ke arah benda kerja, setelah pisau menyentuh benda kerja pada monitor akan tertayang nilai harga **Y**, misal : **Y = 1100**.

Hapus nilai harga **Y** dengan tombol **DEL**, sehingga nilai harga **Y = 00**. Tekan tombol **INP** dan tulis **-500**, kemudian tekan **INP** maka pada monitor nilai harga **Y = -500**. Nilai **Y = 500 = radius pisau frais 5 mm**, maka *setting* terhadap sumbu **Y** sudah selesai.

c. *Setting* pisau terhadap benda kerja pada sumbu **Z** :

Pisau masih tetap pada posisi di atas, bebaskan pisau terhadap benda kerja dan gerakan naik ke arah sumbu **+Z**.

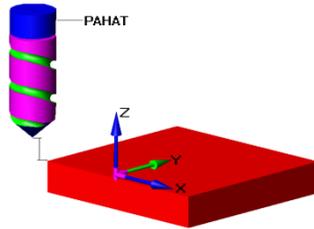
1) Gerakkan pisau ke arah sumbu **+Y** sehingga pisau berada di atas permukaan benda kerja.



Gambar 12.108. *Setting tool* terhadap sumbu **Z**

2) Turunkan pisau perlahan-lahan ke arah permukaan benda kerja (sumbu **-Z**), setelah pisau menyentuh benda kerja pada monitor akan tertayang nilai harga **Z**, misalnya : **Z = -964** hapus nilai harga **Z** dengan tombol **DEL**, sehingga nilai harga **Z = 00**.

3) Gerakkan pisau naik ke arah sumbu **+Z = 1200**, sesuai ketinggian posisi awal pisau.



4) Geser pisau ke arah sumbu **X = -1500** dan ke arah sumbu **Y = 0**, maka langkah setting pisau terhadap benda kerja selesai dan program siap dieksekusi dengan pelayanan CNC.

Gambar 12.109. Posisi akhir pahat sebelum proses *running*

6. Contoh-contoh Aplikasi Fungsi G, Fungsi M, serta Soal Latihan Bagian I.

a. Fungsi G00

Fungsi G00 adalah aplikasi perintah gerak cepat tanpa menyayat, aplikasi ini biasanya digunakan untuk memposisikan pisau. Berikut adalah simulasi blok G00.

N	G	X	Y	Z	F	
....	00					

Gambar 12.110. Ilustrasi Blok Program Fungsi G 00.

Keterangan:

N : Nomor blok

G : Kolom input fungsi atau perintah

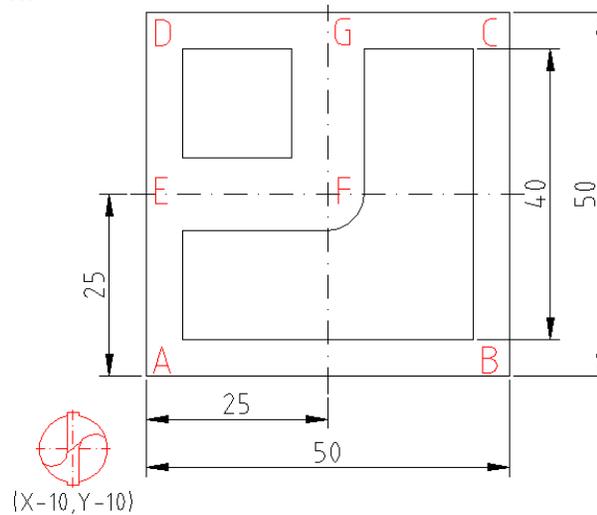
X : Gerak memanjang

Y : Gerak melintang

Z : Gerak pisau (vertikal)

F : Kecepatan langkah penyayatan

Contoh:



Gambar 12.111. Contoh gambar kerja simulasi G00.

Dari gambar kerja di atas diketahui :

Diameter pisau : 10 mm

Posisi Sumbu X : -10 mm

Posisi Sumbu Y : -10 mm

Posisi Sumbu Z : 20 mm.

Buatlah susunan program *plotter* dengan metode absolut dan incremental.

Metode Absolut

N	G	X	Y	Z	F	
00	92	-1000	-1000	2000		
01	M03					
02	00	-1000	00	2000		
03	00	-1000	00	00		
04	00	5000	00	00		
05	00	5000	5000	00		
06	00	00	5000	00		
07	00	00	00	00		
08	00	00	00	2000		
09	00	00	2500	00		

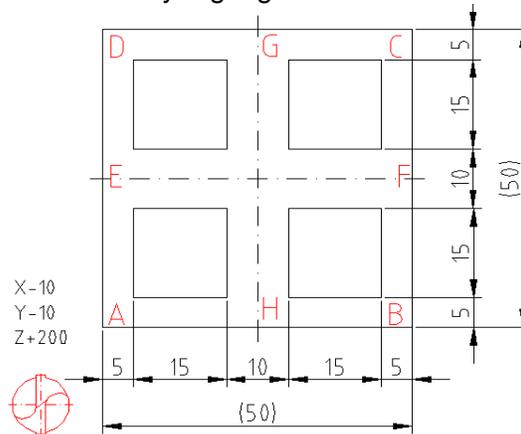
10	00	2500	2500	00		
11	00	2500	5000	00		
12	00	2500	5000	2000		
13	00	- 1000	- 1000	2000		
14	M05					
15	M30					

Keterangan gerakan:

- N 00 : Fungsi G92 menunjukkan program absolut
- N 01 : Spindle utama berputar
- N 02 : Pisau didekatkan pada titik 0 sumbu Y
- N 03 : Pisau diturunkan pada titik 0 Sumbu Z
- N 04 : Proses *plotter* pisau bergerak dari titik A ke titik B
- N 05 : Proses *plotter* pisau bergerak dari titik ke titik C
- N 06 : Proses *plotter* pisau bergerak dari titik C ke titik D
- N 07 : Proses *plotter* pisau bergerak dari titik D ke titik A
- N 08 : di Titik A pisau dinaikkan +20 mm, sumbu Z
- N 09 : Dari titik A pisau dipindah ke titik E
- N 10 : Di Titik E pisau diturunkan pada titik 0 sumbu Z
- N 11 : Proses *plotter* dari titik E ke titik F
- N 12 : Proses *plotter* dari titik F ke titik G
- N 13 : Di titik G pisau dinaikkan +20mm, dari titik 0 sumbu Z
- N 14 : Pahat dikembalikan di posisi awal X-1000, Y-1000
- N 15 : Spindle dimatikan
- N 16 : Program selesai.

Tugas: Dari gambar di atas buatlah simulasi *plotter* beserta keterangan gerakannya.

Soal : Buatlah susunan program *plotter* dengan metode absolut dan incremental. Pisau yang digunakan berdiameter 10mm.



Gambar 12.112. Gambar kerja simulasi G00.

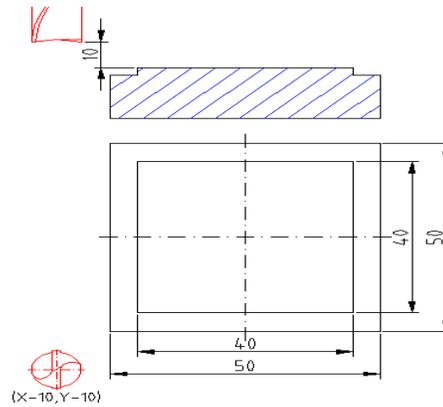
b. Fungsi G01

Fungsi G01 adalah aplikasi perintah gerak lurus menyayat, berikut adalah simulasi blok G01.

N	G	X	Y	Z	F	
...	01					

Gambar 12.113 Ilustrasi blok program fungsi G 01.

Contoh :



Gambar 12.114. Gambar kerja simulasi G01.

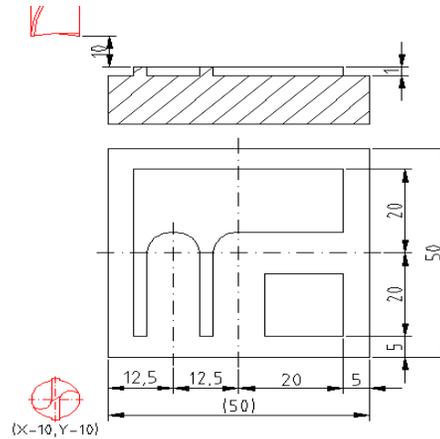
Buatlah program absolut dan incremental dari gambar di atas. Diameter pisau yang digunakan 10 mm.

Metode Absolut

N	G	X	Y	Z	F	
00	92	-	-	1000		
01	M03					
02	00	-	00	1000		
03	00	-	00	-100		
04	01	5000	00	-100		
05	01	5000	5000	-100		
06	01	00	5000	-100		
07	01	00	00	-100		

08	00	00	00	2000		
09	00	-1000	-1000	2000		
10	M05					
11	M30					

Tugas: Buat susunan program dari gambar 12.116 dengan metode Incremental.



Gambar 12.115. Gambar kerja simulasi G01.

Soal: Buatlah susunan program absolut dan incremental dari Gambar 12.115, usahakan meminimalisir penggunaan blok program. Diameter pisau yang digunakan 10 mm.

c. Fungsi G02

Fungsi G02 adalah gerakan interpolasi searah jarum jam atau dengan kata lain fungsi ini digunakan untuk membuat cekungan. Berikut adalah ilustrasi blok G02.

N	G	X	Y	Z	F	
....	G02					
	M99	I	J	K		

Gambar 12.116 Ilustrasi blok program fungsi G 02.

d. Fungsi G03

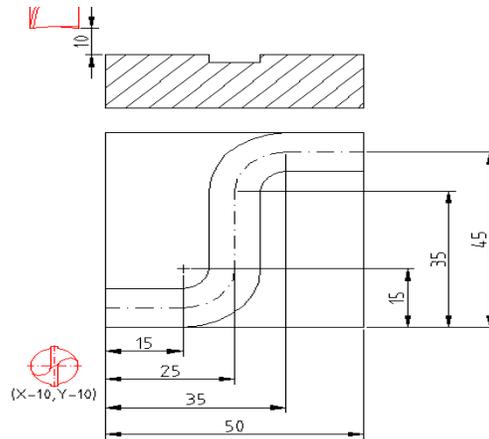
Fungsi G03 adalah gerakan interpolasi searah jarum jam dengan kata lain fungsi ini digunakan untuk membuat suatu pola radius. Berikut adalah ilustrasi blok G03.

N	G	X	Y	Z	F	
....	03					
	M99	I	J	K		

Gambar 12.117 Ilustrasi program fungsi G 02.

Untuk aplikasi G03, jika radius yang akan dibuat mempunyai sudut kurang dari 90°, memerlukan fungsi tambahan M99, sama halnya dengan aplikasi G02.

Berikut adalah contoh penggunaan aplikasi G02, dan G03.



Gambar 12.118. Gambar Kerja Simulasi G02.

Dari Gambar 12.118. buatlah susunan program dengan metode absolut. Diameter pisau yang digunakan 10 mm.

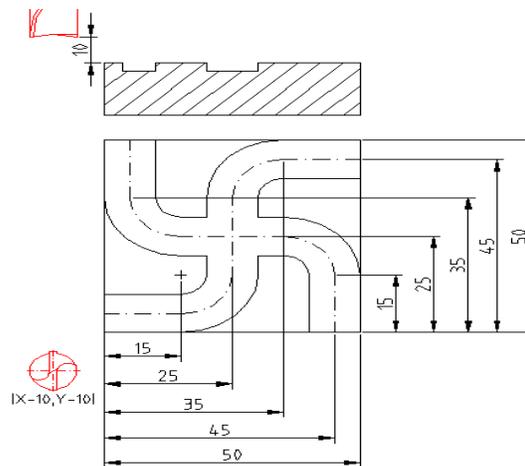
Metode Absolut

N	G	X	Y	Z	F	
00	92	-1000	-1000	1000		
01	M03					
02	00	-1000	00	1000		
03	00	-1000	500	-100		
04	01	1500	500	-100		

05	03	2500	1500	-100		
06	01	2500	3500	-100		
07	02	3500	4500	-100		
08	01	5500	5000	-100		
10	00	5500	5000	1000		
11	00	-	-	1000		
12	M05					
13	M30					

Tugas: Dari Gambar 12.118. buatlah pemrograman dengan sistem incremental.

Soal :



Gambar 12.119. Gambar Kerja Simulasi G02.

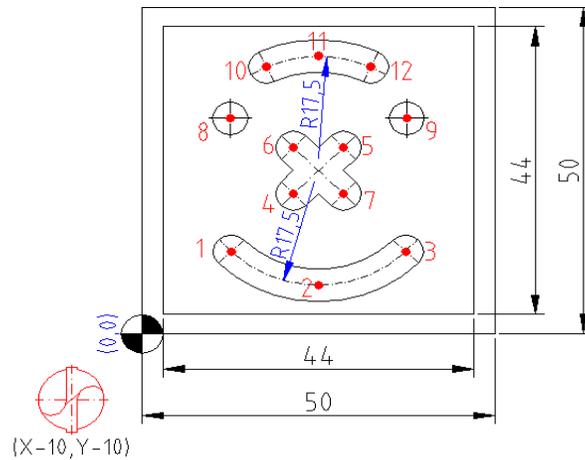
Tugas: Dari Gambar 12.119. buatlah pemrograman dengan sistem incremental dan absolut. Diameter pisau yang digunakan 10 mm.

Pemrograman dengan G02 dan G03 jika gerakan melingkar kurang dari 90°

Fungsi M99 dipergunakan jika radius yang akan dibuat mempunyai sudut kurang dari 90°. Dari ilustrasi di atas, yang dimaksud **I** adalah jarak titik awal melingkar sampai ke titik pusat radius searah sumbu X, sedangkan yang dimaksud dengan **J** adalah jarak titik awal melingkar sampai ke titik pusat radius searah sumbu Y dan yang dimaksud dengan **K** adalah jarak titik awal melingkar sampai ke titik pusat radius searah sumbu Z.

Pemrograman ini dilaksanakan dalam dua balok tetapi

merupakan satu gerakan penyayatan. Harga I dan J dalam pemograman ini adalah inkremental dan dapat bernilai negatif dan positif. Berikut ini salah satu penggunaan aplikasi G02, G03, M99.



Gambar 12.120. Gambar Kerja Simulasi G02, G03, M99.

Dari gambar di atas koordinat tiap titiknya sebagai berikut :

No.	X	Y
1	12,63	12,63
2	25	7,5
3	37,37	12,63
4	21,46	21,46
5	28,54	28,54
6	21,46	28,54
7	28,54	21,46
8	12,5	33
9	37,5	33
10	17,6	40,86
11	25	42,5
12	32,4	40,86

Diameter pisau yang digunakan 5mm,

Kedalaman penyayatan 1,5 mm.

Posisi awal pisau :

Sumbu X : -10 mm

Sumbu Y : -10 mm

Sumbu Z : +10 mm

Soal : Buatlah susunan program dengan metode absolut dan incremental.

e. Fungsi G04

Fungsi dengan sandi G04 adalah perintah diam sesaat. Aplikasi ini memerintahkan komputer untuk menghentikan *feeding* beberapa saat, dengan kondisi *spindle* masih berputar. Untuk lebih jelasnya kita lihat simulasi blok programn G04 sebagai berikut :

N	G	X	Y	Z	F	
....	04	300				

Gambar 12.121. Ilustrasi blok program fungsi G 04.

Pada kolom X, kolom tersebut diisi dengan angka tenggat waktu berhenti *feeding* mesin. X= 300 dimaksudkan *feeding* mesin berhenti selama 3 detik.

f. Fungsi G21

Aplikasi G21 adalah aplikasi penyisipan satu blok program, aplikasi ini bisa dibentuk menggunakan tombol kombinasi  . Setelah blok sisipan terbentuk, perintah G21 yang tercantum pada kolom G, bisa dihapus baru kemudian diisikan program sisipan. Lebih jelas lihat ilustrasi berikut :

N	G	X	Y	Z	
20	00	....	....	....	(tekan ~ + INP)
21	01	....	....	....

N	G	X	Y	Z	
20	00	....	....	....
21	21	....	....	....	(hapus fungsi G21, kemudian isi blok ini dengan program yang dikehendaki)
22	01	....	....	....

Gambar 12.122. Ilustrasi blok program G21.

g. Fungsi G25 dan M17

Pada pekerjaan frais banyak ditemukan bentuk-bentuk pengerjaan yang sama dalam satu benda kerja, sehingga di dalam pembuatan bentuk-bentuk tersebut memerlukan pemrograman tersendiri. Pemrograman itu menggunakan program sub rutin.

Kegunaan program subrutin :

- 1) Untuk membuat bentuk yang sama
- 2) Untuk membuat bentuk sesuai kontur

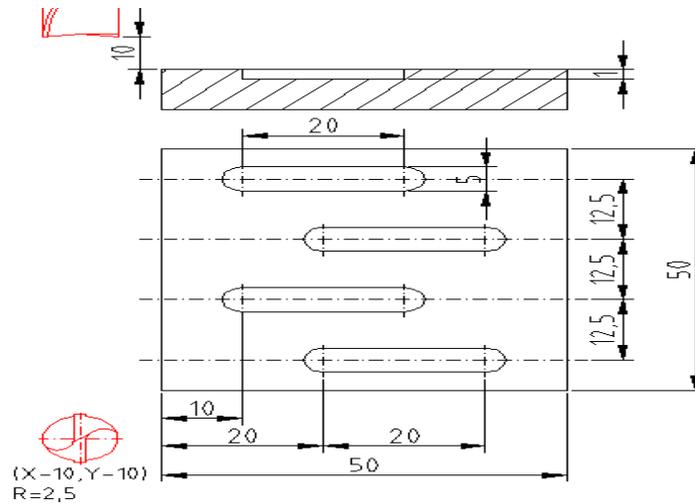
Pada pemrograman sub rutin terdiri dari program utama dan program sub program/subrutin. Biasanya program subrutin dibuat dalam blok tersendiri dan terpisah dengan program utama dengan metode incremental.

Format pemanggilan pemrograman sub program/sub rutin :

N	G	X	Y	Z	F
20	25	.....	.....	.....	L30
21	00	.....	.....	.....

Gambar 12.123. Ilustrasi blok program G25.

Maksud dari L 30 pada kolom **F** di atas adalah nomor blok sub program yang akan dipanggil pada saat proses pengerjaan benda kerja. Sub program yang dibuat selalu dalam bentuk incremental. Agar lebih jelas kita lihat contoh penggunaan aplikasi G25 berikut ini.



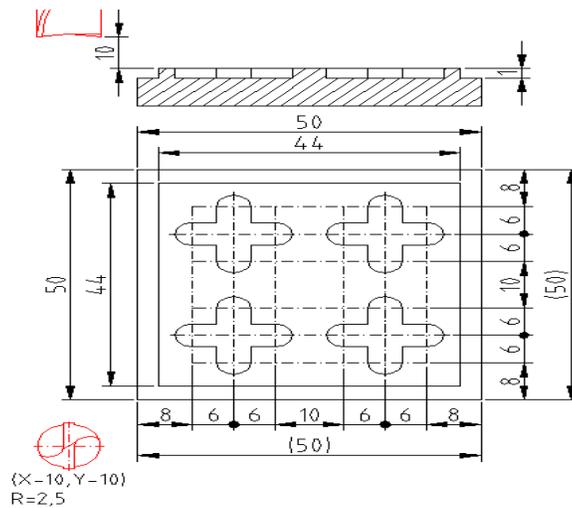
Gambar 12.124. Gambar kerja simulasi G25.

Tugas: Buatlah susunan program dari gambar di atas dengan metode absolut.

N	G	X	Y	Z	F	
00	92	- 1000	- 1000	1000		
01	M03					
02	00	1000	4375	1000		
03	00	1000	4375	00		
04	25				L30	
05	00	2000	3125	1000		
06	00	2000	3125	00		
07	25				L30	
08	00	1000	1875	1000		
09	00	1000	1875	00		
10	G25				L30	
11	00	2000	625	1000		
12	00	2000	625	00		
13	25				L30	
14	00	- 1000	- 1000	1000		
15	M05					
16	M30					
~	~	~	~	~	~	~
30	91					
31	01	00	00	-100		
32	01	2000	00	00	60	
33	00	00	00	1100		
34	90					
35	M17					

Tugas 2: Buatlah susunan program G25 dengan pedoman Gambar 12.124. Buat dengan metode incremental.

Soal:



Gambar 12.125. Gambar kerja simulasi G25.

h. Fungsi G27

Fungsi G27 adalah aplikasi program melompat blok. Aplikasi ini dikombinasikan dengan fungsi M06 yaitu aplikasi penggantian *tool*. Agar lebih jelas lihat ilustrasi dari fungsi G27 di bawah ini.

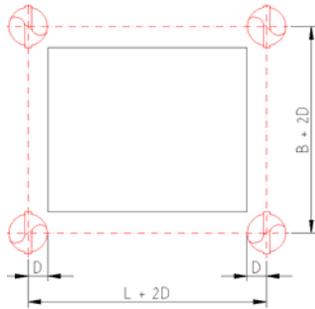
N	G	X	Y	Z	F
.....
30	27				L40
31	M06	D1000	S200	00	T01
32	00	1000	100		
.....
40	M06	D2000	S200	00	T01
41	00	1200	-200		
.....

Gambar 12.126. Ilustrasi blok program G27.

Dari Gambar 12.126 di atas terlihat bahwa blok program N31 hingga N39 dilewati (*skip*), program berikutnya langsung menuju blok program N 40.

7. Kompensasi Radius Pisau Sejajar Sumbu

Dalam pemrograman fungsi-fungsi G terdahulu, jalannya pisau selalu pada titik pusat pisau. Pekerjaan yang bervariasi dapat dilaksanakan dengan penambahan dan pengurangan radius pisau, perhitungan pada pengurangan dan penambahan radius dapat diambil alih oleh mesin dengan informasi yang sesuai.



Gambar 12.127.
Kompensasi radius.

Fungsi-sungsi yang dipergunakan dalam radius kompensasi adalah G40, G45, G46, G47 dan G48. Sebelum pemrograman dengan fungsi G45, G46, G47 dan G48 harus didahului dengan data alat potong dengan M06.

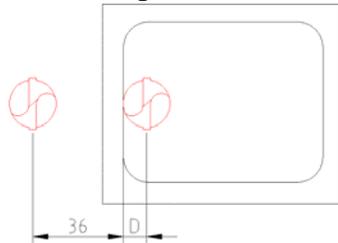
8. Contoh-contoh Aplikasi Fungsi G, Fungsi M, serta Soal Latihan Bagian II.

a. Fungsi G40

Perintah G40 adalah untuk membatalkan kompensasi radius yang sedang aktif yakni : G45, G46, G47 dan G48.

b. Fungsi G45

Fungsi G45 adalah aplikasi penambahan radius pada kontur bagian dalam kantong.



Gambar 12.128.
Simulasi G45.

Perintah ini hanya berlaku untuk arah gerakan sumbu X dan Y. Bila perintah ini diaktifkan pisau akan bergerak ke arah sumbu X atau sumbu Y, dengan jarak sesuai perintah program ditambah radius pisau. Berikut ini adalah ilustrasi penerapan fungsi G45. Jika Pisau yang digunakan berdiameter 10mm.

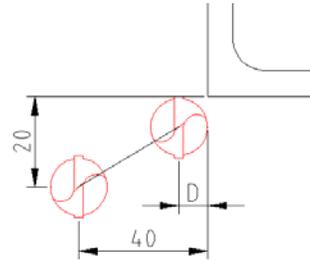
N	G	X	Y	Z	F
.....
31	M06	D500	S1200	00	T01
32	45				
33	00	X3600	Y00	Z00	
40	40				
41	M30	1200	-200		
.....

Gambar 12.129. Ilustrasi blok program G45.

c. Fungsi G46

Fungsi G46 adalah fungsi pengurangan radius pada kontur bagian luar.

Perintah ini hanya berlaku untuk arah gerakan sumbu X dan Y. Bila perintah ini diaktifkan pisau akan bergerak kearah sumbu X atau sumbu Y, dengan jarak sesuai perintah program dikurangi radius pisau.



Gambar 12.130. Simulasi G46.

Berikut salah satu penerapannya:
Diameter pisau yang digunakan 10 mm.

N	G	X	Y	Z	F
.....
31	M06	D500	S1200	00	T01
32	46				
33	00	X4000	Y00	Z00	
40	40				
41	M30	1200	-200		
.....

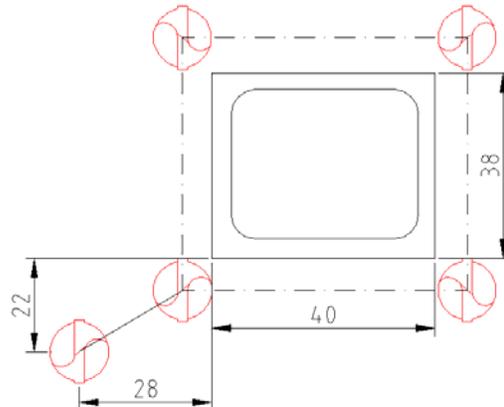
Gambar 12.131. Ilustrasi blok program G45.

d. Fungsi G47

Fungsi G47 adalah penambahan radius pisau dua kali pada kontur bagian luar. Perintah ini hanya berlaku untuk arah gerakan sumbu X dan Y. Bila perintah ini diaktifkan pisau akan bergerak kearah sumbu X atau sumbu Y, dengan jarak sesuai perintah program ditambah dua kali radius pisau. Berikut salah satu contoh penerapannya :

Contoh:

Pisau yang digunakan berdiameter 10 mm.



Gambar 12.132. Simulasi G47.

Susunan program simulasi G47

N	G	X	Y	Z	F
.....
31	M06	D500	S1200	00	T01
32	46				
33	01	2800	2200	00	50
40	47				
41	01	4000	00	00	50
42	01	00	3800	00	50
43	01	-4000	00	00	50
44	01	00	-3000	00	50
45	46				
46	00	-2800	-1500	00	
47	40				
48	M30				

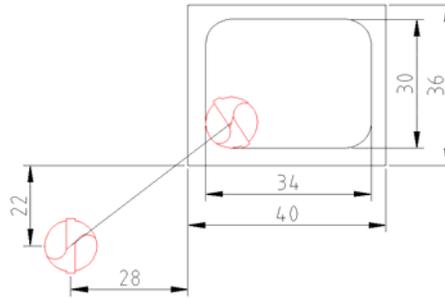
e. Fungsi G48

Fungsi G48 adalah pengurangan radius pisau pada kontur bagian dalam. Perintah ini hanya berlaku untuk arah gerakan sumbu X dan Y. Bila perintah ini diaktifkan pisau akan bergerak ke arah sumbu X atau sumbu Y, dengan jarak sesuai perintah program ditambah dua kali radius pisau. Berikut salah satu

contoh penerapannya :

Contoh:

Pisau yang digunakan berdiameter 10 mm.



Gambar 12.133. Simulasi G48.

Susunan program simulasi G48

N	G	X	Y	Z	F
.....
31	M06	D500	S1200	00	T01
32	45				
33	00	2800	2200	00	
40	01	00	00	-500	
41	48				
42	01	4000	00	00	50
43	01	00	3000	00	50
44	01	-4000	00	00	50
45	01	00	-3000	00	50
46	00	00	00	500	
47	45				
48	00	-2800	-2200	00	
49	M30				

f. Fungsi M06

Fungsi M06 digunakan untuk membuat benda kerja yang menggunakan lebih dari satu alat potong, misalnya dengan pisau frais (*slot endmill, shell endmill, bor*), dll. Sebelum membuat program harus diketahui terlebih dahulu tentang data alat potong (jenis alat potong, diameter alat potong, posisi alat potong yang satu dengan yang lainnya dan selisih panjang alat potong). Berikut ini ilustrasi blok program fungsi M06.

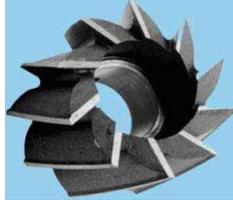
N	G	X	Y	Z	F
.....	M06	D	S	.....	.....

Gambar 12.134. Ilustrasi blok program M06.

Sebelum melakukan pemrograman penggantian alat terlebih dahulu kita menyiapkan hal-hal sebagai berikut :

1) Menentukan urutan kerja alat potong

Menentukan urutan kerja alat potong adalah urutan langkah-langkah proses penyayatan pada benda kerja yang dikerjakan sesuai hasil analisa gambar. Sebagai ilustrasi dapat dilihat pada gambar di bawah :



Gambar 12.135.
Shell end mill

Shell end mill adalah *tool* yang dipergunakan untuk mengefrais mula, yaitu proses mengefrais untuk meratakan suatu bidang.

Slot end mill digunakan untuk membuat alur I, pada benda kerja.



Gambar 12.136. *Slot end mill.*



Gambar 12.137.
T slot end mill

T Slot End Mill pisau frais jenis ini dipergunakan untuk membuat alur T.

2) Menentukan data alat potong

Data alat potong yang dimaksud di sini adalah data tentang nama alat potong, diameter alat potong, kecepatan penyayatan, dll. Untuk mempermudah pemrograman maka dibuatkan lembar data seperti di bawah :

Jenis Tool	T01	T02	T03
	<i>Shell endmill</i>	<i>Slot endmill</i>	<i>T Slot Endmill</i>
d	40	10	16
$D=d/2$	20	5	8
F	75	75	100
t	0.75	5	8
S	200	1500	1600
Hz			

Cara memasukkan data alat potong :

- a) Alat potong diletakkan pada kolom sesuai urutan kerja alat potong.
- b) Data alat potong dimasukkan pada kolom yang sesuai
 - d = diameter alat potong/pisau (mm)
 - D = radius pisau (mm)
 - F = kecepatan penyayatan pisau (mm/menit)
 - t = kedalaman penyayatan maksimal (mm)
 - S = jumlah putar (Rpm)
 - Hz = harga selisih panjang alat potong (mm)

3) Mencari selisih panjang alat potong

Untuk mencari selisih panjang pada masing-masing alat potong terlebih dahulu alat potong diukur. Pengukuran disini dapat dilakukan dengan cara mengoperasikan semua alat potong pada permukaan referensi atau menyentuhkan ujung alat potong/pisau pada alat dial indikator. Langkah-langkah mencari selisih panjang alat potong/pisau dengan cara menyentuhkan pisau pada permukaan referensi.

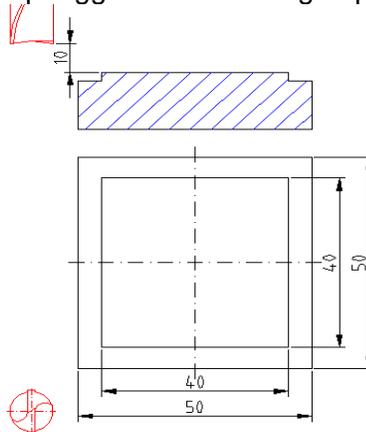
- a) Benda kerja dijepit pada ragum sebagai permukaan referensi.
- b) Pisau nomer 1 (T01 = *Shell endmill* Ø 40 mm) dipasang pada rumah alat potong.
- c) Putar saklar pada posisi 1 (spindel berputar), gerakkan pisau kebawah sampai menyentuh permukaan benda kerja.
- d) Pada monitor akan tertayang harga Z; misal = -1404, tekan tombol DEL maka harga Z = 0. Pisau nomer 1 sebagai referensi untuk mencari selisih panjang masing-masing pisau.
- e) Harga Z = 0 dimasukkan pada lembar data alat potong kolom 1, yakni T01 pada baris Hz = 0
- f) Pisau nomer 1 dilepas kemudian pisau nomer 2 (T02 = *Slot Endmill* Ø 10) dipasang.
- g) Penggoresan ke permukaan benda kerja dapat dilakukan sesuai dengan langkah-langkah sebelumnya, pada monitor akan tertayang harga Z = -200, maka selisih harga Z terhadap pisau nomer 1 dimasukkan pada lembar data kolom 2 baris Hz = -200.
- h) Dengan cara yang sama untuk pisau berikutnya dapat digoreskan seperti di atas, kemudian selisih panjang masing-masing pisau dimasukkan pada lembar data.

Catatan :

- Untuk penggoresan pisau pada permukaan benda kerja pisau harus berputar.
 - Untuk menyentuhkan ujung pisau pada sensor dial indikator pisau harus diam.
- i) Setelah *setting* untuk masing-masing alat potong, maka hasil selisih panjangnya dimasukkan pada lembar data untuk mempermudah dalam pembuatan program CNC.

Jenis Tool	T01	T02	T03
	<i>Shell endmill</i>	<i>Slot endmill</i>	<i>T Slot Endmill</i>
d	40	10	16
$D=d/2$	20	5	8
F	75	75	100
t	0.75	5	8
S	200	1500	1600
Hz	0	-1404	-200

Berikut ini contoh penggantian alat dengan program M06.



Gambar 12.138. Gambar kerja simulasi M06.

Pisau nomor 1 *Shell Endmill* Ø 40 mm dipakai untuk penyayatan permukaan.

Pisau nomor 2 *Slot Endmill* Ø 10 mm dipakai untuk penyayatan alur tepi.

