



Ambiyar

# Teknik Pembentukan Pelat

## JILID 1

untuk  
Sekolah  
Menengah  
Kejuruan



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

Anni Faridah, dkk

# TEKNIK PEMBENTUKAN PLAT JILID 1

**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 PEMBENTUKAN PLAT JILID 1

Untuk SMK

Penulis Utama : Ambiyar  
Arwizet  
Nelvi Erizon  
Purwantono  
Thaufiq Pinat  
Editor : Rizal Sani  
Penilai : Yudhi Pratama  
Khaidir  
Perancang Kulit : Tim  
Ukuran Buku : 17,6 x 25 cm

AMB	AMBIYAR
t	Teknik Pembentukan Plat Jilid 1 untuk SMK /oleh Ambiyar, Arwizet, Nelvi Eizon, Puwantoro, Thaufiq Pinat ---- Jakarta : Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional, 2008. viii. 154 hlm Daftar Pustaka : A1-A4 Glosarium : B1-B5 ISBN : 978-979-060-101-7 978-979-060-102-4

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, telah melaksanakan kegiatan penulisan buku kejuruan sebagai bentuk dari kegiatan pembelian hak cipta buku teks pelajaran kejuruan bagi siswa SMK. Karena buku-buku pelajaran kejuruan sangat sulit di dapatkan di pasaran.

Buku teks pelajaran ini telah melalui proses penilaian oleh Badan Standar Nasional Pendidikan sebagai buku teks pelajaran untuk SMK dan telah dinyatakan memenuhi syarat kelayakan untuk digunakan dalam proses pembelajaran melalui Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 45 Tahun 2008 tanggal 15 Agustus 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.

Buku teks pelajaran yang telah dialihkan hak ciptanya kepada Departemen Pendidikan Nasional ini, 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 ditayangkan *soft copy* ini diharapkan akan lebih memudahkan bagi masyarakat khususnya para pendidik dan peserta didik SMK di seluruh Indonesia maupun sekolah Indonesia yang berada di luar negeri untuk mengakses dan memanfaatkannya sebagai sumber belajar.

Kami berharap, semua pihak dapat mendukung kebijakan ini. 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, 17 Agustus 2008  
Direktur Pembinaan SMK

## **KATA PENGANTAR**

Berkat rahmat Tuhan Yang Maha Esa dapatlah diselesaikan buku Teknik Pembentukan. Judul buku ini adalah Teknik Pembentukan yang isinya mengacu pada Kurikulum SMK 2004, Program Keahlian Teknik Pembentukan dengan merujuk kepada Standar Kompetensi Kerja Nasional Indonesia Sektor Logam dan Mesin (SKKNI-LM). Buku ini diperuntukkan bagi siswa-siswa Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) serta kalangan praktisi di dunia teknik pembentukan.

Dalam penyelesaian buku ini tidak lepas bantuan dari berbagai pihak yang telah diberikan. Kami mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya terutama kepada Bapak Dr. Joko Sutrisno Direktur Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) beserta staf yang telah memberikan arahan dan kesempatan untuk membuat buku ini. Selanjutnya kepada Bapak Drs. Rizal Sani, M. Pd, selaku editor yang telah memberikan bimbingan dan saran-saran dalam penyempurnaan buku ini serta kepada Tim BSNP yang telah memberikan penilaian terhadap penulisan buku ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Bapak Rektor, Dekan, Ketua Jurusan Teknik Mesin FT- UNP serta kepada rekan-rekan, teknisi dan mahasiswa, Rivelino, Yudhi Pratama, Khaidir, Marataon dan kepada semua pihak. Atas bantuan yang telah diberikan semoga mendapat rahmat dari Tuhan YME.

Kami menyadari masih banyak kelemahan dan kekurangan dalam penulisan buku ini. Oleh karena itu, kami mengharapkan masukan dari berbagai pihak dalam rangka perbaikan buku ini untuk masa datang.

Terakhir, semoga dengan kehadiran buku ini bermanfaat bagi bangsa dan negara serta para pembaca.

Hormat kami

Penulis

## SINOPSIS

Buku teknik pembentukan memberikan pengetahuan tentang kajian di bidang teknik mesin, yaitu teknologi proses pembentukan. Buku ini berisi 11 (sebelas) bab yang meliputi: (1) Pendahuluan yang berisikan sejarah perkembangan teknik pembentukan, (2) Keselamatan kerja meliputi keselamatan manusia, mesin dan peralatan serta lingkungan, (3) Pengetahuan bahan menyangkut pengetahuan berbagai unsur logam, non logam serta logam paduan disertai teknik pengolahan bahan serta perlakuannya, (4) Gambar bentangan berisi pengetahuan tentang teknik menggambar, konstruksi geometri, teknik bentangan, teknik perpotongan sambungan bidang gambar, (5) Alat ukur dan alat penandai berisi pengetahuan tentang berbagai alat ukur dan alat penandai yang dipakai dalam teknik mesin., (6) Perkakas tangan dalam pembentukan berisi pengetahuan tentang berbagai peralatan pada bengkel kerja mesin, teknik cara menggunakan alat, dan pemeliharaannya, (7) Metode penyambungan las menyangkut konstruksi sambungan, jenis-jenis sambungan dan berbagai metode penyambungan, serta teknik kerja dalam penyambungan, (8) Metode pemotongan berisi pengetahuan tentang dasar-dasar proses pemotongan, peralatan potong dan teknik pemotongan, (9) Proses pembentukan menyangkut prinsip dasar proses pengerjaan dingin, (10) Pembentukan panas meliputi peralatan utama, alat bantu dan landasan serta teknik pengerjaannya (11) Metode perakitan berisi pengetahuan dasar-dasar perakitan dan proses perakitan.



## DAFTAR ISI

KATA SAMBUTAN .....	i
KATA PENGANTAR .....	ii
SINOPSIS .....	iii
DAFTAR ISI .....	iv
PETA KOMPETENSI .....	viii
 <b>BUKU JILID 1</b>	
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1. Sejarah Perkembangan Teknologi Pembentukan Pelat .....	1
1.2. Ruang Lingkup .....	7
1.3. Rangkuman .....	43
1.4. Soal Latihan .....	46
 <b>BAB 2. KESELAMATAN KERJA</b> .....	 <b>47</b>
2.1. Kenali Pekerjaan Yang Berbahaya .....	49
2.2. Alat Keselamatan dan Kerja Secara Umum .....	56
2.3. Keselamatan Kerja Sebelum, Sewaktu dan Selesai Bekerja .....	67
2.4. Rangkuman .....	68
2.5. Soal Latihan .....	69
 <b>BAB 3. PENGETAHUAN BAHAN</b> .....	 <b>71</b>
3.1. Pendahuluan .....	71
3.2. Pemilihan Bahan.....	72
3.3. Pengelompokan Bahan .....	73
3.4. Beberapa Aspek Penting Dalam Ilmu bahan .....	73
3.5. Logam Besi (Ferro) dan Bukan Besi (Non Ferro) .....	74
3.6. Bahan Non Logam .....	82
3.7. Pembuatan Pelat Baja Tipis dan Pelat Baja Tebal .....	85
3.8. Penyepuhan dan Pelunakan Baja .....	101
3.9. Jenis dan Bentuk Bahan yang banyak Diperjualbelikan di Pasar .....	103
3.10. Jenis Dimensi dan Bentuk Pelat .....	106
3.11. Bahan Pelat Aluminium .....	110
3.12. Bahan Pelat Tembaga .....	118
3.13. Bahan Pelat Kuningan .....	121
3.14. Bahan Pelat Baja Khusus (Baja Paduan) .....	123
3.15. Bahan Pelat Baja Stainless Steel (Baja Tahan Karat) .....	129
3.16. Pengaruh Masukan Panas Terhadap Sifat Mekanis Sambungan Las Antara Baja Karbon Rendah Dengan Baja Stainless. Korosi Pada Pelat dan Cara Pencegahannya .....	139

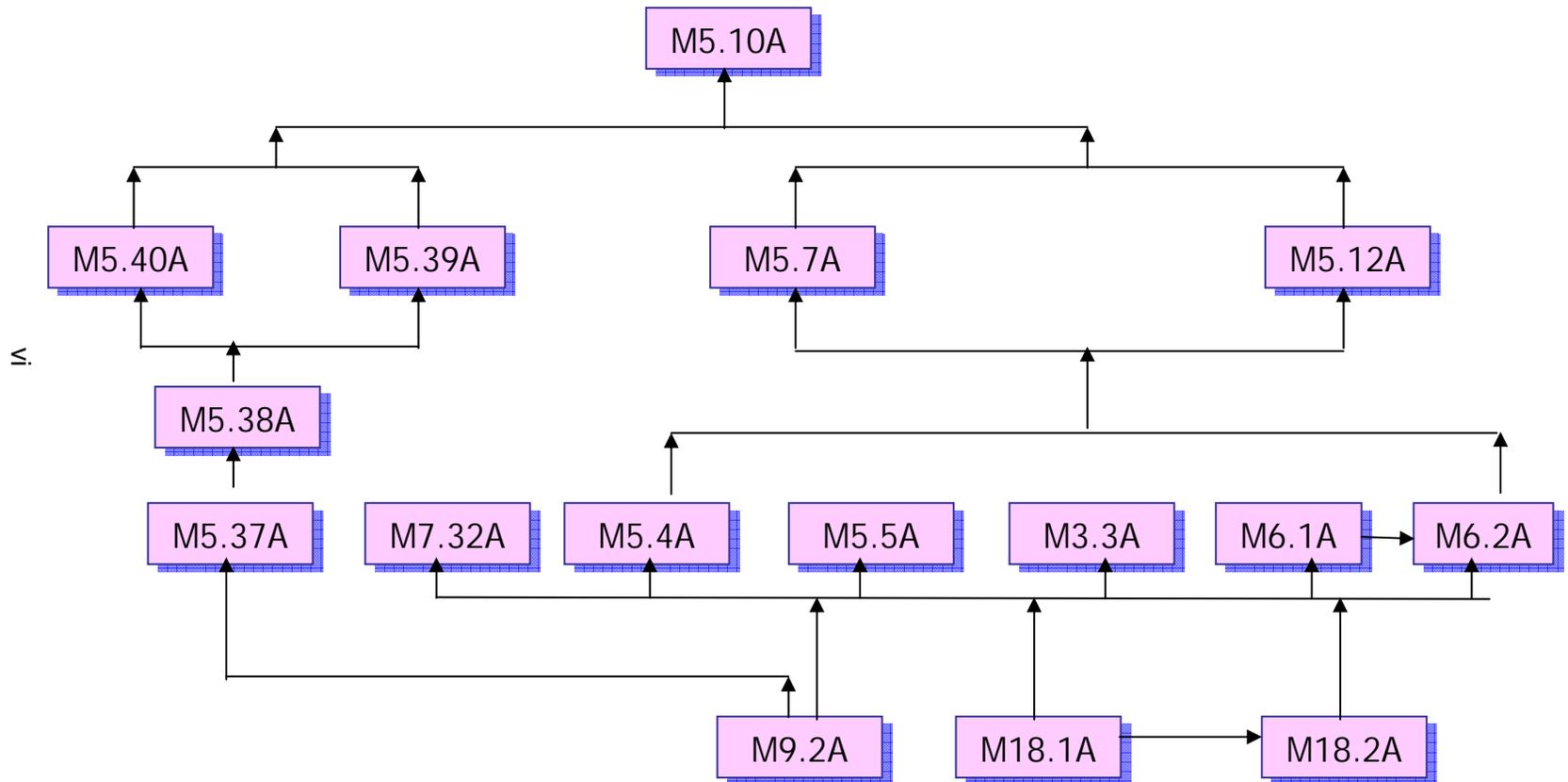
3.17. Korosi Pada Pelat dan Cara Pencegahannya .....	140
3.18. Rangkuman .....	149
3.19. Soal Latihan .....	153
<b>BUKU JILID 2</b>	
<b>BAB 4. GAMBAR BENTANGAN .....</b>	<b>155</b>
4.1. Gambar Sebagai Bahasa Teknik .....	155
4.2. Fungsi Gambar .....	156
4.3. Pengembangan Gambar dan Keadaan Teknik .....	156
4.4. Sifat-sifat Gambar .....	157
4.5. Kerangka dan Bidang-Bidang Kerja ISO/TC10 .....	160
4.6. Peralatan Menggambar Teknik .....	162
4.7. Perkembangan Kebutuhan Gambar Bentangan .....	167
4.8. Konstruksi Geometri .....	169
4.9. Proyeksi .....	177
4.10. Bukaan .....	189
4.11. Menentukan Panjang Sejati Garis (true length) .....	207
4.12. Profil Bola/Membentangkan Bola .....	224
4.13. Perpotongan .....	226
4.14. Contoh Aplikasi Gambar Teknik .....	230
4.15. Rangkuman .....	234
4.16. Soal Latihan .....	235
<b>BAB 5. ALAT UKUR DAN ALAT PENANDAI .....</b>	<b>239</b>
5.1. Alat Ukur .....	239
5.2. Melukis dan Menandai .....	297
5.3. Rangkuman .....	328
5.4. Soal Latihan .....	329
<b>BAB 6. PERKAKAS TANGAN DALAM PEMBENTUKAN .....</b>	<b>331</b>
6.1. Ragum .....	331
6.2. Palu ( <i>Hammer</i> ) .....	335
6.3. Tang ( <i>Plier</i> ) .....	338
6.4. Kikir .....	340
6.5. Gergaji Tangan .....	353
6.6. Pahat Tangan .....	354
6.7. Skrap Tangan .....	360
6.8. Tap dan Snei .....	366
6.9. Pemerluas Lubang ( <i>Reamer</i> ) .....	375
6.10. Rangkuman .....	377
6.11. Soal Latihan .....	380
<b>BUKU JILID 3</b>	
<b>BAB 7. METODE PENYAMBUNGAN .....</b>	<b>381</b>
7.1. Konstruksi Sambungan .....	381
7.2. Sambungan Lipat .....	383
7.3. Sambungan Keling .....	388

7.4.	Solder/Patri .....	394
7.5.	Las Resistansi (tahanan) .....	402
7.6.	Metode Penyambungan Las Busur Listrik .....	407
7.7.	Penyambungan dengan Las Oxy Asitelin .....	431
7.8.	Pengenalan Las TIG (Tungsten Inert Gas)/GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) .....	447
7.9.	Pengenalan Las MIG (Metal Inert Gas Arc Welding)/Gas Metal Arc Welding (GMAW) .....	468
7.10.	Sambungan Skrup/Baut dan Mur .....	492
7.11.	Rangkuman .....	493
7.12.	Soal Latihan .....	495
BAB 8. METODE PEMOTONGAN .....		497
8.1.	Dasar-Dasar Proses Pemotongan .....	497
8.2.	Pemotongan Dengan Peralatan Tangan .....	499
8.3.	Pemotongan Dengan Mesin Gergaji Pita .....	512
8.4.	Pemotongan Dengan Mesin Gulletine .....	513
8.5.	Pemotongan Dengan Mesin Potong Hidrolik .....	516
8.6.	Pemotongan Dengan Mesin Gunting Putar .....	518
	/Lingkaran .....	518
8.7.	Pemotongan Dengan Mesin Potong Profil .....	520
8.8.	Pemotongan Dengan Gerinda .....	521
8.9.	Pemotongan Dengan Gas .....	522
8.10.	Pemotongan Dengan Tenaga Laser .....	526
8.11.	Keselamatan Kerja dalam Pemotongan .....	528
8.12.	Rangkuman .....	528
8.13.	Soal Latihan .....	529
BAB 9. PROSES PEMBENTUKAN PLAT .....		531
9.1.	Proses Pengerjaan Dingin .....	532
9.2.	Keuntungan Proses Pengerjaan Dingin .....	535
9.3.	Spring Back .....	540
9.4.	Pembentukan Secara Manual .....	542
9.5.	Peralatan Utama Alat Bantu, dan Landasan .....	543
9.6.	Teknik Pemukulan .....	549
9.7.	Proses Tekuk/Lipat .....	554
9.8.	Proses Pengerolan .....	562
9.9.	Proses Streching (Peregangan) .....	575
9.10.	Proses Blanking .....	580
9.11.	Proses Deep Drawing .....	586
9.12.	Proses Squeezing (Tekanan) .....	598
9.13.	Proses Spinning .....	602
9.14.	Penguatan Pelat .....	607
9.15.	Rangkuman .....	611
9.16.	Soal Latihan .....	613
BAB 10. PEMBENTUKAN PANAS .....		615

10.1. Proses Pengerjaan Panas .....	615
10.2. Sifat Logam Pada Temperatur Tinggi .....	616
10.3. Mekanisme Pelunakan Pada Pengerjaan Panas .....	616
10.4. Tempa .....	618
10.5. Ekstrusi .....	637
10.6. Kriteria Pembentukan .....	640
10.7. Cacat Pada Produk Pembentukan .....	644
10.8. Rangkuman .....	646
10.9. Soal Latihan .....	647
BAB 11. METODE PERAKITAN (Assembling Methods) .....	649
11.1. Dasar-Dasar Perakitan .....	649
11.2. Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Perakitan .....	650
11.3. Prosedur Perakitan .....	652
11.4. Metode Perakitan .....	652
11.5. Aplikasi Perakitan .....	654
11.6. Rangkuman .....	668
11.7. Soal Latihan .....	669
DAFTAR PUSTAKA .....	
DAFTAR ISTILAH/GLOSARY .....	
DAFTAR GAMBAR .....	
DAFTAR TABEL .....	