N	G	X	Y	Z	F
01	M03				
02	M06	D=200 0	S=200	00	T01
03	00	-2200	1500	1000	
04	00	-2200	1500	-75	
05	01	7200	1500	-75	50
06	00	7200	3500	-75	
07	01	-2200	3500	-75	50
08	M05				
09	00	-2200	3500	4000	
10	M06	D=500	S=125 0	-1404	T02
11	M03				
12	00	-800	00	4000	
13	00	-800	00	-200	
14	01	5000	00	-200	75
15	01	5000	5000	-200	75
16	01	00	5000	-200	75
17	01	00	00	-200	75
18	00	00	00	4000	
19	M05				
20	M06	D=200 0	S=200	00	T01
21	00	-3000	00	1000	
22	M30				

Keterangan:

Pergantian *tool* terjadi pada blok nomor N02, N10, dan N22. Untuk pemrograman dengan lebih dari satu alat potong, posisi pisau ke 1 harus dikembalikan pada posisi awal program. Penulisan program untuk kembali ke awal program biasanya ditulis sebelum blok M30. Lihat contoh di atas!

g. Fungsi G72

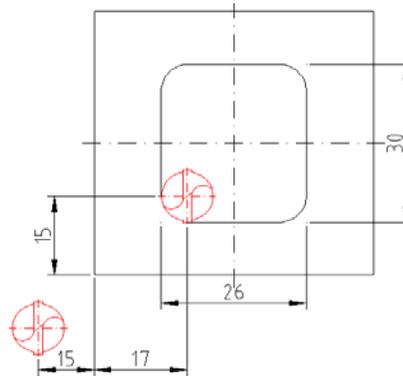
N	G	X	Y	Z	F
.....	M06	D	S	.....	.....
.....	72				

Gambar 12.139. Ilustrasi Blok Program G72.

Fungsi G72 adalah siklus pengefraisan kantong segi empat (*pocket milling cycle*), berikut ini adalah contoh pembuatan kantong dengan mesin CNC TU3A.

Pemrograman fungsi G72 dengan metode absolut.
 Ukuran kantong terhadap sumbu X dan sumbu Y dihitung dengan cara sebagai berikut :

1. Titik awal penempatan pisau terhadap sumbu X + ukuran panjang kantong X= (1700+2600)
2. Titik awal penempatan pisau terhadap sumbu Y + ukuran panjang kantong Y =(1500+3000)



Gambar 12.140. Gambar pemrograman G72.

N	G	X	Y	Z	F
	(M)	(D)(I)	(J)(S)	(K)	(L)(T)
00	G92	-1500	00	1000	
01	M03				
02	M06	D=500	S=150 0	00	T01
03	00	X1700	Y1500	Z100 0	
04	00	X1700	Y1500	Z200	
05	72	4300	4500	-300	75
06	00	1900	2000	1000	
07	00	-1500	00	1000	
08	M30				

h. Fungsi G73

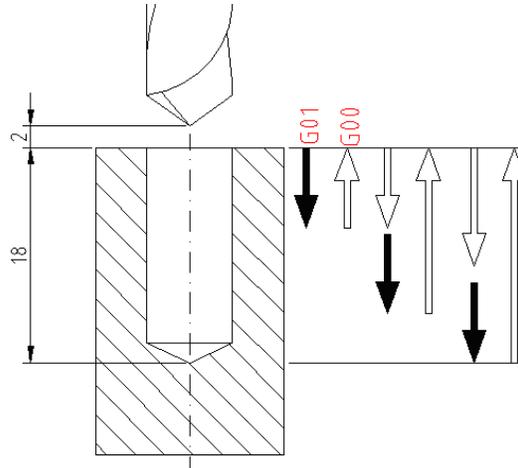
Adalah Siklus pengeboran dengan pemutusan total. Pengeboran dengan perintah G73 dilaksanakan dengan cara bertahap, yakni setiap 2 mm bor bergerak maju secara otomatis kemudian akan berhenti dan bergerak mundur 0.2 mm untuk

memutus tatal. Selanjutnya dengan cara yang sama bor akan bergerak maju sampai batas yang ditentukan dan kembali ke posisi awal dengan gerakan yang cepat.

N	G	X	Y	Z	F
.....	73			.....	.....

Gambar 12.141. Ilustrasi blok program G73.

Berikut adalah salah satu contoh siklus pengeboran.



Gambar 12.142. Simulasi pengeboran siklus G73.

Metode Absolut

N	G	X	Y	Z	F
.....	73			-1800	35

Metode Incremental

N	G	X	Y	Z	F
.....	73			-2000	35

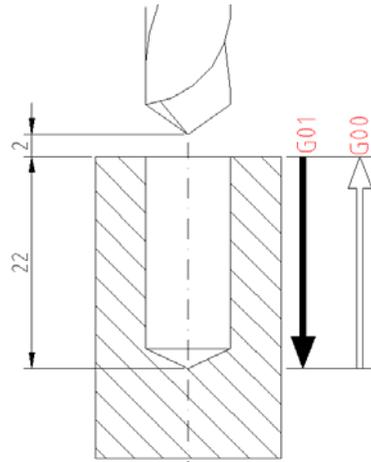
i. Fungsi G81

Fungsi G81 adalah aplikasi pemrograman pengeboran langsung. Pada kolom Z, diisi dengan nilai kedalaman pengeboran.

N	G	X	Y	Z	F
.....	81				35

Gambar 12.143. Ilustrasi blok program G81.

Berikut simulasi program pengeboran dengan fungsi G81.



Gambar 12.144.. Simulasi G81.

Metode Absolut

N	G	X	Y	Z	F
....	81			-2200	35

Metode Incremental

N	G	X	Y	Z	F
....	81			-2400	35

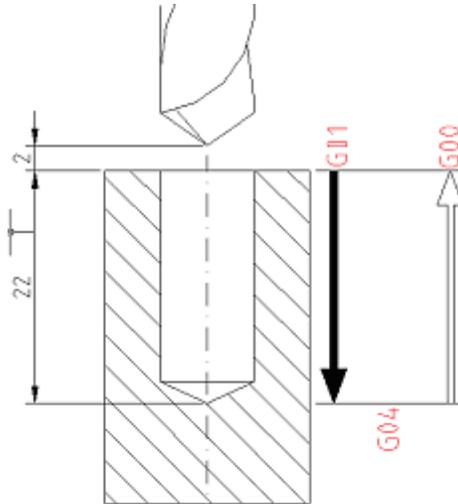
j. Fungsi G82

Fungsi G82 adalah siklus pengeboran langsung dengan berhenti sesaat.

N	G	X	Y	Z	F
....	82				35

Gambar 12.145. Ilustrasi blok program G82.

Pengeboran dengan G82 dilaksanakan secara langsung sesuai batas ukuran yang ditentukan dan akan berhenti sesaat (5 detik) pada akhir batas pengeboran. Tujuannya untuk memutuskan tatal pemotongan bor tersebut kemudian bor akan kembali pada posisi awal dengan gerakan cepat.



Gambar 12.146. Simulasi G82.

Metode Absolut

N	G	X	Y	Z	F
....	82			-2200	35

Metode Incremental

N	G	X	Y	Z	F
....	82			-2400	35

k. Fungsi G83

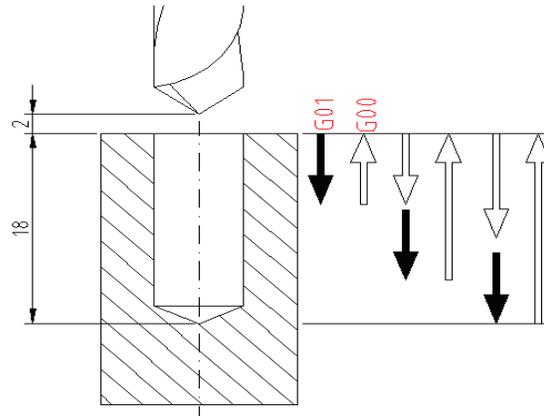
Fungsi G83 adalah siklus pengeboran dengan penarikan tatal. Pengeboran dengan G83 dilaksanakan secara bertahap, yakni setiap kedalaman pengeboran 6 mm maka bor akan ditarik kembali pada posisi awal dengan gerakan cepat. Mata bor bergerak maju sedalam 5.5 mm kemudian meneruskan pengeboran berikutnya sedalam 6 mm sampai batas kedalaman yang ditentukan.

Tujuan pengeboran dengan G83 jika lubang yang dibuat dalam, dan tatal tidak keluar dengan semestinya. Berikut adalah simulasi blok program G83.

N	G	X	Y	Z	F
....	83				35

Gambar 12.147. Ilustrasi blok program G83.

Simulasi gerakan program G83.



Gambar 12.148. Simulasi G83.

Metode Absolut

N	G	X	Y	Z	F
....	83			-2200	35

Metode Incremental

N	G	X	Y	Z	F
....	83			-2400	35

I. Fungsi G85

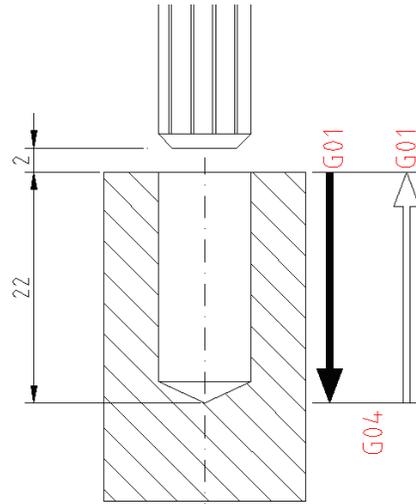
Fungsi G85 adalah siklus perintah untuk melaksanakan pereameran sampai batas ukuran kedalaman yang ditentukan, dan pisau akan kembali pada posisi awal. Perintah G85 adalah gabungan dari dua perintah G01.

Reamer adalah proses peluasan dan penghalusan lubang hingga tingkat kekasaran N6.

N	G	X	Y	Z	F
....	85				35

Gambar 12. 149. Ilustrasi blok program G85.

Berikut ini adalah contoh simulasi pereameran dengan fungsi G85.



Gambar 12.150. Simulasi G85.

Metode Absolut

N	G	X	Y	Z	F
.....	85			-2200	35

Metode Incremental

N	G	X	Y	Z	F
.....	85			-2400	35

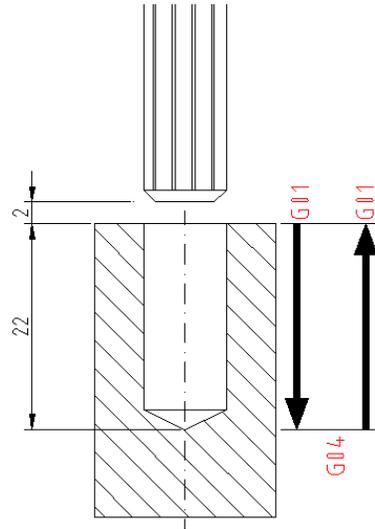
m. Fungsi G89

Fungsi G89 adalah perintah untuk melaksanakan pereameran sampai batas ukuran yang ditentukan, pada akhir batas kedalaman pisau akan berhenti sesaat (5 detik). Selanjutnya pisau akan kembali pada posisi awal dengan gerakan G01.

N	G	X	Y	Z	F
.....	85				35

Gambar 12.151. Ilustrasi blok program G89.

Berikut ini adalah contoh simulasi pereameran dengan fungsi G89.



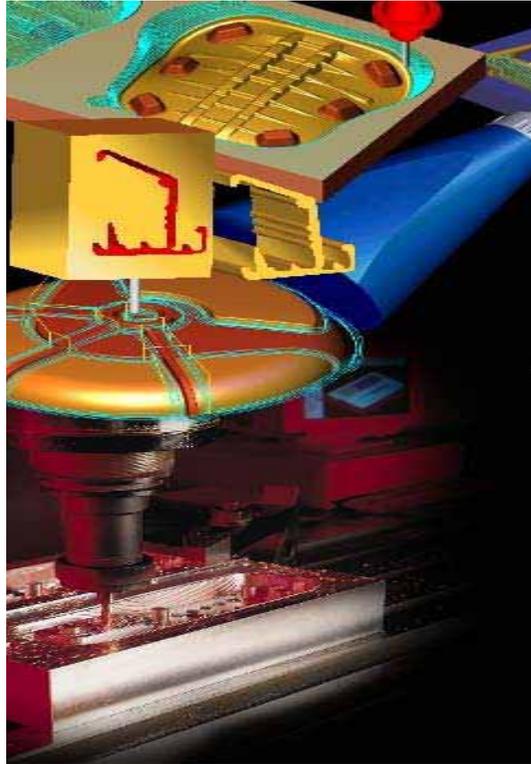
Gambar 12.152. Simulasi G85.

Metode Absolut

N	G	X	Y	Z	F
.....	89			-2200	35

Metode Incremental

N	G	X	Y	Z	F
.....	89			-2400	35



BAB 13

MEMAHAMI MESIN CNC LANJUT

CNC (*Computer Numerically Controlled*) adalah salah satu sistem pengendali yang banyak digunakan untuk mengendalikan atau mengatur pengoperasian mesin perkakas. Mesin perkakas yang dilengkapi dengan sistem CNC (Mesin Perkakas CNC) secara umum tidak berbeda dengan mesin perkakas konvensional. Fungsi CNC dalam hal ini lebih banyak menggantikan pekerjaan operator dalam mesin perkakas konvensional, misalnya pekerjaan mengatur gerakan pahat sampai pada posisi siap memotong, gerakan pemotongan dan gerakan kembali keposisi siap memotong. Demikian pula dengan pengaturan kondisi pemotongan (kecepatan potong, kecepatan makan dan kedalaman pemotongan) serta fungsi pengaturan yang lain seperti penggantian pahat, pengubahan transmisi daya (jumlah putaran poros utama), dan arah putaran poros utama, pengekleman, pengaturan cairan pendingin dan sebagainya.

Pekerjaan operator mesin perkakas CNC hanya tinggal mengawasi jalannya pekerjaan yang berlangsung secara otomatis (sesuai dengan program NC yang dibuat khusus untuk pekerjaan itu) mengambil dan memasang benda kerja serta mengukur kualitas geometri produk. Namun demikian, bukan berarti tidak diperlukan lagi operator mesin yang baik, sebaliknya, justru diperlukan tenaga operator yang ahli dengan beberapa kemampuan antara lain :

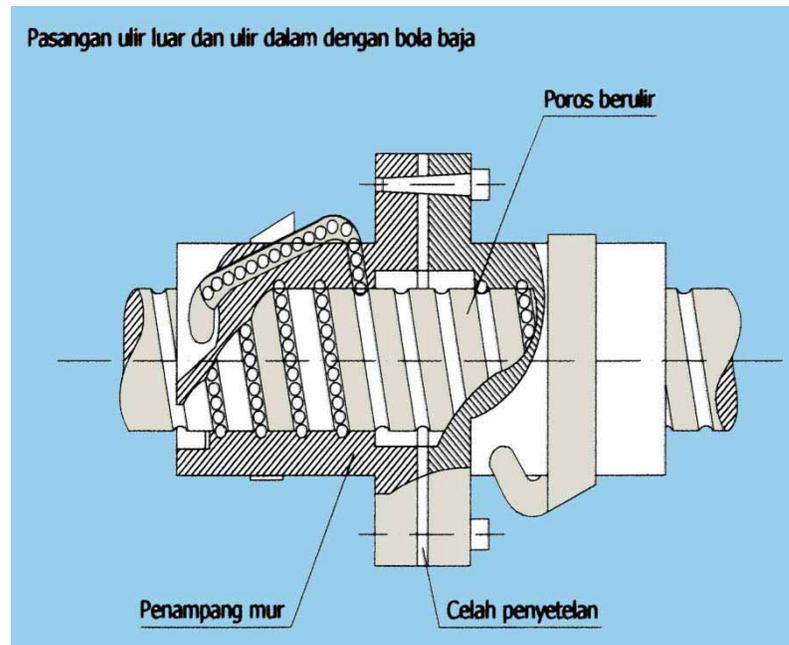
1. Memasukkan program NC serta data lain yang diperlukan ke dalam memori komputer mesin dengan prosedur tertentu.
2. Menguasai prosedur menjalankan dan menghentikan proses pada setiap siklus operasi ataupun pada kondisi darurat (*emergency stop*).
3. Mengukur kualitas geometris produk dan mencari sumber/penyebab penyimpangan dan melakukan tindakan pencegahan ataupun koreksi (dengan masukan data kompensasi sampai pada pembetulan peralatan bantu ataupun komponen mesin lainnya dalam batas tanggungjawabnya).
4. Memberikan informasi atau umpan balik kepada pemrogram NC, bagian Perkakas Bantu dan Bagian Perkakas Potong (pahat) untuk tujuan perbaikan maupun pengembangan teknologi produksi.
5. Bekerja sama dengan personal Bagian Kontrol Kualitas dan Bagian Pemeliharaan bila diperlukan dalam hal penanggulangan masalah kerusakan produk maupun kerusakan mesin.

Mesin perkakas CNC mempunyai kemampuan yang lebih tinggi dari pada mesin perkakas konvensional khususnya dalam hal ketelitian, ketepatan dan produktivitas, serta kompleksitas pekerjaan yang dapat ditangani.

Ketelitian yang tinggi mempunyai makna bahwa produk dengan kesalahannya kecil, ukuran yang cermat serta daerah toleransi geometri yang sempit dapat dibuat dengan lebih mudah pada mesin perkakas CNC

dari pada dengan mesin perkakas konvensional yang sejenis dan setingkat. Hal ini disebabkan oleh karena tiga hal yang utama yaitu :

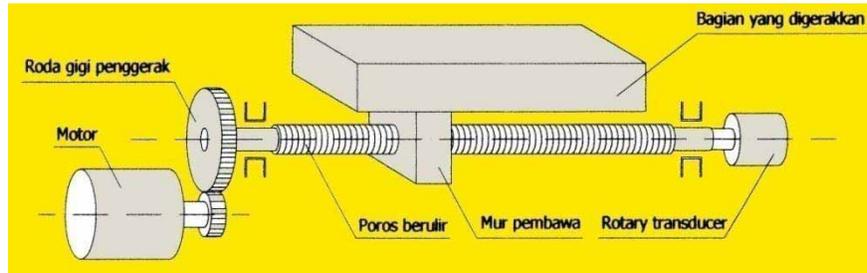
1. Konstruksi mesin perkakas CNC secara umum lebih baik, dengan pemakaian elemen pembimbing dan penggerak yang teliti. Misalnya pemakaian elemen penggerak *ball-screw* sebagai ganti poros ulir trapesium akan mengurangi gesekan, memperlancar gerakan dan mempermudah pengontrolan gerakan (berkaitan dengan, akselerasi, deselerasi dan berhenti pada posisi yang pasti).



Gambar 13.1. *Ball-screw*.

2. Pemakaian sistem pendeteksi jarak/lokasi yang teliti. Sistem skala atau alat ukur perubah posisi yang digunakan dapat merupakan sistem langsung (*direct*, contohnya *inductosyn* atau *photocosyn*) atau sistem tak langsung (*indirect*, misalnya *resolver*) yang mampu memberikan informasi kepada unit pengontrol mesin sehingga lokasi mata potong pahat pada sistem koordinat yang dipilih dapat diketahui dengan pasti.
3. Kompensasi kesalahan posisi karena kesalahan kumulatif maupun kesalahan gerak-balik (*back-lash*) pada elemen penggerak dapat dilakukan dengan cara memasukkan harga kesalahan-kesalahan sistematis pada memori unit pengontrol mesin. Setiap kali elemen mesin bergerak melewati posisi yang telah ditetapkan secara otomatis komputer mesin akan melakukan koreksi sesuai dengan

harga yang telah disimpan padanya. Dengan demikian ketelitian geometrik mesin dapat dijamin dan memenuhi standar pengetesan.



Gambar 13.2. Pendeteksian posisi secara tidak langsung.

Ketepatan yang tinggi mempunyai arti bahwa pekerjaan dapat diulang dengan tanpa kesalahan sesuai dengan program NC yang telah dibuat bagi pemesinan benda kerja yang bersangkutan. Kompleksitas pekerjaan atau kerumitan geometri produk yang harus dibuat dapat diatasi dengan memilih mesin perkakas dengan jumlah sumbu gerakan yang lebih banyak (3, 4 atau 5 sumbu) sehingga bidang rata ataupun yang terpuntir dalam ruang dapat diselesaikan karena derajat kebebasan gerakan pahat lebih banyak. Berbagai jenis pahat yang dibutuhkan sesuai dengan kompleksitas pekerjaan dapat dipersiapkan terlebih dahulu dan dipasang pada turret Mesin Bubut CNC (*CNC Turning*) atau pun disimpan pada bagian penyimpanan pahat pada Mesin Frais CNC (*CNC Milling*).

Penggantian pahat dapat berlangsung secara cepat berkat adanya alat pengganti pahat otomatis (ATC, *Automatic Tools Changer*). Waktu non-produktif dapat lebih diturunkan lagi dengan memakai alat pengganti benda kerja otomatis (APC, *Automatic Pallet Changer*), karena benda kerja dapat dipasang atau dibongkar diluar mesin sewaktu proses pemesinan benda kerja lain sedang berlangsung.

Alat Bantu pemegang (*fixture*) yang dipasang di atas pallet direncanakan sesuai dengan bentuk dan ukuran benda kerja dan jumlah *fixture* sesuai dengan jumlah *pallet*. Dengan menggunakan *pallet* yang banyak maka operasi mesin dapat berlangsung terus selama satu *shift* tanpa campur tangan operator. Selain itu, jenis benda kerja tidak selalu harus satu macam, kombinasi dua jenis benda kerja atau lebih dapat dilakukan asalkan memori unit pengontrol mesin mampu menyimpan berbagai macam program NC, dan setiap *pallet* mempunyai kode yang dapat dibaca oleh unit pengontrol mesin mengenai jenis pekerjaan yang harus dilakukan oleh benda kerja yang terpasang di atasnya. Ketelitian, ketepatan, kompleksitas dan produktivitas Mesin Perkakas CNC hanya bisa dicapai bila telah dipersiapkan segalanya dengan baik. Hal ini akan kita bahas pada bab akhir dan sementara itu patut diingat bahwa yang paling penting adalah kesempurnaan program NC-nya.

A. Mesin Perkakas CNC

Tidak berbeda dengan berbagai peralatan yang bekerja secara otomatis lainnya, semua jenis mesin perkakas dapat dikontrol dengan memanfaatkan sistem CNC. Di dalam sistem CNC terdapat komputer sebagai elemen pengontrol utama. Istilah CNC pada mulanya ditonjolkan demi untuk membedakan dengan jenis NC, akan tetapi istilah tersebut cenderung untuk disederhanakan menjadi NC, sebab orang akan tahu bahwa di dalam sistemnya selalu didapatkan komputer (*Microprocessor, Clock, Memory, Bus, I/O interface*).

Fungsi komputer pada sistem CNC dapat dikelompokkan dalam tiga tugas yaitu :

1. Mengubah data menjadi instruksi terinci guna mengontrol dan mengkoordinasikan gerakan sumbu-sumbu mesin perkakas.
2. Mengolah data masuk dan keluar seperti mengodekan (*encoding*) menerjemahkan (*decoding*) data umpan balik dari alat ukur posisi, komunikasi dengan panel kontrol, reaksi terhadap sensor dan *limit switch* dan sebagainya.
3. Mengatur fungsi mesin misalnya menjalankan spindel, membuka/menutup cairan pendingin, mengganti pahat, mengganti palet dan sebagainya.

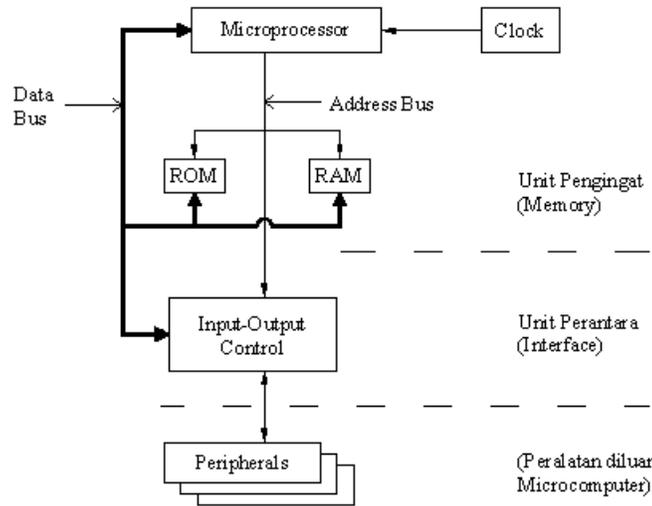
Pada waktu mesin dinyalakan tindakan mula yang dilakukan komputer adalah "Operasi Pengenalan Diri" (*booting*) dengan cara membaca Perangkat Lunak Sistem Operasi (*Operating System Software*) yang tersimpan dalam ROM (EPROM atau *Magnetic Bubble*) dan dimasukkan dalam *active-memory* machine control unit (MCU). Dengan cara demikian komputer mengetahui fungsinya sebagai pengontrol suatu jenis mesin perkakas. Tugas perangkat lunak sistem operasi ini antara lain berkaitan dengan :

1. Pendefinisian tugas (prioritas, lokasi dan status)
2. Pengalokasian dan pengontrolan setiap komponen (*hardware*) untuk menangani tugas, dan
3. Pengelolaan data (*file, interface, I/O operations*).

Selain itu diperlukan juga perangkat lunak kelengkapan (*utility program*) antara lain :

1. *I/O routine*, untuk mentransfer data.
2. *Text Editor*, secara interaktif (komunikasi langsung dua arah) digunakan dalam penulisan format program pembuatan benda kerja.
3. *Debug routine*, secara interaktif diperlukan dalam mencoba program.
4. *Dump routine*, untuk mencetak (*printout*) file dalam memori.
5. *Data conversion routine*, untuk melaksanakan konversi data dua arah antara *I/O devices* dengan CPU.

6. *Assembler*, untuk menerjemahkan program yang ditulis dalam bahasa simbol (*symbolic/G code language*) menjadi bahasa mesin (*binary code*) yang dimengerti oleh *processor*.



Gambar 13.3. Komputer mikro dalam sistem CNC.

Selain perangkat lunak sistem operasi yang dibuat oleh pabrik komputer pengontrol (*NC Builder*) ROM juga berisi beberapa perangkat lunak yang tergolong sebagai Perangkat Lunak Pemakaian Khusus (*Special Application Software*) antara lain :

1. Program penghitung kecepatan (*speed calculation software*); untuk menentukan kecepatan termasuk akselerasi dan deselerasi sumbu gerak mesin.
2. Program interpolasi (*interpolation software*); untuk melakukan koordinasi gerakan antara beberapa sumbu sehingga dicapai gerakan pahat relatif terhadap benda kerja seperti yang diprogram.
3. Program kompensasi kesalahan (*error compensation software*); untuk memperkecil (mengeliminir) kesalahan posisi akibat keterbatasan ketelitian komponen mesin ataupun lenturan akibat berat komponen yang digerakkan dan mungkin juga akibat gaya-gaya pemotongan (yang diakibatkan oleh proses).
4. Program diagnosa kerusakan (*diagnostic routine*); untuk mempercepat analisa kerusakan, menentukan sumber kerusakan dan prosedur pembetulannya.

Sewaktu sistem kontrol dipasang pada suatu jenis mesin perkakas maka tugas pembuat mesin (*machine tool builder*) selain dari merakit beberapa perangkat keras juga perlu menuliskan program penggabungan (*interface software, protocols*) dan mengisi ROM dengan parameter-parameter mesin (*machine parameters*) yang merupakan batasan kerja

mesin maupun harga-harga kompensasi kesalahan yang diolah berdasarkan hasil kalibrasi (*geometrical test of accuracy*). Dengan demikian mesin perkakas dan sistem kontrol beserta segala peralatannya (*peripherals*) menjadi satu kesatuan yang siap untuk melaksanakan tugasnya.

Pemakai mesin perkakas NC (*user*) selanjutnya tinggal menuliskan program-program pembuatan komponen (*NC-Part Programs*) yang dapat disimpan pada RAM. Apabila segala peralatan telah disiapkan (*fixture & tools*) maka salah satu *NC-part program* tersebut dapat dipanggil (masuk dalam *active memory*) guna melaksanakan operasi pemesinan bagi benda kerja yang sesuai. Dalam batas-batas tertentu pemakai mesin dapat mengganti harga beberapa parameter untuk menyesuaikan prosedur penanganan mesin dengan kebiasaan yang dianutnya serta penggantian harga-harga kompensasi kesalahan sebagai hasil dari rekalisasi mesin yang dilakukan setelah mesin digunakan selama periode tertentu.

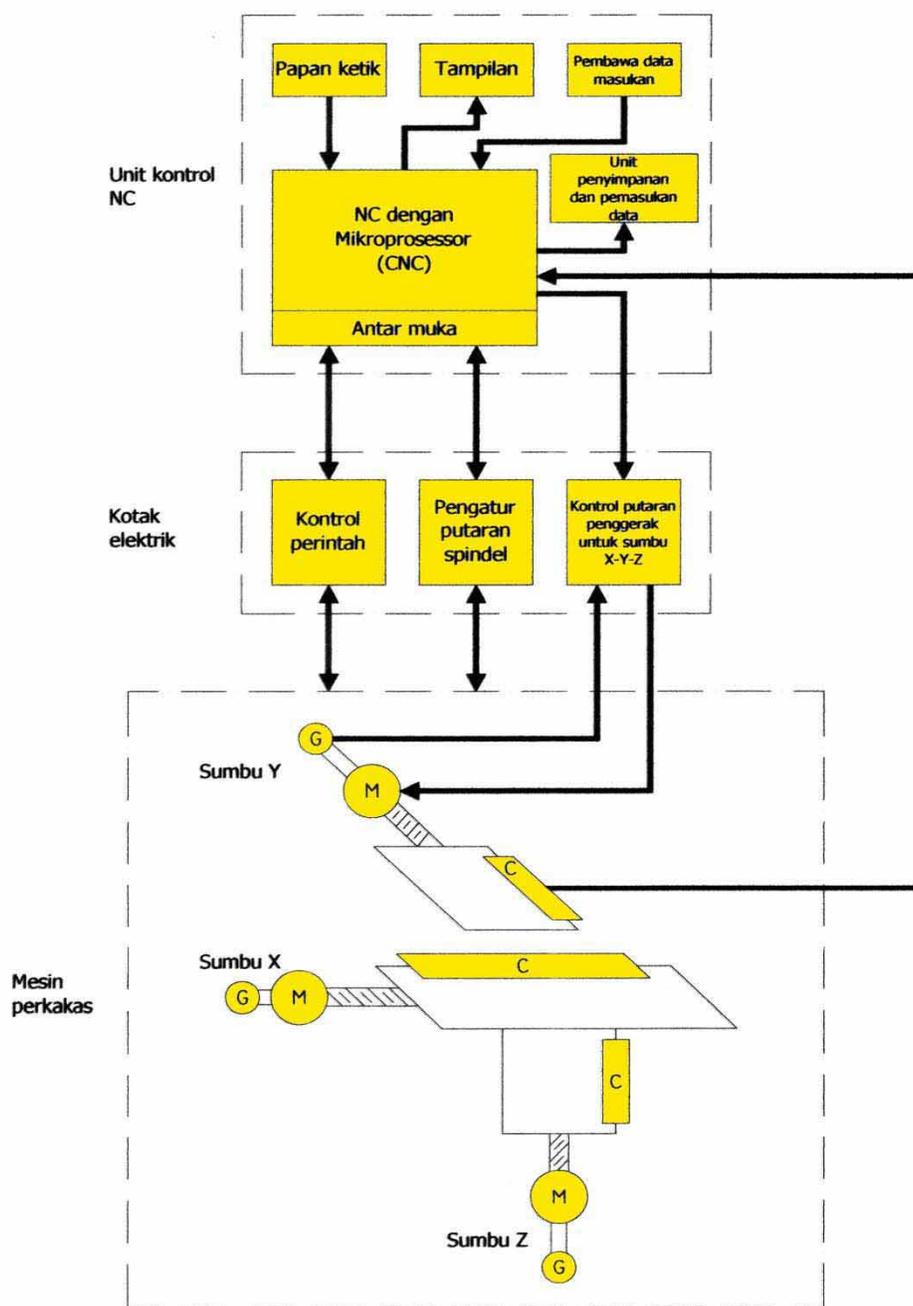
Pada mulanya sistem kontrol hanya ditangani oleh satu komputer mini, karena satu komputer hanya bisa menyelesaikan satu tugas pada suatu saat, maka kemampuan sistem kontrol ini agak terbatas (hanya sesuai bagi mesin perkakas NC sederhana). Dengan kemajuan teknologi prosesor mikro (*microprocessor*) pada saat ini hampir semua sistem CNC memanfaatkan *microprocessor* yang terpisah untuk menangani fungsi I/O (*In & Output function*). Dengan program yang tersimpan pada masing-masing EPROM-nya bagian yang menangani fungsi I/O tersebut menjadi "pandai" (*Intelligent I/O*), sebagai contoh :

1. *A/D converter*, mengubah data analog dari Resolver (alat ukur perubah posisi) menjadi data digital yang dapat diproses oleh CPU.
2. Mengubah karakter ASCII (*American Standard Code of Information Interchange*) yang dihasilkan oleh papan tombol (*keyboard, keypad*) menjadi data biner yang dimengerti komputer.
3. Mengubah data biner menjadi bentuk yang dapat diperlihatkan (*display*) pada layar monitor (CRT) ataupun pada unit pencetak (*printer*). Apabila monitor merupakan *graphic CRT* (mampu merekonstruksi gambar/grafik) maka diperlukan *graphic processor*.

Pada Gambar 13.4. ditunjukkan beberapa *microprocessor* dibebani selain dari tugas sebagai *intelligent I/O*, juga sebagai :

1. *Microprocessor* untuk *servocontrol (measuring circuit processor)*; untuk mengontrol gerakan pahat relatif terhadap benda kerja dengan kemampuan kontrol sampai dengan 5 sumbu gerak (5 axes).
2. *Microprocessor* untuk tugas interpolasi (menentukan titik yang dituju pada suatu ruang/koordinat dan cara mencapai titik tersebut seperti linier, sirkuler ataupun parabolik).

3. *Microprocessor* untuk tugas operasi logik yang dikenal dengan nama PC (*Programmable Controller* atau PMC, *Programmable Machine Controller*), yang bertugas mengelola mesin seperti *Control Panel*, *Automatic Tool Changer (ATC)* dan bagian-bagian mesin lainnya.



Gambar 13.4. Konfigurasi tugas-tugas *mikroprosesor*.

Dengan kombinasi NC dan PC seperti ini jumlah komponen elektrik yang dibutuhkan mesin perkakas CNC menjadi berkurang. Beberapa perangkat keras seperti *timer*, *counter* dan *relay/switch* yang dirangkai secara permanen untuk tugas pengelolaan mesin dapat diganti dengan perangkat lunak yang berupa program yang ditulis oleh *Machine Tool Builder* dan disimpan pada EPROM. Programasi bagi PC ini dilakukan dengan memakai komputer pemrogram dengan bahasa tertentu. Pengaktifan dan penonaktifan komponen mesin perkakas seperti spindel (hidup, mati, arah putaran dan kecepatan putar), dan sebagainya dilaksanakan oleh *processor* pada PC (*Programmable Controller*) sesuai dengan program yang ditulis oleh *Machine Tool Builder* pada EPROM.

Lewat panel kontrol inilah komunikasi antara operator dengan mesin dilaksanakan. Pada layar CRT dapat dilihat segala informasi yang diinginkan. Selain itu bila CRT mempunyai kemampuan *graphic (monochrome atau colour)* maka simulasi proses ataupun pemrograman secara simbolik dapat dilaksanakan lewat MDI (*Manual Data Input*) pada panel kontrol. Data input dilaksanakan melalui berbagai media (*diskette, cassette*) yang digabungkan dengan bus melalui suatu *interface*.

B. Pengontrolan Sumbu Mesin Perkakas CNC

Putaran spindel (poros utama mesin) yang memutar benda kerja (seperti pada Mesin Bubut) atau yang memutar pahat (seperti pada Mesin Frais) dan gerakan pahat relatif terhadap benda kerja merupakan masalah pokok dalam sistem pengontrolan mesin perkakas CNC. Berbagai teknik diterapkan untuk mengontrol gerakan pahat relatif terhadap benda kerja, masing-masing mempunyai kelebihan dan kekurangannya. Secara umum sistem pengontrolan dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis yaitu:

1. Sistem Kontrol Terbuka (*Open Loop Control*)

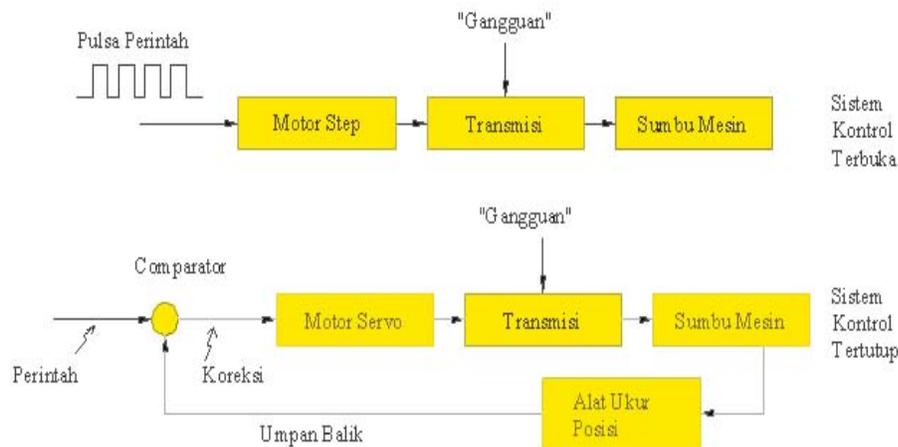
Pada sistem pengontrolan terbuka, motor penggerak (biasanya *motor step*) akan menggerakkan bagian yang digerakkan sesuai dengan perintah. Motor akan mulai berputar bila pulsa-perintah (*command pulse*) diberikan dan berhenti bila pulsa tersebut tidak ada lagi. Jarak yang ditempuh ditentukan oleh :

- a. Jumlah pulsa yang diberikan
- b. Kepekaan (*sensitivity*) sistem pengontrolan
Kepekaan sistem pengontrolan dipengaruhi oleh karakteristik motor step, yaitu rasio antara satuan pulsa (*input*) terhadap satuan gerakan (*output*) atau putaran per pulsa, dan rasio transmisi sistem penggerak dari motor sampai komponen yang digerakkan.

Kecepatan gerakan ditentukan oleh frekuensi pulsa dan dibatasi sampai dengan kecepatan maksimum sesuai dengan daerah kerja *motor step* (*max. pps, pulse per second*). Pada umumnya daya *motor step* adalah rendah, kurang dari 1 KW, sehingga pemakaiannya pun terbatas. Sistem kontrol terbuka dengan menggunakan *motor step* merupakan cara yang murah dan mudah dilaksanakan akan tetapi tidak selalu merupakan cara yang terbaik. Karena merupakan loop kontrol yang terbuka maka sistem pengontrolan mudah dipengaruhi oleh “gangguan luar” dengan demikian ketelitian gerakan (kesalahan jarak/pemosisian) juga terpengaruh.

2. Sistem Kontrol Tertutup (*Close Loop Control*)

Ketidak-tepatan jarak atau posisi akhir dari elemen yang digerakkan karena adanya gangguan dari luar dapat diperkecil dengan menerapkan sistem kontrol tertutup, lihat Gambar 13.5.



Gambar 13.5. Sistem kontrol terbuka dan sistem kontrol tertutup yang diterapkan untuk mengontrol sumbu mesin perkakas.

Dalam sistem kontrol tertutup digunakan alat ukur posisi yang mampu memberikan umpan balik (*feed-back*) mengenai posisi akhir komponen yang digerakkan. Dengan membandingkan sinyal umpan balik dengan sinyal referensi maka koreksi dapat dilakukan dan motor dapat diperintah untuk digerakkan lagi (plus atau minus) sampai posisi yang dimaksud telah tercapai. Motor penggerak pada sistem kontrol tertutup umumnya menggunakan *motor servo*.

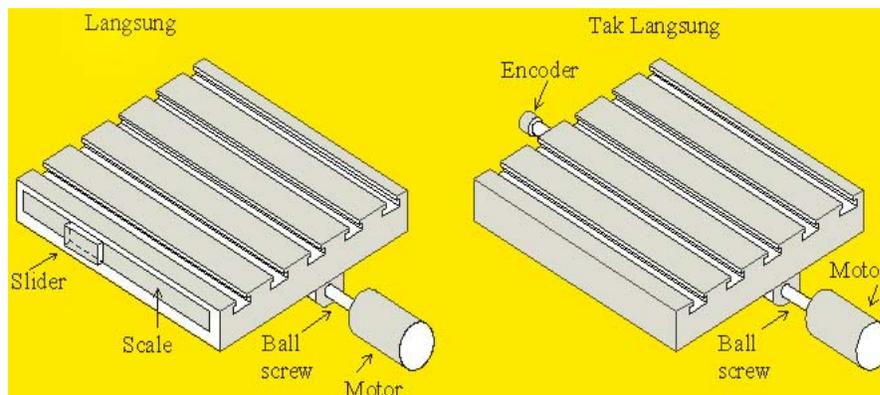
3. Sistem Kontrol Langsung dan Sistem Kontrol tidak Langsung

Dipandang dari segi cara pengukuran pemindahan posisi elemen akhir, sistem pengontrolan gerakan relatif pahat terhadap benda kerja dibedakan menjadi sistem kontrol langsung (*direct control*) dan sistem kontrol tidak langsung (*indirect control*).

Pada sistem kontrol tertutup dilengkapi dengan sensor alat ukur posisi yang dapat membaca posisi elemen yang digerakkan (yang dikontrol). Apabila cara pengukuran pemindahan posisi ini dilakukan dengan menempatkan alat ukur posisi langsung pada elemen akhir yang digerakkan maka dinamakan Sistem Kontrol Langsung. Akan tetapi jika pengukuran dilakukan secara tidak langsung, dikatakan sebagai Sistem Kontrol tidak Langsung.

Pada sistem kontrol langsung, skala dipasang pada meja dengan sensor yang diletakkan pada bagian diam suatu mesin perkakas (lihat Gambar 13.6). Sistem ini akan mampu memberikan sinyal posisi dengan ketelitian yang tinggi. Prinsip kontrol langsung ini tepat diterapkan pada mesin perkakas CNC yang teliti atau pun bagi mesin perkakas CNC dengan jarak gerakan yang terbatas. Semakin panjang gerakan yang dikontrol alat ukurnya menjadi semakin mahal.

Pada umumnya mesin perkakas NC cukup dilengkapi dengan system pengukuran posisi tak langsung. Dalam hal ini sensor alat ukur hanyalah mendeteksi gerakan (putaran) salah satu elemen penggerak (roda gigi, *ball screw*) pada sistem transmisi gerakan meja mesin. Semakin dekat posisi elemen penggerak (pengukur) pada sistem transmisi ini dengan elemen akhir yang digerakkan maka ketelitian pengukuran posisi akan semakin baik. Hal ini disebabkan sistem kontrol tak langsung sesungguhnya merupakan “sistem kontrol setengah terbuka”, karena dari elemen pengukur sampai dengan elemen yang dikontrol akan merupakan bagian yang “terbuka”. Semua gangguan luar pada bagian ini seperti lenturan, puntiran, keterlambatan gerak balik (*back-lash*) dan ketidakteelitian geometri elemen-elemen tersebut akan mempengaruhi ketelitian pemosisian elemen akhir atau elemen yang dikontrol.



Gambar 13.6. Sistem kontrol langsung.

Gambar 13.6. Sistem Kontrol Langsung di mana sensor alat ukur dapat membaca posisi meja secara langsung dan Sistem Kontrol

Tidak Langsung dimana alat ukur mengukur perpindahan posisi meja secara tak langsung melalui pengukuran putaran poros penggerak meja. Sistem Kontrol Tak Langsung dapat juga disebut sebagai “sistem kontrol setengah terbuka”.

4. Sistem Kontrol Analog dan Sistem Kontrol Digital

Berdasarkan jenis sinyal umpan balik yang dikeluarkan oleh alat ukur posisi dan cara pengolahannya sistem kontrol dapat dikatakan sebagai Sistem Kontrol Analog dan Sistem Kontrol Digital. Sinyal Analog merupakan sinyal yang berkesinambungan (*continue*) dimana berdasarkan kalibrasi dapat ditentukan korelasi antara besaran input (perubahan posisi) dengan besaran output (besaran perantara, biasanya merupakan sinyal/voltase listrik).

Dalam taraf perkembangan mesin perkakas CNC alat ukur analog pernah diterapkan yaitu berupa sistem kontak geser pada kawat (rangkainan tahanan listrik) yang direntangkan sepanjang gerakan elemen mesin yang dikontrol. Karena kontak geser tidak mungkin dibuat dengan ukuran yang sangat tipis, maka kecermatannya (*resolution*, pembacaan perubahan gerakan translasi) amat terbatas.

Pada saat ini alat ukur analog murni seperti itu tidak lagi digunakan melainkan jenis Analog Periodik yang banyak dipakai. Jenis yang terakhir ini bekerja atas prinsip elektromagnetik (transformator) yang dinamakan sebagai *Synchro-Resolver* dan *Inductosyn*. Pada suatu selang/interval yang tertentu (sempit) interpolasi sinyal analog dapat dilakukan dengan kecermatan yang cukup tinggi dan sementara itu bagi gerakan yang cukup panjang pembacaan dilakukan dengan cara menghitung interval yang dilalui ditambah harga interpolasi analog tersebut.

Sinyal analog perlu diolah terlebih dahulu menjadi sinyal digital (dengan ADC, *Analog to Digital Converter*) karena komputer hanya bekerja atas dasar teknik digital. Sebaliknya sinyal digital (berupa sederetan pulsa listrik) yang dikeluarkan oleh alat ukur digital dapat langsung diolah (dihitung) oleh komputer atau diolah terlebih dahulu sehingga mempunyai kecermatan (resolusi) yang tinggi.

5. Sistem Kontrol Absolut dan Sistem Kontrol Incremental

Apabila diperhatikan dari cara penentuan posisi relatif terhadap patokan/referensi/acuan sistem kontrol dapat dikatakan sebagai Sistem Kontrol Absolut dan Sistem Kontrol Incremental.

Alat ukur analog murni dapat dikatakan sebagai alat ukur absolut karena posisi sensor selalu dibaca relatif terhadap suatu titik nol (titik referensi) yang tetap. Pada alat ukur analog periodik perubahan posisi selalu dihitung berdasarkan referensi mula yaitu pada saat sensor

mulai bergerak, oleh sebab itu alat ukur analog periodik ini dapat disebut sebagai alat ukur incremental.

Alat ukur incremental memerlukan memori untuk menyimpan hasil hitungan interval/pulsa tersebut dan harganya dapat kita ubah/set yang berarti titik nol dapat digeser atau diubah posisinya. Oleh karena itu mesin perkakas CNC yang menggunakan alat ukur incremental setelah di "ON" kan atau setelah di reset memerlukan tindakan Zero seting untuk menentukan posisi nol bagi koordinat mesin (dengan cara melakukan *Reference Point Return*; membawa pahat ke posisi referensi mesin). Dengan demikian posisi pahat absolut (posisi relatif terhadap titik nol mesin) dapat ditentukan setiap saat. Alat ukur yang menghasilkan sinyal digital terdiri atas dua jenis seperti di atas yaitu *Absolute Encoder* dan *Incremental Encoder*.

C. Penamaan Sistem Sumbu (Koordinat) Mesin Perkakas NC

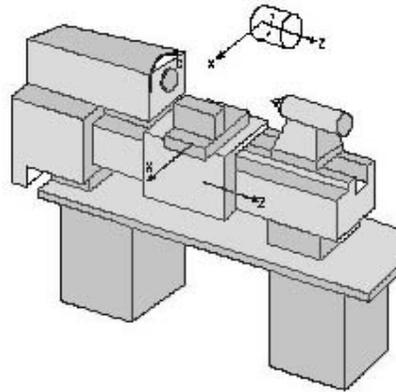
Proses pemesinan bertujuan mengubah bentuk/geometrik benda kerja menjadi geometri produk dengan cara pemotongan dan geometri produk dapat didefinisikan dengan memakai sistem sumbu (koordinat) yang tertentu. Derajat kebebasan gerakan pahat relatif terhadap benda kerja ditentukan oleh konstruksi mesin perkakas CNC itu sendiri. Setiap gerakan komponen mesin yang mengakibatkan perubahan posisi pahat sesuai dengan keinginan atau mampu dikontrol oleh unit pengontrol mesin disebut dengan sumbu (*axis*).

Dengan demikian derajat kebebasan gerakan pahat ditentukan oleh jumlah sumbu mesin perkakas CNC. Guna mempermudah pembuatan program maka sistem sumbu yang digunakan untuk mendefinisikan geometri produk disamakan atau disesuaikan dengan sistem sumbu mesin perkakas CNC yang digunakan untuk membuatnya. Lebih jauh lagi, cara penamaan sumbu mesin CNC ini haruslah distandarkan supaya mampu-tukar (*interchangeability*) dapat dijamin, yang berarti suatu program CNC dapat diproses/dimengerti oleh berbagai jenis mesin dengan berbagai jenis sistem kontrolnya tanpa ada suatu kesalahan pengertian arah gerakan.

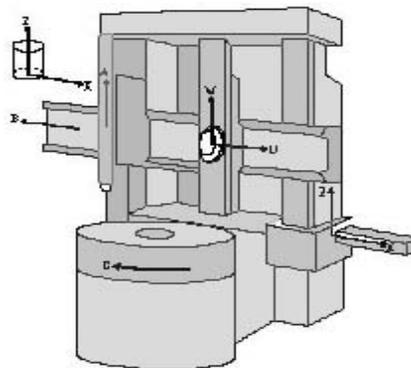
Standar ISO 841 mendefinisikan sistem koordinat kartesian bagi gerakan pahat tiga sumbu utama X, Y, Z dan (sumbu) putaran A, B, C. Arah gerakan translasi positif mengikuti kaidah tangan kanan dan putaran positif mengikuti kaidah sekrup ulir kanan. Apabila benda kerjanya yang bergerak maka diberi simbol aksis (X' , Y' , Z' , A' , B' dan C') dan arah gerakan positif adalah berlawanan dengan arah gerakan positif dari pahat. Penerapan simbol sumbu tersebut pada mesin perkakas CNC mengikuti aturan tertentu, dimulai dengan sumbu Z, diikuti sumbu X dan akhirnya sumbu Y sebagaimana penjelasan berikut.

1. Penentuan Sumbu Z

- Sumbu Z direferensikan pada poros utama atau spindel mesin. Spindel ini dapat memutar pahat (misalnya bagi Mesin Frais, Koter dan Gurdi) atau memutar benda kerja (misalnya untuk Mesin Bubut dan Mesin Gerinda silindris).
- Apabila mesin mempunyai beberapa spindel, maka spindel yang direferensikan sebagai sumbu Z adalah spindel yang tegak lurus meja mesin.
- Jika spindel bisa dimiringkan (*swivel*, berputar pada sumbu yang lain), maka dipilih kedudukannya sebagai sumbu Z pada posisi tertentu sehingga sejajar dengan salah satu sumbu dasar mesin (sistem koordinat mesin) terutama jika posisinya dapat tegak lurus meja.
- Bila mesin tidak mempunyai spindel (contohnya Mesin Sekrap) maka sumbu Z dipilih tegak lurus meja.
- Arah gerakan positif didefinisikan searah dengan gerakan yang memperbesar jarak antara pahat dengan benda kerja (memperbesar volume ruang kerja).



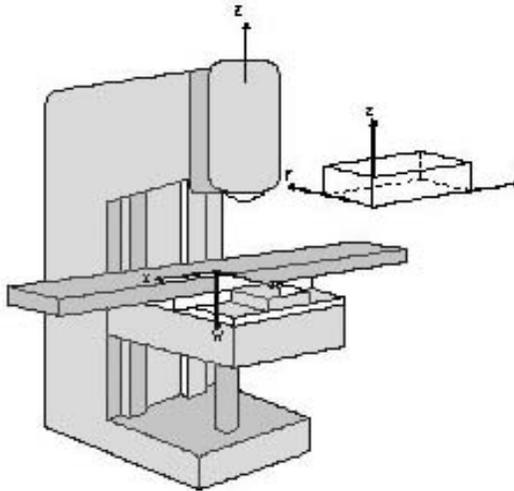
Gambar 13.7. Penentuan sumbu Mesin Bubut (*Lathe*).



Gambar 13. 8. Penentuan sumbu pada *vertical Lathe*.

2. Penentuan Sumbu X

- Sumbu X ditetapkan sejajar dengan arah memanjang meja mesin dan dipilih orientasinya horizontal.
- Bagi mesin dengan pahat yang berputar, perlu dilihat terlebih dahulu orientasi sumbu Z-nya, yaitu :
- Untuk Z horizontal, maka arah gerakan positif adalah kekanan bila benda kerja dipandang dari spindel mesin.
- Untuk Z vertical, maka arah gerakan positif adalah ke kanan bila tiang (tiang kiri untuk mesin dengan *double column* seperti *gantry* atau *bridge type*) dipandang dari spindel mesin.
- Bagi mesin dengan benda kerja berputar, maka sumbu X adalah sejajar dengan gerak radial pahat dan arah positif menjauhi spindel.
- Untuk mesin tanpa spindel (mesin sekrap) sumbu X ditetapkan sejajar dengan gerak potong dan arah positif searah gerak potong.



Gambar 13.9. Penamaan sumbu Mesin Frais vertical (*Milling*).

3. Penentuan Sumbu Y

Orientasi dan arah positif sumbu Y ditetapkan menurut kaidah tangan kanan (setelah sumbu Z dan X ditentukan), menurut kaidah tangan kiri bila Y' ditentukan berdasarkan orientasi Z' dan X'.

4. Penentuan Sumbu Putar dan Sumbu Tambahan

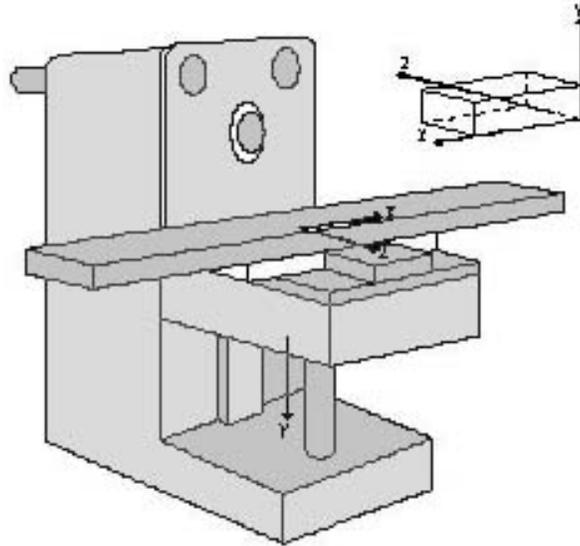
Arah positif sumbu putar A, B dan C ditentukan sesuai dengan kaidah sekrup ulir kanan yaitu putaran positif membuat sekrup bergerak translasi searah dengan gerakan positif sumbu translasinya X, Y dan Z. Bagi mesin yang mempunyai sumbu tambahan yang sejajar dengan sistem sumbu utama (X, Y, Z sebagai prioritas

pertama yaitu yang paling dekat dengan spindel) maka sumbu tambahan tersebut diberi nama sebagai berikut :

Sistem sumbu kedua : U, V, W (U', V', W')

Sistem sumbu ketiga : P, Q, R (P', Q', R')

Bagi setiap penambahan sumbu putar diberi nama D atau E.

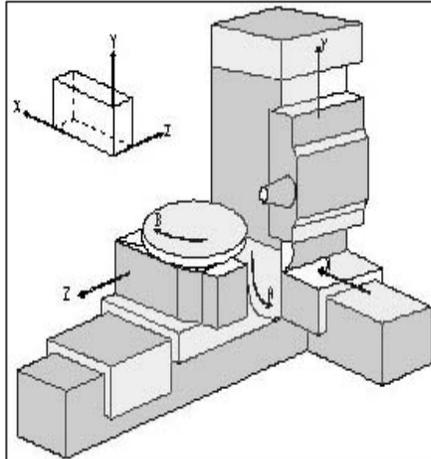


Gambar 13.10. Penamaan sumbu Mesin Frais horisontal (*Jig Borer*).

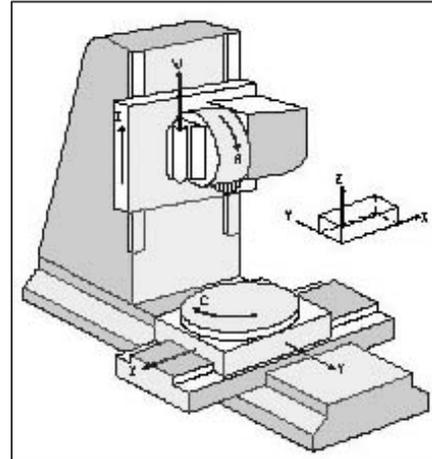
Gambar-gambar berikut menunjukkan nama sumbu-sumbu mesin perkakas NC yang secara resmi ditunjukkan pada standar ISO 841. Untuk setiap gambar mesin tersebut diperlihatkan sistem koordinat kartesian yang sesuai bagi benda kerjanya demi untuk mempermudah pembuatan program NC serta untuk meletakkan benda kerja sehingga kedua sistem sumbu berimpit (sumbu benda kerja yang “dikhayalkan” programmer berimpit dengan sumbu mesin CNC, X-X, Y-Y, Z-Z). Dengan memperhatikan penamaan sumbu (Z, lalu X, kemudian Y) sebagaimana yang dibahas di atas maka bagi beberapa mesin penamaan sumbunya relatif mudah dipahami. Bagi jenis mesin yang lain dengan jumlah sumbu yang banyak (melebihi jumlah sumbu pada sistem sumbu utama) maka penamaan sumbunya mungkin agak sulit untuk dimengerti. Contoh penjelasan berikut diharapkan dapat membantu pemahaman penamaan sumbu ini, misalnya :

- a. Bagi Mesin Frais 5 sumbu (Gambar 13.11b.), karena kepala mesin dapat dimiringkan (*tilting head*) maka spindelnya sendiri tidak dinamakan sumbu Z melainkan W, sebab dalam hal ini dipilih orientasinya yang selalu tegak lurus meja.

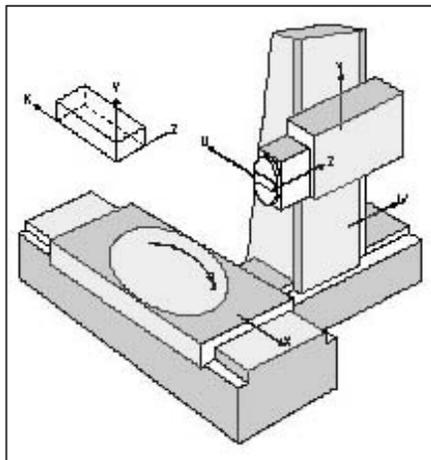
- b. Bagi mesin koter horizontal (Gambar 13.11c.), spindel dinamakan sumbu Z dan gerakan tiangnya dinamakan sumbu W serta gerakan translasi pahat dalam arah horizontal (mempunyai *facing slide*) disebut sumbu U (bukan sumbu X, karena menurut definisi sumbu X posisinya harus selalu tetap horizontal).



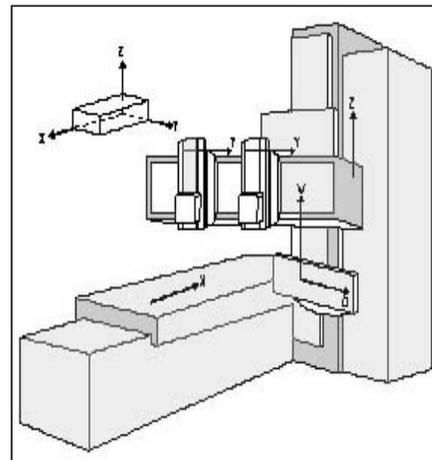
Gambar 13.11a.
Contour Mill, Tilting Table(5 Axes)



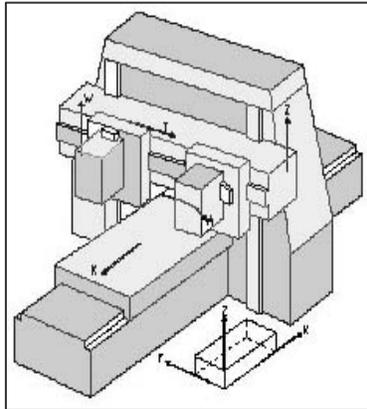
Gambar 13.11b.
Contour Mill, Tilting Head (5 Axes)



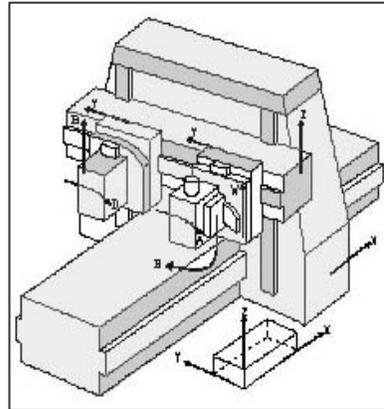
Gambar 13.11c.
Horizontal Boring



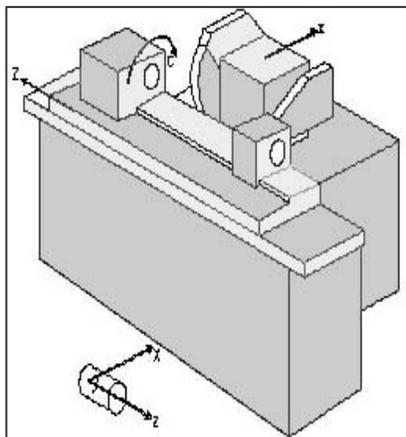
Gambar 13.11d.
Openside Planer



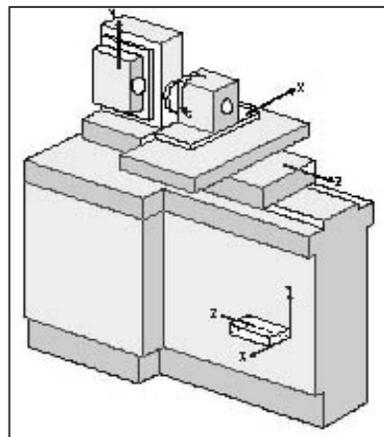
Gambar 13.11e.
Bridge Type Profiler



Gambar 13.11f.
Gantry Type Profiler



Gambar 13.11g.
Cylindrical Grinder



Gambar 13.11h.
Tool & Cutter Grinder

Perlu dicatat di sini bahwa dalam pekerjaannya programmer tidak perlu membedakan apakah pahat atau benda kerjanya yang bergerak. Cukup dengan menyatakan lokasi akhir yang dituju pada sumbu utamanya (harga X, Y, Z, A, B, dst.), mesin akan melaksanakan perintah itu dengan menggerakkan komponen-komponen yang bersangkutan pada arah yang dimaksud. Selain itu, patut diingat bahwa sumbu-sumbu tersebut di atas adalah merupakan gerakan yang dapat dikontrol secara kesinambungan (kecepatan dan arahnya). Apabila gerakan tersebut hanya dapat dikontrol secara bertahap (misalnya meja indeks, *indexing table*) maka dalam hal ini sumbunya kadang kala disebut sebagai setengah sumbu (*1/2 axis*).

D. Pemrograman CNC

Program NC sebenarnya merupakan sejumlah urutan perintah logis yang dibuat bagi suatu jenis mesin perkakas CNC dalam rangka pembuatan suatu komponen mesin/peralatan. Tergantung pada jenis mesin perkakas serta berbagai proses yang mampu dilakukan oleh mesin perkakas CNC yang bersangkutan, maka program NC tidaklah selalu berkaitan dengan proses permesinan saja, melainkan dapat pula berhubungan dengan proses-proses pembuatan lainnya misalnya proses pembentukan, proses pengelasan, proses non konvensional dan sebagainya.

Program NC dibuat dengan suatu format/bahasa yang tertentu yang dapat dimengerti oleh unit pengontrol mesin (MCU, *Machine Control Unit*). Dengan demikian selain harus memahami aturan pembuatan program, seorang programmer harus menguasai teknologi proses serta memahami karakteristik mesin perkakas yang bersangkutan. Aturan pembuatan program (bahasa/format) relatif mudah untuk dipelajari, sebaliknya teknologi proses serta karakteristik mesin perkakas CNC lebih sulit untuk dipahami.

Bekal pengetahuan teori (*scientific knowledge*), pengetahuan praktis (*practical knowledge*), serta keterampilan (*know-how*) atas proses yang bersangkutan merupakan kunci bagi seorang programmer untuk dapat membuat program NC yang berhasil, yang berarti mampu menghasilkan komponen mesin/peralatan yang dapat dipertanggungjawabkan dari segi teknis (toleransi geometrik) maupun segi ekonomis (biaya proses).

Dalam pembuatan program NC untuk proses permesinan suatu produk diperlukan tiga langkah utama, yaitu langkah persiapan, langkah pelaksanaan (pembuatan program) dan langkah percobaan. Masing-masing langkah ini mengandung beberapa jenis pekerjaan yang harus dilaksanakan yang secara umum dapat dijelaskan sebagai berikut.

1. Langkah persiapan

- a. Mempelajari gambar teknis yakni menentukan ukuran/dimensi untuk elemen-elemen geometris (garis/bidang lurus, garis/bidang lengkung yang mengikuti fungsi matematik tertentu, radius, diameter dan sebagainya), dan toleransinya (toleransi dimensi, bentuk dan posisi). Dengan mempelajari geometri komponen tersebut dapat ditentukan garis besar jenis proses permesinan, urutan pekerjaannya, dan jenis mesin perkakas CNC yang cocok. Dimensi benda kerja dan control gerak pahatnya merupakan faktor yang perlu juga dipertimbangkan.
- b. Berdasarkan dimensi serta bentuk bahan (batang, silinder, lempengan, kubus, *parallelepipedum*, atau bentuk-bentuk khusus hasil proses pembentukan, atau proses permesinan sebelumnya),

dan volume ruang kerja yang ditentukan oleh dimensi meja atau spindel tempat benda kerja dipasang, ditentukan cara penempatan (*positioning*), pengekleman (*clamping*), serta desain alat bantu pemegang (*fixture*). Daerah bebas pahat (daerah terlarang, *forbidden area*) harus diperhatikan untuk menghindari tabrakan pahat pada permukaan *fixture*, peralatan mesin/alat bantu lainnya ataupun pada permukaan benda yang tidak dikerjakan.