## DIAGRAM PENCAPAIAN KOMPETENSI TEKNIK PEMBENTUKAN

Diagram ini menunjukkan tahapan atau tata urutan kompetensi yang diajarkan dan dilatihkan kepada peserta didik dalam kurun waktu yang dibutuhkan serta kemungkinan multi exit-multi entry yang dapat diterapkan dengan memperhatikan tata urutan/tahapan logis pembelajaran kompetensi kejuruan digambarkan sbb:



## PETA KOMPETENSI

Kode	Kompetensi Kejuruan
M.9.2A	Membaca gambar teknik
M.5.37A	Gambar bukaan/bentangan geometri
M.18.1A	Menggunakan perkakas tangan
M.5.4A	Melakukan rutinitas las oksi-asetilin
M.5.12A	Melakukan rutinitas pengelasan menggunakan las busur manual
M.5.38A	Gambar bukaan/bentangan geometri, geometri lanjut benda selinder/persegi panjang
M.18.2A	Menggunakan perkakas tangan bertenaga operasi digenggam
M.5.5A	Melakukan pemotongan secara mekanik
M.5.7A	Pemanasan, pemotongan panas dan gauging secara manual
M.3.3A	Merakit pelat dan lembaran
M.7.32A	Menggunakan mesin untuk operasi dasar
M.5.39A	Gambar bukaan/bentangan geometri, geometri lanjut benda kerucut/konis
M.5.40A	Gambar bukaan/bentangan geometri lanjut benda transisi
M.5.10A	Melakukan fabrikasi, pembentukan, pelengkungan dan pencetakan
M.6.1A	Menempa dengan tangan
M.6.2A	Menempa dengan palu besi

## BAB. 1

# PENDAHULUAN



### 1.1. Sejarah Perkembangan Teknologi Pembentukan

Sejarah pembentukan logam dimulai sejak zaman pra sejarah yang diperkirakan dalam rentang waktu antara tahun 4000 sampai 3000 S.M. Perkembangan pembentukan logam ini diawali pada pembuatan-pembuatan asesoris atau hiasan-hiasan kerajaan, perisai untuk keperluan perang, peralatan rumah tangga dan sebagainya. Bahan-bahan logam ini umumnya terbuat dari bahan perunggu dan kuningan. Proses pengerjaan yang dilakukan untuk pembuatan peralatan ini dilakukan secara manual dengan proses pengerjaan panas maupun dingin.

Proses pembentukan logam untuk berbagai macam peralatan ini dikerjakan oleh para ahli logam yang mempunyai keterampilan khusus. Para ahli logam ini mempunyai keahlian pekerjaan tangan (*handy craft*) yang diperoleh secara turun temurun. Proses pembentukan untuk bentuk-bentuk profil ini dilakukan seluruhnya dengan menggunakan keahlian tangan. Peralatan bantu yang digunakan meliputi berbagai macam bentuk palu, landasan-landasan pembentuk serta model-model cetakan sederhana. Bentuk profil pelat yang dihasilkan dari proses pembentukan ini memiliki nilai seni yang tinggi, khususnya pada bentuk ukiran yang ditampilkan dari produk tersebut. Profil yang ditampilkan mempunyai arti dan nilai seni dengan menampilkan bentuk-bentuk dari, bunga-bunga, simbol-simbol, peradapan manusia serta profil-profil binatang. Beberapa hasil peninggalan sejarah ditemukan peralatan

rumah tangga seperti bentuk-bentuk cangkir/cawan, berbagai macam piring. Produk piring dan cangkir ini memiliki desain dan ukiran khusus yang mempunyai arti dan nilai seni. Hasil survai bidang arkeologi memberikan gambaran bahwa produk rumah tangga yang digunakan untuk keperluan kerajaan berbeda dengan produk-produk yang dikeluarkan untuk rakyat biasa. Biasanya produk-produk ini mempunyai ciri-ciri khusus, mulai dari desain dan ukiran atau hiasan pada produk tersebut. Pola-pola atau bentuk profil yang dikerjakan untuk perhiasan atau asesoris untuk kerajaan ini memiliki tingkat artistik yang tinggi, hal ini terlihat dari beberapa peninggalan sejarah yang ditemukan di beberapa musium sejarah di Perancis dan kota-kota sejarah lainnya.



Gambar 1.1. Tempa Tradisional

Pada gambar 1.1 memperlihatkan proses pembentukan yang dilakukan dengan sistem penempaan secara tradisional. Perkembangan teknologi pembentukan logam ini ditandai dengan ditemukannya proses pembentukan dengan menggunakan alat-alat pembentuk dengan menggunakan penekan sistem hidrolik, juga menggunakan landasan, *punch*, *swage*, *dies* sebagai alat bantu untuk membentuk profil-profil yang diinginkan. Jika pada awalnya proses pembentukan dilakukan secara manual di atas landasan-landasan pembentuk dengan menggunakan palu, maka sekarang ini proses pembentukan dilakukan dengan berbagai macam metode.

Metode yang digunakan pada proses pembentukan logam diantaranya adalah proses *bending* atau penekukan, *squeezing*, *rolling*, *spinning*, *deed drawing*, *stretching*, *crumping*, *blanking*, *press* dan sebagainya. Setiap proses memiliki kemampuan pembentukan tersendiri, misalnya

untuk proses bending, proses ini mampu menekuk pelat secara lurus dan rapi yang digunakan untuk peralatan perkantoran seperti *file cabinet*, *locker*, lemari data dan sebagainya. Proses pengerolan pelat juga sangat banyak digunakan untuk pembuatan-pembuatan pipa, tangki-tangki, bejana bertekanan seperti ketel atau boiler dan lain-lain. Produk pengerolan ini juga dapat dilakukan secara manual maupun dengan motor control. Penggerak dengan motor kontrol ini memudahkan dalam proses pengerolan, khususnya pengerolan pelat-pelat tebal dengan tingkat ketelitian yang tinggi.

Perkembangan yang sangat pesat juga terjadi pada proses pembentukan dengan tekanan atau *press*. Proses *press* ini dilakukan dengan menggunakan tenaga hidraulik dengan menggunakan *swage* atau cetakan dengan penekan karet (*rubber*) pembentuk. Proses ini dapat dilakukan dalam keadaan dingin, khususnya untuk pengerjaan pembentukan pelat-pelat tipis. Hasil dari produk *press* ini dapat membentuk profil-profil yang sulit, dengan bentuk yang dihasilkan tanpa cacat. Proses tekanan (*press*) hidrolik ini banyak digunakan untuk pembentukan bodi-bodi mobil dengan istilah sekarang *full press body*. Pelat-pelat lembaran yang mengalami pekerjaan pembentukan ini seperti tekan menghasilkan pelat menjadi lebih kaku (*rigid*).

Produk pelat yang dihasilkan juga mengalami perkembangan yang pesat, hal ini semenjak ditemukannya proses pengerolan pelat yang menghasilkan produk pelat yang mempunyai sifat mampu bentuk, mampu mesin dan mampu las. Produk pelat yang dihasilkan dari proses pengerolan secara bertingkat ini mempunyai bentuk *struktur mikro* yang memanjang dan pipih, sehingga pelat hasil pengerolan ini mempunyai sifat *elastis* atau lentur yang baik untuk dilakukan proses pembentukan. Pelat lembaran yang berkualitas mempunyai karakteristik sifat mampu bentuk yang baik. Sifat ini terlihat jika pelat mengalami proses pembentukan sisi pelat yang mengalami peregangan tidak menimbulkan keretakan. Retak ini dapat menyebabkan terjadinya kerusakan atau robek pada komponen pelat yang terbentuk.

Karakteristik sifat mampu las juga dapat diperlihatkan apabila pelat tersebut mengalami proses pengelasan maka tidak terjadi retak atau *crack* pada daerah transisi. Daerah transisi ini merupakan daerah yang rentan terhadap kerusakan sebab daerah ini merupakan daerah yang mengalami perubahan panas dan dingin. Istilah teknologi pengelasannya adalah *Heat Affect Zone* (HAZ), dimana pada daerah ini struktur mikro yang terbentuk mengalami perubahan yang tak menentu. Akibat perubahan struktur mikro ini, maka terjadi perubahan sifat mekanik dari bahan pelat tersebut. Perubahan sifat mekanik ini khususnya pada sifat kekerasan dan tegangan luluhnya. Produk bahan pelat yang dihasilkan tidak hanya diproduksi untuk keperluan

pembentukannya saja tetapi produk-produk pelat yang digunakan untuk keperluan khusus juga dapat dihasilkan. Produk pelat untuk keperluan khusus ini biasanya untuk keperluan militer juga ada yang digunakan untuk keperluan perbankan. Produk pelat untuk keperluan militer ini dapat dilihat dari pembuatan tank baja yang digunakan untuk keperluan perang. Tank Baja yang dihasilkan ini mempunyai karakteristik anti peluru, sehingga bahan pelat yang digunakan harus tahan terhadap berbagai macam tembakan senjata. Rompi anti peluru yang digunakan oleh aparat keamanan juga dilapisi dengan bahan pelat anti peluru. Bahan pelat anti peluru yang digunakan untuk melapisi bagian dada atau depan ini mempunyai tebal yang sangat tipis jika dibandingkan dengan pelat yang digunakan untuk Tank Baja. Walaupun keduanya digunakan untuk anti peluru.

Brankas yang digunakan untuk penyimpanan uang dan benda-benda berharga di perbankan juga di produk dengan karakteristik khusus. Bahkan brankas ini dirancang dengan membuat lapisan yang terdiri dari berbagai macam jenis bahan yang digunakan untuk brankas tersebut. Brankas ini tidak hanya tahan terhadap peluru tetapi dibakarpun dengan temperatur tinggi tidak berpengaruh terhadap isi brankas tersebut.



Gambar 1.2. Mesin Bending dengan Program NC

Dewasa ini perkembangan teknologi pembentukan pelat mengalami perkembangan yang sangat pesat, hal ini terlihat dari dalam kehidupan sehari-hari khususnya yang berdampingan dengan kita adalah alat transportasi. Alat transportasi seperti kereta api, mobil, kapal laut, pesawat terbang, bodi kendaraan ini merupakan hasil produk dari

pembentukan pelat. Teknologi pembentukan pelat tidak hanya dilakukan dengan menggunakan peralatan sederhana tetapi sejak ditemukannya teknologi produksi yang menggunakan program komputer seperti CNC (*Computer Numerical Control*) sangat membantu dalam proses produksi.

Pada gambar 1.2 terlihat mesin penekuk (*bending machine hydraulic*) pelat dengan tekanan sistem hidrolik. Proses pembengkokan pelat ini menggunakan tenaga hidrolik yang berfungsi menekan dies pembengkok. Pelat diletakkan di atas landasan sesuai dengan posisi bagian pelat yang akan dibengkokan. Prinsip kerja alat ini dapat dikontrol dengan pemrograman sesuai dengan bentuk-bentuk bending yang diinginkan.

Proses produksi dengan sistem hidrolik dan pemrograman computer ini terlihat dari hasil produk yang dikerjakan memiliki ketelitian tinggi serta tingkat sifat mampu tukar (*interchange ability*) yang tinggi. Produksi dengan sistem komputer ini sangat menguntungkan untuk jumlah produksi yang besar. Jika dibandingkan produksi secara manual maka tingkat ketelitian dan mampu tukarnya dari pekerjaan manual ini rendah. Kondisi ini sangat tidak menguntungkan pada jumlah produksi yang besar, sebab ini akan menambah waktu dan biaya pekerjaan. Hasil produksi pembentukan pelat secara manual ini akan menjadi lebih mahal. Harga mahal ini menjadi rendahnya daya saing harga apalagi jika dibandingkan dengan penggunaan bahan plastik.

Bahan plastik sudah mulai banyak menggeser penggunaan bahan yang menggunakan bahan dasar pelat atau bahan logam. Tetapi untuk beberapa komponen tertentu ini masih didominasi bahan yang menggunakan bahan dasar pelat logam. Bahan dasar logam ini mempunyai keuntungan yang lebih baik jika dibandingkan dengan bahan plastik khususnya untuk penggunaan pada kondisi-kondisi tertentu. Sifat bahan logam yang tidak bisa digantikan oleh bahan plastik ini diantaranya bahan logam ini memiliki sifat mekanik yang lebih baik seperti kekerasan, *impact* (tumbukan), tegangan tarik, dan *modulus elastisitas*. Jika dibandingkan dari sifat-sifat fisis bahan logam memiliki titik lebur yang lebih tinggi, sehingga bahan ini menjadi lebih tahan panas dibandingkan dengan plastik.



Gambar 1.3. Mesin Blanking dengan sistem Program NC

Kemampuan untuk menghasilkan berbagai bentuk dari lembaran pelat datar dengan laju produksi yang tinggi merupakan salah satu perkembangan teknologi pembentukan pelat. Laju produksi yang tinggi ini ditengarai dengan penemuan sistem pembentukan logam secara mekanis dan hidraulik. Proses pembentukan dengan sistem ini dipicu oleh tuntutan dunia industri pada penggunaan bahan-bahan pelat untuk berbagai komponen permesinan. Namun demikian metode kuno pada proses pembentukan pelat dengan tangan tidak dapat ditinggalkan begitu saja, sebab pada proses pembentukan masih ada beberapa bagian pembentukan yang belum sempurna. Akhirnya proses lanjutan atau *finishing* komponen masih dilakukan dengan tangan secara manual. Pada prinsipnya suatu bentuk yang dihasilkan dari bahan lembaran pelat datar dengan cara penarikan atau perentangan dan penyusutan dimensi elemen volume pada tiga arah utama yang tegak lurus terhadap satu dengan yang lainnya.

Bentuk-bentuk yang diperoleh dari hasil pembentukan pelat ini merupakan penggabungan antara proses perentangan dengan penyusutan. Proses perentangan dan penyusutan ini memberikan perubahan terhadap ketebalan pelat lembaran yang dibentuk. Pada proses pembentukan ini terjadi proses pengerasan regang artinya kekerasan bahan akan meningkat setelah adanya proses peregangan, apabila proses ini diabaikan maka kemungkinan cacat dari hasil pembentukan besar terjadi.

Cacat-cacat pada proses pembentukan ini diantaranya adalah terjadinya pengeriputan antara proses perengangan dan penyusutan komponen yang tidak seimbang. Akibat proses peregangan yang besar dapat terjadi robek pada bagian-bagian komponen yang mengalami penarikan yang berlebihan .

## 1.2. Ruang Lingkup

Teknik pembentukan merupakan salah satu Program Keahlian pada Bidang Keahlian Teknik Mesin pada Kurikulum Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) 2004 yang acuan utamanya adalah Standar Kompetensi Kerja Nasional Indonesia Sektor Logam dan Mesin (SKKNI-LM).

### 1.2.1. Mengenal Dasar Teknik Pembentukan dan Pengecoran Logam

#### ❖ Dasar Teknik Pembentukan

Teknik pembentukan logam merupakan proses yang dilakukan dengan cara memberikan perubahan bentuk pada benda kerja. Perubahan bentuk ini dapat dilakukan dengan cara memberikan gaya luar sehingga terjadi deformasi plastis. Aplikasi pembentukan logam ini dapat dilihat pada beberapa contohnya seperti pengerolan (*rolling*), pembengkokan (*bending*), tempa (*forging*), ekstrusi (*extruding*), penarikan kawat (*wire drawing*), penarikan dalam (*deep drawing*), dan lain-lain.

Tahapan yang dilakukan dalam proses pembentukan untuk suatu konstruksi ini meliputi:

1. Mendesain alat sesuai dengan fungsi dan kegunaannya.
2. Menganalisa konstruksi pelat terhadap dan pembebanan
3. membuat gambar desain
4. Menentukan jenis bahan pelat
5. Menentukan metode penyambungan dan penguatan
6. Menentukan metode perakitan
7. Membuat gambar kerja konstruksi alat
8. Membuat gambar bentangan
9. Melakukan pemotongan awal (*pre cutting*)
10. Melakukan pemotongan bahan pelat
11. Melakukan proses pembentukan
12. Menentukan alat bantu atau model
13. Metode perakitan
14. Pengukuran dimensi konstruksi
15. Uji coba konstruksi
16. Finishing

Teknologi pembentukan dewasa ini banyak digunakan untuk berbagai keperluan. Konstruksi ini biasanya dibedakan berdasarkan dimensi pembentukan yang diinginkan.