- c. Cara atau urutan proses permesinan harus ditentukan sebaik mungkin (jalan yang paling baik, paling singkat, paling optimum) untuk mengerjakan benda kerja sampai terbentuk permukaan akhir (produk). Jenis dan jumlah pahat dipilih sesuai dengan urutan pengerjaan tersebut. Dalam hal ini selain geometrinya maka panjang dan/atau diameter masing-masing pahat ditetapkan sesuai dengan bidang/sumbu referensi mesin yang digunakan. Setiap pahat diberi kode tertentu beserta keterangan mengenai geometrik dan dimensinya, yang akan digunakan sebagai masukan (*input*) pada unit pengontrolmesin supaya lokasi/posisi mata potong sewaktu pahat dipakai dapat dipastikan. Dengan cara ini suatu program NC yang berhasil dapat digunakan lagi di saat lain dan sementara itu pahat yang dibutuhkan tidak perlu mempunyai dimensi yang persis sama dengan pahat yang dahulu dipakai.
- d. Untuk setiap langkah permesinan kondisi pemotongannya (kecepatan potong, kecepatan makan, dan kedalaman potong) ditentukan sesuai dengan tujuan proses, dengan memperhatikan berbagai kendala (proses pembentukan geram, gaya, daya, kehalusan permukaan), sehingga diharapkan kondisi potongan yang optimum (ongkos, produktivitas) dapat dicapai.

2. Langkah Pelaksanaan Pembuatan Program.

Pembuatan program secara manual biasanya dilakukan dengan terlebih dahulu menuliskan semua perintah pada lembar dengan format tertentu sebelum diketik sebagai *input* ke unit pengontrol mesin. Dengan kode tertentu berbagai fungsi persiapan (*preparation functions*) dan fungsi tambahan (*miscellaneous functions*) dipilih, sehingga pahat dapat digerakkan relatif terhadap benda kerja sesuai dengan langkah dan kondisi pemotongan yang telah disiapkan di atas. Demikian pula halnya dengan perintah-perintah lain seperti penggantian pahat, penggantian benda kerja, menjalankan/mematikan spindel dan cairan pendingin dan sebagainya. Jenis kontrol gerakan sumbu mesin (satu sumbu, dua sumbu atau lebih secara bersamaan bergerak untuk melaksanakan perintah tersebut) menentukan kemampuan mesin perkakas NC di dalam memotong benda kerja dengan hasil permukaan dengan bentuk dan orientasi yang diinginkan.

Dengan semakin majunya komputer yang dipakai sebagai unit pemrogram ataupun langsung sebagai unit pengontrol mesin, maka berbagai jenis bahasa pemrograman (perangkat lunak/*soft-ware*) yang lebih canggih mulai diperkenalkan. Tujuannya adalah jelas, yaitu mempermudah, mempercepat, dan menghindarkan kemungkinan terjadinya kesalahan pada proses pembuatan program secara manual. Dalam hal yang terakhir ini programmer dapat melihat lintasan gerakan pahat pada layar monitor (*TV screen* dengan *graphic display*) sewaktu proses pemrograman berlangsung. Perintah diberikan dalam bentuk bahasa yang mudah (*English like language*) ataupun bahasa simbol (*symbolic language*) yang sederhana. Sementara itu berbagai jenis perhitungan misalnya dimensi, transformasi koordinat, lintasan pahat, kompensasi panjang dan/atau diameter/radius pahat, kecepatan, percepatan, perlambatan dan sebagainya dilaksanakan oleh komputer pengontrol mesin.

3. Langkah Percobaan

Setelah lembar program NC selesai ditulis, maka perintah-perintah tersebut dapat dimasukkan ke dalam memori komputer mesin lewat papan tombol (*key-board, key-pad*) atau melalui media lain seperti pita berlubang (*punched tape*), pita magnetik (*magnetic tape*) atau disket. Pembuatan program seringkali dilaksanakan dengan bantuan komputer pemrogram yang dilengkapi dengan perangkat lunak pemroses (*processor* dan *post processor*), untuk melaksanakan analisa geometrik langkah gerak pahat serta penerjemahan dan penggabungan berbagai fungsi teknologis sesuai dengan karakteristik mesin dan kontrol CNC yang spesifik.

Jika unit pengontrol mesin siap melaksanakan pekerjaan, yang pertama kali dilakukan biasanya menjalankan mesin tanpa memotong (*dry-run*) dengan satu atau beberapa sumbu mesin dimatikan (*axis-lock*), untuk mengecek kebenaran program dan memastikan bahwa tidak terjadi tabrakan (*tool collision*). Sebelum proses pemotongan dengan benda kerja sesungguhnya dilakukan, maka dapat dilakukan pemotongan material yang lunak (plastik atau steorofoam) sehingga bentuk produk secara kasar dapat diperiksa dan diukur. Ketelitian geometris (toleransi) produk hanya dapat dipastikan kebenarannya dengan melakukan proses pemotongan benda kerja sesungguhnya dan mengukur produknya dengan cermat. Tergantung pada kekakuan (*rigidity*) sistem pemotongan (benda kerja, pahat, *fixture*, mesin perkakas), maka lenturan ataupun getaran yang diakibatkan oleh gaya pemotongan yang besar dapat dikurangi dengan memperkecil kecepatan makan atau pun mengubah kedalaman potong (mengubah langkah). Semua kesalahan-kesalahan kecil yang ditemukan dalam proses percobaan dikoreksi sehingga sertifikasi dapat diberikan bagi program NC yang bersangkutan dan siap untuk digunakan dalam proses produksi.

4. Tugas Programmer dalam Pembuatan Program NC

Berikut merupakan rangkuman tugas yang harus dilakukan oleh programmer dalam rangka pembuatan program pemesinan suatu benda kerja dengan memakai mesin perkakas CNC. Informasi atau data yang diperlukan untuk melaksanakan tugas pembuatan program NC, yaitu:

- a. Ukuran
Menyangkut dimensi, geometri, perkiraan berat & kekakuan benda kerja.
- b. Toleransi
Mencakup toleransi dimensi dan toleransi bentuk posisi (kelurusan, kerataan, ketepatan bentuk, kebulatan, kesilindrisan, ketegaklurusan, kemiringan, kesejajaran, konsentrisitas, posisi, dan kesalahan putar).
- c. Kehalusan
Kehalusan permukaan.
- d. Jumlah
Banyaknya benda kerja yang harus dibuat.
- e. Mesin CNC
Jenis mesin, ukuran/volume ruang kerja, daya & kemampuan, sumbu mesin yang dapat dikontrol (NC Axis), peralatan pembantu (*attachments*), kemampuan NC (pemrograman, penanganan sistem kontrol dan peraga).
- f. *Tools*
Pemilihan perkakas potong meliputi jenis, sistem pemegang (*tooling system*), geometri & material pahat/mata potong, *tools-setter*, termasuk alat bantu pegang (*fixture*) dan alat ukur (*measuring instrument*) untuk pekerjaan/hal yang khusus (*non routine jobs*),
- g. Material
Menyangkut ukuran, jumlah dan jenis bahan termasuk data mampu mesin (*machinability*), data empiris umur pahat dan gaya pemotongan.

Tabel 13.1. Informasi/Data yang Diperlukan dalam Pembuatan Program NC.

TUGAS	Informasi/Data :						
	Gambar Teknik				Perangkat Keras		
	Ukuran	Toleransi	Kehalusan	Jumlah	Mesin NC	Tools	Material
<p>Langkah Persiapan :</p> <p>Merencanakan cara pembuatan</p> <ul style="list-style-type: none"> - Merencanakan Jenis & urutan proses - Memilih mesin & urutan operasi <p>Perhitungan/analisa proses pemesinan :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Urutan & cara pencekaman benda kerja: - Urutan proses pada setiap pencekaman : - Pemilihan pahat : - Penentuan kondisi pemesinan <p>Langkah Pemrograman :</p> <p>Manual Programming :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Penulisan kode pemrograman dan pengelolaan mesin : <p>Automatic Programming (dengan bantuan CAD/CAM)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pendefinisian geometri - Perintah gerakan & pengelolaan mesin : - Penerjemahan/Post Processing : <p>Langkah Percobaan/Pengetesan :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dry Run : - Pemesinan material pengganti : - Pemesinan benda kerja sesungguhnya konfirmasi kualitas (sertifikasi program) 							

5. Kode dan Format Pemrograman

Program NC (*NC part program*) merupakan unsur sangat penting dalam pengoperasian mesin perkakas CNC, karena program merupakan perangkat lunak pengendali yang mengatur jalannya proses pemesinan suatu produk pada mesin perkakas CNC. Fungsi tersebut menyebabkan program NC juga sangat menentukan kualitas geometri produk yang dihasilkan.

Program NC mempunyai sifat sangat spesifik dan khusus, artinya bahwa sebuah program NC, dibuat khusus hanya untuk pembuatan produk dengan bentuk dan ukuran (geometri) tertentu. Jika ingin membuat produk lain dengan bentuk dan ukuran yang berbeda, harus dibuat program NC baru yang khusus untuk mengerjakan produk baru tersebut.

Program NC bersifat spesifik mempunyai pengertian bahwa program diperuntukkan hanya untuk mesin dengan jenis tertentu dan sistem kontrol yang tertentu pula. Untuk mesin dengan jenis yang berbeda, misalnya Mesin Frais dengan Mesin Bubut program NC-nya akan berbeda.

6. Pengertian Program NC

Program NC sebenarnya merupakan urutan dari sejumlah perintah logis, yang disusun dalam bentuk kode-kode perintah yang dimengerti oleh unit kontrol mesin (*machine control unit*). Kode-kode perintah yang tersusun dalam urutan sedemikian rupa tersebut, secara keseluruhan merupakan satu kebulatan perintah dalam rangka pembuatan suatu produk pada suatu mesin perkakas CNC.

Biasanya program NC dibuat dalam rangka pembuatan atau proses pemesinan suatu produk menggunakan mesin perkakas. Namun demikian program NC dapat juga dibuat untuk proses pembuatan atau pengerjaan lainnya, misalnya proses pembentukan, proses pengelasan, dan sebagainya tergantung dari jenis mesin perkakas serta berbagai proses yang mampu dilakukan mesin perkakas yang bersangkutan.

Program NC yang berkaitan dengan proses pemesinan, berisi kode-kode perintah pemesinan suatu produk yang tersusun secara sistematis, terinci sesuai urutan langkah pengerjaan yang direncanakan tahap demi tahap. Kode-kode perintah tersebut terdiri dari kode atau informasi tentang perkakas sayat yang diperlukan, data-data tentang geometri produk yang akan dikerjakan, dan data tentang teknologi pemesinan.

Suatu program NC harus dapat dipertanggungjawabkan baik secara teknis maupun ekonomis. Secara teknis artinya bahwa program tersebut, dengan data-data teknologi pemesinan yang ada di dalamnya, benar-benar mampu menghasilkan produk dengan kualitas geometri sesuai standar yang diminta. Sedangkan secara ekonomis mempunyai pengertian

bahwa program tersebut jika digunakan mampu menekan serendah mungkin biaya proses produksi.

7. Struktur Program NC

Suatu program NC, dilihat dari segi struktur isinya terdiri dari tiga bagian utama, yaitu bagian pembuka, bagian isi, dan bagian penutup. Bagian pembuka selalu terletak pada bagian awal program, bagian isi terletak pada bagian tengah, dan bagian penutup terletak pada bagian akhir program (lihat Gambar 13.12).

N0000	G54	Pembuka
N0010	G92 X0.000 Y-50.000 Z10.000	
N0020	G59	
N0030	T0101 S1200 F250 G94 M03 M08	
N0040	G00 X-21.000 Y10.000 Z10.000	Isi Program
N0050	Z-0.500	
N0060	G01 X40.000	
N0070	Y40.000	
N0080	X-21.000	
N0090	T0202 S2500 F100 G94 M03	
N0100	G56	
N0110	G92 X0.000 Y-50.000 Z10.000	
N0120	G59	
N0130	G00 X-60.000 Y0.000 Z-10.000	
N0140	G01 X50.000	
N0150	Y50.000	
N0160	X0.000	
N0170	M09 M05	Penutup
N0180	T0101 G53 G56	
N0190	M30	

Gambar 13.12. Contoh struktur program NC.

Bagian pembuka adalah bagian awal program yang berisi perintah-perintah pengoperasian awal suatu mesin perkakas, sebelum langkah

pemesinan utama (penyayatan) dimulai. Perintah-perintah yang termasuk dalam bagian pembuka adalah :

- a. Perintah memindah titik nol mesin ke posisi tertentu agar berimpit dengan titik nol benda kerja. Perintah ini disebut pemindahan titik nol mesin (*Position Shift Offset* (PSO))
- b. Perintah pemilihan sistem pemrograman, apakah dikehendaki mesin bekerja dengan sistem absolut atau incremental
- c. Perintah menentukan jumlah putaran spindel mesin dan arah putarannya
- d. Perintah menentukan besarnya kecepatan pemakanan (*feeding*)
- e. Perintah memilih jenis perkakas sayat yang digunakan pertama kali
- f. Perintah mengalirkan air pendingin.

Bagian isi suatu program NC adalah bagian inti dari pekerjaan pemesinan. Perintah-perintah pada bagian isi meliputi perintah gerak relatif alat sayat terhadap benda kerja menuju titik-titik koordinat yang telah ditentukan guna melakukan proses penyayatan. Proses-proses ini dapat berupa gerak interpolasi lurus, interpolasi radius, gerakan pemosisian, membuat lubang (*drilling*), proses penguliran (*threading*), pembuatan alur (*grooving*), dan sebagainya tergantung dari bentuk geometri produk yang akan dihasilkan.

Bagian penutup program berisi perintah-perintah untuk mengakhiri suatu proses pemesinan. Inti perintahnya adalah menyuruh mesin berhenti untuk melepas benda kerja yang telah selesai dikerjakan, dan memasang benda kerja baru untuk proses pembuatan produk sejenis berikutnya. Perintah pada bagian penutup adalah perintah kebalikan atau berfungsi membatalkan perintah yang diberikan pada bagian pembuka, dan biasanya meliputi :

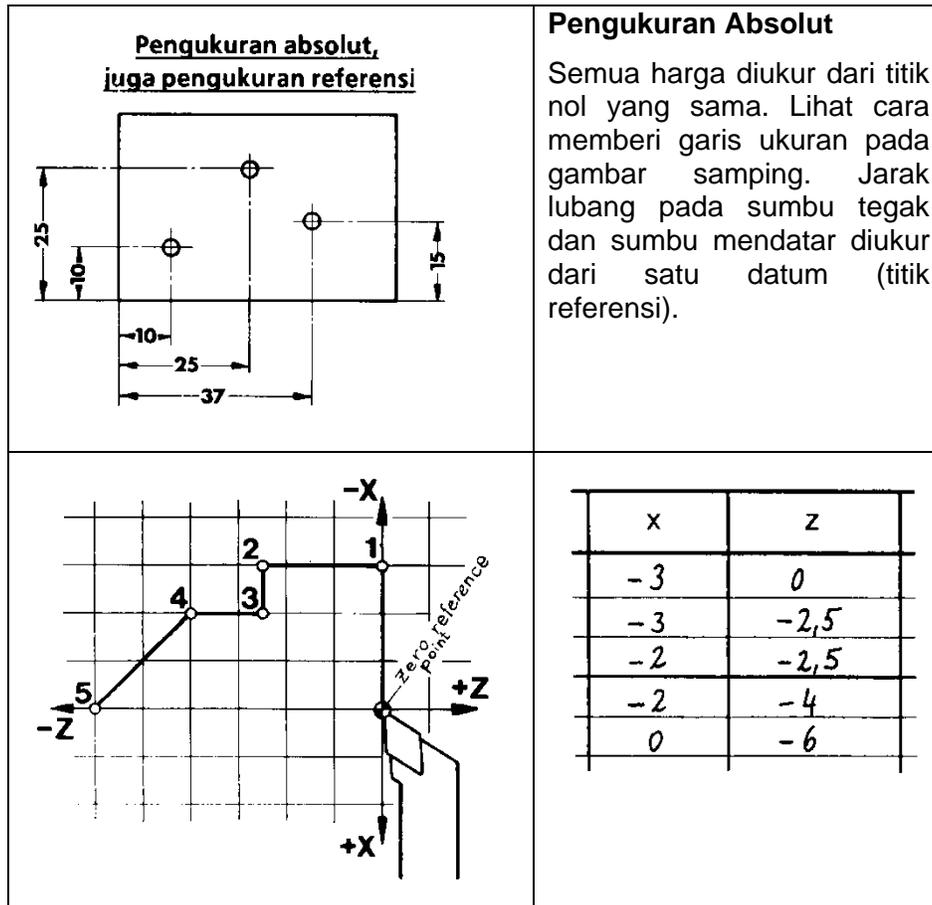
- a. Perintah mematikan aliran cairan pendingin
- b. Perintah mematikan putaran spindel mesin
- c. Perintah pembatalan PSO
- d. Perintah pembatalan kompensasi alat sayat
- e. Perintah menutup program (*end-program*)

8. Sistem Pemrograman Absolut dan Incremental

Program NC dapat dibuat dalam dua sistem pemrograman, yaitu sistem absolut dan sistem incremental. Kedua sistem pemrograman tersebut dibedakan berdasarkan sistem informasi geometri (sistem penunjukan ukuran) dalam gambar kerja, yang juga terdiri dari sistem absolut dan incremental. Dalam banyak gambar kerja sering dijumpai penggunaan penunjukan ukuran campuran, yaitu sistem absolut dan incremental digunakan secara bersama-sama.

a. Sistem Absolut

Pemrograman sistem absolut adalah sistem pemrograman yang dalam menentukan data-data posisi elemen geometri dalam gambar kerja (produk) didasarkan pada satu titik referensi. Semua elemen geometri dalam ruang atau bidang sistem koordinat yang dipilih, didefinisikan letaknya dari satu titik referensi (titik nol) yang tetap, (lihat Gambar 13.).

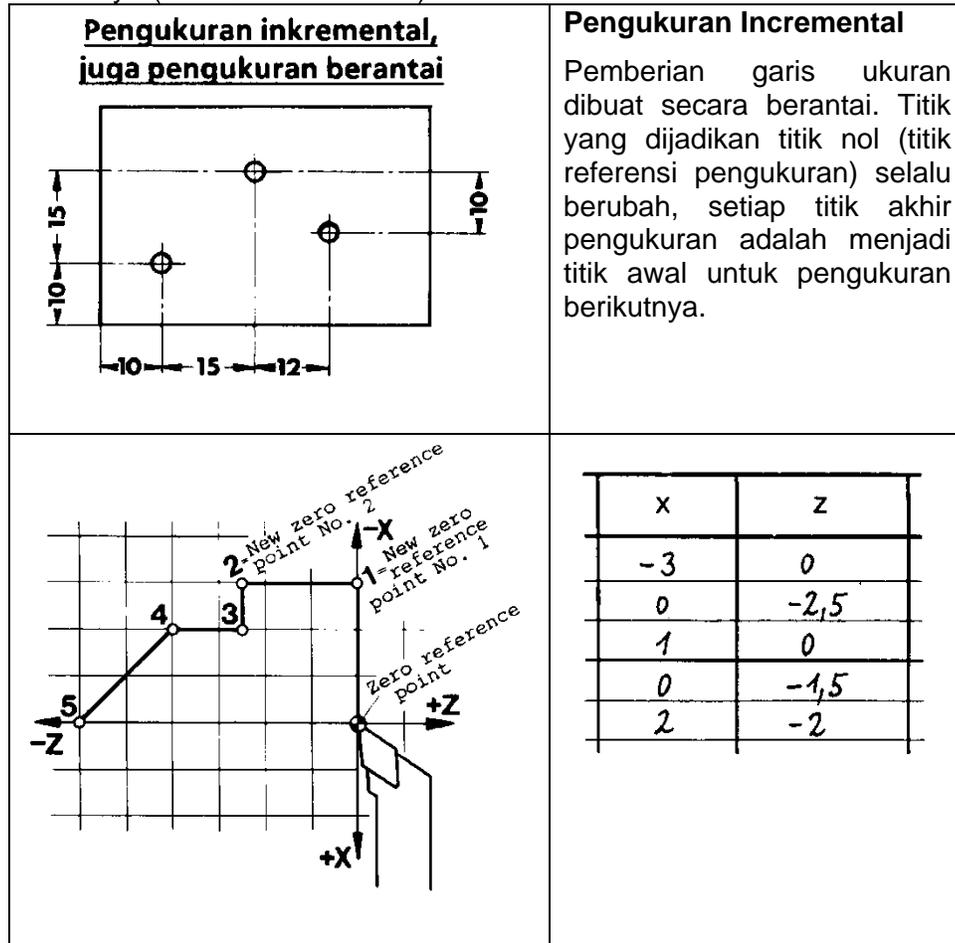


Gambar 13.13. Pengukuran sistem absolut.

b. Sistem Incremental

Pemrograman sistem incremental adalah sistem pemrograman yang dalam menentukan data posisi setiap elemen geometri diukur dari titik referensi yang berpindah-pindah, atau disebut titik referensi menerus. Data posisi elemen geometri ditentukan dari kedudukan atau posisi terakhir gerakan relatif perkakas sayat (pisau/pahat).

Titik akhir gerakan/lintasan perkakas sayat, karena gerakan relatif yang dilakukan, adalah sebagai titik referensi (titik nol) untuk lintasan berikutnya (lihat Gambar 13.14.).



Gambar 13.14. Pengukuran sistem incremental.

9. Konstruksi Program NC

Program CNC adalah sejumlah urutan perintah logis yang disusun dengan kode-kode huruf dan angka yang bisa dimengerti oleh unit kontrol mesin. Program CNC dibuat khusus untuk suatu mesin tertentu dan untuk pembuatan produk tertentu.

Secara umum, program NC memiliki konstruksi tertentu, yaitu kode atau perintah pendahuluan, dan perintah pembantu. Perintah pendahuluan umumnya menggunakan kode G, sedang perintah pembantu menggunakan fungsi M. Program NC, selain kode G dan M, di dalamnya terdiri dari sejumlah kode-kode perintah yang tersusun dalam bentuk kombinasi huruf-huruf tertentu dan angka. Kode berupa huruf, misalnya

N, G, S, F, H, I, J, T, N, K, D, X, Y, Z, dan angka 0 sampai 9 disebut *adres*. Suatu kode huruf yang di belakangnya diikuti angka (kombinasi huruf dan angka) disebut “kata” (*word*). Gabungan dari beberapa kata disebut “blok”.

“Blok” merupakan gabungan dari beberapa kata yang membentuk satu tahapan perintah, misalnya eretan melintang bergerak lurus sejauh 4 mm mendekati sumbu dengan kecepatan 80 mm/menit. Di dalam sebuah program CNC satu tahapan perintah ditulis dalam satu baris, berarti “blok” adalah gabungan beberapa kata yang ditulis dalam satu baris program. Komputer (unit kontrol) mesin membaca dan menjalankan program per satu blok, bukan per kata.

10. Kode G (G-Code) dan Fungsi M

Tabel 13.2. Kode G dan Artinya.

GRUP	KODE - G	ARTI
Grup 0	G00	Gerak cepat tanpa pemakanan
	G01	Gerak lurus interpolasi dengan pemakanan
	G02	Gerak interpolasi melingkar searah jarum jam
	G03	Gerak interpolasi melingkar berlawanan arah dengan jarum jam
	G84	Siklus pembubutan memanjang dan melintang
	G85	Siklus penguliran
	G86	Siklus Pengaluran
	G87	Siklus pengeboran dengan pemutusan total
Grup 1	G88	Siklus pengeboran dengan pemutusan total dan gerakan ke permukaan
	G96	Kecepatan potong konstan
Grup 2	G97	Putaran spindel konstan
	G94	Kecepatan pemakanan dalam mm per menit
Grup 3	G95	Kecepatan pemakanan dalam mm per putaran
	G53	Pembatalan penetapan titik nol yang pertama dan kedua
	G54	Penetapan titik nol benda kerja yang ke 1
Grup 4	G55	Penetapan titik nol benda kerja yang ke 2
	G92	Perubahan koordinat titik nol benda kerja yang ke 5 dengan penetapan melalui program NC
Grup 5	G55	Pembatalan penetapan titik nol yang ke 3, 4, dan 5
	G56	Pembatalan Penetapan titik nol benda kerja yang ke 3 dan 4
	G57	Penetapan titik nol benda kerja yang ke 3
	G58	Penetapan titik nol benda kerja yang ke 4
	G59	Penetapan titik nol benda kerja yang ke 5
Grup 8	G40	Pembatalan Perintah Kompensasi lintasan perkakas sayat

	G41	Kompensasi lintasan pahat pada sebelah kiri
	G43	Kompensasi lintasan pahat pada sebelah kanan

Tabel 13.3. Kode Fungsi M dan Artinya.

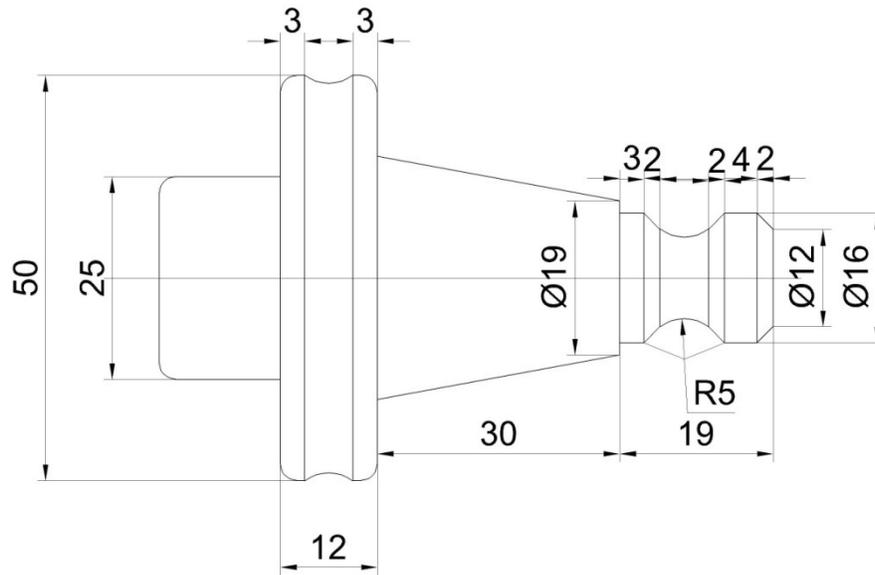
GRUP	FUNGSI M	ARTI
Grup 0	M03	Spindel utama berputar searah jarum jam
	M04	Spindel utama berputar berlawanan arah jarum jam
	M05	Spindel berhenti berputar
Grup 2	M00	Eksekusi program berhenti sementara
	M17	Sub program berakhir
	M30	Program utama berakhir, pembacaan kembali ke awal program
Grup 3	M08	Cairan pendingin mengalir
	M09	Cairan pendingin berhenti mengalir

11. Pembuatan Program NC

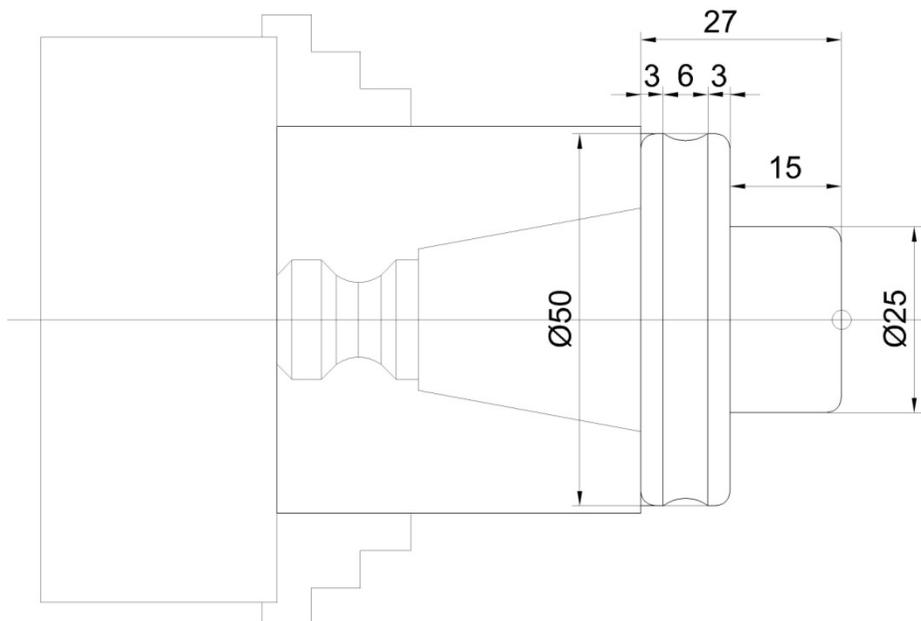
Pembuatan program NC diawali dari mempelajari gambar kerja. Dari gambar kerja tersebut dapat ditentukan jenis mesin perkakas CNC yang akan digunakan, misalnya Mesin Bubut CNC, Mesin Frais CNC, atau jenis mesin lainnya. Setelah ditentukan jenis mesin yang akan digunakan, langkah berikutnya adalah :

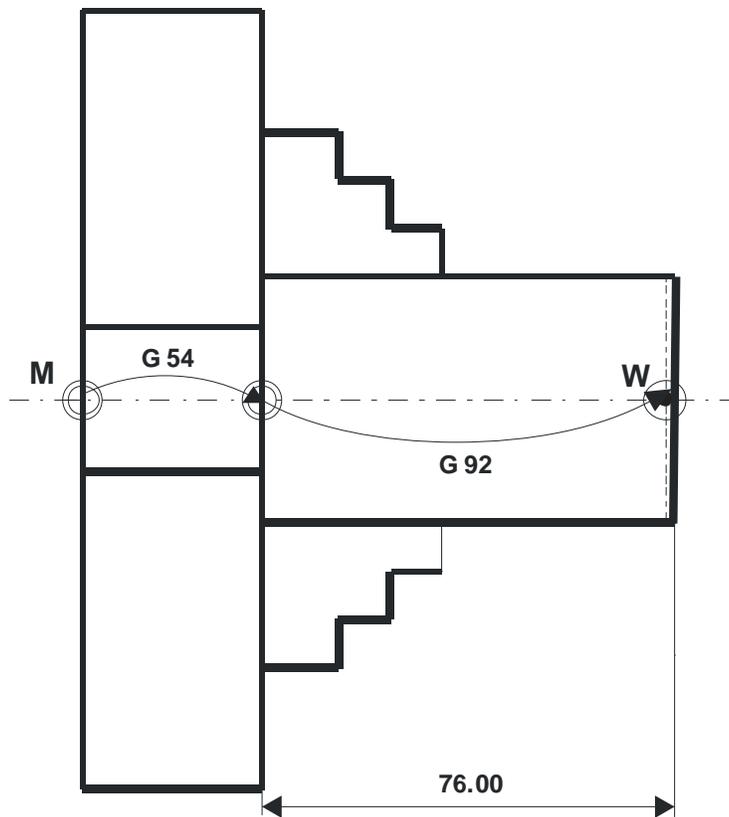
- Merancang teknik dan rencana penjepitan benda kerja pada mesin
- Merancang struktur program (*program structure*) yaitu dengan menentukan urutan proses pemesinan
- Menentukan jenis perkakas sayat yang akan digunakan, urutan penggunaan, dan parameter pemesinan seperti jumlah putaran spindel (S) dan kecepatan pemakanan (F) untuk setiap perkakas sayat yang akan digunakan
- Menulis program NC pada lembaran program (*program sheet*).

Berikut disampaikan contoh pembuatan program NC untuk Mesin Bubut CNC tipe ET-242 buatan EMCO Meier, Austria. Dari gambar kerja yang tersedia, kita coba pelajari kelengkapan ukurannya, apakah masih ada bagian gambar yang belum diketahui dimensinya. Jika didapati kekurangan ukuran, maka kita harus terlebih dahulu melengkapinya agar dalam pembuatan program nanti tidak terjadi kesalahan menentukan titik koordinat lintasan perkakas sayatnya. Mintalah data geometri selengkapinya kepada perancang atau pembuat gambar kerja.



Rencana Penjepitan 1





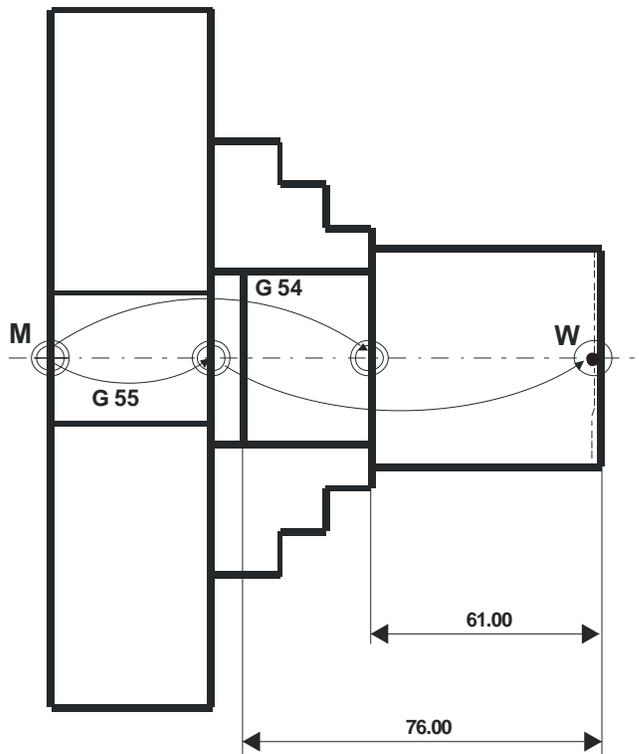
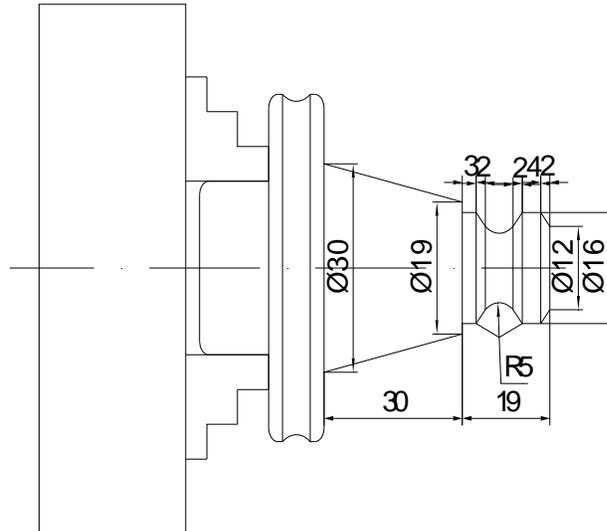
Program NC pada Penjepitan 1

```

N0000 G55
N0010 G92 X0.000 Z76.000 S2000
N0020 G59
N0030 T0101 G94 G96 M04 M08 F120 S200
N0040 G00 X51.000 Z2.000
N0050 G84 X50.000 Z-30.000 D0=200 D2=0
N0060 G00 X50.000
N0070 G84 X25.000 Z-19.000 D0=500 D2=0 D3=1000
N0080 G00 X0.000 Z2.000
N0090 G01 Z0.000 Z0.000 G42
N0100 X21.000
N0110 G03 X25.000 Z-2.000 I=0.000 K=2.000
N0120 G01 Z-19.000
N0130 X46.000
N0140 G03 X50.000 Z-21.000 I=0.000 K=2.000
N0150 G01 X51.000 G40
N0160 G00 X80.000 Z50.000
N0170 M05 M09 G53 G56 T0000
N0180 M30

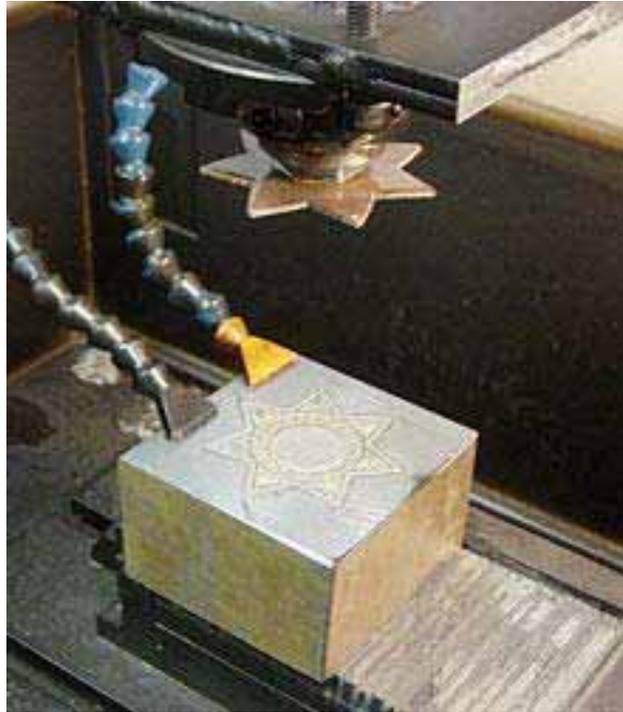
```

Rencana Penjepitan 2



Program NC pada Penjepitan 2

```
N0000 G54
N0010 G92 X0.000 Z61.000 S2000
N0020 G59
N0030 T0101 G94 G96 M04 M08 F120 S200
N0040 G00 X51.000 Z2.000
N0050 G84 X30.000 Z-49.000 D0=200 D2=0 D0=1000
N0060 G00 X30.000
N0070 G84 X19.000 Z-49.000 D0=500 D2=0 D3=1000
N0080 G00 X19.000
N0090 G84 X16.000 Z-19.000 D0=500 D2=0 D3=1000
N0100 G00 X12.000 Z2.000
N0110 G01 Z0.000 Z0.000 G42
X21.000
G03 X25.000 Z-2.000 I=0.000 K=2.000
N0120 G01 Z-19.000
N0130 X46.000
N0140 G03 X50.000 Z-21.000 I=0.000 K=2.000
N0150 G01 X51.000 G40
N0160 G00 X80.000 Z50.000
N0170 M05 M09 G53 G56 T0000
N0180 M30
```



BAB 14

MENGENAL EDM

(Electrical Discharge Machining)

A. Gambaran Singkat EDM

Asal mula EDM (*Electrical Discharge Machining*) adalah pada tahun 1770, ketika ilmuwan Inggris Joseph Priestly menemukan efek erosi dari percikan arus listrik. Pada tahun 1943, ilmuwan Rusia B. Lazarenko dan N. Lazarenko memiliki ide untuk memanfaatkan efek merusak dari percikan arus listrik untuk membuat proses yang terkontrol untuk pemesinan secara elektrik bahan konduktif.



Gambar 14.1. Proses pengerjaan benda kerja dengan EDM (Dari : Wikipedia).

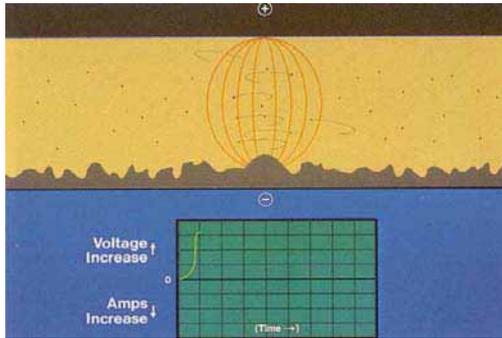
Dengan adanya ide tersebut proses EDM telah lahir. Lazarenko bersaudara menyempurnakan proses dengan cara menempatkan cairan tidak konduktif di mana percikan listrik terjadi di antara dua konduktor, cairan tersebut dinamakan dielektrik (*dielectric*). Rangkaian listrik yang membuat peristiwa tersebut terjadi digunakan sebagai nama proses ini. Pada saat ini telah banyak unit EDM digunakan yang lebih maju dari pada milik Lazarenko. Pada saat ini ada dua macam mesin EDM yaitu : EDM konvensional (Biasanya disebut *Sinker* EDM atau *Ram* EDM) dan *Wire* EDM.

B. Cara Kerja EDM

Mengetahui tentang apa yang terjadi di antara elektrode dan benda kerja dapat sangat membantu operator EDM dalam banyak hal. Pengetahuan dasar teori EDM dapat membantu dalam memecahkan masalah yang timbul (*troubleshooting*), misalnya dalam hal pemilihan kombinasi benda kerja/elektrode, dan pemahaman mengapa pengerjaan yang bagus untuk satu benda kerja tidak selalu berhasil untuk yang

berikutnya. Deskripsi berikut ini menjelaskan tentang kombinasi apa yang telah diketahui dan apa yang telah ada dalam terori tentang proses EDM.

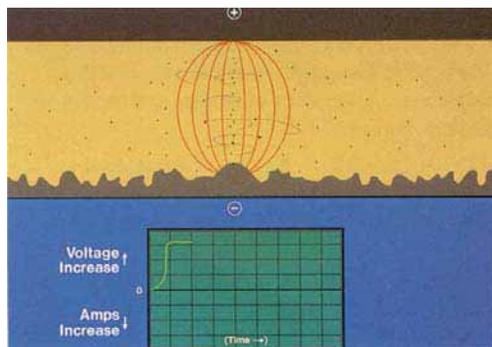
Pada saat ini beberapa teori tentang bagaimana EDM bekerja telah mengalami kemajuan selama beberapa tahun, sebagian besar mendukung model *thermoelectric*. Sembilan ilustrasi berikut menunjukkan tahap demi tahap apa yang telah diyakini terjadi selama satu siklus EDM. Gambar di sebelahnya menunjukkan harga relatif dari tegangan dan arus pada titik yang diambil.

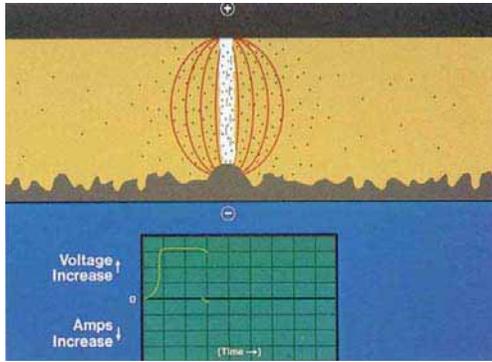


Gambar 14.2. Pada Proses awal EDM, elektrode yang berisi tegangan listrik didekatkan ke benda kerja (elektrode positif mendekati benda kerja/turun). Di antara dua elektrode ada minyak isolasi (tidak menghantarkan arus listrik), yang pada EDM dinamai cairan *dielektrik*. Walaupun cairan dielektrik adalah sebuah isolator yang

bagus, beda potensial listrik yang cukup besar menyebabkan cairan membentuk partikel yang bermuatan, yang menyebabkan tegangan listrik melewatinya dari elektrode ke benda kerja. Dengan adanya *graphite* dan partikel logam yang tercampur ke cairan dapat membantu transfer tegangan listrik dalam dua cara : partikel-partikel (konduktor) membantu dalam ionisasi minyak dielektrik dan membawa tegangan listrik secara langsung, dan partikel-partikel dapat mempercepat pembentukan tegangan listrik dari cairan. Daerah yang memiliki tegangan listrik paling kuat adalah pada titik dimana jarak antara elektrode dan benda kerja paling dekat, seperti pada titik tertinggi yang terlihat di gambar. Grafik menunjukkan bahwa tegangan (beda potensial) meningkat, tetapi arusnya nol.

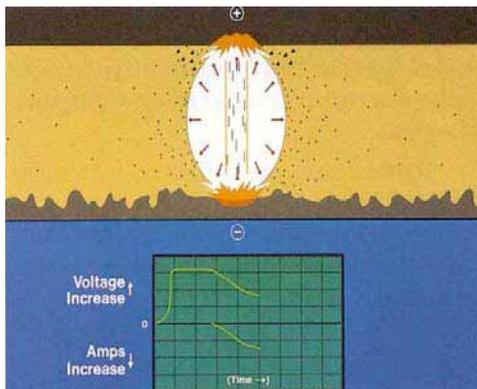
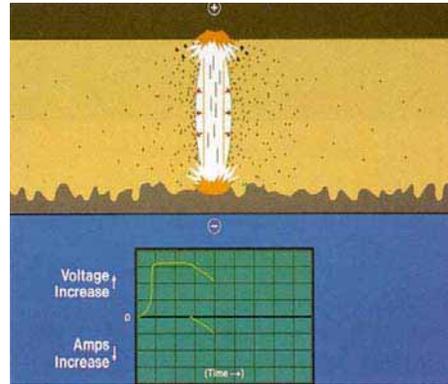
Gambar 14.3. Ketika jumlah partikel bermuatan meningkat, sifat isolator dari cairan dielektrik menurun sepanjang tengah jalur sempit pada bagian terkuat di daerah tersebut. Tegangan meningkat hingga titik tertinggi tetapi arus masih nol.





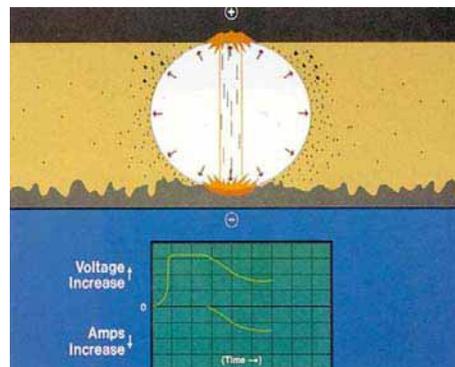
Gambar 14.4. Arus mulai muncul ketika cairan berkurang sifat isolatornya menjadi yang paling kecil. Beda tegangan mulai menurun.

Gambar 14.5. Panas muncul secara cepat ketika arus listrik meningkat, dan tegangan terus menurun drastis. Panas menguapkan sebagian cairan, benda kerja, dan elektrode, dan jalur *discharge* mulai terbentuk antara elektrode dan benda kerja.

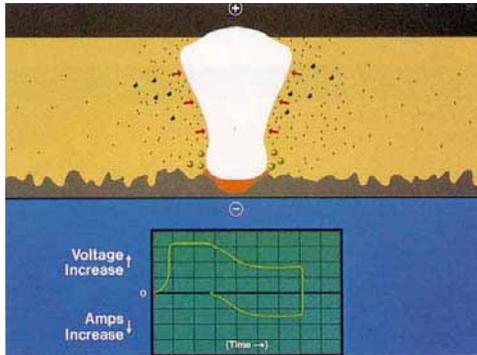


Gambar 14.6. Gelembung uap melebar ke samping, tetapi gerakan melebarnya dibatasi oleh kotoran-kotoran ion di sepanjang jalur *discharge*. Ion-ion tersebut dilawan oleh daerah magnet listrik yang telah timbul. Arus terus meningkat, dan tegangan menurun.

Gambar 14.7. Sebelum berakhir, arus dan tegangan menjadi stabil, panas dan tekanan di dalam gelembung uap telah mencapai ukuran maksimal, dan sebagian logam telah dihilangkan. Lapisan dari logam di bawah kolom *discharge* pada kondisi mencair, tetapi masih berada di tempatnya karena tekanan dari gelembung uap. Jalur

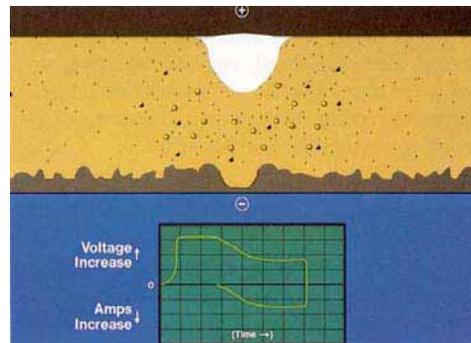


discharge sekarang berisi plasma dengan suhu sangat tinggi, sehingga terbentuk uap logam, minyak dielektrik, dan karbon pada saat arus lewat dengan intensif melaluinya.

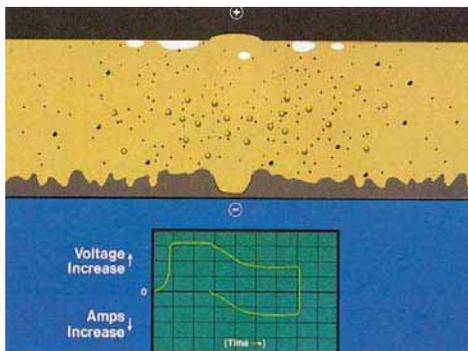


Gambar 14.8. Pada akhirnya, arus dan tegangan turun menjadi nol. Temperatur turun dengan cepat, tabrakan gelembung dan menyebabkan logam yang telah dicairkan lepas dari benda kerja.

Gambar 14.9. Cairan dielektrik baru masuk di antara elektrode dan benda kerja, menyingkirkan kotoran-kotoran dan mendinginkan dengan cepat permukaan benda kerja. Logam cair yang tidak terlepas membeku dan membentuk lapisan baru hasil pembekuan (*recast layer*).



Gambar 14.10. Logam yang terlepas membeku dalam bentuk bola-bola kecil menyebar di cairan dielektrik bersama-sama dengan karbon dari elektrode. Uap yang masih ada naik menuju ke permukaan. Tanpa waktu putus yang cukup, kotoran-kotoran yang terbentuk akan terkumpul membentuk percikan api yang tidak stabil. Situasi tersebut dapat



membentuk DC *arc*, yang mana dapat merusak elektrode dan benda kerja.

(Sumber : Courtesy EDM Tech. Manual, Poco Graphite Inc.)

Urutan waktu ON/OFF adalah satu siklus EDM yang dapat diulang sampai ribuan kali per detik. Penjelasan di atas hanyalah satu siklus yang muncul pada satu waktu tertentu. Apabila siklus tersebut dipahami, maka akan dapat dikendalikan jangka waktu dan intensitas dari pulsa ON/OFF yang membuat EDM bekerja dengan baik.

C. Perkembangan Penggunaan EDM

EDM telah berkembang bersama dengan Mesin Bubut, Mesin Frais, dan Mesin Gerinda sebagai teknologi yang terdepan. EDM terkenal dalam hal kemampuannya untuk membuat bentuk kompleks pada logam-logam yang sangat keras. Penggunaan yang umum untuk Mesin EDM adalah dalam pemesinan *dies*, perkakas potong, dan cetakan (*molds*) yang terbuat dari baja yang telah dikeraskan, *tungsten carbide*, *high speed steel*, dan material yang lain yang tidak mungkin dikerjakan dengan cara tradisional (penyayatan). Proses ini juga telah memecahkan banyak masalah pada pembuatan bahan “*exotic*”, seperti *Hastelloy*, *Nitralloy*, *Waspaloy* and *Nimonic*, yang digunakan secara luas pada industri-industri pesawat ruang angkasa.

Dengan telah ditemukannya teknologi yang maju tentang keausan elektrode, ketelitian dan kecepatan, EDM telah mengganti proses pemotongan logam yang lama pada beberapa aplikasi. Faktor lain yang menyebabkan berkembangnya penggunaan EDM adalah kemampuannya mengerjakan bentuk tipis, khususnya dalam pengerjaan ketinggian dan ketirusan. EDM yang menggunakan kawat (*Wire EDM*) dapat membelah dengan ketinggian 16 inchi (sekitar 400 mm), dengan kelurusan $\pm 0,0005$ inchi ($\pm 0,0125$ mm) tiap sisi.

Pada waktu yang lalu, EDM digunakan terutama untuk membuat bagian-bagian mesin yang sulit dikerjakan dengan proses konvensional. Pertumbuhan penggunaan EDM pada sepuluh tahun terakhir menempatkan proses pembuatan komponen dirancang menggunakan EDM terlebih dahulu, sehingga EDM bukanlah pilihan terakhir, tetapi pilihan yang pertama.

Proses EDM telah berubah. Perusahaan-perusahaan yang menggunakan EDM juga sudah berubah. Perubahan yang sangat berarti adalah :

- Lebih cepat.
- Lebih otomatis. Mesin lebih mudah diprogram dan dirawat.
- Lebih akurat ukurannya.
- Dapat menggunakan kawat dengan diameter yang lebih kecil pada mesin *Wire EDM*.
- Menurunkan biaya operasional. Harga mesin menjadi lebih murah.
- Dapat menghasilkan permukaan yang lebih halus.



Gambar 14.11. Bagian mesin yang mengandung ukuran-ukuran kompleks dan dinding tipis. Komponen satelit ini dikerjakan menggunakan *Wire Cut EDM* dari bentuk solid CAL-4V Titanium, dikerjakan oleh Numerical Precision, Inc., Wheeling, Illinois.

- Dapat menyayat karbida tanpa ada cacat ketika menggunakan Wire EDM dan Ram EDM.
- Gerakan kawat EDM dan putaran benda kerja bisa dilakukan secara simultan.
- Ram EDM tidak memerlukan pembersih benda kerja lain.
- EDM lebih efektif pada kondisi pembersihan benda kerja dengan tingkat kesulitan tinggi.
- EDM lebih mudah digunakan. Waktu untuk pelatihan dan pemrograman lebih singkat.

D. Penggunaan EDM

Penjelasan berikut merupakan ringkasan dari karakteristik yang mengharuskan penggunaan EDM. Disarankan menggunakan EDM jika bentuk benda kerja sebagai berikut :

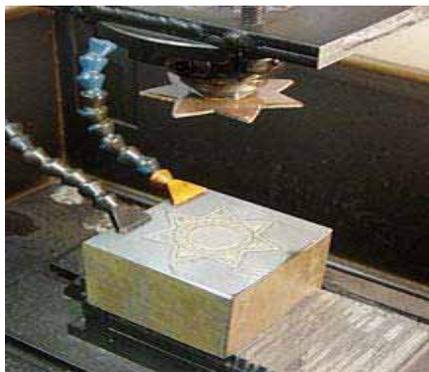
- Dinding yang sangat tipis
- Lubang dengan diameter sangat kecil
- Rasio ketinggian dan diameter sangat besar
- Benda kerja sangat kecil
- Sulit dicekam

Disarankan menggunakan EDM jika material benda kerja :

- Keras
- Liat
- Meninggalkan sisa penyayatan
- Harus mendapat perlakuan panas

Disarankan menggunakan EDM untuk mengganti proses meliputi :

- Pengaturan/*setup* berulang, bermacam-macam pengerjaan, bermacam-macam proses pencekaman benda.
- *Broaching* .
- *Stamping* yang prosesnya cepat, (lihat Gambar 14.12.).



Gambar 14.12. Proses *stamping* dengan menggunakan EDM.

Disarankan menggunakan EDM ketika beberapa alasan berikut :

- Jam kerja 24 jam dengan hanya satu *shift* operator .
- Memerlukan proses yang tidak mementingkan perhatian khusus dari pekerja secara intensif.

EDM tidak dipengaruhi oleh kekerasan bahan benda kerja, sehingga sangat bermanfaat bila digunakan untuk mengerjakan benda kerja dengan kekerasan di atas 38 HRc. Bahan tersebut meliputi baja yang telah dikeraskan, *Stellite* and *Tungsten Carbide*. Karena proses EDM menguapkan material sebagai ganti penyayatan, kekerasan dari benda kerja bukan merupakan faktor penting. Maka dari itu mesin *Wire EDM* dan *Ram EDM* digunakan untuk membuat bentuk kompleks *dies* dan perkakas potong dari material yang amat keras.

Bagian lain yang hanya bisa dikerjakan dengan EDM adalah kemampuannya membuat sudut dalam (*internal corners*) yang runcing. Pemesinan konvensional tidak mungkin mengerjakan kantong dengan pojok runcing, yang bisa dicapai adalah radius minimal sekitar 1/32 inchi yang paralel dengan sumbu pahat. Jenis pengerjaan dan ukuran minimal yang dapat dicapai oleh EDM dapat dilihat pada Tabel 14.1.

Tabel 14.1. Ukuran minimal beberapa jenis pengerjaan dengan EDM

Jenis Pengerjaan	<i>Wire EDM</i>	<i>Ram EDM</i>
1. Radius dalam	0,0007" (0,0175 mm)	0.001"(0,025 mm)
2. Radius luar	runcing	runcing
3. Diameter lubang	0,0016"(0,04 mm)	0.0006"(0,04 mm)
4. Lebar alur	0,0016"(0,04 mm)	0.0004"(0,01 mm)

Maka dari itu EDM digunakan untuk mengerjakan klep (*valves*) pengukur bahan bakar, komponen printer, cetakan dan perbaikan cetakan.

E. Pemilihan Elektrode

Fungsi elektrode adalah menghantarkan tegangan listrik dan mengerosi benda kerja menjadi bentuk yang diinginkan. Bahan elektrode yang berbeda memberikan pengaruh yang sangat besar terhadap proses pemesinan. Beberapa akan menghilangkan benda kerja secara efisien tetapi keausannya tinggi, elektrode yang lain memiliki keausan rendah tetapi kemampuan menghilangkan material benda kerja sangat lambat. Ketika memilih bahan elektrode dan merencanakan cara pembuatan-nya, faktor-faktor berikut harus diperhitungkan :

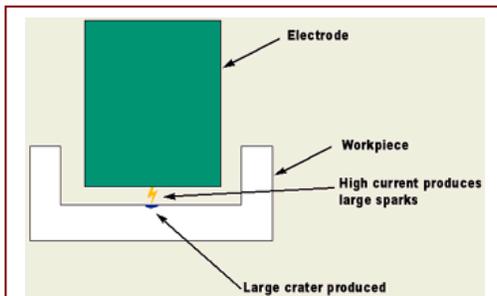
- Harga bahan elektrode
- Kemudahan pembuatan/membentuk elektrode
- Jenis dari hasil yang diinginkan (misalnya kehalusan)

- Besaran keausan elektrode.
- Jumlah elektrode yang diperlukan untuk menyelesaikan sebuah benda kerja.
- Kecocokan jenis elektrode dengan jenis pengerjaan.
- Jumlah lubang penyemprot (*flushing holes*), jika diperlukan.

F. Jenis Bahan Elektrode

Bahan elektrode dibagi menjadi dua macam, yaitu : logam dan *graphite*. Pada saat ini ada lima macam elektrode, yaitu : Kuningan (*brass*), Tembaga (*copper*), *Tungsten*, Seng (*zinc*), dan *Graphite*. Selain dari itu, beberapa elektrode dikombinasikan dengan logam yang lain agar dapat digunakan secara efisien, yaitu :

- Kuningan dan Seng
- Tembaga dan *Tellurium*
- Tembaga dan *Tungsten* dan perak
- *Graphite* and Tembaga



Gambar 14.13. Gambaran skematik pengerjaan EDM, elektrode yang mendekati benda kerja. Arus yang tinggi akan menghasilkan percikan yang besar, sehingga menghasilkan bekas berbentuk kawah yang besar pula (benda kerja kasar).

Pada awalnya, kuningan digunakan sebagai elektrode walaupun keausannya tinggi. Akhirnya, pengguna EDM menggunakan tembaga dan paduannya untuk meningkatkan rasio keausan. Masalah yang muncul dengan tembaga adalah karena titik cairnya sekitar 1085°C , padahal temperatur percikan api pada celah elektrode dan benda kerja mencapai 3800°C . Titik lebur tembaga yang rendah menyebabkan keausan yang terlalu tinggi dibandingkan dengan bagian benda kerja yang bisa dihilangkan.

Penelitian menunjukkan bahwa elektrode *graphite* memiliki laju yang lebih besar dalam menghilangkan bagian benda kerja dibandingkan dengan

keausannya sendiri. *Graphite* tidak mencair di celah elektrode, pada sekitar temperatur 3350°C berubah dari bentuk padat menjadi gas. Karena *graphite* lebih tahan panas di celah elektrode dibandingkan dengan tembaga, untuk sebagian besar pengerjaan EDM lebih efisien menggunakannya. *Tungsten* memiliki titik lebur setara dengan *graphite*, akan tetapi *tungsten* sangat sulit dibentuk/ dikerjakan dengan mesin.

Tungsten digunakan sebagai pengerjaan awal (Gambar 14.13), biasanya berbentuk tabung atau ruji untuk lubang-lubang dan lubang kecil proses gurdi.

Elektrode logam biasanya yang terbaik untuk pengerjaan EDM bagi material yang memiliki titik lebur rendah seperti : *aluminum, copper* dan *brass*. Untuk pengerjaan baja dan paduannya, elektrode *graphite* lebih disarankan. Prinsip umum dalam pemilihan elektrode adalah : elektrode logam untuk benda kerja atau paduan yang memiliki titik lebur rendah, dan elektrode *graphite* untuk yang memiliki titik lebur tinggi. Hal tersebut dengan pengecualian untuk pengerjaan *tungsten, cobalt* and *molybdenum*. Elektrode logam seperti tembaga sangat direkomendasi karena frekuensi yang lebih tinggi diperlukan untuk mengerjakan benda kerja tersebut.

Tembaga sebagai elektrode memiliki keuntungan lebih dibandingkan dari pada *graphite*, karena bentuk keausan ketika digunakan (*discharge-dressing*) lebih baik. Elektrode ini setelah digunakan mengerjakan satu benda kerja, sesudahnya dapat digunakan lagi untuk proses pengerjaan *finishing* atau digunakan untuk mengerjakan benda kerja yang lain.

G. Pembuatan Elektrode

1. Proses Galvano

Kadang-kadang elektrode berbentuk pejal yang besar terlalu berat bagi motor servo, dan proses pembuatannya terlalu mahal. Pada kasus ini proses Galvano dapat digunakan untuk membuat cetakan. Cetakan tersebut dilapisi dengan tembaga dengan ketebalan sampai 5 mm. Tabung tembaga yang telah terbentuk di dalamnya diisi dengan *epoxy*, dan kawat tembaga dihubungkan dengan elektrode. Elektrode yang telah dibuat kemudian dipasang di mesin EDM.

2. Pembuatan Elektrode pada Umumnya

Ketika elektrode campuran selalu digunakan, campuran 70/30 *tungsten* dan tembaga dalam bentuk serbuk dibuat dengan cetakan bertekanan, kemudian disinter di dapur pemanas. Proses ini dapat menghasilkan elektrode dengan ukuran yang teliti.

3. Pembuatan Elektrode *Graphite*

Di Amerika, sekitar 85 persen elektrode yang digunakan adalah *graphite*. *Graphite* dikerjakan dengan mesin dan digerinda lebih mudah dari pada elektrode logam. Masalah yang timbul pada waktu mengerjakan *graphite* adalah kotoran yang dihasilkan. Bahan ini tidak menghasilkan geram, tetapi menghasilkan debu hitam, apabila debu ini tidak dibersihkan akan mengotori seluruh ruangan bengkel. Elektrode *graphite*

adalah bahan sintesis dan bersifat abrasif. Sehingga apabila mengerjakannya di mesin disarankan menggunakan pahat karbida. Ketika menggerinda elektrode ini, harus menggunakan penyedot debu (*vacuum system*). Hal yang sama diterapkan juga ketika dikerjakan di Mesin Frais. Mesin Frais yang digunakan harus tertutup rapat.

Graphite adalah bahan yang berpori, sehingga cairan bisa masuk ke dalamnya yang menyebabkan menjadi tidak murni. Untuk memurnikannya dilakukan dengan cara memanaskan elektrode tersebut ke dalam dapur pemanas selama satu jam pada temperatur 250 F (121°C). Bisa juga elektrode tersebut dikeringkan pada udara panas. Elektrode tidak boleh dikeringkan menggunakan pemanas *microwave*. Apabila elektrode yang berpori digunakan, seharusnya dalam keadaan yang tidak lembab (basah). Kelembaban yang terjebak di dalam elektrode akan menimbulkan uap ketika proses pengerjaan EDM, dan merusak elektrode.

H. Elektrode untuk Wire EDM

Beberapa pihak yakin bahwa elektrode logam efisien digunakan untuk *Wire EDM*. Akan tetapi pada akhir-akhir ini kecepatan potong *Wire EDM* telah bertambah tinggi, sehingga lebih ekonomis bila menggunakan elektrode *graphite*. *Graphite angstrofine* yang berstruktur padat dapat melakukan pemotongan dua kali lebih cepat dari pada jenis *graphite* yang lain. Kawat yang dilapisi seng juga dapat meningkatkan kecepatan proses EDM dari elektrode ini. Beberapa riset menunjukkan bahwa menggunakan kawat yang dilapisi seng dapat meningkatkan kecepatan potong sampai 50 persen.

I. Kualitas Hasil Pengerjaan EDM

1. Kelebihan Pemotongan (*Overcut*)

Lubang hasil proses EDM dimensinya selalu lebih besar dari pada elektrodanya. Celah perbedaan antara elektrode dan benda kerja dinamakan "*overcut*" atau "*overburn*." Besarnya *overcut* tergantung dari banyak faktor yaitu : besar arus, waktu ion, jenis elektrode, dan bahan benda kerja.

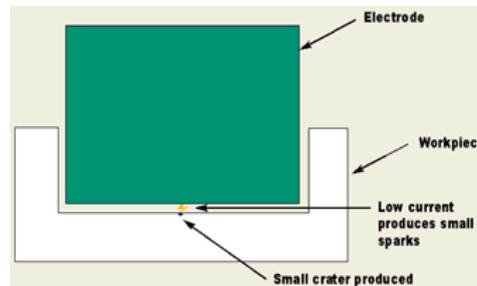
Faktor utama yang mempengaruhi *overcut* adalah besarnya arus listrik pada celah. *Overcut* selalu diukur pada tiap sisi. Besarnya bervariasi antara 0,020 mm sampai 0,63 mm. *Overcut* yang tinggi dihasilkan oleh penggunaan amper/arus yang tinggi. Hampir semua pembuat EDM menyertakan sebuah grafik yang menunjukkan besarnya *overcut* yang bisa diprediksi oleh operator sehubungan dengan pengaturan arus listrik. Selama pengerjaan pengasaran (*roughing*) arus yang besar digunakan, menyebabkan *overcut* yang lebih besar (Gambar

14.13.). Pengerjaan penghalusan (*finishing*), menggunakan arus yang lebih kecil, sehingga menghasilkan *overcut* yang lebih kecil, (Gambar 14.14.).