## ❖ Dasar Pengecoran Logam

Proses Pengecoran (*casting*) adalah salah satu teknik pembuatan produk dimana logam dicairkan dalam tungku peleburan kemudian di tuangkan kedalam rongga cetakan yang serupa dengan bentuk asli dari produk cor yang akan dibuat. Pengecoran juga dapat diartikan sebagai suatu proses manufaktur yang menggunakan logam cair dan cetakan untuk menghasilkan bagian-bagian dengan bentuk yang mendekati bentuk geometri akhir produk jadi. Proses pengecoran sendiri dibedakan menjadi dua macam, yaitu *traditional casting* (tradisional) dan *non-traditional* (non-tradisional). Teknik tradisional terdiri atas:

1. Sand-Mold Casting
2. Dry-Sand Casting
3. Shell-Mold Casting
4. Full-Mold Casting
5. Cement-Mold Casting
6. Vacuum-Mold Casting

Sedangkan teknik *non-traditional* terbagi atas :

1. High-Pressure Die Casting
2. Permanent-Mold Casting
3. Centrifugal Casting
4. Plaster-Mold Casting
5. Investment Casting
6. Solid-Ceramic Casting

Ada 4 faktor yang berpengaruh atau merupakan ciri dari proses pengecoran, yaitu:

1. Adanya aliran logam cair kedalam rongga cetak
2. Terjadi perpindahan panas selama pembekuan dan pendinginan dari logam dalam cetakan
3. Pengaruh material cetakan
4. Pembekuan logam dari kondisi cair

Klasifikasi pengecoran berdasarkan umur dari cetakan, ada pengecoran dengan sekali pakai (*expendable mold*) dan ada pengecoran dengan cetakan permanent (*permanent mold*). Cetakan pasir termasuk dalam *expendable mold*. Oleh karena hanya bisa digunakan satu kali pengecoran saja, setelah itu cetakan tersebut dirusak saat pengambilan benda coran. Dalam pembuatan cetakan, jenis-jenis pasir yang digunakan adalah pasir silika, pasir zircon atau pasir hijau. Sedangkan perekat antar butir-butir pasir dapat digunakan, bentonit, resin, furan atau air gelas.

Secara umum cetakan harus memiliki bagian-bagian utama sebagai berikut :

- *Cavity* (rongga cetakan), merupakan ruangan tempat logam cair yang dituangkan kedalam cetakan. Bentuk rongga ini sama dengan benda kerja yang akan dicor. Rongga cetakan dibuat dengan menggunakan pola.
- *Core* (inti), fungsinya adalah membuat rongga pada benda coran. Inti dibuat terpisah dengan cetakan dan dirakit pada saat cetakan akan digunakan.
- *Gating sistem* (sistem saluran masuk), merupakan saluran masuk kerongga cetakan dari saluran turun.
- *Sprue* (Saluran turun), merupakan saluran masuk dari luar dengan posisi vertikal. Saluran ini juga dapat lebih dari satu, tergantung kecepatan penuangan yang diinginkan.
- *Pouring basin*, merupakan lekukan pada cetakan yang fungsi utamanya adalah untuk mengurangi kecepatan logam cair masuk langsung dari ladle ke sprue. Kecepatan aliran logam yang tinggi dapat terjadi erosi pada sprue dan terbawanya kotoran-kotoran logam cair yang berasal dari tungku kerongga cetakan.
- *Raiser* (penambah), merupakan cadangan logam cair yang berguna dalam mengisi kembali rongga cetakan bila terjadi penyusutan akibat solidifikasi.

Logam-logam yang dapat digunakan untuk melakukan proses pengecoran yaitu: Besi cor, besi cor putih, besi cor kelabu, besi cor malleable, besi cor nodular, baja cor dan lain-lain. Peleburan logam merupakan aspek terpenting dalam operasi-operasi pengecoran karena berpengaruh langsung pada kualitas produk cor. Pada proses peleburan, mula-mula muatan yang terdiri dari logam, unsur-unsur paduan dan material lainnya seperti *fluks* dan *unsur pembentuk terak* dimasukkan kedalam tungku.

Fluks adalah senyawa *inorganic* yang dapat "membersihkan" logam cair dengan menghilangkan gas-gas yang ikut terlarut dan juga unsur-unsur pengotor (*impurities*). Fluks memiliki beberapa kegunaan yang tergantung pada logam yang dicairkan, seperti pada paduan aluminium terdapat *cover fluxes* (yang menghalangi oksidasi dipermukaan aluminium cair),. *Cleaning fluxes*, *drossing fluxes*, *refining fluxes*, dan *wall cleaning fluxes*. Tungku-tungku peleburan yang biasa digunakan dalam industri pengecoran logam adalah tungku busur listrik, tungku induksi, tungku krusibel, dan tungku kupola.

### 1.2.2. Mengenal Dasar Statika dan Tegangan

Statika adalah bagian dari mekanika. Statika membahas kesetimbangan benda di bawah pengaruh gaya, sedangkan dinamika membahas gerakan benda. Ada beberapa konsep dasar dalam mempelajari mekanika.

#### ❖ Konsep-konsep Dasar mekanika

Konsep-konsep dasar dari mekanika meliputi ruang, waktu, massa, gaya, partikel, dan benda tegar. **Ruang** adalah daerah geometri yang ditempati oleh benda yang posisinya digambarkan oleh pengukuran linier dan anguler relatif terhadap sistem koordinat. Untuk persoalan tiga dimensi, ruang membutuhkan tiga koordinat bebas, sedangkan untuk persoalan dua dimensi diperlukan hanya dua koordinat saja. Ruang dapat dimasukkan dalam analisis persoalan statika. **Waktu** adalah ukuran peristiwa yang berurutan dan merupakan besaran dasar dalam dinamika. Waktu tidak dapat dimasukkan langsung dalam analisis persoalan statika

**Massa** adalah ukuran kelembaman benda, yang merupakan penghambat terhadap perubahan kecepatan. Massa merupakan hal penting untuk persoalan statika, karena massa juga merupakan sifat setiap benda yang mengalami gaya tarik-menarik dengan benda lain. **Gaya** adalah aksi suatu benda terhadap benda lain. Suatu gaya cenderung menggerakkan sebuah benda menurut arah kerjanya. Aksi sebuah gaya dicirikan oleh besarnya, arah kerjanya, dan titik kerjanya. Aksi sebuah gaya pada suatu benda dapat digolongkan ke dalam dua pengaruh yakni luar (eksternal) dan dalam (internal)..

Sebuah benda yang dimensinya dapat diabaikan disebut **partikel**. Dalam pengertian matematis, sebuah partikel adalah benda yang dimensinya mendekati nol, sehingga dapat dianalisis sebagai massa titik. Partikel tidak dapat dimasukkan dalam analisis persoalan statika. **Benda tegar**, jika gerakan relatif antar bagian-bagiannya dapat diabaikan langsung. Statika terutama membahas perhitungan gaya luar yang bekerja pada benda tegar yang berada dalam kesetimbangan.

#### ❖ Konsep Dasar Kesetimbangan

Benda dikatakan mencapai kesetimbangan jika benda tersebut dalam keadaan diam/statis atau dalam keadaan bergerak beraturan/dinamis.

Ditinjau dari keadaannya, kesetimbangan terbagi dua, yaitu:

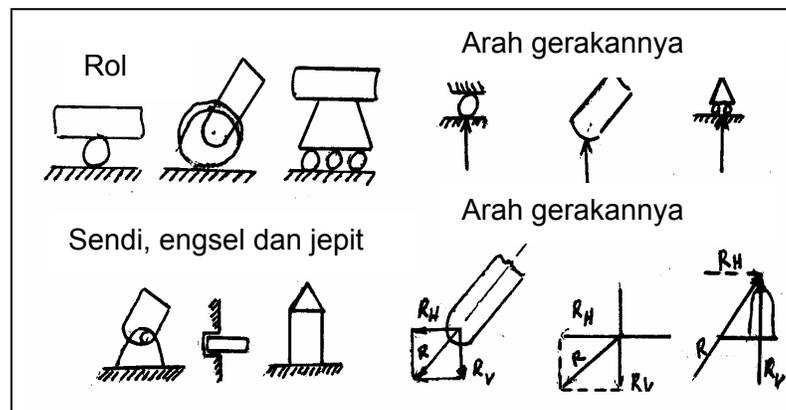
1. Keseimbangan translasi
2. Keseimbangan Rotasi

Macam Kesetimbangan Statis :

1. Kesetimbangan Stabil: setelah gangguan, benda berada pada posisi semula.
2. Kesetimbangan Labil: setelah gangguan, benda tidak kembali ke posisi semula
3. Kesetimbangan Indiferen (netral): setelah gangguan, titik berat tetap benda tetap pada satu garis lurus seperti semula

Agar benda setimbang akibat pembebanan diperlukan titik tumpuan. Arah reaksi titik tumpuan tersebut tergantung dari posisi beban dukung serta jenis titik tumpuan yang digunakan. Adapun jenis-jenis tumpuan yang dipakai sebagai berikut:

1. Rol
2. Sendi engsel dan jepit



Gambar 1.4. Jenis Tumpuan dan arah Reaksinya

Untuk menghitung besarnya reaksi tumpuan dapat dilakukan dengan cara analitis (perhitungan) dan cara grafis (gambar).

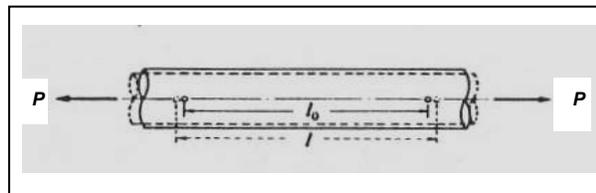
#### ❖ Konsep Dasar Tegangan dan Regangan

Proses pembentukan secara metalurgi merupakan proses deformasi plastis. Deformasi plastis ini artinya adalah apabila bahan mengalami pembebanan sewaktu terjadinya proses pembentukan, dimana setelah beban dilepaskan maka diharapkan pelat tidak kembali ke keadaan semula. Bahan yang mengalami proses pembentukan ini mengalami peregangan atau penyusutan. Terbentuknya bahan inilah

yang dikatakan sebagai deformasi plastis. Kondisi proses pembentukan dengan deformasi plasitis ini mendekati teori pembentukan dengan Teori Plastisitas.

Teori Plastisitas membahas perilaku bahan pada regangan dimana pada kondisi tersebut Hukum Hook tidak berlaku lagi. Aspek-aspek deformasi plastis membuat formulasi matematis teori plastisitas lebih sulit daripada perilaku benda pada elastis. Pada hasil uji tarik sebuah benda uji menunjukkan grafik tegangan regangan yang terbentuk terdiri dari komponen elastis yang ditunjukkan pada garis linear dan kondisi plastis ditunjukkan pada garis parabola sampai mendekati putus. Deformasi elastis tergantung dari keadaan awal dan akhir tegangan serta regangan. Regangan plastis tergantung dari jalannya pembebanan yang menyebabkan tercapainya keadaan akhir. Gejala pengerasan regang (*strain hardening*) sewaktu pelat mengalami proses pembentukan sulit diteliti dengan pendekatan teori plastisitas ini.

Bahan anisotropi plastis, histeristis plastis dan efek Bauschinger tidak dapat dibahas dengan mudah oleh teori plastisitas. Teori plastisitas telah menjadi salah satu bidang mekanika kontinum yang paling berkembang, dan suatu kemajuan untuk mengembangkan suatu teori dalam rekayasa yang penting. Analisis regangan plastis diperlukan dalam menanggapi proses pembentukan logam. Teori plastisitas ini didasari atas pengujian tarik, dimana pengujian tarik ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik dari suatu bahan.

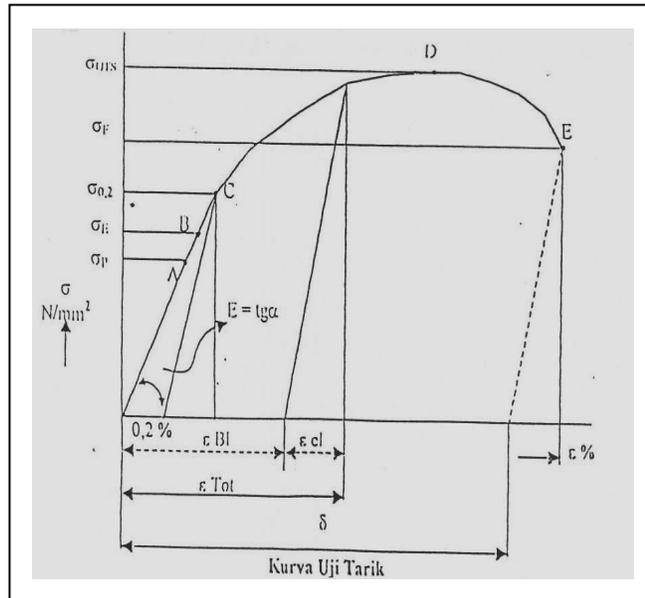


Gambar 1.5. Sebuah benda diberi gaya tarik

Prinsip dasar pengujian tarik yang dilakukan ini adalah dengan melakukan penarikan terhadap suatu bahan sampai bahan tersebut putus/patah. Gaya tarik yang dikenakan pada spesimen benda uji sejajar dengan garis sumbu spesimen (bahan uji) dan tegak lurus terhadap penampang spesimen. Spesimen dibuat dengan standar dimensi yang sudah ditentukan menurut BS, ISO, ASTM dan sebagainya. Sebelum dan sesudah melakukan pengujian terhadap benda

uji ini biasanya semua dimensi dari benda uji dianalisis lebih lanjut.

Pengujian tarik merupakan pengujian terpenting dalam pengujian statis. Secara skematis hasil pengujian tarik untuk logam diperlihatkan pada gambar 1.5 di bawah ini:



Gambar 1.6. Grafik Tegangan Regangan (Sardia & Kenji, 1984)

Hasil pengujian tarik ini diperlihatkan pada gambar grafik tegangan regangan. Grafik tegangan regangan merupakan gambaran karakteristik suatu bahan yang mengalami tarikan. Pada grafik tegangan regangan ini dapat memberikan acuan pada seorang perencana dalam menentukan dimensi komponen mesin yang akan digunakan. Jika komponen mesin yang akan digunakan untuk beban yang tidak boleh melebihi batas luluhnya maka tegangan yang diizinkan tidak boleh melebihi dari batas proporsionalnya yakni: pada saat terjadinya mulur/luluh. Batas proporsional ini disebut juga dengan batas elastisitas yang artinya apabila spesimen di tarik maka akan mengalami pertambahan panjang, jika beban dilepaskan pada batas elastisitas ini maka spesimen akan kembali ke keadaan semula. Pada batas proporsional atau batas elastis berlaku hukum Hooke:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} \text{ atau } \frac{\delta L}{L_0} = \frac{F}{E \cdot A_0}$$

dimana :

E = Modulus elastisitas yang merupakan konstanta bahan

$\varepsilon$  = Regangan

$\sigma$  = Tegangan  
 $\delta L$  = Pertambahan panjang material  
 $L_o$  = Panjang mula-mula dari material  
 $F$  = Beban tarik  
 $A_o$  = Luas penampang awal material

Untuk menghitung tegangan ( $\sigma$ ) dan regangan ( $\varepsilon$ ) digunakan rumus :

$$\sigma = \frac{F}{A_o} \text{ dan}$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{L_o} \times 100\%$$

dimana :

$F$  = gaya (Newton)  
 $A_o$  = luas penampang awal ( $m^2$ )  
 $L_o$  = panjang mula-mula (m)  
 $\delta L$  = perpanjangan (m)

Reduksi penampang dihitung dengan menggunakan rumus :

$$Q = \frac{A_o - A_f}{A_o} \times 100\%$$

dimana:

$Q$  = reduksi penampang dalam persen  
 $A_o$  = luas penampang awal  
 $A_f$  = luas penampang

Apabila deformasi terjadi memanjang, terjadi pula deformasi penyusutan yang melintang. Kalau regangan melintang (*lateral strain*)  $\varepsilon_r$  perbandingannya dengan  $e$  (*linear strain*); disebut perbandingan Poisson, dinyatakan dengan  $\mu$ ,  
 $\mu = \varepsilon_r / \varepsilon$  (Dieter, 1986)

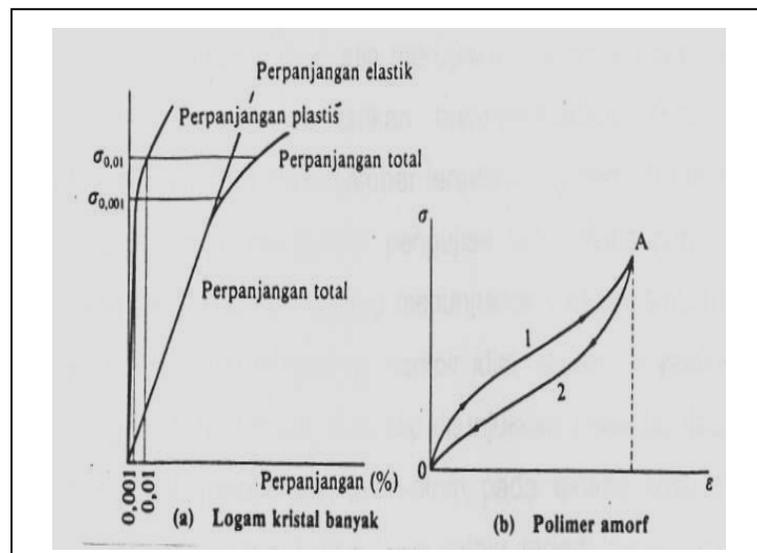
Dalam kenyataan, harga  $\mu$  bagi bahan berkrystal seperti logam kira-kira 1/3, dapat ditentukan dengan perhitungan terperinci dari hubungan antara konfigurasi atom dan arah tegangan.

Apabila batang uji menerima deformasi elastis karena tarikan, volumenya menjadi  $V_t = V + \Delta V$ , dimana  $\Delta V$  adalah pertambahan volume akibat spesimen mengalami tarikan. Perbandingan pertambahan volume dengan volume awal yakni :  $\Delta V / V$  disebut juga dengan regangan volume (*volumetric strain*). Perbandingan tegangan dengan regangan volume disebut *Modulus elastisitas Bulk* (Dieter, 1986).