Dengan pengaturan arus dan material yang sama, *overcut* yang terjadi tetap. Dengan demikian, toleransi 0,0025 mm dapat dicapai dengan *Ram* EDM. Akan tetapi, bila toleransi tersebut harus tercapai, biaya yang diperlukan meningkat, karena waktu yang diperlukan menjadi lebih lama.

2. Pengerjaan Penghalusan (*Finishing*)

Pemahaman tentang prinsip *overcut* adalah sangat penting dalam memahami kehalusan permukaan hasil proses EDM. Ketika arus (*current*) tinggi digunakan menghasilkan percikan (*sparks*) yang besar, sehingga kawah (*crater*) pada benda kerja besar. Proses ini digunakan untuk proses awal (*roughing*).



Gambar 14.14. Penayatan *finishing* menggunakan arus kecil, sehingga permukaan benda kerja halus.

Ketika arus yang digunakan relatif kecil, percikan api (*sparks*) yang dihasilkan kecil, sehingga kawah pada benda kerja kecil, sehingga permukaan yang dihasilkan halus. Menggunakan arus yang kecil pada proses finishing akan memperlama proses pemesinan, tetapi menghasilkan permukaan yang halus, (Gambar 14.14.).

Pada waktu menggunakan arus yang sangat kecil (dengan waktu yang pendek dan arus rendah) ke permukaan benda kerja, mesin EDM dapat menghasilkan permukaan benda kerja seperti cermin. Mesin yang memiliki kemampuan mengorbitkan elektrode dapat membantu membuat produk yang sangat halus permukaannya dengan memutar elektrode. Beberapa mesin yang bisa memutar elektrode (dengan jalur orbit) dapat diprogram, sehingga arus akan menurun secara bertahap sampai memproduksi permukaan seperti cermin tercapai.

Benda kerja yang dihasilkan pada proses EDM adalah gambaran/ cerminan dari elektrode yang digunakan. Apabila elektrodenya tidak bagus misalnya ada cacat di permukaannya, maka benda kerja yang dihasilkan juga akan ada cacatnya. Elektrode yang kasar permukaannya akan menghasilkan permukaan benda kerja yang kasar pula. Semakin

halus struktur butiran bahan elektrode, akan menghasilkan permukaan benda kerja yang lebih halus.

3. Penyelesaian setara cermin (*Mirror finishing*)

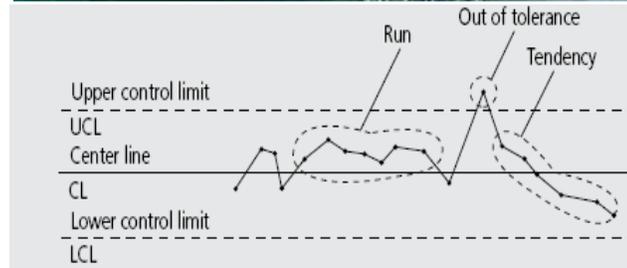
Pengontrolan cairan dielektrik dapat memperbaiki kehalusan permukaan hasil proses EDM secara nyata. Beberapa mesin EDM menggunakan cairan dielektrik khusus untuk proses *finishing* sehingga menghasilkan permukaan seperti cermin dengan kehalusan permukaan kurang dari $R_{max} 17\mu m$. Beberapa mesin memiliki dua tangki cairan dielektrik, satu untuk proses pengasaran (*roughing*) dan *semi finishing*, dan yang satu untuk proses *finishing* sampai permukaan benda kerja seperti cermin hasilnya.

Beberapa perusahaan pembuat EDM telah menemukan bahwa menambah bubuk *silicon*, *graphite*, atau *aluminum* pada cairan dielektrik, dapat menghasilkan kehalusan permukaan yang sempurna.

J. Keterbatasan Proses EDM

Penggunaan mesin EDM dibatasi oleh ukuran tangki kerja penampung cairan dielektrik. Mesin EDM standar populer yang digunakan sekarang memiliki keterbatasan :

- Untuk *Wire* EDM, ukuran maksimum benda kerja sekitar 59 inci (1500 mm) pada sumbu Y, 24 inci (600 mm) pada sumbu Z dan tidak terbatas pada sumbu X.
- Untuk *Ram* EDM, ukuran benda kerja maksimum sekitar 59 inci (1500 mm) pada sumbu Y, 17 inci (520 mm) pada sumbu Z dan 98 inci (2500 mm) pada sumbu X.
- Pembuatan bentuk sudut/tirus pada *Wire* EDM adalah hal yang perlu dipertimbangkan. Sudut tirus maksimum adalah $\pm 45^{\circ}$, walaupun beberapa bengkel telah berhasil mencapai $\pm 50^{\circ}$. Perbandingan sudut dan tinggi maksimum adalah 30° pada ketinggian 16 inci (400 mm).
- Hambatan listrik maksimum untuk benda kerja dan pencekam sekitar 0,5-5,0 ohm/cm untuk Mesin *Wire* dan *Ram* EDM .
- Keakuratan sekitar 0,00002 inci (0,0005 mm) untuk mesin *Wire* EDM.
- Keakuratan $\pm 0,0001$ inci (0,0025 mm) untuk mesin *Ram* EDM.
- Kehalusan permukaan sekitar VDI 0 (4 microinchi) untuk *Wire* EDM
- Kehalusan permukaan VDI 5 (2 microinchi) untuk *Ram* EDM.
- Keutuhan permukaan (*surface integrity*) adalah 1/20 juta untuk setiap inci ketebalan *recast layer* untuk *Wire* dan *Ram* EDM
- Panjang retakan mikro adalah 1/20 juta untuk *Wire* dan *Ram* EDM. Hasil ini sama atau lebih baik dari pada permukaan hasil proses gerinda.



BAB 15

MEMAHAMI TOLERANSI UKURAN DAN GEOMETRIK

Karakteristik geometrik (misalnya : besarnya kelonggaran antara komponen yang berpasangan) berhubungan dengan karakteristik fungsional. Karakteristik fungsional mesin tidak tergantung pada karakteristik geometrik saja, tetapi dipengaruhi juga oleh :

kekuatan, kekerasan, struktur metalografi, dan sebagainya yang berhubungan dengan karakteristik material. Komponen mesin hasil proses pemesinan bercirikan karakteristik geometrik yang teliti dan utama. Karakteristik geometrik tersebut meliputi : ukuran, bentuk, dan kehalusan permukaan.

A. Penyimpangan Selama Proses Pembuatan

Karakteristik geometrik yang ideal : ukuran yang teliti, bentuk yang sempurna dan permukaan yang halus sekali dalam praktek tidak mungkin tercapai karena ada penyimpangan yang terjadi, yaitu :

1. Penyetelan mesin perkakas
2. Pengukuran dimensi produk
3. Gerakan mesin perkakas
4. Keausan pahat
5. Perubahan temperatur
6. Besarnya gaya pemotongan.

Penyimpangan yang terjadi selama proses pembuatan memang diusahakan seminimal mungkin, akan tetapi tidak mungkin dihilangkan sama sekali. Untuk itu dalam proses pembuatan komponen mesin dengan menggunakan mesin perkakas diperbolehkan adanya penyimpangan ukuran maupun bentuk. Terjadinya penyimpangan tersebut misalnya terjadi pada pasangan poros dan lubang. Agar poros dan lubang yang berpasangan nantinya bisa dirakit, maka ditempuh cara sebagai berikut :

1. Membiarkan adanya penyimpangan ukuran poros dan lubang. Pengontrolan ukuran sewaktu proses pembuatan poros dan lubang berlangsung tidak diutamakan. Untuk pemasangannya dilakukan dengan coba-coba.
2. Membiarkan adanya penyimpangan kecil yang telah ditentukan terlebih dahulu. Pengontrolan ukuran sangat dipentingkan sewaktu proses produksi berlangsung. Untuk perakitannya semua poros pasti bisa dipasangkan pada lubangnya.

Cara kedua ini yang dinamakan cara produksi dengan sifat ketertukaran. Keuntungan cara kedua adalah proses produksi bisa berlangsung dengan cepat, dengan cara mengerjakannya secara paralel, yaitu lubang dan poros dikerjakan di mesin yang berbeda dengan operator yang berbeda. Poros selalu bisa dirakit dengan lubang, karena ukuran dan penyimpangannya sudah ditentukan terlebih dahulu, sehingga variasi ukuran bisa diterima asal masih dalam batas ukuran yang telah disepakati. Selain dari itu suku cadang bisa dibuat dalam jumlah banyak, serta memudahkan mengatur proses pembuatan. Hal tersebut bisa terjadi karena komponen yang dibuat bersifat mampu tukar

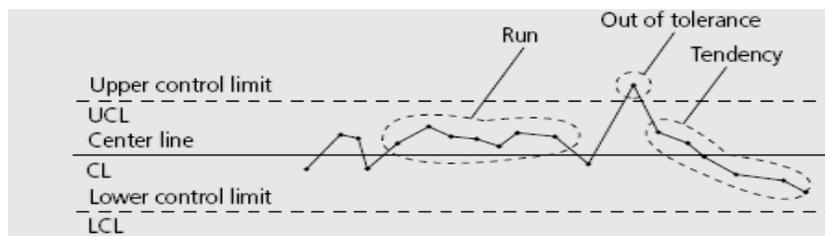
(*interchangeability*). Sifat mampu tukar inilah yang dianut pada proses produksi modern.

Variasi merupakan sifat umum bagi produk yang dihasilkan oleh suatu proses produksi, oleh karena itu perlu diberikan suatu toleransi. Memberikan toleransi berarti menentukan batas-batas maksimum dan minimum di mana penyimpangan karakteristik produk harus terletak. Bagian-bagian yang tidak utama dalam suatu komponen mesin tidak diberi toleransi, yang berarti menggunakan toleransi bebas/terbuka (*open tolerance*). Toleransi diberikan pada bagian yang penting bila ditinjau dari aspek :

1. Fungsi komponen
2. Perakitan, dan
3. Pembuatan.

B. Toleransi dan Suaian

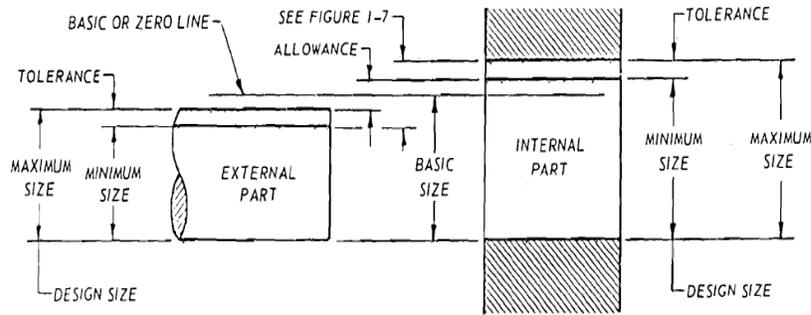
Standar ISO 286-1:1988 *Part 1 : Bases of tolerances, deviations and fits*”, serta ISO 286-2:1988 *Part 2 : Tables of standard tolerance grades and limit* “ adalah merupakan dasar bagi penggunaan toleransi dan suaian yang diikuti banyak perusahaan dan perancang sampai saat ini. Toleransi ukuran adalah perbedaan ukuran antara kedua harga batas di mana ukuran atau jarak permukaan/batas geometri komponen harus terletak, (lihat Gambar 15.1).



Gambar 15.1. Gambar daerah toleransi yaitu antara harga batas atas (*Upper Control Limit /UCL*) dan batas bawah (*Lower Control Limit/LCL*).

Beberapa istilah perlu dipahami untuk penerapan standar ISO tersebut di atas. Untuk setiap komponen perlu didefinisikan :

1. Ukuran dasar (*basic size*)
2. Daerah toleransi (*tolerance zone*)
3. Penyimpangan (*deviation*).



Gambar 15.2. Pasangan poros dan lubang, ukuran dasar, daerah toleransi.

Ukuran dasar adalah ukuran/dimensi benda yang dituliskan dalam bilangan bulat. Daerah toleransi adalah daerah antara harga batas atas dan harga batas bawah. Penyimpangan adalah jarak antara ukuran dasar dan ukuran sebenarnya.

C. Suaian

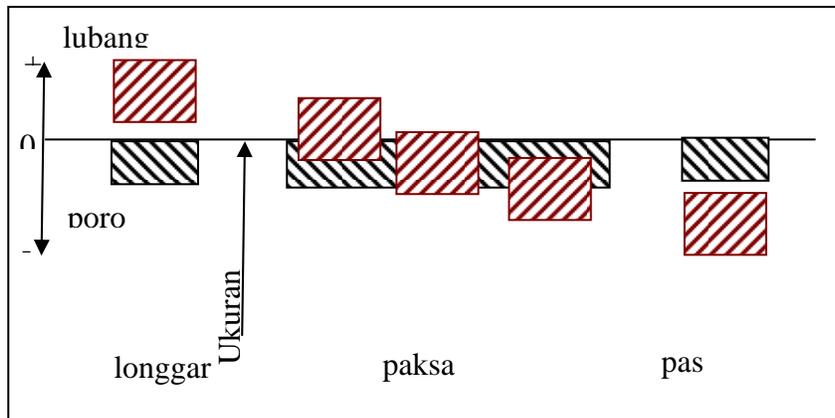
Apabila dua buah komponen akan dirakit maka hubungan yang terjadi yang ditimbulkan oleh karena adanya perbedaan ukuran sebelum mereka disatukan, disebut dengan suaian (*fit*). Suaian ada tiga kategori, yaitu :

1. **Suaian Longgar (*Clearance Fit*)** : selalu menghasilkan kelonggaran), daerah toleransi lubang selalu terletak di atas daerah toleransi poros.
2. **Suaian paksa (*Interference Fit*)** : suaian yang akan menghasilkan kerapatan, daerah toleransi lubang selalu terletak di bawah toleransi poros.
3. **Suaian pas (*Transition Fit*)** : suaian yang dapat menghasilkan kelonggaran ataupun kerapatan, daerah toleransi lubang dan daerah toleransi poros saling menutupi.

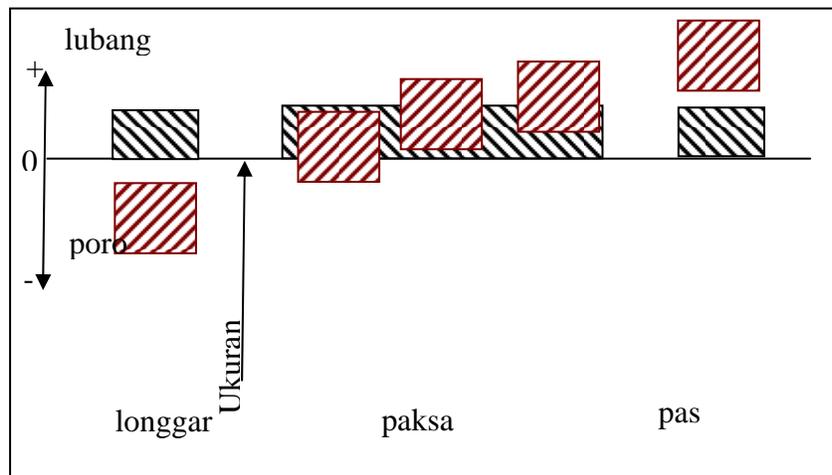
Tiga jenis suaian tersebut dijelaskan pada Gambar 15.3. dan Gambar 15.4. Untuk mengurangi banyaknya kombinasi yang mungkin dapat dipilih maka ISO telah menetapkan dua buah sistem suaian yang dapat dipilih, yaitu :

1. Sistem suaian berbasis poros (*shaft basic system*), dan
2. Sistem suaian berbasis lubang (*hole basic system*)

Apabila sistem suaian berbasis poros yang dipakai, maka penyimpangan atas toleransi poros selalu berharga nol ($es=0$). Sebaliknya, untuk sistem suaian berbasis lubang maka penyimpangan bawah toleransi lubang yang bersangkutan selalu bernilai nol ($EI=0$).



Gambar 15.3. Sistem suaian dengan berbasis poros ($es=0$).



Gambar 15.4. Sistem suaian berbasis lubang ($EI=0$).

Beberapa suaian yang terjadi di luar suaian tersebut di atas bisa terjadi, terutama di daerah suaian paksa dan longgar yang mungkin masih terjadi beberapa pasangan dari longgar (*Loose Running*) sampai paksa (*force*). Beberapa contoh suaian menggunakan basis lubang yang terjadi dapat dilihat pada Tabel 15.1.

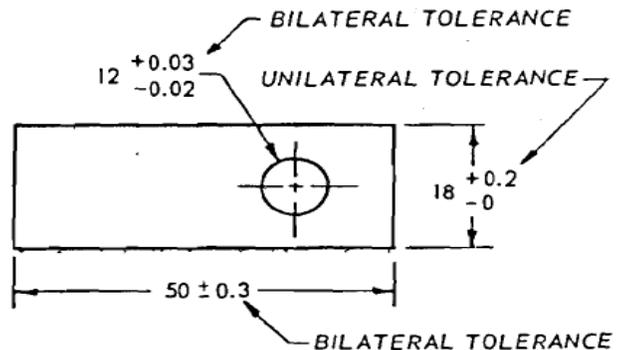
Tabel 15.1. Suaian (limits and fits) menggunakan basis lubang.

Deskripsi (Description)	Lubang	Poros
Loose Running	H11	c11
Free Running	H9	d9
Loose Running	H11	c11
Easy Running - Good quality easy to do-	H8	f8
Sliding	H7	g6
Close Clearance - Spigots and locations	H8	f7
Location/Clearance	H7	h6
Location- slight interference	H7	k6
Location/Transition	H7	n6
Location/Interference- Press fit which can be separated	H7	p6
Medium Drive	H7	s6
Force	H7	u6

D. Cara Penulisan Toleransi Ukuran/Dimensi

Toleransi dituliskan di gambar kerja dengan cara tertentu sesuai dengan standar yang diikuti (ASME atau ISO). Toleransi bisa dituliskan dengan beberapa cara:

1. Ditulis menggunakan ukuran dasar dan penyimpangan yang diijinkan



Gambar 15.5. Penulisan ukuran dan toleransi pada gambar kerja.

2. Menggunakan ukuran dasar dan simbol huruf dan angka sesuai dengan standar ISO, misalnya : 45H7, 45h7, 30H7/k6.

Toleransi yang ditetapkan bisa dua macam toleransi (Gambar 15.5), yaitu toleransi bilateral dan toleransi unilateral. Kedua cara penulisan toleransi tersebut yaitu a dan b sampai saat ini masih diterapkan. Akan tetapi cara b lebih komunikatif karena :

<ul style="list-style-type: none"> ✚ Memperlancar komunikasi sebab dibakukan secara internasional ✚ Mempermudah perancangan (design) karena dikaitkan dengan fungsi ✚ Mempermudah perencanaan proses kualitas
--

Pada penulisan toleransi ada dua hal yang harus ditetapkan, yaitu :

- a. Posisi daerah toleransi terhadap garis nol ditetapkan sebagai suatu *fungsi ukuran dasar*. Penyimpangan ini dinyatakan dengan simbol satu huruf (untuk beberapa hal bisa dua huruf). Huruf kapital untuk lubang dan huruf kecil untuk poros.
- b. Toleransi, harganya/besarnya ditetapkan sebagai suatu fungsi ukuran dasar. Simbol yang dipakai untuk menyatakan besarnya toleransi adalah suatu angka (sering disebut angka kualitas).

Contoh : 45 g7 artinya suatu poros dengan ukuran dasar 45 mm posisi daerah toleransi (penyimpangan) mengikuti aturan kode g serta besar/harga toleransinya menuruti aturan kode angka 7.

Catatan : Kode g7 ini mempunyai makna lebih jauh, yaitu :

- ❑ Jika lubang pasangannya dirancang menuruti sistem suaian berbasis lubang akan terjadi suaian longgar. Bisa diputar/digeser tetapi tidak bisa dengan kecepatan putaran tinggi.
- ❑ Poros tersebut cukup dibubut tetapi perlu dilakukan secara seksama
- ❑ Dimensinya perlu dikontrol dengan komparator sebab untuk ukuran dasar 45 mm dengan kualitas 7 toleransinya hanya 25 µm.

Apabila komponen dirakit, penulisan suatu suaian dilakukan dengan menyatakan ukuran dasarnya yang kemudian diikuti dengan penulisan simbol toleransi dari masing-masing komponen yang bersangkutan. Simbol lubang dituliskan terlebih dahulu :

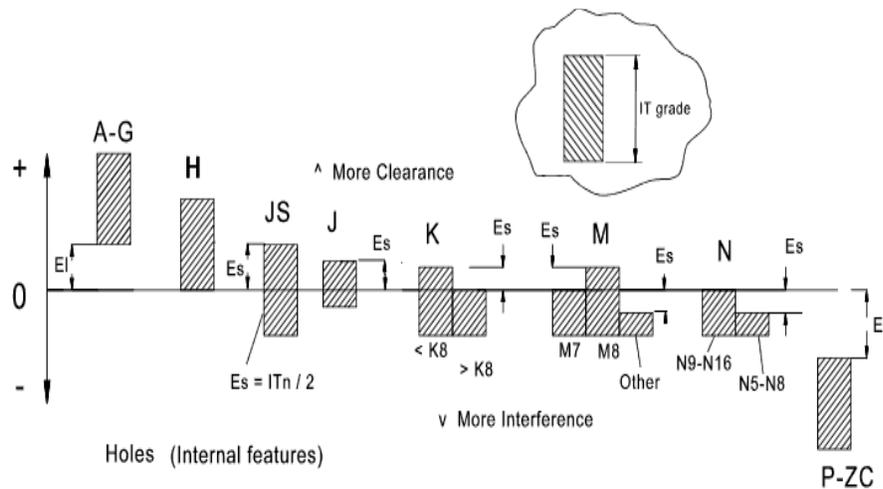
45 H8/g7 atau 45 H8-g7 atau

$$45 \frac{H8}{g7}$$

Artinya untuk ukuran dasar 45 mm, lubang dengan penyimpangan H berkualitas toleransi 8, berpasangan dengan poros dengan penyimpangan berkualitas toleransi 7.

Untuk simbol huruf (simbol penyimpangan) digunakan semua huruf abjad kecuali I, l, O, o, q dan w (I, L, O, Q, dan W), huruf ini menyatakan penyimpangan minimum absolut terhadap garis nol. Hal tersebut dapat dilihat di Gambar 15.6. Besarnya penyimpangan dapat dilihat pada tabel di Lampiran.

- Huruf a sampai h (A sampai H) menunjukkan *minimum material condition (smallest shaft largest hole)*.
- Huruf Js menunjukkan toleransi yang pada prinsipnya adalah simetris thd garis nol.
- Huruf k sampai z (K sampai Z) menunjukkan *maximum material condition (largest shaft smallest hole)*



Gambar 15.6. Penyimpangan yang dinyatakan dalam simbol huruf.

E. Toleransi Standar dan Penyimpangan Fundamental

1. Toleransi standar (untuk diameter nominal sampai dengan 500 mm)

Dalam sistem ISO telah ditetapkan 20 kelas toleransi (*grades of tolerance*) yang dinamakan toleransi standar yaitu mulai dari IT 01, IT 0, IT 1 sampai dengan IT 18. Untuk kualitas 5 sampai 16 harga dari toleransi standar dapat dihitung dengan menggunakan satuan toleransi i (*tolerance unit*), yaitu :

$$i = 0,45\sqrt[3]{D + 0,001D}$$

Di mana i = satuan toleransi (dalam μm)
 D = diameter nominal (dalam mm)

Catatan :

- Rumus dibuat berdasarkan kenyataan bahwa untuk suatu kondisi pemesinan yang tertentu maka hubungan antara kesalahan pembuatan dengan diameter benda kerja dapat dianggap merupakan suatu fungsi parabolis.
- Harga D merupakan rata-rata geometris dari diameter minimum D_1 dan diameter maksimum D_2 pada setiap tingkat diameter ($D = \sqrt{D_1 D_2}$)

Selanjutnya berdasarkan harga satuan toleransi i , maka besarnya toleransi standar dapat dihitung sesuai dengan kualitasnya mulai dari 5 sampai 16 sebagai berikut :

Kua-litas	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16
Harga	7i	10i	16i	25i	40i	64i	100i	160i	250i	400i	640i	1000i

Sedangkan untuk kualitas 01 sampai 1 dihitung dengan rumus sebagai berikut :

Kualitas	IT01	IT0	IT1
Harga dalam μm , sedang D dalam mm	0,3+0,008D	0,5+0,012D	0,8+0,020D

Untuk kualitas 2,3 dan 4 dicari dengan rumus sebagai berikut :

$$IT2 = \sqrt{IT1 \times IT3}$$

$$IT3 = \sqrt{IT1 \times IT5}$$

$$IT4 = \sqrt{IT3 \times IT5}$$

ISO 286 mengimplementasikan 20 tingkatan ketelitian untuk memenuhi keperluan industri yang berbeda yaitu :

- a. IT01, IT0, IT1, IT2, IT3, IT4, IT5, IT6. Untuk pembuatan gauges and alat-alat ukur.
- b. IT 5, IT6, IT7, IT8, I9, IT10, IT11, IT12. Untuk industri yang membuat komponen presisi dan umum.
- c. IT11, IT14, IT15, IT16. Untuk produk setengah jadi (*semi finished products*).
- d. IT16, IT17, IT18 . Untuk teknik struktur.

2. Penyimpangan fundamental (untuk diameter nominal sampai dengan 3150 mm).

- ❑ Penyimpangan fundamental adalah batas dari daerah toleransi yang paling dekat dengan garis nol.
- ❑ Penyimpangan fundamental ini diberi simbol huruf dihitung menggunakan rumus-rumus dengan harga D sebagai variabel utamanya.

Tabel 15.2. Penyimpangan fundamental sampai dengan ukuran 315.

	Ukuran Nominal (mm)/D										
Dari	1	3	6	10	18	30	50	80	120	180	250
sampai	3	6	10	18	30	50	80	120	180	250	315
Tingkatan IT	Penyimpangan (dalam μm)										
1	0.8	1	1	1.2	1.5	1.5	2	2.5	3.5	4.5	6
2	1.2	1.5	1.5	2	2.5	2.5	3	4	5	7	8
3	2	2.5	2.5	3	4	4	5	6	8	10	12
4	3	4	4	5	6	7	8	10	12	14	16
5	4	5	6	8	9	11	13	15	18	20	23
6	6	8	9	11	13	16	19	22	25	29	32
7	10	12	15	18	21	25	30	35	40	46	52
8	14	18	22	27	33	39	46	54	63	72	81
9	25	30	36	43	52	62	74	87	100	115	130
10	40	48	58	70	84	100	120	140	160	185	210
11	60	75	90	110	130	160	190	220	250	290	320
12	100	120	150	180	210	250	300	350	400	460	520
13	140	180	220	270	330	390	460	540	630	720	810
14	250	300	360	430	520	620	740	870	1000	1150	1300

Tabel penyimpangan fundamental untuk ukuran yang lain dapat dilihat pada Lampiran.

Proses pemesinan yang dilakukan ada hubungannya dengan tingkatan toleransi, sehingga dalam menetapkan besarnya angka kualitas bisa disesuaikan dengan proses pemesinannya. Tingkatan IT yang mungkin

bisa dicapai untuk beberapa macam proses dapat dilihat pada Tabel 15.3.

Tabel 15.3. Hubungan proses pemesinan dengan tingkatan IT yang bisa dicapai.

Tingkatan IT	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
<i>Lapping</i>															
<i>Honing</i>															
<i>Superfinishing</i>															
<i>Cylindrical grinding</i>															
<i>Diamond turning</i>															
<i>Plan grinding</i>															
<i>Broaching</i>															
<i>Reaming</i>															
<i>Boring, Turning</i>															
<i>Sawing</i>															
<i>Milling</i>															
<i>Planing, Shaping</i>															
<i>Extruding</i>															
<i>Cold Rolling, Drawing</i>															
<i>Drilling</i>															
<i>Die Casting</i>															
<i>Forging</i>															
<i>Sand Casting</i>															
<i>Hot rolling, Flame cutting</i>															

DAFTAR PUSTAKA

- Alois SCHONMETZ. (1985). *Pengerjaan Logam Dengan Perkakas Tangan dan Mesin Sederhana*. Bandung: Angkasa.
- Avrutin.S, tt, *Fundamentals of Milling Practice*, Foreign Languages Publishing House, Moscow.
- B.H. Amstead, Bambang Priambodo. (1995). *Teknologi Mekanik Jilid 2*. Jakarta: Erlangga
- Boothroyd, Geoffrey. (1981). *Fundamentals of Metal Machining and Machine Tools*. Singapore: Mc Graw-Hill Book Co.
- Bridgeport, 1977, *Bridgeport Textron , Health and Safety at Work Act, Instalation, Operation, Lubrication, Maintenance*, Bridgeport Mahines Devision of Textron Limited PO Box 22 Forest Road Leicester LE5 0FJ : England.
- Courtesy EDM Tech. Manual, 2007, EDM ProcessMecanism,Poco Graphite Inc.
- C. van Terheijden, Harun. (1994). *Alat-alat Perkakas 3*. Bandung: Binacipta.
- Diktat Praktikum Proses Pemesinan II (CNC TU2A dan CNC TU3A) Jurusan Pendidikan Teknik Mesin, Universitas Negeri Yogyakarta, 2005.
- EMCO, 1980, *A Center Lathe*, EMCO Maier+Co. Postfach 131.A-5400 Hallein: Austria.
- EMCO, 1980. *Maximat Super 11 Installation Manual, Instructions and Operating Manual, Maintenance Manual*, EMCO Maier+Co. Postfach 131.A-5400 Hallein: Austria.
- EMCO, 1991, *Teacher's Handbook CNC TU-2A*, Emco Maier Ges.m.b.H,Hallein, Austria.
- EMCO, 1991, *Teacher's Handbook CNC TU-3A*, Emco Maier Ges.m.b.H,Hallein, Austria.
- EMCO, 1991, *Teacher's Handbook Compact 5 PC*, Emco Maier Ges.m.b.H,Hallein, Austria.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Standar ISO untuk pengkodean pemegang pahat sisipan/
tool holders.

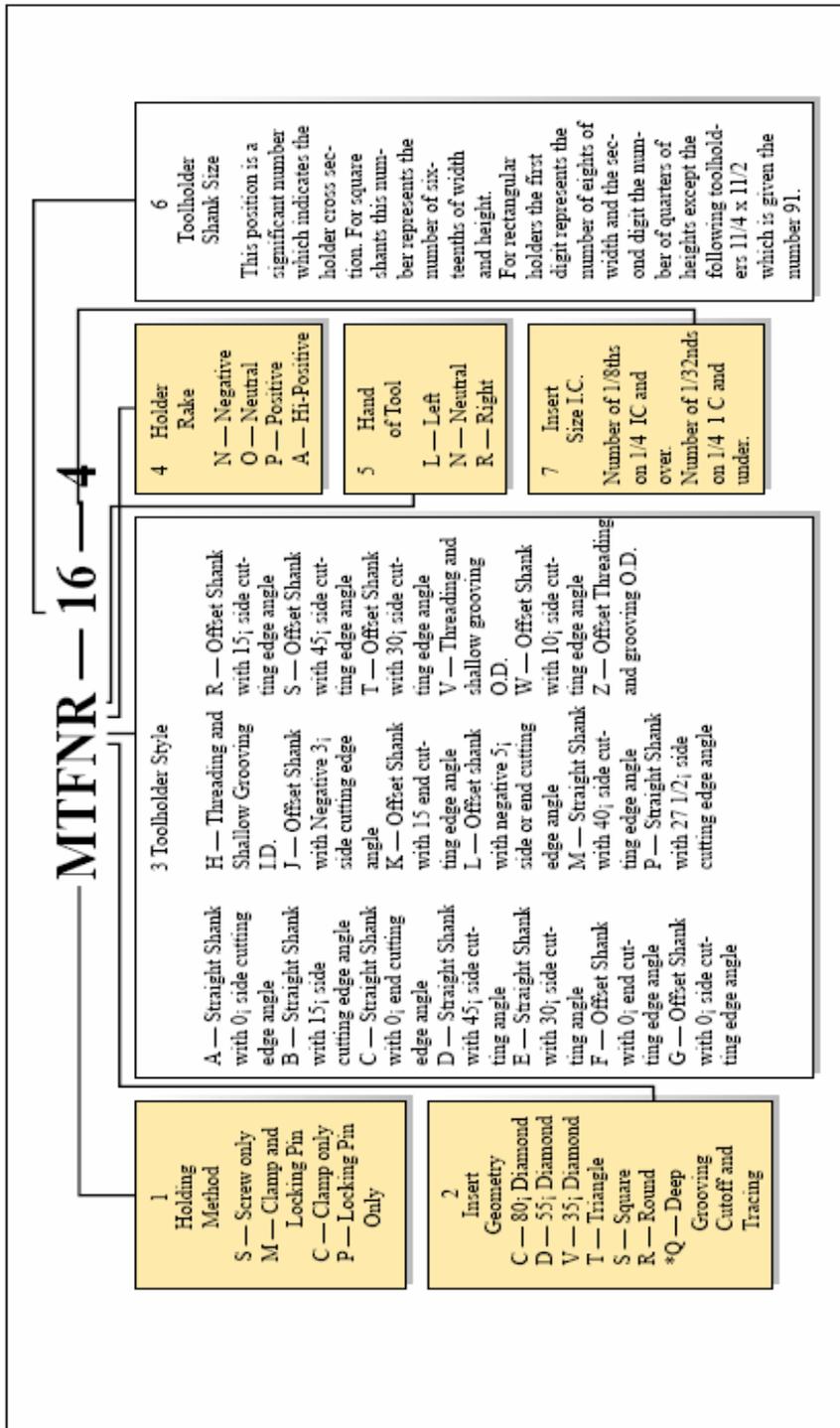


FIGURE 2.35 Standard identification system for turning toolholders. (Courtesy Cemented Carbide Producers Association)

Lampiran 1. Standar ISO untuk pengkodean pemegang pahat sisipan, (Lanjutan).