Modulus elastik Bulk (K) Jika  $\epsilon_V = 1/3$  maka  $K = E / 3$  yang artinya dalam deformasi elastik volume mengembang. Dalam hal geseran, regangan  $\gamma$  mempunyai hubungan dengan tegangan geser  $\tau$  yaitu:  $\tau = G \times \gamma$  (Dieter,1986),  $G$  disebut sebagai modulus geser (*modulus of rigidity*).

Jika dilihat dari gambar grafik tegangan dan regangan memperlihatkan bahwa sesudah garis linear muncul daerah luluh dan selanjutnya garis membentuk lengkungan sampai putus. Garis melengkung inilah merupakan fungsi dari Modulus elastisitas Bulk yang digunakan pada prinsip pembentukan.

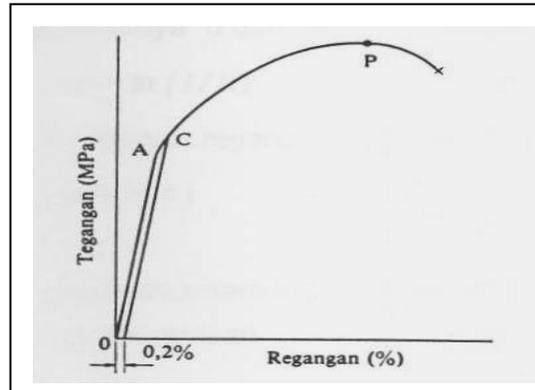
Suatu modulus elastik ditentukan oleh gaya antar atom karena itu dalam hal kristal tunggal sangat dipengaruhi oleh arah konfigurasi atom tetapi sukar dipengaruhi oleh cacat dan ketakmurnian. Kalau dilihat hanya dari antar-aksi dua atom logam, diameter rata-rata dari atom kira-kira  $3 \times 10^{-10}$  m. dan gaya antar atom biasanya  $10^{-4}$  N,  $10^{-4}/(3 \times 10^{-10})^2 \text{ N/m}^2 = 10^{15}$  N/m<sup>2</sup>, seharusnya dalam orde 100 GPa.



Gambar 1.7. Kurva Tegangan dan Regangan di Daerah Elastik  
(Dieter,1986)

Gambar di atas menunjukkan hubungan antara tegangan dan regangan dalam daerah elastik mempergunakan karet sebagai model dari bahan amorf dan logam polikristal sebagai model dari bahan berkrystal. Pada logam, daerah elastik dinyatakan oleh bagian lurus dari hubungan tersebut dan gradiennya sebagai modulus elastik. Secara teknik batas daerah tersebut ditentukan oleh regangan sisa apabila beban

ditiadakan seperti ditunjukkan dalam gambar. Harga ini dinamakan batas elastis.



Gambar.1.8. Hubungan Tegangan-Regangan pada Bahan Mulur Kontinu (Dieter, 1986)

Kekuatan mulur didapat pada tegangan yang menyebabkan perpanjangan 0,2%. Bagian lurus kurva atau modulus elastis, tidak akan berubah karena ada deformasi plastis. Untuk mendapat tegangan mulur, ukurkan deformasi 0,2% dari titik nol ada sumbu regangan, kemudian tarik garis sejajar dengan bagian kurva yang lurus memotong kurva pada titik C, tinggi titik C menyatakan tegangan mulur. Cara ini dinamakan metode *off set* atau disebut metode tegangan mulur atau tegangan uji 0,2%. Kalau bahan dideformasikan pada temperatur sangat rendah dibandingkan dengan titik cairnya, maka pengerasan terjadi mengikuti deformasinya. Gejala ini dinamakan **pengerasan regangan** atau pengerasan kerja.

Pengerasan regangan terjadi selama pengujian tarik, dan karena regangan bertambah, maka kekuatan mulur, kekuatan tarik dan kekerasannya, meningkat, sedangkan hantaran listrik dan masa jenisnya menurun. Kristal logam mempunyai kekhasan dalam keliatan yang lebih besar dan pengerasan regangan yang luar bisa. Sebagai contoh, kekuatan mulur baja lunak sekitar 180 MPa, yang dapat ditingkatkan sampai-kira-kira 900 MPa oleh pengerasan regangan. Hal ini merupakan sesuatu yang berguna.

#### ❖ Mengenal Dasar Gaya Geser dan Bengkokan

Pengaruh sebuah gaya pada sebuah benda dapat menyebabkan kecenderungan untuk menggerakkan benda (tarik, tekan) dan memutar benda (rotasi). Kecenderungan untuk memutar tersebut merupakan pengaruh gaya terhadap benda yang ditinjau dari titik tertentu atau titik perputaran

yang letaknya pada benda diluar garis gaya tersebut. Pengaruh putaran ini disebut momen yang besarnya ditentukan oleh besar gaya dan lengan momen.

Jika sejumlah gaya bekerja pada suatu gelagar (*beam*) yang mendapat tumpuan setiap ujungnya gaya akan menyebabkan terjadinya bengkokan, maka momen yang timbul disebut momen bengkok. Besarnya momen bengkok dapat dihitung dengan rumus:

$$\frac{M}{I} = \frac{\sigma}{y} = \frac{E}{r}$$

Dimana:

M = Momen bengkok  
 $\sigma$  = Tegangan bengkok  
 I = Momen inersia  
 E = Modulus elastisitas  
 y = jarak maksimum dari sumbu  
 r = Jari-jari

Jika y merupakan jarak maksimum dari sumbu, maka I dibagi y adalah modulus penampang Z, sehingga tegangan maksimum pada penampang diperoleh:

$$\sigma = \frac{M}{Z}$$

$$M = \sigma Z$$

Dengan demikian, momen bengkok (M) dari suatu penampang sama dengan tegangan maksimum yang diizinkan dikalikan dengan modulus penampang (Z).

#### ❖ Mengenal Dasar Puntiran (Torsi)

Ketika sebuah poros menerima suatu puntiran, maka setiap bagian adalah dalam keadaan geser. Poros akan terpuntir dan resultan tegangan geser dari regangan ini akan menghasilkan suatu momen tahanan (*moment of resistance*), sama besar dan berlawanan arah dengan torsi yang diaplikasikan. Regangan geser berbanding langsung dengan radius dan karenanya mengikuti hukum Hooke. Tegangan juga berbanding langsung dengan radius.

Perhitungan momen puntir dapat dilakukan dengan rumus:

$$\frac{T}{J} = \frac{\tau}{r} = \frac{G\theta}{l}$$

dimana:

T	= Torsi (puntiran)
$\tau$	= Tegangan geser
J	= Momen lembam inersia
r	= Jari-jari
G	= Modulus geser
$\theta$	= Sudut puntir
L	= Panjang batang

### 1.2.3. Mengenal Komponen/Elemen Mesin

#### ❖ Paku Keling/Rivet.

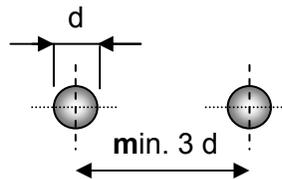
Paku keling/*rivet* adalah salah satu metode penyambungan yang sederhana. Sambungan keling umumnya diterapkan pada jembatan, bangunan, ketel, tangki, kapal dan pesawat terbang. Penggunaan metode penyambungan dengan paku keling ini juga sangat baik digunakan untuk penyambungan pelat-pelat aluminium. Pengembangan penggunaan rivet dewasa ini umumnya digunakan untuk pelat-pelat yang sukar dilas dan dipatri dengan ukuran yang relatif kecil. Setiap bentuk kepala rivet ini mempunyai kegunaan tersendiri, masing masing jenis mempunyai kekhususan dalam penggunaannya.



Gambar 1.9. Paku keling/rivet

Cara pemasangan paku keling adalah sebagai berikut:

- Tidak terlalu berdekatan dan berjauhan jaraknya.



Gambar 1. 10. Jarak pemasangan paku keling

- Jika jarak antar paku terlalu besar dapat terjadi buckling. Jarak maksimum biasanya adalah 16 x tebal plat.

- Jarak dan pusat paku keling dengan sisi plat tidak boleh terlalu kecil, sebab dapat terjadi kegagalan.

#### ❖ **Sambungan Las**

Proses pengelasan adalah proses penyambungan logam dengan menggunakan energi panas. Sambungan las mempunyai tingkat kerapatan yang baik serta mempunyai kekuatan sambungan yang memadai. Sambungan las ini juga mempunyai tingkat efisiensi kekuatan sambungan yang relatif lebih baik jika dibandingkan dengan sambungan yang lainnya. Di samping itu segi operasional pengerjaan sambungan konstruksi las lebih sederhana dan relatif murah.

Ada beberapa macam jenis pengelasan yang dilakukan untuk menyambung logam, yaitu:

##### ○ **Las Resistansi Listrik (Tahanan)**

Las resistansi listrik adalah suatu cara pengelasan dimana permukaan pelat yang disambung ditekankan satu sama lain dan pada saat yang sama arus listrik dialirkan sehingga permukaan tersebut menjadi panas dan mencair karena adanya resistansi listrik. Sambungan las resistansi listrik dibagi atas dua kelompok sambungan yaitu sambungan tumpang dan sambungan tumpul. Las resistansi listrik ini sangat baik digunakan untuk menyambung pelat-pelat tipis sangat.

Proses pengelasan dengan las resistansi listrik untuk penyambungan pelat-pelat tipis yang biasa digunakan terdiri dari 2 jenis yakni :

##### ○ **Las Titik (*Spot Welding*)**

Pengelasan dengan las titik ini hasil pengelasannya membentuk seperti titik. Elektroda penekan terbuat dari batang tembaga yang dialiri arus listrik yakni, elektroda atas dan bawah. Elektroda sebelah bawah sebagai penumpu plat dalam keadaan diam dan elektroda atas bergerak menekan pelat yang akan disambung. Agar pelat yang akan disambung tidak sampai bolong sewaktu proses terjadinya pencairan maka kedua ujung elektroda diberi air pendingin.

##### ○ **Las Resistansi Rol (*Rolled Resistance Welding*)**

Proses pengelasan resistansi tumpang ini dasarnya sama dengan las resistansi titik, tetapi dalam pengelasan tumpang ini kedua batang elektroda diganti dengan roda

yang dapat berputar sesuai dengan alur/garis pengelasan yang dikehendaki

- **Las Busur Listrik**

Energi masukan panas las busur listrik bersumber dari beberapa alternatif diantaranya energi dari panas pembakaran gas, atau energi listrik. Panas yang ditimbulkan dari hasil proses pengelasan ini melebihi dari titik lebur bahan dasar dan elektroda yang di las. Kisaran temperatur yang dapat dicapai pada proses pengelasan ini mencapai 2000-3000° C. Pada temperatur ini daerah yang mengalami pengelasan melebur secara bersamaan menjadi suatu ikatan metalurgi logam lasan.

Salah satu hal yang perlu diperhatikan dalam pengelasan las busur listrik adalah pemilihan elektroda yang tepat. Secara umum semua elektroda diklasifikasikan menjadi lima kelompok utama yaitu *mild steel*, *high carbon steel*, *special alloy steel*, *cast iron* dan *non ferrous*. Rentangan terbesar dari pengelasan busur nyala dilakukan dengan elektroda dalam kelompok *mild steel* (baja lunak).

- **Penyambungan dengan Las Oxy-Asetilen**

Pengelasan dengan gas oksi-asetilen dilakukan dengan membakar bahan bakar gas  $C_2H_2$  dengan  $O_2$ , sehingga menimbulkan nyala api dengan suhu yang dapat mencair logam induk dan logam pengisi. Sebagai bahan bakar dapat digunakan gas-gas asetilen, propan atau hidrogen. Diantara ketiga bahan bakar ini yang paling banyak digunakan adalah asetilen, sehingga las pada umumnya diartikan sebagai las oksi-asetilen.

- **Las TIG (Tungsten Inert Gas)/GTAW (Gas Tungsten Arc Welding)**

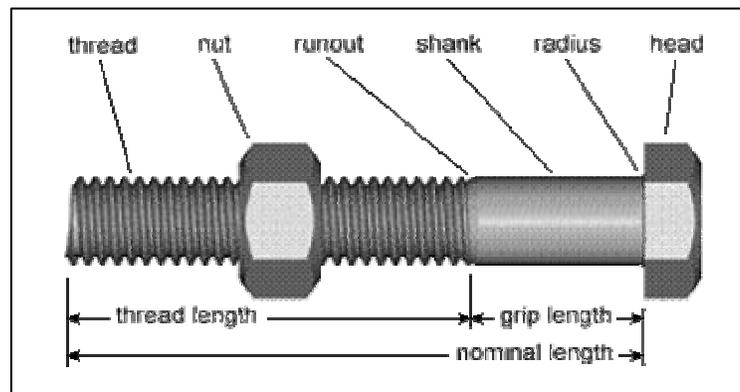
Pengelasan dengan gas pelindung Argon (Tungsten Inert Gas) merupakan salah satu pengembangan dari pengelasan yang telah ada yaitu pengembangan dari pengelasan secara manual yang khususnya untuk pengelasan non ferro (aluminium, magnesium kuningan dan lain-lain, baja spesial (Stainless steel) dan logam-logam anti korosi lainnya. Pengelasan Tungsten Inert Gas (TIG) ini tidak menggunakan proses elektroda sekali habis (*non consumable electrode*). Temperatur yang dihasilkan dari proses pengelasan ini adalah 3000 °F atau 1664,8 °C dan fungsi gas pelindung adalah untuk menghindari terjadinya oksidasi udara luar terhadap cairan logam yang dilas.

- **Las MIG (Metal Inert Gas Arc Welding)/Gas Metal Arc Welding (GMAW)**

Gas Metal Arc Welding (GMAW) adalah proses pengelasan yang energinya diperoleh dari busur listrik. Busur las terjadi di antara permukaan benda kerja dengan ujung kawat elektroda yang keluar dari *nozzle* bersama-sama dengan gas pelindung.

- ❖ **Sambungan Skrup/Baut dan Mur.**

Sekrup atau baut adalah suatu batang atau tabung dengan alur heliks pada permukaannya. Penggunaan utamanya adalah sebagai pengikat (*fastener*) untuk menahan dua obyek bersama, dan sebagai pesawat sederhana untuk mengubah torsi (*torque*) menjadi gaya linear. Baut dapat juga didefinisikan sebagai bidang miring yang membungkus suatu batang. Sambungan skrup/baut dan mur merupakan sambungan yang tidak tetap artinya sewaktu-waktu sambungan ini dapat dibuka.



Gambar 1.11. Baut dan Mur

Baut, mur dan *screw* mempunyai ulir sebagai pengikat. Ulir digolongkan menurut bentuk profil penampangnya diantaranya: ulir segitiga, persegi, trapesium, gigi gergaji dan bulat. Baut, mur dan *screw* digolongkan menurut bentuk kepalanya yakni segi enam, socket segi enam dan kepala persegi.

- ❖ **Poros**

Poros adalah suatu bagian stasioner yang berputar, biasanya berpenampang bulat dimana terpasang elemen-elemen seperti roda gigi (*gear*), *pulley*, *flywheel*, engkol, *sprocket* dan elemen pemindah lainnya. Poros bisa menerima beban lenturan, beban tarikan, beban tekan atau beban puntiran

yang bekerja sendiri-sendiri atau berupa gabungan satu dengan lainnya.

Poros dibagi atas beberapa macam yaitu:

- Berdasarkan pembebanannya poros dibagi atas transmisi (*transmission shaft*), poros gandar, dan poros spindle.
- Berdasarkan bentuknya poros dapat dibagi atas poros lurus dan poros engkol. Poros engkol adalah sebagai penggerak utama pada silinder mesin.

Hal-hal yang harus diperhatikan berkaitan dengan poros antara lain:

- Kekuatan poros
- Kekakuan poros
- Putaran kritis
- Korosi
- Material poros.



Gambar 1.12. Poros Propeler Kapal

Dari segi kekuatan poros, poros transmisi akan menerima beban puntir (*twisting moment*), beban lentur (*bending moment*) ataupun gabungan antara beban puntir dan lentur. Dari segi kekakuan poros, sebuah poros meskipun mempunyai kekuatan yang cukup aman dalam menahan pembebanan tetapi adanya lenturan atau defleksi yang terlalu besar akan mengakibatkan ketidaktepatan (pada mesin perkakas), getaran mesin (*vibration*) dan suara (*noise*). Dari segi putaran kritis, bila putaran mesin dinaikan maka akan menimbulkan getaran pada mesin tersebut.

Apabila terjadi kontak langsung antara poros dengan fluida korosif maka dapat mengakibatkan korosi pada poros tersebut, misalnya *propeller shaft* pada pompa air. Material poros yang biasa digunakan untuk putaran tinggi dan beban

yang berat pada umumnya dibuat dari baja paduan (*alloy steel*) dengan proses pengerasan kulit (*case hardening*) sehingga tahan terhadap keausan. Beberapa diantaranya adalah baja khrom nikel, baja khrom nikel molebdenum, baja khrom, baja khrom molibden, dll.

### ❖ **Kopling**

Kopling merupakan piranti otomotif yang berfungsi menghubungkan atau melepaskan pengaruh putaran mesin dengan transmisi. Artinya bila sedang difungsikan, maka kopling akan memutus putaran mesin sehingga daya geraknya tak saling berkait dengan transmisi. Bila kopling tak diinjak (difungsikan) maka rambatan putaran mesin akan kembali menggerakkan roda mobil bersangkutan. Singkatnya, kopling berfungsi sebagai 'perantara' yang mendukung kerja transmisi terhadap tingkat kecepatan mobil bergerak.



Gambar 1.13. Kopling

Karena pentingnya peran itu, kopling terbagi dalam sejumlah komponen yang masing-masing memiliki fungsi saling mendukung bagi optimasi tugas 'perantara' itu. Satu set kopling terdiri dari *pilot bearing*, *clutch disc* (piringan kopling), *cover clutch* (populer sebagai matahari), dan *release bearing*. Bagian kopling yang paling sering mengalami keausan adalah *clutch disc*. Itu karena fungsi kopling yang harus selalu menahan gerak putaran, sementara gigi transmisi difungsikan. Bila bagian ini rusak maka mobil sama sekali tak bisa bergerak. Sementara kalau kerusakan pada bagian lain, umumnya hanya menyebabkan pedal kopling terasa bergetar.

### ❖ Bejana Tekan

Bejana tekan merupakan suatu konstruksi berbentuk tabung yang menerima beban tekan. Tekanan pada tabung ini bersal dari isi atau fungsi tabung sebagai tempat penyimpanan fluida gas atau cairan yang bertekanan. Konstruksi bejana tekan ini biasanya terbuat dari baja tahan karat sesuai dengan fluida yang tersimpan didalamnya. Proses pembuatan bejana tekan ini dilakukan dengan proses pengerolan dan perakitannya menggunakan proses pengelasan.

Proses pengelasan yang digunakan dipertimbangkan berdasarkan tingkat kerapatan, kebocoran dan sekaligus kekuatannya. Bejana tekan ini dilengkapi dengan berbagai assesoris seperti: alat pengukur tekanan (*pressure gauge*) katup-katup dan berbagai macam alat ukur lainnya. Industri yang banyak menggunakan bejana tekan ini diantaranya adalah industri kimia, ketel-ketel uap, pabrik-pabrik minyak dan sebagainya.

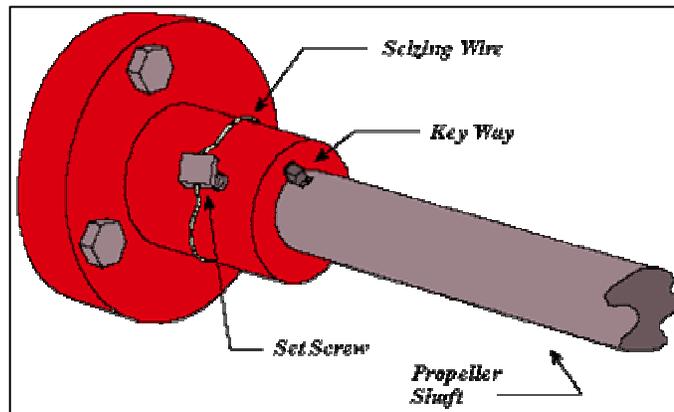


Gambar 1.14. Bejana Tekan

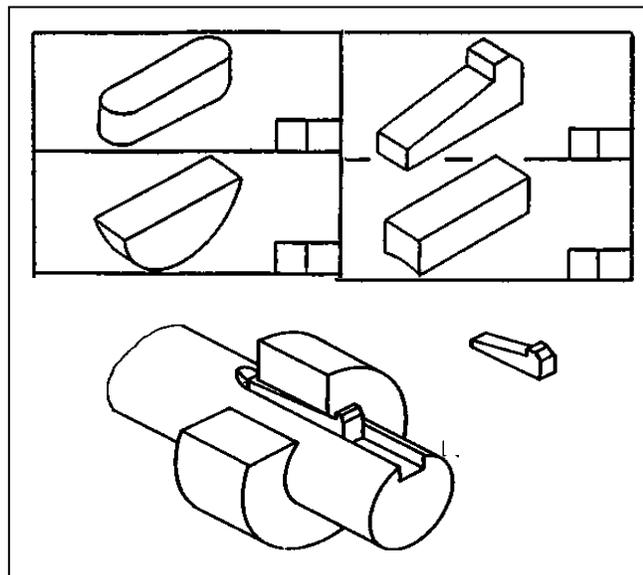
### ❖ Pasak

Pasak merupakan komponen yang sangat penting dalam perencanaan suatu poros. Pasak dipastikan sangat terkait dengan poros dan roda. Posisi pasak berada diantara poros dan roda. Sesuai dengan fungsi pasak yakni sebagai penahan agar roda yang berputar pada poros tidak selip, maka rancangan suatu pasak harus dipertimbangkan

berdasarkan momen puntir yang bekerja pada roda dan poros tersebut. Dimensi pasak berbentuk empat persegi panjang dipasang pada alur pasak di poros dan roda.



Gambar 1.15. Poros, pasak, kopleng



Gambar 1.16. Macam-macam bentuk Pasak

#### ❖ Roda gigi

Transmisi daya adalah upaya untuk menyalurkan/memin-dahkan daya dari sumber daya (motor diesel, bensin, turbin gas, motor listrik dll) ke mesin yang membutuhkan daya (mesin bubut, pompa, kompresor, mesin produksi dll). Ada dua klasifikasi pada transmisi daya :

- Transmisi daya dengan gesekan (*transmission of friction*): *Direct transmission* (roda gesek dll), dan *Indirect transmission* (belt , ban mesin)

- Transmisi dengan gerigi (*transmission of mesh*): *Direct transmission* (gear), dan *Indirect transmission* (rantai, timing belt dll).

Roda gigi digunakan untuk mentransmisikan daya besar dan putaran yang tepat serta jarak yang relatif pendek. Roda gigi dapat berbentuk silinder atau kerucut. Transmisi roda gigi mempunyai keunggulan dibandingkan dengan sabuk atau rantai karena lebih ringkas, putaran lebih tinggi dan tepat, dan daya lebih besar. Kelebihan ini tidak selalu menyebabkan dipilihnya roda gigi di samping cara yang lain, karena memerlukan ketelitian yang lebih besar dalam pembuatan, pemasangan, maupun pemeliharannya.

- ❖ Jenis/Profil gigi pada roda gigi
  - Profil gigi sikloida (*cycloide*): struktur gigi melengkung cembung dan cekung mengikuti pola sikloida .  
Jenis gigi ini cukup baik karena presisi dan ketelitiannya baik , dapat meneruskan daya lebih besar dari jenis yang sepadan, juga keausannya dapat lebih lama. Tetapi mempunyai kerugian, diantaranya pembuatannya lebih sulit dan pemasangannya harus lebih teliti (tidak dapat digunakan sebagai roda gigi pengganti/change wheel), dan harga lebih mahal .
  - Profil gigi evolvente: struktur gigi ini berbentuk melengkung cembung, mengikuti pola evolvente.  
Jenis gigi ini struktur cukup sederhana, cara pembuatannya lebih mudah, tidak sangat presisi dan maupun teliti, harga dapat lebih murah , baik ekali digunakan untuk roda gigi ganti. Jenis profil gigi evolvente dipakai sebagai profil gigi standard untuk semua keperluan transmisi.
  - Profil gigi khusus: misalnya; bentuk busur lingkaran dan miring digunakan untuk transmisi daya yang besar dan khusus.

Bentuk roda gigi yang sering digunakan adalah:

- Gigi lurus (*spur gear*)
- Gigi miring (*helical gear*)
- Gigi panah (*double helica/ herring bone gear*)
- Gigi melengkung/bengkok (*curved/spherical gear* )



Gambar 1.17. Bentuk-bentuk roda gigi  
(jayatehnik.indonetwork.co.id)

- ❖ Kerjasama Roda Gigi
  - Sumbu roda gigi sejajar/paralel:  
Dapat berupa kerjasama roda gigi lurus, miring atau spherical.
  - Sumbu roda gigi tegak lurus berpotongan :  
Dapat berupa roda gigi trapesium/payung/bevel dengan profil lurus (radial), miring (*helical*) atau melengkung (*spherical*)
  - Sumbu roda gigi menyilang tegak lurus :  
Dapat berupa roda gigi cacing(worm), globoida, cavex, hypoid, spiroid atau roda gigi miring atau melengkung.
  - Sumbu roda gigi menyilang :  
Dapat berupa roda gigi skrup (screw/*helical*) atau spherical.
  - Sumbu roda gigi berpotongan tidak tegak lurus :  
Dapat berupa roda gigi payung/trapesium atau helical dll.
  
- ❖ Syarat Dua Roda Gigi Bekerja-Sama  
Beberapa hal yang harus diperhatikan pada roda gigi, apabila dua roda gigi atau lebih bekerja sama maka:
  1. Profil gigi harus sama ( spur atau helical dll)
  2. Modul gigi harus sama ( modul gigi adalah salah satu dimensi khusus roda gigi)
  3. Sudut tekanan harus sama (sudut perpindahan daya antar gigi)

Modul gigi adalah besaran/dimensi roda gigi, yang dapat menyatakan besar dan kecilnya gigi. Bilangan modul biasanya bilangan utuh, kecuali untuk gigi yang kecil. (Bilangan yang ditulis tak berdimensi, walaupun dalam arti yang sesungguhnya dalam satuan mm)

Sudut tekanan adalah sudut yang dibentuk antara garis singgung dua roda gigi dan garis perpindahan gaya antar dua gigi yang bekerja sama.

Perbedaan modul menyebabkan bentuk sama tetapi ukurannya diperkecil, sedangkan perbedaan sudut tekanan menyebabkan tinggi gigi sama tetapi dapat lebih ramping.

Modul gigi (M):  $M = t / (\pi)$

T = jarak bagi gigi (*pitch*)

M = ditulis tanpa satuan (diartikan dalam: mm)

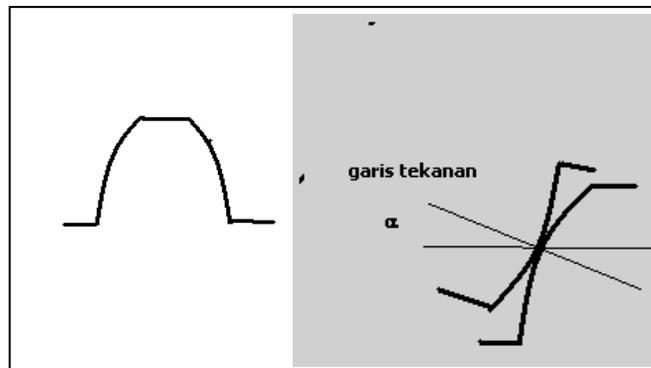
Diameter roda gigi : (ada empat macam diameter gigi)

1. Diameter lingkaran jarak bagi ( $pitch = d$ )
2. Diameter lingkaran dasar (base)
3. Diameter lingkaran kepala (adendum/max)
4. Diameter lingkaran kaki (didendum/min)

Diameter lingkaran jarak(bagi) :  $d = M \cdot z$  ----- (mm)

z = jumlah gigi

sehingga :  $d = (t \cdot z) / \pi$  ----- (mm)



Gambar 1.18. Gambar Sudut Tekanan Roda Gigi

Sudut tekanan ( $\alpha$ ) sudut yang dibentuk dari garis horisontal dengan garis normal dipersinggungan antar gigi. Sudut tekanan sudah di standarkan yaitu:  $\alpha = 20^\circ$ . Akibat adanya sudut tekanan ini, maka gaya yang dipindahkan dari roda gigi penggerak (*pinion*) ke roda gigi yang digerakkan (*wheel*), akan diuraikan menjadi dua gaya yang saling tegak lurus (vektor gaya), gaya yang sejajar dengan garis singgung disebut: gaya tangensial,

sedang gaya yang tegak lurus garis singgung (menuju titik pusat roda gigi) disebut gaya radial. Gaya tangensial merupakan gaya yang dipindahkan dari roda gigi satu ke roda gigi yang lain. Gaya radial merupakan gaya yang menyebabkan kedua roda gigi saling mendorong (dapat merugikan). Dalam era globalisasi sudut tekanan distandarkan:  $\alpha = 20^\circ$ .

#### ❖ Transmisi Roda Gigi

Transmisi daya dengan roda gigi mempunyai keuntungan, diantaranya tidak terjadi slip yang menyebabkan *speed ratio* tetap, tetapi sering adanya slip juga menguntungkan, misalnya pada ban mesin (belt), karena slip merupakan pengaman agar motor penggerak tidak rusak.

Apabila putaran keluaran (*output*) lebih rendah dari masukan (*input*) maka transmisi disebut: reduksi (*reduction gear*), tetapi apabila keluaran lebih cepat dari pada masukan maka disebut: inkripsi (*increaser gear*). Perbandingan input dan output disebut perbandingan putaran transmisi (*speed ratio*), dinyatakan dalam notasi:  $i$ .

Speed ratio :  $i = n_1 / n_2 = d_2 / d_1 = z_2 / z_1$

Apabila:  $i < 1$  = transmisi roda gigi inkripsi

$i > 1$  = transmisi roda gigi reduksi

Ada dua macam roda gigi sesuai dengan letak giginya :

1. Roda gigi dalam (*internal gear*), yang mana gigi terletak pada bagian dalam dari lingkaran jarak bagi.
2. Roda gigi luar (*external gear*), yang mana gigi terletak dibagian luar dari lingkaran jarak, jenis roda gigi ini paling banyak dijumpai.

Roda gigi dalam banyak dijumpai pada transmisi roda gigi planit (*planetary gear*) dan roda gigi cyclo. Apabila dua roda gigi dengan gigi luar maka putaran output akan berlawanan arah dengan putaran inputnya, tetapi bila salah satu roda gigi dengan gigi dalam maka arah putaran output akan sama dengan arah putaran input. Bila kerjasama lebih dari dua roda gigi disebut: transmisi kereta api (*train gear*).

#### ❖ Roda gigi payung (*bevel gear*)

Roda gigi payung atau roda gigi trapesium digunakan apabila diinginkan antara sumbu input dan sumbu output menyudut  $90^\circ$ .

Bentuk gigi yang biasa dipakai pada roda gigi payung :

- Bentuk gigi lurus atau radial
- Bentuk gigi miring atau helical
- Bentuk gigi melengkung atau spherical.

Gaya yang ada: yaitu gaya tangensial, Gaya radial, Gaya aksial. Ketiga gaya dapat dilukiskan sebagai gaya dalam 3 dimensi.



Gambar 1.19. Roda Gigi Payung  
(lmpjogja.diknas.go.id)

❖ Roda gigi cacing (*worm gear*)

Roda gigi cacing (*worm*) digunakan apabila diinginkan antara sumbu input dan sumbu output menyilang tegak lurus. Roda gigi cacing mempunyai karakteristik yang khas, yaitu input dan output tidak dapat dipertukarkan.

Jadi input selalu dari roda cacingnya (*worm*)

Putaran roda gigi cacing (*worm*) =  $n_{WO}$

Jumlah jalan /gang/spoed =  $z_{WO}$  ( 1, 2, 3 )

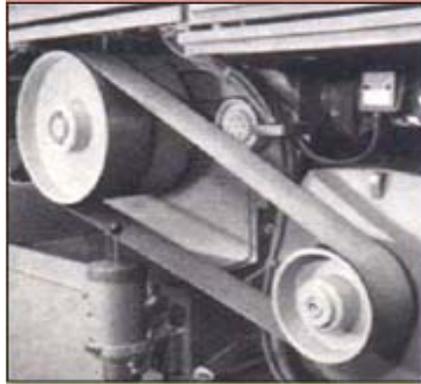


Gambar 1.20. Roda Gigi Cacing  
(www.premier-gear.com)

## ❖ Sabuk/Ban

Biasanya sabuk dipakai untuk memindahkan daya antara 2 buah poros yang sejajar dan dengan jarak minimum antar poros yang tertentu. Secara umum, sabuk dapat diklasifikasikan menjadi 3 jenis:

### 1. Flat belt



Gambar 1.21. Flat Belt  
([www.indiamart.com](http://www.indiamart.com))

### 2. V-belt



Gambar 1.22. V-Belt  
([www.emerson-ept.com](http://www.emerson-ept.com))

### 3. Timing belt



Gambar 1.23. Timing Belt  
([timingbelt.soben.com](http://timingbelt.soben.com))

Sebagian besar transmisi sabuk menggunakan sabuk-V karena mudah penanganannya dan harganya pun murah. Kecepatan sabuk direncanakan untuk 10 sampai 20 (m/s) pada umumnya, dan maksimum sampai 25 (m/s). Daya maksimum yang dapat ditransmisikan kurang lebih sampai 500 (kW).

Sabuk V terbuat dari karet dan mempunyai penampang trapesium. Tenunan tetoron atau semacamnya dipergunakan sebagai inti sabuk untuk membawa tarikan yang besar. Sabuk-V dibelitkan di keliling alur puli yang berbentuk V pula. Bagian sabuk yang sedang membelit pada puli ini mengalami lengkungan sehingga lebar bagian dalamnya akan bertambah besar. Gaya gesekan juga akan bertambah karena pengaruh bentuk baji, yang akan menghasilkan transmisi daya yang besar pada tegangan yang relatif rendah.