Grooving - Code keys



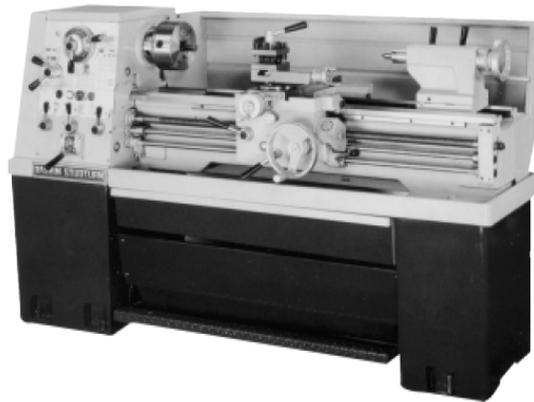
Toolholders



C	E	R		- 100 -	6 -	14	Q
1	2	3	4	5	6	7	8

<p>1. Insert clamping</p> <p>C</p> <p>Clamp</p>	<p>2. External/Internal</p> <p>E = External EA = External axial N = Internal</p>	<p>3. Version</p> <p>L</p> <p>R</p> <p>X = Special</p>
<p>4. Shank Definition</p> <p>00 = Boring bars = Square shanks</p>	<p>7. Cutting edge length</p> <p>Cutting edge length = 9,525 mm (.375") Symbol = D9</p>	
<p>5. Shank width/diameter</p> <p>For boring bars diameter in inches. For square shanks height in inches 075 = .75" 100 = 1.00" etc.</p>	<p>8. Other information</p> <p>Q = Qualified</p>	
<p>6. Tool length</p> <p>eg. 3 = 3" 4 = 4" 5 = 5" etc.</p>		

Lampiran 2. Beberapa macam Mesin Bubut konvensional dan CNC.



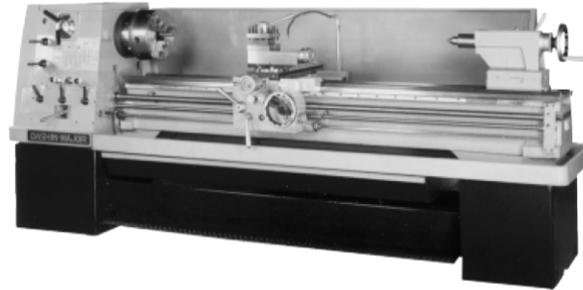
Sumber : Katalog PT. Kawan Lama

Specifications:

SERIES :		STUDTURN	
MODELS		750 (1430)	1000 (1440)
Centre height		178(7)	
Swing over height		360(14)	
Swing over cross slide		215(85/8)	
Swing in Gap		560(22)	
Distance between centres		750 (30)	1000 (40)
Gap width in front of faceplate		150(6)	
Spindle nose (camlock)		D-1-5	
Spindle bore		42(15/8)	
Spindle	Numbers	8	16-OPTIONAL
	Ranges (RPM)	70-20000	35-2000
Varispeed	Gear steps	2	
	Ranges (RPM)	20-2500	
Spindle nose bush		M.T. No. 5	
Spindle centre		M.T. No. 3	
Tailstock centre		M.T. No. 3	
Main Motor	Standard	5HP(3.75(KW))	
	Optional	5/3HP(3.75/2.25KW)	
	Varispeed	4HP(3.0KW)	

The above specification subject to change without prior notice.

Lampiran 2. Beberapa macam Mesin Bubut, (Lanjutan).



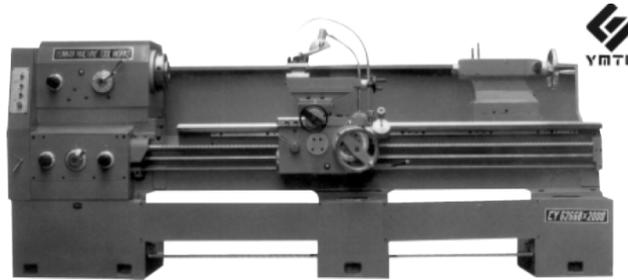
Sumber : Katalog PT. Kawan Lama

Specifications:

SERIES :	MAJOR 1800	MAJOR 2000	MAJOR 2200
MODELS	1860, 1880	2060, 2080	2260, 2280
	18100, 18120	20100, 20120	22100, 22120
Centre height	228(9)	254(10)	280(11)
Swing over height	460(18)	510(20)	560(22)
Swing over cross slide	290(11 1/2)	340(13 1/2)	90(15 1/2)
Swing in Gap	710(28)	760(30)	810(32)
Distance between centres	1860, 2060, 2260... 1500(60), 1880, 2080, 2280... 2000(80) 18100, 20100, 22100... 2500(100), 18120, 20120, 22120... 3000(120)		
Gap width in front of faceplate	230(9)		
Spindle nose (camlock)	D-1-8		
Spindle bore	80(3 1/8)		
Spindle	Numbers	16	
	Ranges (RPM)	20-1600	
Varispeed	Gear steps	2 or 4	
	Ranges (RPM)	16-1800	
Spindle nose bush	M.T. No.7		
Spindle centre	M.T. No.5		
Tailstock centre	M.T. No.5		
Main Motor	Standard	10HP(7.5KW)	
	Optional	12HP(9.375(KW))	
	Varispeed	7.5HP(5.5KW)	

The above specification subject to change without prior notice.

Lampiran 2. Beberapa macam Mesin Bubut, (Lanjutan).



Specifications	Type					
	CY6150B	CY6250B	CY6163B	CY6263B	CY6166B	CY6266B
Swing over bed	Ø 500mm (20")		Ø 630mm (25")		Ø 660mm (26")	
Swing over cross slide	Ø 300mm (12")		Ø 350mm (13.8")		Ø 380mm (15")	
Swing in gap		Ø 710mm (28")		Ø 800mm (31.5")		Ø 830mm (32.7")
Length of gap			240mm			
Length of workpiece (max.) *		750mm (30") 2500mm (100")	1000mm (40") 3000mm (120")	1500mm (60") 4000mm (160")	2000mm (80") 5000mm (200")	
Spindle nose to ISO 702/11			D8 D11			
Spindle thru-bore diameter			82mm (3.22")			
24 Steps spindle speeds			9 - 1600 r/min			
Max. main cutting edge			13700N (3080 lbf)			
Longitudinal feeds			0.028 - 6.43mm/rev (0.0011 - 0.25 in/rev)			
Transversal feeds			0.028 - 2.73mm/rev (0.0005 - 0.107 in/rev)			
48 steps Metric thread			0.5 - 224mm			
48 steps Inch thread			72 - 1/8 t/in			
42 steps Module thread			0.5 - 112mm			
45 steps Diametral pitch threads			56 - 1/4 DP			
Cross slide travel (max.)	320mm (12.6")		350mm (13.8")			
Top slide travel (max.)	145mm (5.7")		170mm (6.7")			
Longitudinal rapid travelling speed		50Hz - 4.5 m/min (15ft/min)	60Hz - 5.4 m/min (18ft/min)			
Transversal rapid travelling speed		50Hz - 1.9 m/min (6.2ft/min)	60Hz - 2.3 m/min (7.5ft/min)			
Sleeve travel diameter		75mm (2.95")				
Morse taper of sleeve bore		M5				
Sleeve travel (max.)		150mm (6")				
Main drive motor		7.5kw (10HP), 11kw (15HP), 15kw (20HP)				
Rapid travel motor		250 W (0.335HP), 1360 r/min				
Coolant pump motor		90 W (0.12HP), 25L/min (6.6 gal/min)				

* Gap not available to length of 4000mm (160"), 5000mm (200")

Lampiran 2. Beberapa macam Mesin Bubut, (Lanjutan).



Dual-turret turning

Puma TT-series turning centers feature upper and lower turrets, equal capacity opposing spindles, and high-speed, wraparound rectangular guideways. Twin turrets house a total of 24 tools, with live BMT65P tooling at any station. Quick-response servo drives reduce station-to-station times to 20sec. Left and right spindles are driven either by a 25hp or 35hp integral motor, generating speeds of 5,000rpm or 3,500rpm, respectively. Puma TT can also be specified as a twin turret, with programmable tailstock replacing the second spindle. IMTS BOOTH #A-8131; Doosan Infracore - Daewoo, www.rsleads.com/608tp-166

Twin-spindle turning

DVH250 i duo vertical pick-up turning center is designed for high-volume production applications with a work envelope of 11.8"x7.9" while only requiring 64.6-sq-ft of floor space. Designed to



machine parts up to 9.8" in diameter, it has a shuttle-type part feeder to ensure fast part loading times while axis traverse rates are 1,772ipm in the X direction and 1,181ipm in the Z direction. The DVH250 allows parallel production of two identical parts simultaneously or parallel production of two different parts. It can also be used to sequentially process a single part by moving it from spindle to spindle. IMTS BOOTH #A-8218 & A-8232; HESSAPP, www.rsleads.com/608tp-164

Sumber : IMTS 2006 (www.toolingandproduction.com)



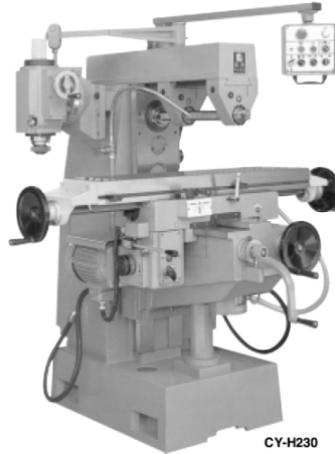
CNC lathes

TUR1350MN heavy-duty CNC lathes offer 45", 53", or 61" swing, 40" wide bed way, Siemens 810D manual turn or Fanuc 18T manual guide controls,

spindle speeds up to 900rpm, 5.5" to 17.7" spindle bores, load capacity of up to 15 tons, and a choice of tooling systems. For added versatility, the heavy-duty tailstock features a 7.9" dia quill equipped with built-in live center. IMTS BOOTH #A-8045; Toolmex Machinery, www.rsleads.com/608tp-179

Lampiran 3. Beberapa macam Mesin Frais.

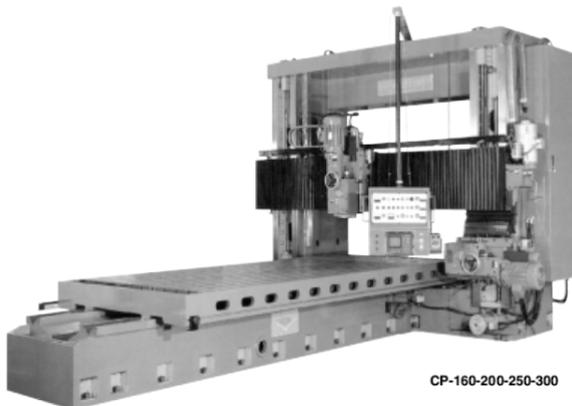
VERTICAL HORIZONTAL TURRET MILLING



CY-H230

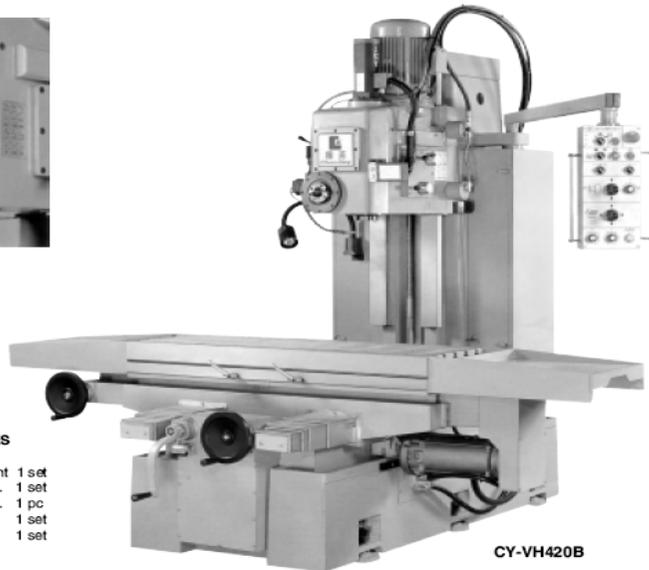
Lampiran 3. Beberapa macam Mesin Frais konvensional dan CNC,
(Lanjutan).

HEAVY DUTY DOUBLE HOUSING PLAIN MILL



CP-160-200-250-300

BED TYPE VERTICAL MILLING - CY-VH420B



STANDARD ACCESSORIES

Complete Coolant Equipment	1 set
Adjusting Tools	1 set
Tool box	1 pc
To protect bed cover	1 set
Working light	1 set

CY-VH420B

CNC VERTICAL MILLING

CHEVALIER.



MACHINE FEATURES

- Rigid, Honeycomb Ribbed Meehanite Castings
- Hardened and Ground Back Gears
- Turcite-B Laminated and Precisely Hand Scraped Slideways
- Variable Speed Head
- Hard Chromed Quill with Honed Quill-Housing
- Ground Ballscrew on X, Y & Z Axes (Z Axis Ballscrew only Available on 3-Axis Controlled Machine)
- Automatic Lube System with Alarm and Gauge Device
- Hardened and Ground Table, Knee and Saddle Guideways
- Square Column and Saddle Ways on H&R Type Machines
- Ballscrew Mounted with 2 pcs of Special Ballscrew Support Bearings (P4 Grade)
- $\pm 0.005\text{mm}$ ($\pm 0.0002''$) Repeatability
- $\pm 0.012\text{mm}$ ($\pm 0.0005''$) Positioning Accuracy
- 5000mm/min (200 IPM) Rapid Travel
- 0-1000mm/min (0-40 IPM) Feed Rate
- Servo Drives on all CNC Controlled Axes

STANDARD ACCESSORIES

1. Tool and Tool Box
2. Rubber way covers (front and rear)
3. Tool Table (63R with a tool shelf at each end of the table)

Sumber : Katalog PT. Kawan Lama

Large-capacity HMC

Matsuura H. Plus-405 large-capacity HMC is for high-speed milling and contouring. It has feed rates and rapid traverses to 1,968ipm on all axes, accelerations to 1g, and a high-speed pallet changer. A maximum work envelope of 25.59"x29.50", a maximum load capacity of 881lb, heavy-duty spindles, and a 31-station ATC provide versatility to handle a wide range of production requirements. Standard with a 12,000rpm BT40 taper spindle, it delivers high torque at low speeds and 30hp at high speeds. IMTS BOOTH #A-8517 & D-4114; Methods Machine Tools Inc., www.rsleads.com/608tp-163



Lampiran 3. Beberapa macam Mesin Frais, (Lanjutan).



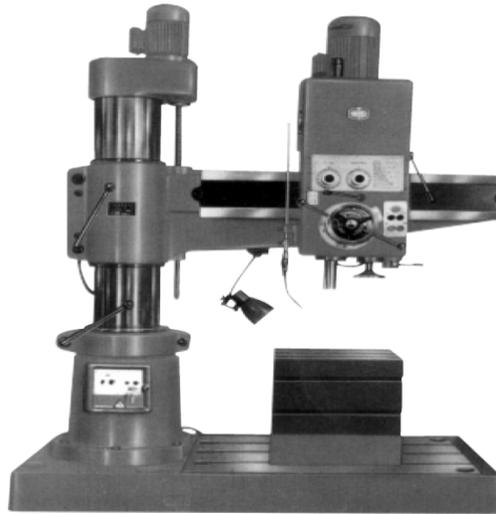
40-pocket ATC HMC

HMC-400, with standard coolant-thru 10,000rpm, 15hp spindle, and X, Y, Z axis travels of 24"x22"x22" with ± 0.0003 " accuracy is ideal for machining small- to medium-sized parts and materials from aluminum to cast iron and steels. The automatic pallet changer with twin 400mm² pallets can handle up to 880lb per pallet and supports continuous, uninterrupted production. Standard B-axis rotary table with ± 7 arc sec accuracy delivers full fourth axis contouring. Rapid travel rates are up to 1,200ipm. IMTS BOOTH #A-8218 & A-8232; Fadal Machining Centers, www.rsleads.com/608tp-153

Sumber : IMTS 2006 (www.toolingandproduction.com)

Lampiran 4. Beberapa macam Mesin Gurdi (*Drilling*) konvensional dan CNC.

RADIAL DRILLING MACHINE - TYPE Z3020 x 10



Mesin Bor Radial

Lampiran 4. Beberapa macam Mesin Gurdi (*Drilling*), (Lanjutan).



CNC DRILLING AND TAPPING MACHINE

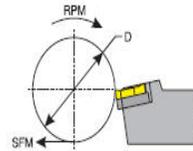


TSV-C35, 10/12 (Opt.) BT-30 tools
High speed spindle 10,000 rpm/4.4kW

Mesin Gurdi manual dan Mesin Gurdi & Tap CNC

Lampiran 5. Proses pembuatan ulir dan tabel.

Dia. of Work	Inches	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	2.0
	Metric	5	10	15	20	25	30	50
Surface Speed	Revolutions Per Minute - (RPM)							
ft/min.	m/min.							
49	15	955	477	318	239	191	159	95
66	20	1273	637	424	318	255	212	127
82	25	1592	796	531	398	318	265	159
98	30	1910	955	637	477	382	318	191
115	35	2228	1114	743	557	446	371	223
131	40	2546	1273	849	637	509	424	255
148	45	2865	1432	955	716	573	477	286
164	50	3183	1592	1061	796	637	531	318
246	75	4775	2387	1592	1194	955	796	477
328	100	6366	3183	2122	1592	1273	1061	637
492	150	9549	4775	3183	2387	1910	1592	955
656	200	12732	6366	4244	3183	2546	2122	1273



(SFM) - Surface Feet per Minute

Formula to calculate SFM:

$$SFM = \frac{\pi \times D \times RPM}{12}$$

Example to calculate SFM:

$$SFM = \frac{\pi \times 2.0 \times 157}{12} = 82 \text{ SFM}$$

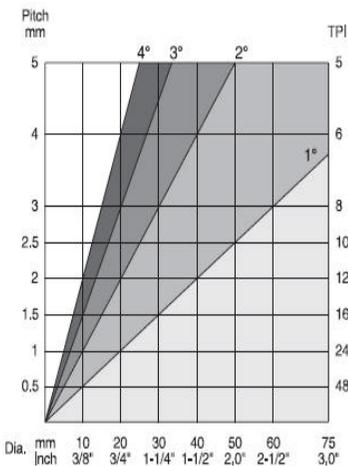
(RPM) - Revolutions per Minute

Formula to calculate RPM:

$$RPM = \frac{12 \times SFM}{\pi \times D}$$

Example to calculate RPM:

$$RPM = \frac{12 \times 82}{\pi \times 2.0} = 157 \text{ RPM}$$



Insert Size	Normal Threading		Reverse Threading		Insert Screw	Torx Key
	Seat	Helix Angle	Seat	Helix Angle		
11	No Seat	1-1/2°	No Seat	- 1-1/2°	TS-11	T-8
16	GX-16-1	1-1/2°	GX-16-98	- 1-1/2°	TS-16	T-10
22	NX-22-1	1-1/2°	NX-22-98	- 1-1/2°	TS-22	T-20
27	VX-27-1	1-1/2°	VX-27-98	- 1-1/2°	TS-27	T-25

Thread Helix Angle Formula

$$\tan \lambda = \frac{P}{\pi \times D}$$

$$P = \frac{1.0}{TPI}$$

Example:

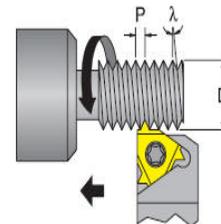
What is the helix angle of a 12 TPI thread with a major diameter of 7/8"?

$$P = \frac{1.0}{12 \text{ TPI}} = .0833$$

$$\tan \lambda = \frac{.0833}{\pi \times .875} = .0303$$

$$\lambda = \text{Arctan} (.0303) = 1.7355^\circ$$

Round to the nearest 1/2°
λ = 1-1/2°



P = Pitch
D = Major Dia.
TPI = Threads Per Inch

Lampiran 6. Besarnya toleransi fundamental dari a sampai zc.

Fundamental Deviatons a to j

Over	Up -to (Incl.)	Fundamental Deviation (es)												(ei)		
		a	b	c	cd	d	e	ef	f	fg	g	h	js	j5	j6	j7
	3	-270	-140	-60	-34	-20	-14	-10	-6	-4	-2	0	ITn/2	-2	-2	-4
3	6	-270	-140	-70	-46	-30	-20	-14	-10	-6	-4	0	ITn/2	-2	-2	-4
6	10	-280	-150	-80	-56	-40	-25	-18	-13	-8	-5	0	ITn/2	-2	-2	-5
10	14	-290	-150	-95		-50	-32		-16		-6	0	ITn/2	-3	-3	-6
14	18	-290	-150	-95		-50	-32		-16		-6	0	ITn/2	-3	-3	-6
18	24	-300	-160	-110		-65	-40		-20		-7	0	ITn/2	-3	-3	-8
24	30	-300	-160	-110		-65	-40		-20		-7	0	ITn/2	-3	-3	-8
30	40	-310	-170	-120		-80	-50		-25		-9	0	ITn/2	-4	-4	-10
40	50	-320	-180	-130		-80	-50		-25		-9	0	ITn/2	-4	-4	-10
50	65	-340	-190	-140		-100	-60		-30		-10	0	ITn/2	-5	-5	-12
65	80	-360	-200	-150		-100	-60		-30		-10	0	ITn/2	-7	-7	-12
80	100	-380	-220	-170		-120	-72		-36		-12	0	ITn/2	-9	-9	-15
100	120	-410	-240	-180		-120	-72		-36		-12	0	ITn/2	-9	-9	-15
120	140	-460	-260	-200		-145	-85		-43		-14	0	ITn/2	-11	-11	-18
140	160	-520	-280	-210		-145	-85		-43		-14	0	ITn/2	-11	-11	-18
160	180	-580	-310	-230		-145	-85		-43		-14	0	ITn/2	-11	-11	-18
180	200	-660	-340	-240		-170	-100		-50		-15	0	ITn/2	-13	-13	-21
200	225	-740	-380	-260		-170	-100		-50		-15	0	ITn/2	-13	-13	-21
225	250	-820	-420	-280		-170	-100		-50		-15	0	ITn/2	-13	-13	-21
250	280	-920	-480	-300		-190	-110		-56		-17	0	ITn/2	-16	-16	-26
280	315	-1050	-540	-330		-190	-110		-56		-17	0	ITn/2	-16	-16	-26
315	355	-1200	-600	-360		-210	-125		-62		-18	0	ITn/2	-18	-18	-28
355	400	-1350	-680	-400		-210	-125		-62		-18	0	ITn/2	-18	-18	-28
400	450	-1500	-760	-440		-230	-135		-68		-20	0	ITn/2	-20	-20	-32
450	500	-1650	-840	-480		-230	-135		-68		-20	0	ITn/2	-20	-20	-32
Over	Up -to (Incl.)	Fundamental Deviation (es)												(ei)		
		a	b	c	cd	d	e	ef	f	fg	g	h	js	j5	j6	j7

**Lampiran 6. Besarnya toleransi fundamental dari a sampai zc,
(Lanjutan).**

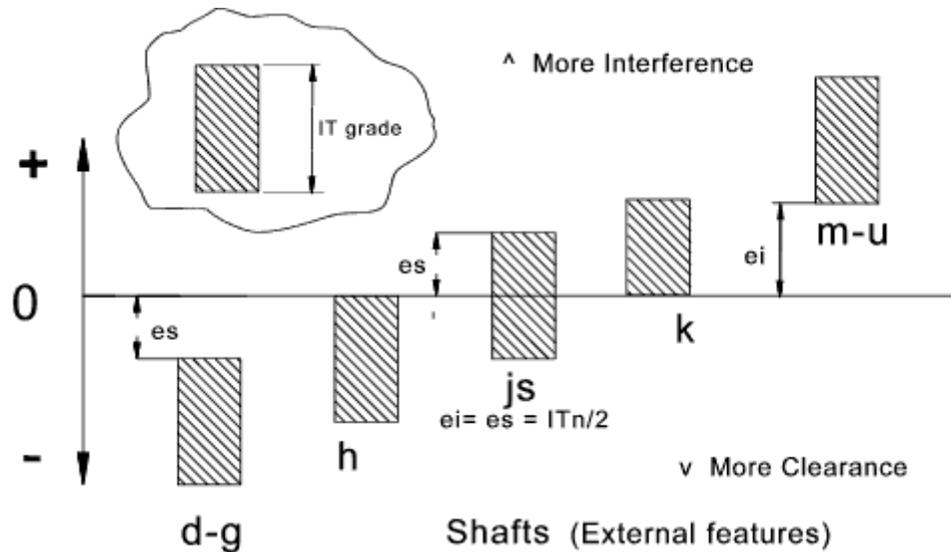
Fundamental Deviatons k to zc

Over	Up to (Incl.)	Fundamental Deviation (ei)															
		k4- k7 (inc)	other k	m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z	za	zb	zc
	3	0	0	2	4	6	10	14		18		20		26	32	40	60
3	6	1	0	4	8	12	15	19		23		28		35	42	50	80
6	10	1	0	6	10	15	19	23		28		34		42	52	67	97
10	14	1	0	7	12	18	23	28		33		40		50	64	90	130
14	18	1	0	7	12	18	23	28		33	39	45		60	77	108	150
18	24	2	0	8	15	22	28	35		41	47	54	63	73	98	136	188
24	30	2	0	8	15	22	28	35	41	48	55	64	75	88	118	160	218
30	40	2	0	9	17	26	34	43	48	60	68	80	94	112	148	200	274
40	50	2	0	9	17	26	34	43	54	70	81	97	114	136	180	242	325
50	65	2	0	11	20	32	41	53	66	87	102	122	144	172	226	300	405
65	80	2	0	11	20	32	43	59	75	102	120	146	174	210	274	360	480
80	100	3	0	13	23	37	51	71	91	124	146	178	214	258	335	445	585
100	120	3	0	13	23	37	54	79	104	144	172	210	254	310	400	525	690
120	140	3	0	15	27	43	63	92	122	170	202	248	300	365	470	620	800
140	160	3	0	15	27	43	65	100	134	190	228	280	340	415	535	700	900
160	180	3	0	15	27	43	68	108	146	210	252	310	380	465	600	780	1000
180	200	4	0	17	31	50	77	122	166	236	284	350	425	520	670	880	1150
200	225	4	0	17	31	50	80	130	180	258	310	385	470	575	740	960	1250
225	250	4	0	17	31	50	84	140	196	284	340	425	520	640	820	1050	1350
250	280	4	0	20	34	56	94	158	218	315	385	475	580	710	920	1200	1550
280	315	4	0	20	34	56	98	170	240	350	425	525	650	790	1000	1300	1700
315	355	4	0	21	37	62	108	190	268	390	475	590	730	900	1150	1500	1900
355	400	4	0	21	37	62	114	208	294	435	530	660	820	1000	1300	1650	2100
400	450	5	0	23	40	68	126	232	330	490	595	740	920	1100	1450	1850	2400
450	500	5	0	23	40	68	132	252	360	540	660	820	1000	1250	1600	2100	2600
Over	Up to (Incl.)	Fundamental Deviation (ei)															
		k4- k7 (inc)	other k	m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z	za	zb	zc

Lampiran 7.

ISO Shaft Limit Nearest Zero (Fundamental Deviation), shaft size 500-3150mm

Deviations in $\mu\text{metres} = (m^{-6})$



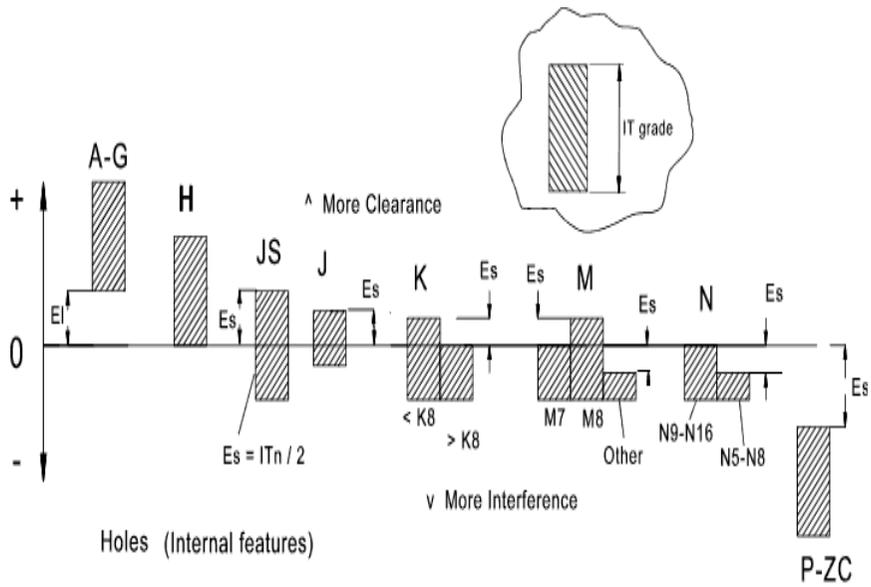
Lampiran 7. (Lanjutan).

Fundamental Deviatons d to u

Over	Up -to (Incl.)	Fundamental Deviation (es)								Fundamental Deviation (ei)							
		d	e	ef	f	fg	g	h	js	k	m	n	p	r	s	t	u
500	560	-260	-145		-76		-22	0	ITn/2	0	26	44	78	150	280	400	600
560	630	-260	-145		-76		-22	0	ITn/2	0	26	44	78	155	310	450	660
630	710	-290	-160		-80		-24	0	ITn/2	0	30	50	88	175	340	500	740
710	800	-290	-160		-80		-24	0	ITn/2	0	30	50	88	185	380	560	840
800	900	-320	-170		-86		-26	0	ITn/2	0	34	56	100	210	430	620	940
900	1000	-320	-170		-86		-26	0	ITn/2	0	34	56	100	220	470	680	1050
1000	1120	-350	-195		-98		-28	0	ITn/2	0	40	66	120	250	520	780	1150
1120	1250	-350	-195		-98		-28	0	ITn/2	0	40	66	120	260	580	840	1300
1250	1400	-390	-220		-110		-30	0	ITn/2	0	48	78	140	300	640	960	1450
1400	1600	-390	-220		-110		-30	0	ITn/2	0	48	78	140	330	720	1050	1600
1600	1800	-430	-240		-120		-32	0	ITn/2	0	58	92	170	370	820	1200	1850
1800	2000	-430	-240		-120		-32	0	ITn/2	0	58	92	170	400	920	1350	2000
2000	2240	-480	-260		-130		-34	0	ITn/2	0	68	110	195	440	1000	1500	2300
2240	2500	-480	-260		-130		-34	0	ITn/2	0	68	110	195	460	1100	1650	2500
2500	2800	-520	-290		-145		-38	0	ITn/2	0	76	135	240	550	1250	1900	2900
2800	3150	-520	-290		-145		-38	0	ITn/2	0	76	135	240	580	1400	2100	3200
Over	Up -to (Incl.)	Fundamental Deviation (es)								Fundamental Deviation (ei)							
		d	e	ef	f	fg	g	h	js	k	m	n	p	r	s	t	u

Lampiran 8.

ISO Hole Nearest Dim to Zero (Fundamental Deviation). Holes sizes 0-400mm.