Perputaran pulley yang terjadi terus menerus akan menimbulkan gaya sentrifugal (*centrifugal force*), sehingga mengakibatkan peningkatan kekencangan pada sisi kencang/ tight side (T1) dan sisi kendur/slack side (T2). Perubahan tegangan tarik yang terjadi pada sabuk datar yang disebabkan oleh gesekan antara sabuk dengan pulley akan menyebabkan sabuk memanjang atau mengerut dan bergerak relatif terhadap permukaan pulley, gerakan ini disebut dengan *elastic creep*. dengan panjang sabuk yang digunakan seakan-akan tidak dapat digunakan sebagai pendekatan matematis dalam mengatur ketegangan sabuk jika kekencangan sabuk hanya ditinjau dari segi jarak sumbu saja. Oleh karena itu pada sabuk tersebut perlu digunakan idler pulley ataupun ulir pengatur jarak sumbu sehingga ketegangan sabuk dapat diatur dan jarak sumbu yang diperoleh melalui pendekatan empiris di atas merupakan jarak sumbu minimal yang sebaiknya dipenuhi dalam perancangan sabuk.

Pulley dapat digunakan untuk mentransmisikan daya dari poros satu ke poros yang lain melalui sistem transmisi penggerak berupa flat belt, V-belt atau *circular belt*. Perbandingan kecepatan (*velocity ratio*) pada pulley berbanding terbalik dengan diameter pulley dan secara matematis ditunjukkan dengan persamaan :  $D_1/D_2 = N_2/N_1$  Berdasarkan material yang digunakan, pulley dapat diklasifikasikan dalam:

1. Cast iron pulley
2. Steel pulley

3. Wooden pulley
4. Paper pulley

#### ❖ Rantai dan Sproket

Transmisi rantai-sproket digunakan untuk transmisi tenaga pada jarak sedang. Kelebihan dari transmisi ini dibanding dengan transmisi sabuk-puli adalah dapat digunakan untuk menyalurkan daya yang lebih besar.



Gambar 1.24. Rantai dan Sproket  
([www.tptsa.co.za](http://www.tptsa.co.za))

Kelebihan dari penggunaan transmisi rantai dan sproket adalah:

- Transmisi tanpa slip (perbandingan putaran tetap)
- Dapat meneruskan daya besar
- Keausan kecil pada bantalan
- Jarak poros menengah (antara belt dan gear)

Sedangkan kekurangan dari transmisi ini adalah:

- Tidak dapat dipakai untuk kecepatan tinggi (max. 600 m/min)
- Suara dan getaran tinggi
- Perpanjangan rantai karena keausan pena dan bus.

### 1.2.4. Mengenal Mesin Perkakas dan Otomasi

#### ❖ Mesin-Mesin Perkakas

Mesin perkakas terdiri dari berbagai macam jenis sesuai dengan produksi yang dihasilkannya. Produksi yang dihasilkan juga sangat bervariasi tergantung dari dimensi, bentuk profil yang dihasilkan. Pada prinsipnya proses pengerjaan pada mesin perkakas ini merupakan proses pembentukan logam menjadi bentuk-bentuk yang diinginkan. Proses pembentukan ini dapat dilakukan dengan penyayatan logam atau proses perubahan bentuk dari geometris bahan

logam. Beberapa contoh mesin perkakas dapat dilihat sebagai berikut :



Gambar 1.25. Mesin Bubut

Mesin bubut (lathe machine) merupakan salah satu mesin perkakas yang banyak digunakan untuk memproduksi berbagai macam komponen permesinan. Membubut adalah suatu proses pemakanan benda kerja yang sayatannya dilakukan dengan cara memutar benda kerja kemudian dikenakan pada pahat yang digerakkan secara translasi sejajar dengan sumbu putar dari benda kerja. Gerakan putar dari benda kerja disebut gerak potong relatif dan gerakan translasi dari pahat disebut gerak umpan (*feeding*). Memutar memerlukan two-axis, kendali alur berlanjut, yang manapun untuk menghasilkan suatu ilmu ukur silindris lurus/langsung atau untuk menciptakan suatu profil.

Bedanya dengan Mesin perkakas NC adalah meliputi mesin dengan operasi tujuan tunggal, yang memberikan informasi kuantitatif seperti pengerjaan dengan mesin operasi yang disajikan oleh suatu komputer kendali dengan program database berupa kode data yang diubah untuk satu rangkaian perintah yang menyimpan instruksi secara langsung untuk mengendalikan alat-alat bermesin CNC (Computer Numerical Control).



Gambar Mesin 1.26. Perkakas CNC

Istilah computer numerical control (CNC) digunakan bila sistem kontrol memakai komputer internal. Komputer internal memungkinkan penyimpanan program tambahan, penyuntingan program, penjalanan program dari memori, diagnostik kontrol dan pemeriksaan mesin, pekerjaan rutin-rutin dan khusus, dan kemampuan melakukan perubahan skala inci/ metrik/ absolut.

Pembuatan komponen dengan CNC memerlukan akses langsung ke mesin dan instalasi komputer agar memperoleh pengalaman praktis yang amat diperlukan. Dalam menggunakan piranti dan jenis mesin tertentu, seperti mengoperasikan mesin-mesin turning, milling dan drilling harus memahami bahasa serta teknik pemrograman memerlukan instruksi.

#### ❖ **Sistem Pengoperasian Mesin CNC**

Kode data diubah untuk satu rangkaian perintah, yang mana servo mekanisme, seperti suatu pijakan motor yang berputar sesuai jumlah yang telah ditetapkan, memperbaiki dengan masing-masing mengemudi dari suatu meja pekerjaan dan suatu alat untuk melaksanakan suatu pengerjaan dengan mesin dan gerakan yang ditetapkan oleh suatu sistem pengulangan tertutup atau terbuka.

Sistem operasi dari mesin perkakas NC adalah menggunakan sistem operasi CNC sehingga diperlukan pengenalan kode data untuk menjalankan satu rangkaian perintah. Adapun contoh dari sistem operasi dari mesin perkakas NC adalah:



Gambar 1.27. Mesin Potong Otomatis



Gambar 1.28. Mesin Forging dan Squeezing



Gambar 1.29. Mesin Perkakas NC

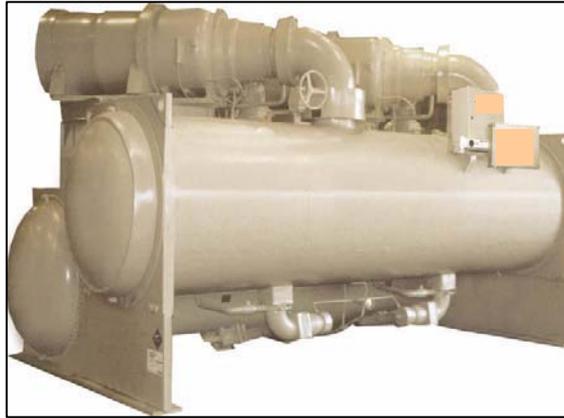


Gambar 1.30. Mesin Rolling

### 1.2.5. Mengenal Proses Mesin Koversi Energi

#### ❖ Kompresor

Kompresor adalah alat mekanik yang berfungsi untuk meningkatkan tekanan fluida mampu mampat, yaitu gas atau udara. Tujuan meningkatkan tekanan dapat untuk mengalirkan atau kebutuhan proses dalam suatu sistem proses yang lebih besar (dapat sistem fisika maupun kimia contohnya pada pabrik-pabrik kimia untuk kebutuhan reaksi). Secara umum kompresor dibagi menjadi dua jenis yaitu dinamik dan perpindahan positif.

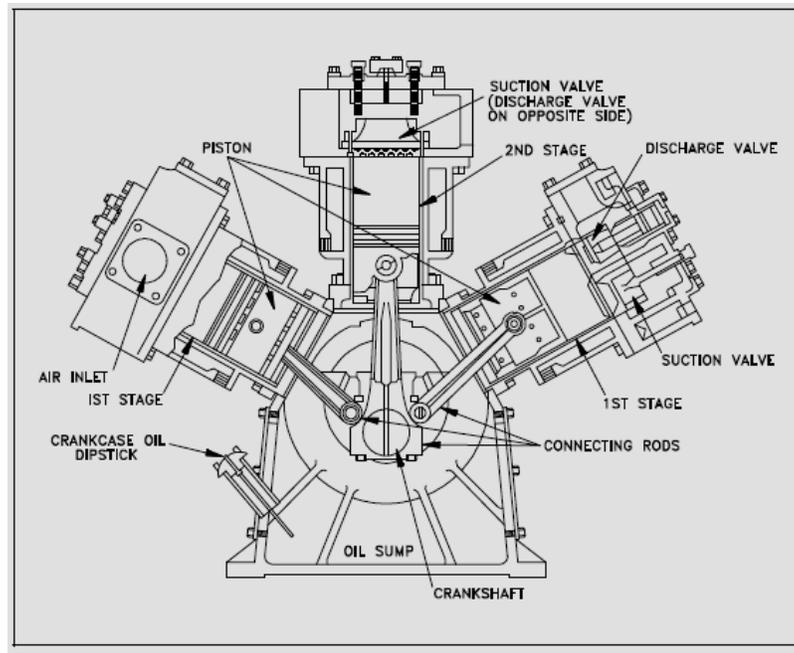


Gambar.1.31. Kompresor sentrifugal  
([www.mcquayservice.com](http://www.mcquayservice.com))

Kompresor dapat dibagi atas beberapa jenis yaitu:

- Kompresor dinamik
  - ✓ Kompresor Sentrifugal
  - ✓ Kompresor Axial
- Kompresor perpindahan positif (positive displacement):
  - ✓ Kompresor Piston (Reciprocating Compressor)
    - Kompresor Piston Aksi Tunggal
    - Kompresor Piston Aksi Ganda
    - Kompresor Piston Diafragma
  - ✓ Kompresor Putar
    - Kompresor Ulir Putar (Rotary Screw Compressor)
    - Lobe
    - Vane
    - Liquid Ring
    - Scroll

Kapasitas kompresor adalah debit penuh aliran gas yang ditekan dan dialirkan pada kondisi suhu total, tekanan total, dan diatur pada saluran masuk kompresor. Debit aliran yang sebenarnya bukan merupakan nilai volume aliran yang tercantum pada data alat, yang disebut juga pengiriman udara bebas/*free air delivery* (FAD) yaitu udara pada kondisi atmosfer di lokasi tertentu. FAD tidak sama pada setiap lokasi sebab ketinggian, barometer, dan suhu dapat berbeda untuk lokasi dan waktu yang berbeda.



Gambar 1.32. Kompresor Torak

Pengukuran efisiensi kompresor yang biasa digunakan adalah efisiensi volumetrik, efisiensi adiabatik, efisiensi isotermal, dan efisiensi mekanik. Efisiensi adiabatik dan isotermal dihitung daya isotermal atau adiabatik dibagi oleh konsumsi daya aktual.

#### ❖ Pompa

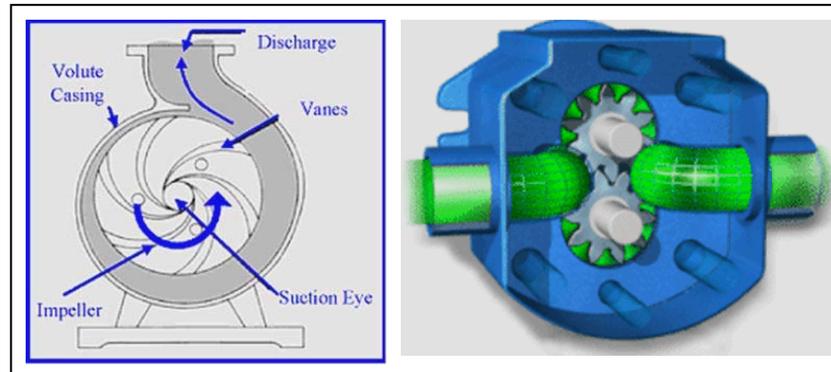
Pompa adalah alat untuk menggerakkan cairan atau adonan. Pompa menggerakkan cairan dari tempat bertekanan rendah ke tempat dengan tekanan yang lebih tinggi, untuk mengatasi perbedaan tekanan ini maka diperlukan tenaga (energi). Pompa untuk udara biasa disebut Kompresor, kecuali untuk beberapa aplikasi bertekanan rendah, seperti di Ventilasi, Pemanas, dan Pendingin ruangan maka sebutannya menjadi fan atau penghembus (*blower*).

Pompa memiliki dua kegunaan utama:

- Memindahkan cairan dari satu tempat ketempat lainnya (misalnya air dan aquifer bawah tanah ke tangki penyimpanan air)
- Mensirkulasikan cairan sekitar sistem (misalnya air pendingin atau pelumas yang mekewati mesin-mesin dan peralatan)

Komponen utama sistem pemompaan adalah:

- Pompa
- Mesin penggerak (motor listrik, mesin diesel atau sistem udara)
- Pemipaan, digunakan untuk membawa fluida
- Kran, digunakan untuk mengendalikan aliran dalam sistem
- Sambungan, pengendalian dan instrumen lainnya
- Peralatan pengguna akhir yang memiliki berbagai persyaratan



Gambar 1. 33. Pompa Centrifugal dan Roda gigi

Pompa terdiri dari berbagai jenis dan ukuran. Pompa dapat dikelompokkan menurut prinsip operasi dasarnya seperti pompa dinamik atau pompa pemindahan positif. Pompa pemindahan positif dikenal dengan cara operasinya. Cairan diambil dari salah satu ujung dan pada ujung lainnya dialirkan secara positif untuk setiap putarannya. Pompa pemindahan positif digunakan secara luas untuk pemompaan fluida selain air, biasanya fluida kental. Pompa pemindahan positif digolongkan berdasarkan cara pemindahannya yaitu pompa *reciprotating* dan pompa *rotary*.

Pompa dinamik juga dikarakteristikan oleh cara pompa tersebut beroperasi: impeler yang berputar mengubah energi kinetik menjadi tekanan atau kecepatan yang diperlukan untuk memompa fluida. Terdapat dua jenis pompa dinamik yaitu Pompa sentrifugal pompa dengan efek.

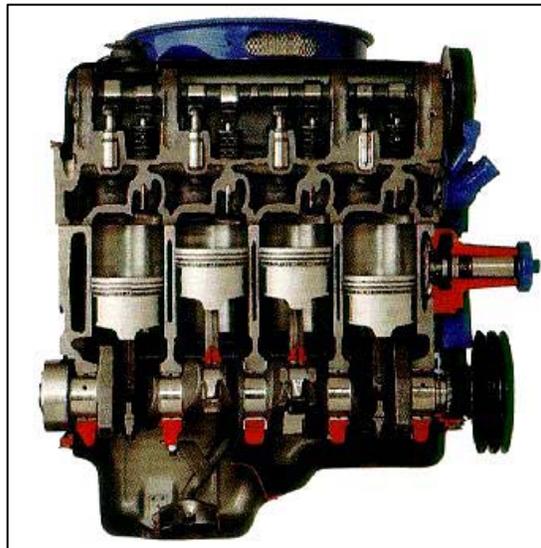
#### ❖ Motor bakar

Motor bakar adalah mesin atau pesawat yang menggunakan energi termal untuk melakukan kerja mekanik, yaitu dengan cara merubah energi kimia dari bahan bakar menjadi energi panas, dan menggunakan energi tersebut untuk melakukan kerja mekanik. Energi termal diperoleh dari pembakaran

bahan bakar pada mesin itu sendiri. Ditinjau dari cara memperoleh energi termal ini (proses pembakaran bahan bakar), maka motor bakar dapat dibagi menjadi 2 golongan yaitu: motor pembakaran luar dan motor pembakaran dalam.

- **Motor pembakaran luar**

Pada motor pembakaran luar ini, proses pembakaran bahan bakar terjadi di luar mesin itu, sehingga untuk melaksanakan pembakaran digunakan mesin tersendiri. Panas dari hasil pembakaran bahan bakar tidak langsung diubah menjadi tenaga gerak, tetapi terlebih dulu melalui media penghantar, baru kemudian diubah menjadi tenaga mekanik. Misalnya pada ketel uap dan turbin uap.



Gambar 1.34. Motor pembakaran luar  
(wahyonodedy.wordpress.com)

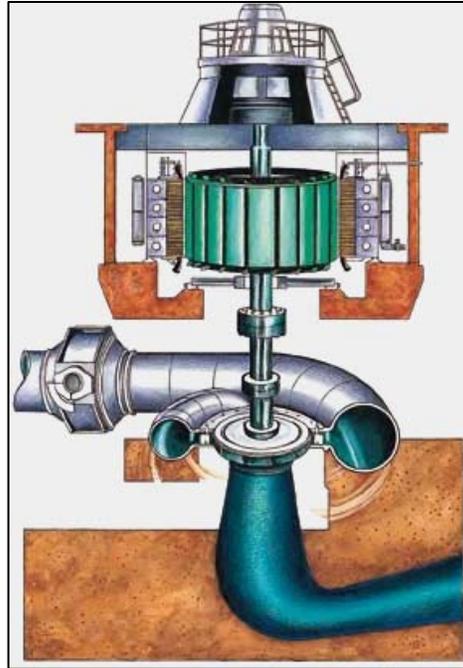
- **Motor pembakaran dalam**

Pada motor pembakaran dalam, proses pembakaran bahan bakar terjadi di dalam mesin itu sendiri, sehingga panas dari hasil pembakaran langsung bisa diubah menjadi tenaga mekanik. Misalnya : pada turbin gas, motor bakar torak dan mesin propulsi pancar gas.

- ❖ **Turbin**

Kata "*turbine*" ditemukan oleh seorang insinyur Perancis yang bernama Claude Bourdin pada awal abad 19, yang diambil dari terjemahan bahasa Latin dari kata "*whirling*".

(putaran) atau "vortex" (pusaran air). Perbedaan dasar antara turbin air awal dengan kincir air adalah komponen putaran air yang memberikan energi pada poros yang berputar. Komponen tambahan ini memungkinkan turbin dapat memberikan daya yang lebih besar dengan komponen yang lebih kecil. Turbin dapat memanfaatkan air dengan putaran lebih cepat dan dapat memanfaatkan head yang lebih tinggi. (Untuk selanjutnya dikembangkan turbin impulse yang tidak membutuhkan putaran air).



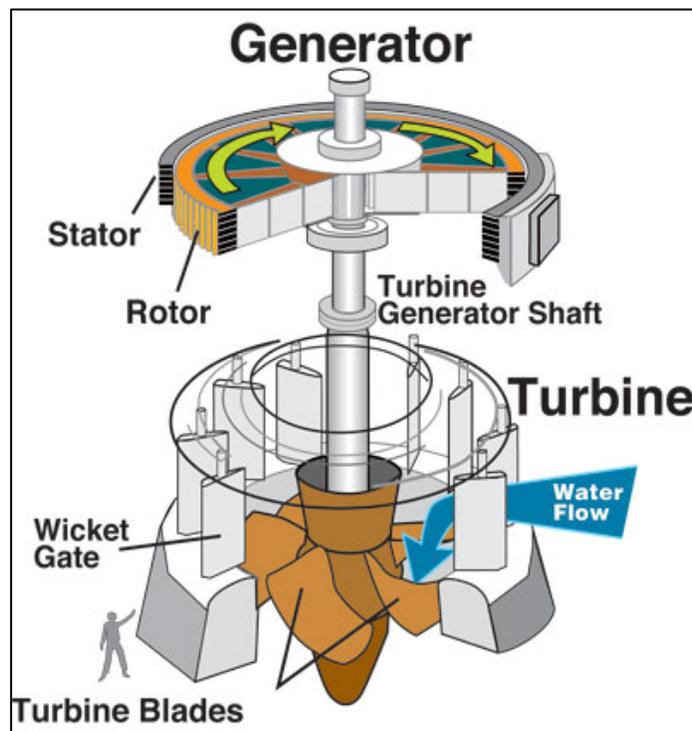
Gambar.1.35. Turbin air  
([www.rise.org.au](http://www.rise.org.au))

Turbin air dapat diklasifikasikan berdasarkan beberapa cara, namun yang paling utama adalah klasifikasi turbin air berdasarkan cara turbin air tersebut merubah energi air menjadi puntir. Berdasarkan klasifikasi ini, maka turbin air dikelompokkan menjadi dua yaitu:

- Turbin impuls  
Turbin impuls merubah aliran semburan air. Semburan turbin membentuk sudut yang membuat aliran turbin. Hasil perubahan momentum (impuls) disebabkan tekanan pada sudu turbin. Sejak turbin berputar, gaya berputar melalui kerja dan mengalihkan aliran air dengan mengurangi energi. Sebelum mengenai sudu turbin, tekanan air (energi potensial) dikonversi menjadi energi

kinetik oleh sebuah nosel dan difokuskan pada turbin. Tidak ada tekanan yang dirubah pada sudu turbin, dan turbin tidak memerlukan rumahannya untuk operasinya. Hukum kedua Newton menggambarkan transfer energi untuk turbin impuls. Turbin impuls paling sering digunakan pada aplikasi turbin tekanan sangat tinggi. Contoh turbin impuls adalah Pelton, Turgo, dan Michell-Banki (juga dikenal sebagai turbin crossflow atau assberger)

- Turbin reaksi
  - Turbin reaksi adalah turbin air yang cara kerjanya dengan merubah seluruh energi air yang tersedia menjadi energi puntir. Turbin reaksi ini dibagi menjadi dua jenis yaitu:
    - Francis
    - Propeller



Gambar 1.36. Turbin Propeller (Kaplan)  
(www.answers.com)

### 1.3. Rangkuman

Proses pembentukan logam untuk berbagai macam peralatan dikerjakan oleh para ahli logam yang mempunyai keterampilan khusus. Proses pembentukan untuk bentuk-bentuk profil dilakukan seluruhnya dengan menggunakan keahlian tangan. Peralatan bantu yang

digunakan meliputi berbagai macam bentuk palu, landasan-landasan pembentuk serta model-model cetakan sederhana. Dewasa ini, proses pembentukan sudah berkembang seiring perkembangan teknologi. Perkembangan teknologi pembentukan logam ini ditandai dengan ditemukannya proses pembentukan dengan menggunakan alat-alat pembentuk dengan menggunakan penekan sistem hidrolik, juga menggunakan landasan, *punch*, *swage*, *dies* sebagai alat bantu untuk membentuk profil-profil yang diinginkan. Metoda yang digunakan pada proses pembentukan logam diantaranya adalah proses *bending* atau penekukan, *squeezing*, *rolling*, *spinning*, *deep drawing*, *stretching*, *crumpling*, *blanking*, *press* dan sebagainya.

Ruang lingkup yang harus dipelajari dalam dalam teknik pembentukan ini adalah:

- Mengetahui Dasar Teknik Pembentukan dan Pengecoran.
  - Dasar Teknik Pembentukan  
Teknik pembentukan *logam* merupakan proses yang dilakukan dengan cara memberikan perubahan bentuk pada benda kerja. Aplikasi pembentukan logam ini dapat dilihat pada beberapa contohnya seperti pengerolan (*rolling*), pembengkokan (*bending*), tempa (*forging*), ekstrusi (*extruding*), penarikan kawat (*wire drawing*), penarikan dalam (*deep drawing*), dan lain-lain.
  - Dasar Teknik Pengecoran  
Proses Pengecoran (*casting*) adalah salah satu teknik pembuatan produk dimana logam dicairkan dalam tungku peleburan kemudian di tuangkan kedalam rongga cetakan yang serupa dengan bentuk asli dari produk cor yang akan dibuat. Proses pengecoran sendiri dibedakan menjadi dua macam, yaitu *traditional casting* (tradisional) dan *non-traditional/contemporary casting* (non-tradisional).
- Mengetahui Dasar Statika dan Tegangan  
Statika adalah bagian dari mekanika. Statika membahas kesetimbangan benda di bawah pengaruh gaya, sedangkan dinamika membahas gerakan benda. Ada beberapa konsep dasar dalam mempelajari mekanika. Konsep-konsep dasar dari mekanika meliputi ruang, waktu, massa, gaya, partikel, dan benda tegar. Proses pembentukan secara metalurgi merupakan proses deformasi plastis. Deformasi plastis ini artinya adalah apabila bahan mengalami pembebanan sewaktu terjadinya proses pembentukan, dimana setelah beban dilepaskan maka diharapkan pelat tidak kembali kekeadaan semula. Bahan yang mengalami proses pembentukan ini mengalami peregangan atau penyusutan. Benda dikatakan mencapai kesetimbangan jika benda tersebut dalam keadaan diam/statis atau dalam keadaan bergerak beraturan/dinamis.

- Mengenal Komponen/Elemen Mesin  
Yang termasuk dalam komponen/elemen mesin adalah:
  - Paku Kelig/Rivet  
Paku keling/*rivet* adalah salah metoda penyambungan yang sederhana. Sambungan keling umumnya diterapkan pada jembatan, bangunan, ketel, tangki, kapal dan pesawat terbang.
  - Sambungan Las  
Proses pengelasan adalah proses penyambungan logam dengan menggunakan energi panas.
  - Sambungan Skrup dan Mur  
Sekrup atau baut adalah suatu batang atau tabung dengan alur heliks pada permukaannya. Sambungan skrup/baut dan mur merupakan sambungan yang tidak tetap artinya sewaktu-waktu sambungan ini dapat dibuka.
  - Poros  
Poros adalah suatu bagian stasioner yang berputar, biasanya berpenampang bulat dimana terpasang elemen-elemen seperti roda gigi (*gear*), *pulley*, *flywheel*, engkol, *sprocket* dan elemen pemindah lainnya.
  - Kopling  
Kopling merupakan piranti otomotif yang berfungsi menghubungkan atau melepaskan pengaruh putaran mesin dengan transmisi.
  - Bejana Tekan  
Bejana tekan merupakan suatu konstruksi berbentuk tabung yang menerima beban tekan.
  - Pasak  
Pasak merupakan komponen yang sangat penting dalam perencanaan suatu poros. Pasak dipastikan sangat terkait dengan poros dan roda.
  - Roda gigi  
Roda gigi digunakan untuk mentransmisikan daya besar dan putaran yang tepat serta jarak yang relatif pendek.
  - Sabuk/Ban  
Sabuk dipakai untuk memindahkan daya antara 2 buah poros yang sejajar dan dengan jarak minimum antar poros yang tertentu.
  - Rantai dan Sproket  
Transmisi rantai-sproket digunakan untuk transmisi tenaga pada jarak sedang.
- Mengenal Mesin Perkakas dan Otomasi  
Pada prinsipnya proses pengerjaan pada mesin perkakas ini merupakan proses pembentukan logam menjadi bentuk-bentuk yang diinginkan. Proses pembentukan ini dapat dilakukan dengan penyayatan logam atau proses perobahan bentuk dari geometris bahan logam. Bedanya dengan Mesin perkakas NC adalah meliputi

mesin dengan operasi tujuan tunggal, yang memberikan informasi kuantitatif seperti pengerjaan dengan mesin operasi yang disajikan oleh suatu komputer kendali dengan program database berupa kode data yang diubah untuk satu rangkaian perintah yang menyimpan instruksi secara langsung untuk mengendalikan alat-alat bermesin CNC (Computer Numerical Control).

- Mengetahui Proses Mesin Konversi Energi
  - Kompresor  
Kompresor adalah alat mekanik yang berfungsi untuk meningkatkan tekanan fluida mampu mampat, yaitu gas atau udara. Secara umum kompresor dibagi menjadi dua jenis yaitu dinamik dan perpindahan positif.
  - Pompa  
Pompa adalah alat untuk menggerakkan cairan atau adonan. Pompa terdiri dari berbagai jenis dan ukuran. Pompa dapat dikelompokkan menurut prinsip operasi dasarnya seperti pompa dinamik atau pompa pemindahan positif.
  - Motor  
Motor bakar adalah mesin atau pesawat yang menggunakan energi termal untuk melakukan kerja mekanik, yaitu dengan cara merubah energi kimia dari bahan bakar menjadi energi panas, dan menggunakan energi tersebut untuk melakukan kerja mekanik.
  - Turbin  
Turbin jika diterjemahkan mengandung arti putaran atau pusing. Perbedaan dasar antara turbin air awal dengan kincir air adalah komponen putaran air yang memberikan energi pada poros yang berputar.

#### 1.4. Soal Latihan

1. Ceritakan secara singkat sejarah pembentukan logam?
2. Sebutkan metode-metode yang sering digunakan pada proses pembentukan logam?
3. Sebutkan tahapan-tahapan yang dilakukan dalam proses pembentukan untuk suatu alat?
4. Jelaskan pengertian dari proses pengecoran logam
5. Sebutkan bagian-bagian utama dari cetakan pengecoran logam?
6. Sebutkan jenis besi apa saja yang dapat digunakan sebagai bahan dasar pengecoran logam?
7. Jelaskan pengertian ruang, waktu, massa, gaya, partikel, dan benda tegar dalam mekanika?
8. Apa saja yang termasuk dalam komponen elemen mesin. Jelaskan?
9. Apa yang dimaksud dengan poros dan tuliskan jenis-jenis poros?
10. Jelaskan pengertian dari kompresor dan sebutkan jenis-jenisnya?

## BAB 2

**KESELAMATAN KERJA**

Keselamatan kerja tidak hanya untuk dipelajari, tetapi harus dihayati dan dilaksanakan, karena keselamatan kerja adalah merupakan bagian yang sangat penting dalam bekerja di bengkel (*workshop*). Keselamatan kerja juga bukan hanya diperuntukkan bagi orang yang bekerja saja, tetapi juga diperuntukkan bagi peralatan atau mesin yang digunakan untuk bekerja, benda kerja dan lingkungan tempat bekerja.

Mempelajari bagaimana bekerja dengan baik dan berhasil, harus diikuti dengan mempelajari bagaimana bekerja dengan selamat. Bekerja dengan selamat merupakan tujuan utama dari manusia yang bekerja.

Menciptakan keadaan atau kondisi kerja yang aman, bukanlah tanggung jawab para instruktur atau pengelola bengkel saja, tetapi menjadi tanggung jawab antara pekerja/siswa dan instruktur serta pengelola bengkel. Para siswa atau pekerja harus belajar bagaimana bekerja tanpa menimbulkan kecelakaan/ melukai diri sendiri atau melukai orang lain yang bekerja disekitarnya, serta menimbulkan kerusakan pada mesin atau peralatan yang digunakan untuk bekerja.

Kecelakaan kerja memang tidak dapat diramalkan sebelumnya, tetapi kecelakaan kerja seharusnya dapat dicegah. Misalnya dengan jalan memberikan penjelasan secara rinci dan ringkas mengenai langkah kerja dalam mengerjakan sesuatu pekerjaan tertentu, dan selalu mengingatkan para pekerja agar selalu bekerja dengan cara kerja yang benar sesuai

dengan prosedur. Selanjutnya perlu dilakukan beberapa kajian secara detail mengenai masalah-masalah yang sering menyebabkan terjadinya kecelakaan akibat pekerjaan. Hampir semua peralatan yang ada dalam bengkel dapat menimbulkan kecelakaan dan dapat melukai diri pekerja maupun orang lain disekitar tempat bekerja. Akibat kecelakaan ini juga dapat merusak peralatan dan lingkungan tempat bekerja. Untuk itu secara teratur harus dilakukan pemeriksaan terhadap peralatan kerja serta lingkungan tempat bekerja. Para pekerja juga harus melakukan pemeriksaan pada peralatan sebelum dilakukannya proses pekerjaan atau penggunaan peralatan tersebut. Pekerja juga harus mengetahui langkah-langkah kerja yang aman agar tidak melakukan kesalahan dalam bekerja.

Kecelakaan akibat bekerja dapat menimbulkan berbagai kerugian, baik kerugian pada diri sendiri atau kerugian pada perusahaan tempat bekerja. Kerugian yang terjadi pada pekerja/siswa diantaranya rasa sakit yang tidak menyenangkan, cacat tubuh berkelanjutan, kurangnya penglihatan, pendengaran, tersisih dari rekan sekerja dan timbul rasa rendah diri akibat cacat yang diderita pekerja. Di samping itu juga dapat berakibat tidak dapat bekerja seperti sedia kala. Kerugian bagi perusahaan terutama pada biaya pengobatan, biaya perbaikan mesin, kehilangan jam kerja, menurunnya hasil produksi, dan pengeluaran santunan kesehatan. Apabila siswa yang mengalami kecelakaan dapat berakibat kerugian-kerugian terhadap diri siswa, orang tua dan sekolah.



Gambar 2.1. Langkah Sebelum Bekerja

Kecelakaan kerja hampir tidak dapat dihilangkan, tetapi kecelakaan ini dapat dicegah sebelum terjadi yakni dengan melakukan pekerjaan menurut teknik dan prosedur yang benar serta harus memperhatikan kondisi kesehatan sebelum melakukan pekerjaan. Apabila seseorang merasa kurang sehat atau sakit, maka akan mengakibatkan terganggunya konsentrasi dalam bekerja. Gangguan konsentrasi kerja ini dapat

menyebabkan kecelakaan yang cukup berbahaya. Pada bagian berikut ini diberikan penjelasan singkat tentang cara pencegahan kecelakaan.



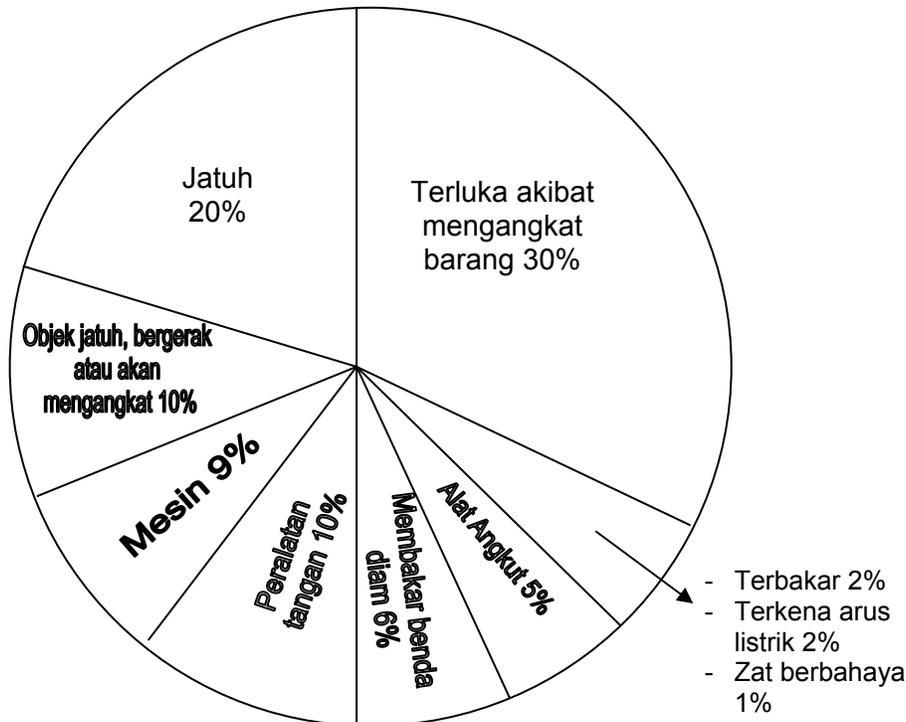
Gambar 2.2. Akibat kecelakaan kerja

### 2. 1. Kenali Pekerjaan yang Berbahaya.

Bagaimana, dimana, dan mengapa kecelakaan kerja bisa terjadi atau timbul. Ketiga pertanyaan ini harus dijawab oleh orang yang bertanggung jawab terhadap masalah keselamatan kerja. Setiap terjadi kecelakaan kerja akan selalu timbul pertanyaan mengapa kecelakaan kerja tersebut dapat terjadi. Untuk menjawab pertanyaan tersebut perlu dilakukan penyelidikan/pemeriksaan terhadap kecelakaan tersebut. Hasil pemeriksaan akan dapat menjawab secara lengkap mengenai penyebab terjadinya kecelakaan. Dalam pemeriksaan tersebut petugas pemeriksa menanyai pekerja yang mengalami kecelakaan, menanyai pekerja lain yang berdekatan dengan terjadinya kecelakaan kerja dan memeriksa sekeliling tempat kejadian termasuk mesin yang digunakan untuk bekerja.