Deviations in $\mu\text{metres} = (\text{m}^{-6})$

over	Up to (Incl.)	Fundamental Deviation (EI)											Fundamental Deviation (Es)						
		A	B	C	CD	D	E	EF	F	FG	G	H	JS	J6	J7	J8	K7	K8	>K8
	3	270	140	60	34	20	14	10	6	4	2	0	IT/2	2	4	6	0+	0	0
3	6	270	140	70	46	30	20	14	10	6	4	0	IT/2	5	6	10	3	5	
6	10	280	150	80	56	40	25	18	13	8	5	0	IT/2	5	8	12	5	6	
10	14	290	150	95		50	32		16		6	0	IT/2	6	10	15	6	8	
14	18	290	150	95		50	32		16		6	0	IT/2	6	10	15	6	8	
18	24	300	160	110		65	40		20		7	0	IT/2	8	12	20	6	10	
24	30	300	160	110		65	40		20		7	0	IT/2	8	12	20	6	10	
30	40	310	170	120		80	50		25		9	0	IT/2	10	14	24	7	12	
40	50	320	180	130		80	50		25		9	0	IT/2	10	14	24	7	12	
50	65	340	190	140		100	60		30		10	0	IT/2	13	18	28	9	14	
65	80	360	200	150		100	60		30		10	0	IT/2	13	18	28	9	14	
80	100	380	220	170		120	72		36		12	0	IT/2	16	22	34	10	16	
100	120	410	240	180		120	72		36		12	0	IT/2	16	22	34	10	16	
120	140	460	260	200		145	85		43		14	0	IT/2	18	26	41	12	20	
140	160	520	280	210		145	85		43		14	0	IT/2	18	26	41	12	20	
160	180	580	310	230		145	85		43		14	0	IT/2	18	26	41	12	20	
180	200	660	340	240		170	100		50		15	0	IT/2	22	30	47	13	22	
200	225	740	380	260		170	100		50		15	0	IT/2	22	30	47	13	22	
225	250	820	420	280		170	100		50		15	0	IT/2	22	30	47	13	22	
250	280	920	480	300		190	110		56		17	0	IT/2	25	36	55	16	25	
280	315	1050	540	330		190	110		56		17	0	IT/2	25	36	55	16	25	
315	355	1200	600	360		210	125		62		18	0	IT/2	29	39	60	17	28	
355	400	1350	680	400		210	125		62		18	0	IT/2	29	39	60	17	28	
400	450	1500	760	440		230	135		68		20	0	IT/2	33	43	66	18	29	
450	500	1650	840	480		230	135		68		20	0	IT/2	33	43	66	18	29	
over	Up to (Incl.)	Fundamental Deviation (EI)											Fundamental Deviation (Es)						
		A	B	C	CD	D	E	EF	F	FG	G	H	JS	J6	J7	J8	K7	K8	>K8

Important Note: For Fundamental deviations P-ZC ITn's > 7 only applies
 . For ITs 6 & 7 refer to table below..

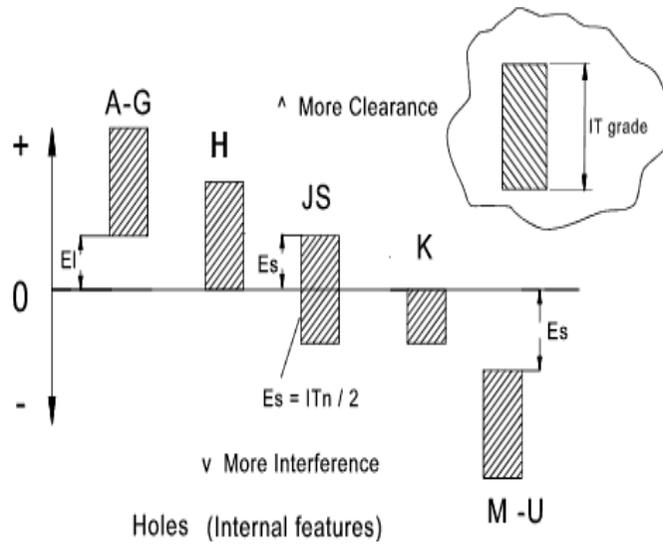
over	Up to (Incl.)	Fundamental Deviation (Es)																	
		M7	M8	>M8	N7	N8	>N8	P	R	S	T	U	V	X	Y	Z	ZA	ZB	ZC
	3	-2	-2	-2	-5	-4	-4	-6	-10	-14		-18		-20		-26	-32	-40	-60
3	6	0	2	-4	-4	-2	0	-12	-15	-19		-23		-28		-35	-42	-50	-80
6	10	0	1	-6	-4	-3	0	-15	-19	-23		-28		-34		-42	-52	-67	-97
10	14	0	2	-7	-5	-3	0	-18	-23	-28		-33		-40		-50	-64	-90	-130
14	18	1	5	-7	-5	-3	0	-18	-23	-28		-33	-39	-45		-60	-77	-108	-150
18	24	0	4	-8	-7	-3	0	-22	-28	-35		-41	-47	-54	-63	-73	-98	-136	-188
24	30	1	6	-8	-7	-3	0	-22	-28	-35	-41	-48	-55	-64	-75	-88	-118	-160	-218
30	40	0	5	-9	-8	-3	0	-26	-34	-43	-48	-60	-68	-80	-94	-112	-148	-200	-274
40	50	2	7	-9	-8	-3	0	-26	-34	-43	-54	-70	-81	-97	-114	-136	-180	-242	-325
50	65	0	5	-11	-9	-4	0	-32	-41	-53	-66	-87	-102	-122	-144	-172	-226	-300	-405
65	80	2	8	-11	-9	-4	0	-32	-43	-59	-75	-102	-120	-146	-174	-210	-274	-360	-490
80	100	0	6	-13	-10	-4	0	-37	-51	-71	-91	-124	-146	-178	-214	-258	-335	-445	-585
100	120	2	10	-13	-10	-4	0	-37	-54	-79	-104	-144	-172	-210	-254	-310	-400	-525	-690
120	140	0	8	-15	-12	-4	0	-43	-63	-92	-122	-170	-202	-248	-300	-365	-470	-620	-800
140	160	0	8	-15	-12	-4	0	-43	-65	-100	-134	-190	-228	-280	-340	-415	-535	-700	-900
160	180	2	11	-15	-12	-4	0	-43	-68	-108	-146	-210	-252	-310	-380	-465	-600	-780	-1000
180	200	0	9	-17	-14	-5	0	-50	-77	-122	-166	-236	-284	-340	-425	-520	-670	-880	-1150
200	225	0	9	-17	-14	-5	0	-50	-80	-130	-180	-258	-310	-385	-470	-575	-740	-960	-1250
225	250	3	12	-17	-14	-5	0	-50	-84	-140	-196	-284	-340	-425	-520	-640	-820	-1050	-1350
250	280	0	9	-20	-14	-5	0	-56	-94	-158	-218	-315	-385	-475	-580	-710	-920	-1200	-1550
280	315	1	12	-20	-14	-5	0	-56	-98	-170	-240	-350	-425	-525	-650	-790	-1000	-1300	-1700
315	355	0	11	-21	-16	-5	0	-62	-108	-190	-268	-390	-475	-590	-730	-900	-1150	-1500	-1900
355	400	2	13	-21	-16	-5	0	-62	-114	-208	-294	-435	-530	-660	-820	-1000	-1300	-1650	-2100
400	450	48	59	-23	-17	-6	0	-68	-126	-232	-330	-490	-595	-740	-920	-1100	-1450	-1850	-2400
450	500	25	25	-23	-17	-6	0	-68	-132	-252	-360	-540	-660	-820	-1000	-1250	-1600	-2100	-2600
over	Up to (Incl.)	Fundamental Deviation (Es)																	
		M7	M8	>M8	N7	N8	>N8	P	R	S	T	U	V	X	Y	Z	ZA	ZB	ZC

Important Note: For Fundamental deviations (P to Z) For ITn = 6 & 7 refer to table below..

over	Up to (Incl.)	Fundamental Deviation (Es)																	
		P7	P7	R6	R7	S6	S7	T6	T7	U6	U7	V6	V7	X6	X7	Y6	Y7	Z6	Z7
	3	-6	-6	-10	-10	-14	-14			-18	-18			-20	-20			-26	-26
3	6	-9	-8	-12	-11	-16	-15			-20	-19			-25	-24			-32	-31
6	10	-12	-9	-16	-13	-20	-17			-25	-22			-31	-28			-39	-36
10	14	-15	-11	-20	-16	-25	-21			-30	-26			-37	-33			-47	-43
14	18	-15	-11	-20	-16	-25	-21			-30	-26	-36	-32	-42	-38			-57	-53
18	24	-18	-14	-24	-20	-31	-27			-37	-33	-43	-39	-50	-46	-59	-55	-69	-65
24	30	-18	-14	-24	-20	-31	-27	-37	-33	-44	-40	-51	-47	-60	-56	-71	-67	-84	-80
30	40	-21	-17	-29	-25	-38	-34	-43	-39	-55	-51	-63	-59	-75	-71	-89	-85	-107	-103
40	50	-21	-17	-29	-25	-38	-34	-49	-45	-65	-61	-76	-72	-92	-88	-109	-105	-131	-127
50	65	-26	-21	-35	-30	-47	-42	-60	-55	-81	-76	-96	-91	-116	-111	-138	-133	-166	-161
65	80	-26	-21	-37	-32	-53	-48	-69	-64	-96	-91	-114	-109	-140	-135	-168	-163	-204	-199
80	100	-30	-24	-44	-38	-64	-58	-84	-78	-117	-111	-139	-133	-171	-165	-207	-201	-251	-245
100	120	-30	-24	-47	-41	-72	-66	-97	-91	-137	-131	-165	-159	-203	-197	-247	-241	-303	-297
120	140	-36	-28	-56	-48	-85	-77	-115	-107	-163	-155	-195	-187	-241	-233	-293	-285	-358	-350
140	160	-36	-28	-58	-50	-93	-85	-127	-119	-183	-175	-221	-213	-273	-265	-333	-325	-408	-400
160	180	-36	-28	-61	-53	-101	-93	-139	-131	-203	-195	-245	-237	-303	-295	-373	-365	-458	-450
180	200	-41	-33	-68	-60	-113	-105	-157	-149	-227	-219	-275	-267	-331	-323	-416	-408	-511	-503
200	225	-41	-33	-71	-63	-121	-113	-171	-163	-249	-241	-301	-293	-376	-368	-461	-453	-566	-558
225	250	-41	-33	-75	-67	-131	-123	-187	-179	-275	-267	-331	-323	-416	-408	-511	-503	-631	-623
250	280	-47	-36	-85	-74	-149	-138	-209	-198	-306	-295	-376	-365	-466	-455	-571	-560	-701	-690
280	315	-47	-36	-89	-78	-161	-150	-231	-220	-341	-330	-416	-405	-516	-505	-641	-630	-781	-770
315	355	-51	-41	-97	-87	-179	-169	-257	-247	-379	-369	-464	-454	-579	-569	-719	-709	-889	-879
355	400	-51	-41	-103	-93	-197	-187	-283	-273	-424	-414	-519	-509	-649	-639	-809	-799	-989	-979
400	450	-55	-45	-113	-103	-219	-209	-317	-307	-477	-467	-582	-572	-727	-717	-907	-897	-1087	-1077
450	500	-55	-45	-119	-109	-239	-229	-347	-337	-527	-517	-647	-637	-807	-797	-987	-977	-1237	-1227
over	Up to (Incl.)	Fundamental Deviation (Es)																	
		P7	P7	R6	R7	S6	S7	T6	T7	U6	U7	V6	V7	X6	X7	Y6	Y7	Z6	Z7

Lampiran 9.

ISO Hole Nearest Dim to Zero (Fundamental Deviation). Holes sizes 400-3150mm.



Deviations in $\mu\text{metres} = (\text{m}^{-6})$

over	Up to (Incl.)	Fundamental Deviation (EI)					Fundamental Deviation (Es)									
		D	E	F	G	H	JS	K	M	N	P	R	S	T	U	
500	560	260	145	76	22	0	IT/2	0	-26	-44	-78	-150	-280	-400	-600	
560	630	260	145	76	22	0	IT/2	0	-26	-44	-78	-155	-310	-450	-660	
630	710	290	160	80	24	0	IT/2	0	-30	-50	-88	-175	-340	-500	-740	
710	800	290	160	80	24	0	IT/2	0	-30	-50	-88	-185	-380	-560	-840	
800	900	320	170	86	26	0	IT/2	0	-34	-56	-100	-210	-430	-620	-940	
900	1000	320	170	86	26	0	IT/2	0	-34	-56	-100	-220	-470	-680	-1050	
1000	1120	350	195	98	28	0	IT/2	0	-40	-66	-120	-250	-520	-780	-1150	
1120	1250	350	195	98	28	0	IT/2	0	-40	-66	-120	-260	-580	-840	-1300	
1250	1400	390	220	110	30	0	IT/2	0	-48	-78	-140	-300	-640	-960	-1450	
1400	1600	390	220	110	30	0	IT/2	0	-48	-78	-140	-330	-720	-1050	-1600	
1600	1800	430	240	120	32	0	IT/2	0	-58	-92	-170	-370	-820	-1200	-1850	
1800	2000	430	240	120	32	0	IT/2	0	-58	-92	-170	-400	-920	-1350	-2000	
2000	2240	480	260	130	34	0	IT/2	0	-68	-110	-195	-440	-1000	-1500	-2300	
2240	2500	480	260	130	34	0	IT/2	0	-68	-110	-195	-460	-1100	-1650	-2500	
2500	2800	520	290	145	38	0	IT/2	0	-76	-135	-240	-550	-1250	-1900	-2900	
2800	3150	520	290	145	38	0	IT/2	0	-76	-135	-240	-580	-1400	-2100	-3200	
over	Up to (Incl.)	D	E	F	G	H	JS	K	M	N	P	R	S	T	U	
		Fundamental Deviation (EI)					Fundamental Deviation (Es)									

Lampiran 10. Penyimpangan fundamental dari ukuran 250 sampai dengan 3150 mm.

	Ukuran Nominal (mm)/D										
Dari	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500
sampai	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
IT	Penyimpangan (dalam μm)										
1	6	7	8	9	10	11	13	15	18	22	26
2	8	9	10	11	13	15	18	21	25	30	36
3	12	13	15	16	18	21	24	29	35	41	50
4	16	18	20	22	25	28	33	39	46	55	68
5	23	25	27	32	36	40	47	55	65	78	96
6	32	36	40	44	50	56	66	78	92	110	135
7	52	57	63	70	80	90	105	125	150	175	210
8	81	89	97	110	125	140	165	195	230	280	330
9	130	140	155	175	200	230	260	310	370	440	540
10	210	230	250	280	320	360	420	500	600	700	860
11	320	360	400	440	500	560	660	780	920	1100	1350
12	520	570	630	700	800	900	1050	1250	1500	1750	2100
13	810	890	970	1100	1250	1400	1650	1950	2300	2800	3300
14	1300	1400	1550	1750	2000	2300	2600	3100	3700	4400	5400

- EMCO, 1991, *Student's Handbook CNC TU-2A*, Emco Maier Ges.m.b.H,Hallein, Austria.
- EMCO, 1991, *Student's Handbook CNC TU-3A*, Emco Maier Ges.m.b.H,Hallein, Austria.
- EMCO MAIER Ges.m.bh, *Teacher's Handbook EMCO TU-2A*, A-5400 Hallein, Austria, 1990.
- EMCO MAIER Ges.m.bh, *Students's Handbook EMCO TU-2A*, A-5400 Hallein, Austria, 1990.
- Fischer, Kilgus, Leopold, Rohrer, Schiling, *Tabellenbunch Metall*, Keliner Werth 50, 560 Wuppertal 2.
- Fox Valley Technnical College, 2007, *Machine Shop 3 : Milling Machine"Accessories*(<http://its.fvtc.edu/machshop3/basicmill/default.htm>).
- Fox Valley Technnical College, 2007, *Machine Shop 3 : "Types of Milling Machines"Work Holding*(<http://its.fvtc.edu/machshop3/basicmill/default.htm>).
- Fox Valley Technnical College, 2007, *Machine Shop 3 : "Milling Machines" Tool Holding* (<http://its.fvtc.edu/machshop3/basicmill/default.htm>).
- George Schneider Jr, *Cutting Tool Applications*, Prentice Hall (www.toolingandproduction.com).
- Gerling, Heinrichi. (1974). *All about Machine Tools*. New Delhi: Wiley Eastern.
- Hand Out Politeknik Manufaktur Bandung. (1990). *Teori Gerinda Datar*. Bandung: ITB
- Hand Out Politeknik Manufaktur Bandung. (1990). *Teori Gerinda Silindris*. Bandung: ITB
- Headquartes Department of The Army USA, 1996, *Training Circular NO 9-524 : Fundamentals of Machine Tools* , Headquartes Department of The Army USA : Washington DC

John W. Sutherland, 1998, *Turning* (www.mfg.mtu.edu/marc/primers/turning/turn.html), Michigan Technological University's Turning Information Center : Michigan

-----, 2007, *A TUTORIAL ON CUTTING FLUIDS IN MACHINING*.
http://www.mfg.mtu.edu/testbeds/cfest/fluid.html#cfintro_name.

Taufiq Rochim, (1990). *Teori Kerja Bor*. Bandung: Politeknik Manufaktur Bandung.

Taufiq Rochim, (1993). *Teori & Teknologi Proses Pemesinan*. Bandung: Proyek HEDS.

The Hong Kong Polytechnic University, 2007, *Basic Machining and Fitting*.
<http://mmu.ic.polyu.edu.hk/handout/handout.htm>

The Hong Kong Polytechnic University, 2007, *Marking Out, Measurement, Fitting & Assembly*.
<http://mmu.ic.polyu.edu.hk/handout/handout.htm>

The Hong Kong Polytechnic University, 2007, *Metal Cutting Processes 1–Turning*. <http://mmu.ic.polyu.edu.hk/handout/handout.htm>

The Hong Kong Polytechnic University, 2007, *Metal Cutting Processes 2–Milling*., <http://mmu.ic.polyu.edu.hk/handout/handout.htm>

The Hong Kong Polytechnic University, 2007, *Safety Instruction*,
<http://mmu.ic.polyu.edu.hk/handout/handout.htm>

A

absolut, 359, 365, 370, 371, 379, 406, 458,
472, 473, 502
alarm, 86, 359, 406
alur, 20, 153, 161, 171, 172, 174, 188, 198,
199, 200, 208, 217, 219, 229, 234, 242,
280, 282, 283, 286, 295, 298, 309, 310,
317, 359, 371, 379, 406, 472, 489
asutan, 354, 358, 359, 406
attachment, 183
axis, 402, 458, 464, 467

B

bantalan, 20, 21, 87, 351, 402
baut, 6, 8, 12, 155, 171, 194, 198, 219, 221,
254, 256, 259, 269, 273, 280, 281, 310,
317
bor, 87, 218, 234, 243, 244, 245, 246, 247,
249, 250, 251, 252, 253, 256, 257, 258,
259, 260, 261, 265, 266, 286, 317, 352,
353, 406
boring, 161, 218, 234, 242, 244
bubut, 17, 38, 39, 41, 44, 94, 158, 159, 160,
161, 162, 163, 165, 166, 170, 171, 172,
174, 175, 178, 179, 181, 182, 183, 185,
190, 191, 192, 198, 200, 208, 212, 213,
214, 223, 270, 317, 341, 379

C

casting, 28, 31, 33, 34, 35, 36, 37
cekam, 171, 172, 209, 218, 220, 244, 252,
306, 307, 309, 310, 348, 350, 368, 370,
379, 402
cetakan, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36,
37, 38, 486, 489, 491, 492
clamp, 220, 221
clearance, 162, 245
CNC, 41, 170, 185, 205, 208, 210, 212, 290,
347, 348, 350, 351, 352, 354, 355, 356,
357, 358, 359, 364, 367, 368, 379, 401,
402, 406, 445, 446, 447, 448, 449, 450,
451, 453, 454, 456, 457, 458, 459, 462,
464, 465, 467, 468, 469, 470, 474, 475,
476, 507, 508, 515, 519, 522
collet, 171, 217, 308, 309, 317, 402
column, 205, 209, 210, 460
counterboring, 269
current, 493
cutting, 38, 39, 41, 158, 159, 161, 162, 168,
227, 506

D

dial indicator, 93, 310, 311
diameter, 14, 19, 53, 92, 99, 146, 153, 160,
161, 165, 170, 171, 175, 182, 185, 186,
188, 192, 193, 194, 200, 212, 213, 220,
224, 237, 238, 244, 247, 252, 265, 266,
267, 268, 269, 295, 300, 302, 304, 311,
315, 316, 317, 352, 353, 359, 365, 370,
371, 379, 402, 406, 465, 466, 467, 487,
488, 503, 504
diamond, 200
dielectric, 482
dimetris, 112, 113
disket, 358, 359, 367, 368, 406, 467
down milling, 207
dresser, 295, 306
drilling, 39, 161, 234, 263, 337, 338, 341,
472

E

EDM, 38, 481, 482, 483, 486, 487, 488, 489,
490, 491, 492, 493, 494, 507
eksentris, 168, 259
elektrode, 482, 483, 484, 485, 487, 489, 490,
491, 492, 493, 494
end mill, 206, 214, 218, 286, 406
end milling, 206
energi, 23, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 53, 65,
68, 69

F

face milling, 206
feed, 41, 159, 160, 263, 358, 359, 406, 455
ferro, 21, 26, 168, 292

G

ganda, 186, 194, 202, 203, 211, 247
gaya, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 16,
18, 22, 54, 172, 217, 218, 224, 256, 262,
334, 451, 466, 467, 468, 497
geometri, 43, 106, 162, 175, 213, 446, 447,
448, 456, 458, 465, 468, 469, 470, 472,
473, 477, 498
gerak makan, 39, 41, 159, 165, 191, 200,
201, 202, 207, 208, 212, 213, 224, 227,
229, 232, 262, 263, 264, 277
gerinda, 39, 41, 162, 198, 287, 289, 290,
292, 295, 297, 298, 299, 300, 302, 303,
306, 311, 315, 316, 317, 334, 336, 495

gips, 23, 28, 31, 33, 34
 Graphite, 486, 490, 491, 492, 507
 grinding 39, 506
 grooving 161, 198, 472
 gurdi, 39, 234, 235, 237, 239, 242, 248, 252,
 253, 262, 263, 265, 266, 337, 341, 491

H

helix, 42, 188, 219, 234, 235, 245, 246, 247
 holder, 163, 218, 402
 horisontal, 108, 112
 HSS, 160, 162, 163, 167, 168, 175, 176,
 178, 181, 182, 188, 190, 191, 214, 215,
 227, 248, 317, 406

I

imperial, 94, 95, 96
 indicator, 305
 insert, 162, 163
 ion, 484
 ISO, 105, 120, 139, 164, 214, 216, 359, 379,
 458, 462, 498, 499, 501, 503, 504, 511,
 512, 527, 529, 502
 isolator, 483
 isometris, 109, 110, 111, 112

J

jam ukur, 89, 90, 94

K

karbida, 168, 169, 175, 176, 182, 188, 190,
 214, 227, 247, 287, 317, 336, 487, 492
 kartel, 200, 201, 202, 203
 kebisingan, 57, 60, 61, 62, 63
 kecepatan potong, 159, 160, 191, 193, 198,
 200, 212, 213, 224, 226, 227, 247, 262,
 265, 266, 277, 295, 311, 334, 337, 340,
 359, 406, 446, 466, 492
 kedalaman potong, 158, 159, 160, 165, 172,
 177, 192, 193, 212, 213, 223, 229, 232,
 262, 466, 467
 kekerasan, 21, 22, 57, 295, 311, 317, 489,
 496
 kepala lepas, 170, 172, 173, 184, 185, 303,
 307, 308, 353
 keselamatan, 56, 58, 66, 67
 kisar, 185, 186, 188, 191, 193, 194, 266,
 267, 379
 knee, 205, 209, 210
 knurling 200
 komparator, 93, 502

konduktor, 47, 482, 483
 konversi, 46, 47, 49, 51, 94, 95, 450
 kopel, 7, 8, 18, 84

L

lathe, 304, 307
 lead, 194
 lubang 33, 37, 126, 127, 153, 154, 161, 171,
 182, 198, 230, 231, 234, 235, 237, 239,
 240, 242, 243, 244, 245, 246, 247, 249,
 251, 252, 253, 254, 257, 259, 260, 261,
 265, 266, 268, 269, 286, 307, 308, 309,
 316, 317, 337, 338, 339, 379, 406, 472,
 473, 489, 490, 491, 497, 498, 499, 500,
 501, 502

M

machine, 39, 212, 270, 337, 449, 451, 470
 mal, 105, 106, 108, 190, 250
 manual, 29, 30, 57, 84, 106, 170, 183, 185,
 190, 205, 207, 212, 249, 263, 289, 290,
 317, 337, 351, 354, 356, 358, 402, 406,
 466, 467, 522
 mata bor, 161, 234, 235, 242, 243, 244, 245,
 246, 247, 249, 250, 252, 253, 254, 257,
 263, 265, 266, 267, 268, 353, 379, 406
 material, 14, 21, 22, 28, 41, 43, 49, 57, 62,
 160, 162, 166, 167, 173, 212, 214, 244,
 246, 247, 277, 295, 311, 317, 343, 359,
 406, 467, 468, 469, 486, 488, 489, 491,
 493, 496, 502, 503
 metris, 94, 95
 mikrometer, 91, 92
 milling 38, 39, 205, 206, 207, 208, 209,
 212, 216, 225, 317, 337, 406
 mineral, 23, 24, 335, 336, 345, 346
 momen, 6, 7, 9, 12, 15, 17, 18, 19, 262
 mur, 6, 8, 87, 155, 273, 310, 311, 317

N

nonferro, 21
 nonius, 90

O

overcut, 493

P

pahat, 33, 38, 39, 41, 43, 87, 158, 159, 160,
 161, 162, 163, 164, 166, 167, 168, 169,
 170, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178,

- 179, 180, 181, 182, 183, 185, 186, 188, 190, 191, 192, 193, 198, 200, 201, 202, 203, 208, 234, 235, 246, 247, 252, 253, 265, 266, 270, 272, 273, 275, 276, 277, 281, 282, 283, 286, 317, 334, 336, 337, 338, 340, 352, 359, 365, 369, 370, 371, 379, 401, 406, 446, 447, 448, 449, 450, 452, 454, 455, 458, 459, 460, 462, 464, 465, 466, 467, 468, 469, 473, 476, 489, 492, 496, 511, 512
- parameter, 41, 159, 181, 182, 212, 262, 359, 371, 379, 406, 451, 476
- parting-off, 161
- pemesinan, 38, 39, 40, 41, 42, 89, 158, 161, 167, 168, 170, 174, 178, 181, 182, 185, 191, 205, 208, 209, 211, 227, 234, 235, 241, 262, 277, 298, 300, 311, 334, 335, 336, 340, 341, 344, 448, 451, 458, 468, 469, 470, 471, 472, 476, 482, 486, 489, 494, 496, 503, 505
- pemrograman, 348, 359, 365, 379, 401, 406, 454, 466, 468, 469, 472, 473, 487
- pendingin, 31, 36, 37, 41, 51, 200, 234, 235, 247, 248, 249, 295, 303, 317, 334, 335, 336, 337, 338, 339, 340, 341, 342, 343, 344, 345, 346, 446, 449, 466, 472, 476
- perencanaan, 81, 185, 224, 501
- perkakas, 17, 38, 41, 86, 87, 93, 94, 239, 249, 258, 261, 270, 287, 317, 334, 337, 338, 340, 341, 345, 346, 348, 359, 446, 447, 448, 449, 451, 453, 454, 455, 456, 457, 458, 459, 462, 464, 465, 466, 467, 468, 469, 470, 471, 472, 473, 474, 476, 477, 486, 489, 496, 497
- perspektif, 113
- pitch, 185, 186, 188, 191, 193, 194, 200
- planner, 270, 272, 273
- plastik, 28, 34, 36, 45, 81, 82, 83, 244, 467
- plotter, 371, 406
- poligon, 4, 5, 7
- poros, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 51, 53, 87, 131, 132, 165, 166, 193, 198, 217, 224, 240, 246, 273, 289, 290, 307, 308, 309, 311, 317, 446, 447, 454, 457, 459, 497, 498, 499, 501, 502
- portable, 236, 237, 238
- profil, 46, 137, 154, 172, 194, 211, 229, 231, 276, 317
- profil ulir, 194
- proyeksi, 6, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 115, 116, 119, 120, 121, 129, 130, 131, 135, 139
- pulley, 353
- putaran, 7, 8, 16, 51, 52, 53, 159, 160, 165, 166, 173, 177, 178, 179, 181, 191, 194, 201, 206, 207, 208, 212, 213, 224, 229, 230, 231, 232, 270, 297, 306, 311, 317, 350, 351, 353, 356, 357, 359, 365, 368, 370, 379, 402, 406, 446, 454, 456, 457, 459, 461, 472, 475, 476, 487, 502

R

- ragum, 93, 219, 220, 221, 222, 225, 226, 242, 243, 244, 253, 254, 259, 260, 270, 279, 280, 283, 293, 294, 304, 406
- rake, 162
- Ram EDM, 482, 487, 489, 493, 495
- reaming, 268, 269, 341
- resin, 34
- resultan, 4, 5, 6

S

- satuan, 3, 7, 10, 11, 47, 94, 95, 160, 212, 213, 227, 354, 357, 359, 406, 454, 503, 504
- screw, 193, 447, 456
- sekrup, 38, 39, 270, 275, 276, 277, 279, 281, 283, 317, 460
- senter, 93, 171, 172, 182, 184, 249, 257, 303, 304, 307, 308, 311, 315, 353, 368, 370, 379, 406
- setting, 158, 172, 173, 182, 190, 211, 298, 368, 370, 371, 379, 406
- shaping, 38, 39, 270
- simetris, 144, 145, 191, 265, 503
- simulasi, 371, 376, 378, 379, 406, 454
- Sinker EDM, 482
- sinus, 220, 294
- sisipan, 162, 163, 164, 175, 188, 190, 214, 216, 217, 247, 293, 359, 379, 406, 511, 512
- skala, 3, 32, 89, 90, 91, 92, 112, 113, 146, 259, 447, 456
- sleeve, 243, 252, 253
- slotter, 270, 272
- sparks, 493
- spindel, 159, 173, 181, 191, 193, 201, 202, 207, 211, 212, 225, 229, 230, 232, 237, 238, 240, 241, 242, 243, 258, 260, 303, 304, 306, 307, 308, 309, 311, 317, 348, 352, 406, 449, 454, 459, 460, 461, 462, 465, 466, 472, 475, 476
- spindle, 17, 352, 357, 359, 365, 379, 406
- stamping, 488
- step motor, 351, 359, 402, 406
- sudut, 2, 4, 6, 16, 18, 102, 105, 108, 109, 110, 112, 113, 120, 136, 158, 162, 165, 176, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 190, 191, 192, 194, 213, 214, 219, 220, 224, 229, 239, 245, 246, 247, 249, 250, 251,

252, 253, 254, 265, 266, 273, 277, 283,
294, 295, 317, 371, 406, 489, 495
sudut ulir, 186, 187, 191, 194
sumbu, 4, 5, 6, 12, 20, 21, 93, 94, 109, 110,
111, 112, 113, 117, 118, 119, 128, 136,
137, 140, 141, 144, 151, 158, 159, 171,
173, 174, 183, 184, 190, 191, 194, 200,
201, 207, 218, 225, 250, 257, 265, 266,
279, 289, 317, 348, 351, 353, 354, 356,
357, 358, 359, 364, 368, 369, 370, 371,
379, 402, 406, 448, 449, 450, 452, 455,
458, 459, 460, 461, 462, 464, 466, 467,
468, 473, 475, 489, 494, 495
swivel, 253, 254, 459

T

tap, 8, 87, 270, 273, 337
taper, 158, 183, 218
tapping, 269
tegangan, 11, 12, 14, 15, 16, 19, 22, 43, 246,
277, 295, 311, 317, 336, 483, 484, 485,
489
temperatur, 36, 41, 166, 167, 334, 335, 490,
491, 492, 497
thread, 161
threading, 191, 342, 472
tirus, 158, 173, 183, 184, 185, 217, 218,
252, 253, 302, 316, 317, 365, 495
tool, 38, 39, 41, 158, 163, 173, 176, 218,
277, 298, 359, 365, 369, 370, 371, 379,
402, 406, 451, 467, 508, 511, 518, 521
tool post, 173, 176
training unit, 402
transmisi, 17, 18, 241, 242, 352, 446, 454,
456
tunggal, 39, 57, 158, 162, 174, 176, 182,
186, 194, 237, 238, 242, 306, 359
tungsten, 486, 491, 492
turbin, 46, 49, 51, 53, 54
turning, 38, 158, 161, 191, 341, 506, 509

U

ulir, 87, 146, 161, 172, 174, 183, 185, 186,
187, 188, 190, 191, 192, 193, 194, 208,
230, 240, 259, 266, 267, 268, 269, 304,
305, 306, 317, 342, 352, 359, 379, 447,
459, 461, 523
ulir metris, 146, 186, 190, 192, 267
universal, 219, 239, 240, 294, 302, 304
up milling 207

V

vektor, 2, 10

vertikal, 6, 108, 116, 270, 401, 402, 406
vise, 221, 222, 253, 254

W

Wire EDM, 482, 487, 489, 492, 494, 495
workshop, 170, 234

ISBN 978-979-060-115-4
ISBN 978-979-060-117-8

Buku ini telah dinilai oleh Badan Standar Nasional Pendidikan (BSNP) dan telah dinyatakan layak sebagai buku teks pelajaran berdasarkan Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 45 Tahun 2008 tanggal 15 Agustus 2008 tentang Penetapan Buku Teks Pelajaran yang Memenuhi Syarat Kelayakan untuk digunakan dalam Proses Pembelajaran.

HET (Harga Eceran Tertinggi) Rp. 15,466.00