Penyebab terjadinya kecelakaan dicatat dan didokumentasikan secara baik dengan cara membuat daftar khusus yang berisikan tentang jenis kecelakaan yang terjadi, faktor-faktor penyebabnya dan langkah-langkah penanggulangannya. Daftar khusus ini sangat berguna di kemudian hari, apabila terjadi lagi kecelakaan serupa. Di samping itu daftar khusus ini dapat juga digunakan untuk melakukan training/latihan bagi teknisi/atau pegawai baru. Pegawai baru sudah mengetahui terlebih dahulu bahaya-bahaya/kecelakaan kerja mungkin terjadi dan ia sudah mengetahui penyebab terjadinya kecelakaan, serta mengetahui cara menghindarkan agar tidak terjadi kecelakaan kerja.

Umumnya kecelakaan kerja diakibatkan oleh tiga unsur utama, yaitu unsur manusianya, unsur mesinnya, dan unsur lingkungannya. Ditinjau dari segi jenis kecelakaan yang sering terjadi di dalam bengkel kerja mesin atau perusahaan adalah seperti diperlihatkan pada gambar/grafik di bawah ini:



Gambar 2.3. Prosentase penyebab kecelakaan kerja Di dalam bengkel kerja mesin (Sumantri,1989)

Pembuatan daftar khusus tersebut hendaknya bisa dibuat penyebab timbulnya kecelakaan secara beruntun, misalnya unsur mesin, unsur manusia, dan unsur lingkungan kerjanya. Faktor-faktor yang dapat menyebabkan timbulnya kecelakaan kerja di bawah ini diberikan beberapa contoh, baik yang menyangkut unsur mesin, unsur manusia dan unsur lingkungan kerja. Tetapi karena titik bahasan kita hanya pada masalah teknik pembentukan, maka contoh tersebut khusus untuk peralatan teknik pembentukan dan cara bekerja pada bengkel teknik pembentukan.

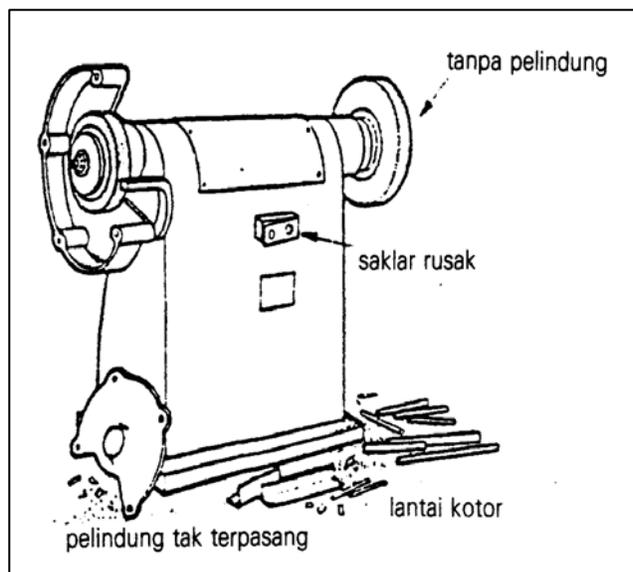
### 2.1.1. Unsur alat/mesin yang dapat menyebabkan timbulnya kecelakaan kerja.

Telah diuraikan di atas, bahwa hampir semua peralatan atau mesin dapat mengakibatkan kecelakaan kerja, tetapi pada kesempatan ini hanya akan diberikan beberapa contoh peralatan/mesin pada bengkel teknik pembentukan.

### ❖ Mesin gerinda

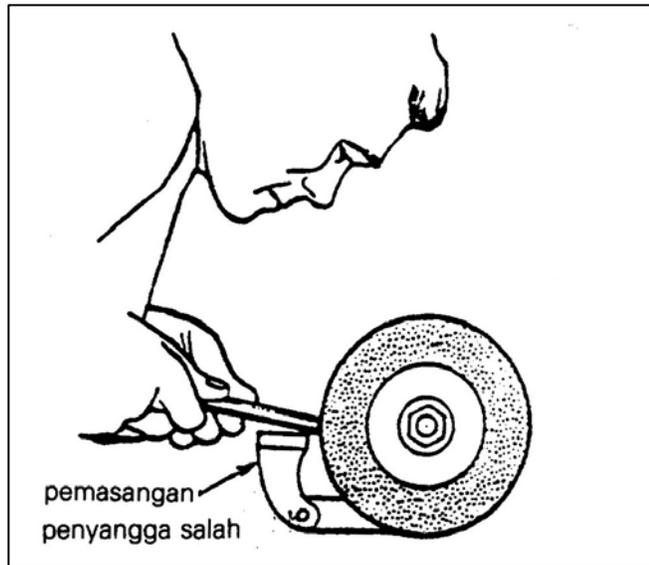
Kecelakaan kerja yang sering terjadi pada mesin gerinda adalah:

- Terkena Arus Listrik  
Kecelakaan kerja karena terkena arus listrik ini disebabkan oleh pemasangan instalasi kelistrikan pada mesin tidak baik, sehingga arus dapat mengalir melalui badan mesin gerinda.
- Terkena pecahan batu gerinda  
Kecelakaan ini disebabkan pada mesin tidak dipasang penutup batu gerinda, sehingga pada saat batu gerinda pecah akan terlempar. Karena batu gerinda tanpa pelindung, maka kemungkinan pecahan batu gerinda tersebut dapat mengenai pekerja.



Gambar 2.4. Mesin gerinda tanpa pelindung batu gerinda

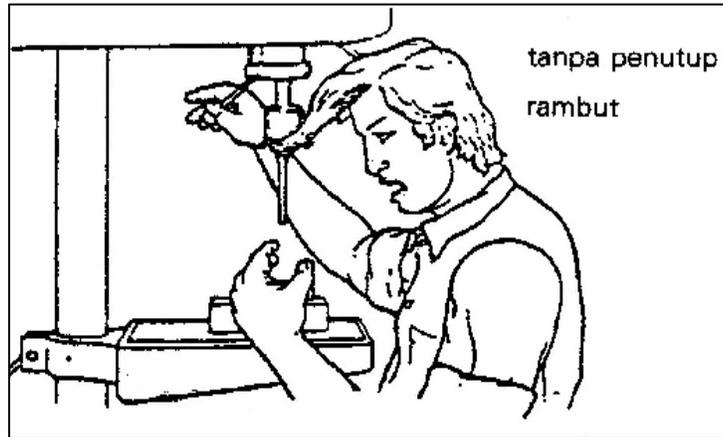
- Jari tangan terpotong oleh batu gerinda  
Kecelakaan ini disebabkan oleh tidak benarnya pemasangan penyangga benda kerja (jarak antara batu gerinda dan penyangga benda kerja terlalu lebar). Jarak penyangga dan batu gerinda yang benar adalah sebesar 2 sampai 3 milimeter.



Gambar 2.5. Pemasangan penyanggah tidak benar

#### ❖ Mesin bor

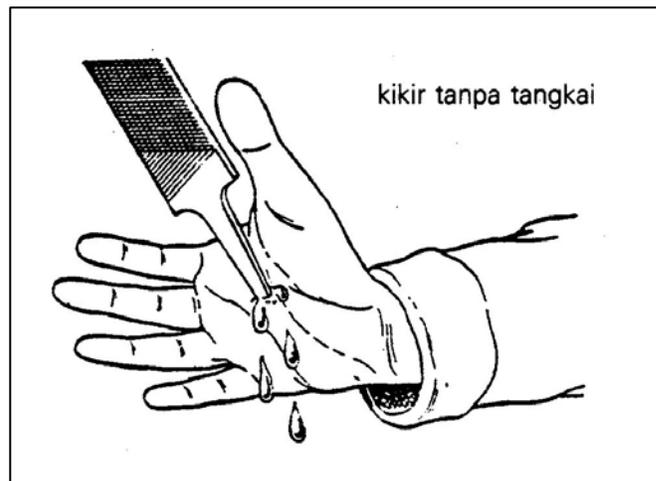
- Terkena Arus Listrik  
Kecelakaan ini biasanya diakibatkan oleh pemakaian mesin bor tangan yang digerakkan listrik, di mana groundnya tidak terhubung. Untuk mesin bor meja dan bor tiang kemungkinannya adalah sistem pemasangan kelistrikannya yang tidak benar.
- Rambut terpintal oleh mata bor  
Kecelakaan ini diakibatkan oleh penutup mata bor pada mesin tidak terpasang, dan manusia yang bekerja pada mesin bor tidak menggunakan alat-alat keselamatan kerja, seperti penutup rambut atau penutup kepala. Apabila tidak memakai penutup rambut, maka sebaiknya rambut yang panjang diikat terlebih dahulu. Di samping itu juga tidak berkonsentrasi dalam bekerja (sewaktu melakukan pengeboran).



Gambar 2.6. Rambut terpental pada mata bor

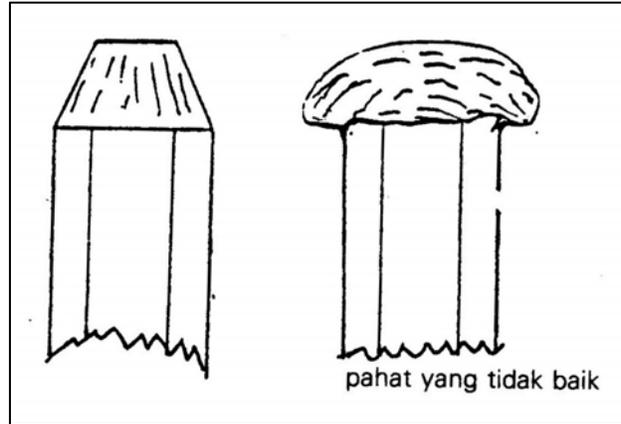
#### ❖ Peralatan Tangan

- Kikir  
Pemakaian kikir yang tidak bertangkai dapat menimbulkan kecelakaan kerja, seperti tangan tertusuk oleh pemegang kikir.



Gambar 2.7. Luka karena kikir

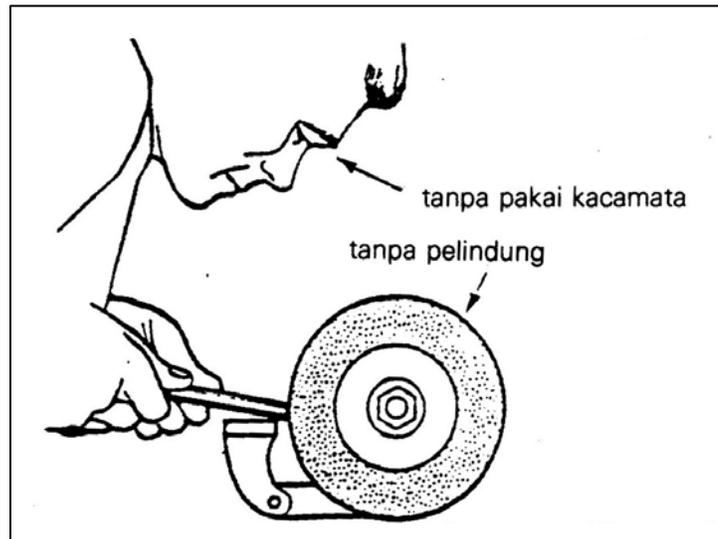
- Pahat tangan  
Pemakaian pahat tangan di mana bagian kepala pahat telah mengembang dapat mengakibatkan luka pada tangan, disebabkan tangan terkena badan mata pahat yang mengembang.



Gambar 2.8. Pahat yang telah mengembang

### 2.1.2. Faktor manusianya

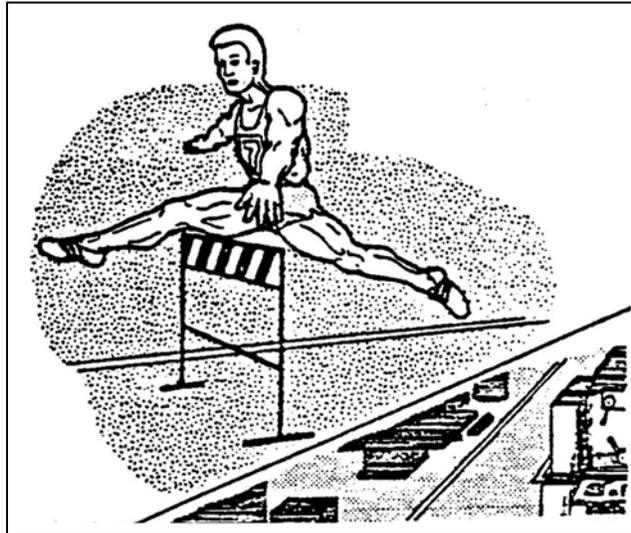
Kecelakaan kerja pada umumnya sebagian besar diakibatkan oleh faktor manusia yang bekerja, misalnya mata pekerja terkena beram hasil penggerindaan, terkena beram hasil pembubutan dan pengeboran. Kecelakaan tersebut disebabkan manusia yang bekerja tidak mau menggunakan alat-alat keselamatan kerja, yaitu kacamata.



Gambar 2.9. Menggerinda tanpa kacamata

Di samping itu ada beberapa kemungkinan yang dapat menimbulkan kecelakaan kerja ditinjau dari faktor manusianya, seperti:

- Pekerja tidak tahu cara mengoperasikan alat/mesin dengan benar, dan malu untuk bertanya.
- Pekerja tidak mampu mengoperasikan mesin disebabkan ia belum terlatih.
- Sikap kerja yang tidak benar, seperti berlari-lari dalam bengkel, bersenda gurau, mengganggu rekan kerja, tidak mengindahkan aturan-aturan bengkel.



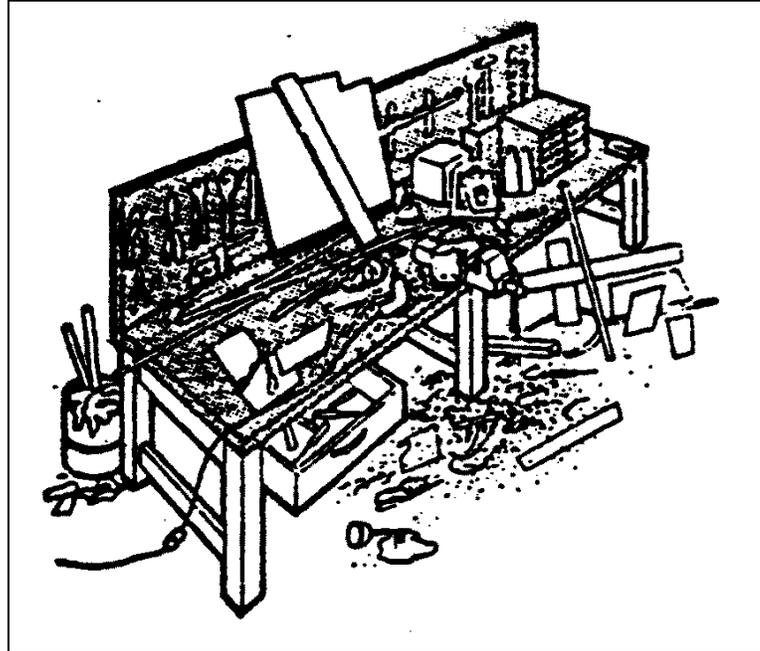
Gambar 2.10. Sikap kerja yang kurang baik

- Tidak mematuhi peraturan keselamatan kerja, seperti tidak memakai baju kerja, tidak menggunakan sarung tangan, tidak memakai kaca mata, dan alat keselamatan kerja lainnya.

### 2.1.3. Faktor Lingkungan kerja

Banyak kecelakaan kerja yang diakibatkan oleh kondisi lingkungan kerja yang tidak aman, seperti:

- Keadaan tempat kerja yang tidak rapi, misalnya banyak beram dan potongan-potongan bahan berserakan di sekitar tempat bekerja, sehingga pekerja kemungkinan dapat jatuh akibat terpeleset.
- Bekerja dekat dengan bagian-bagian benda yang berputar atau bagian mesin yang berputar, dan tanpa pelindung.



Gambar 2.11. Keadaan lingkungan kerja yang tidak aman/baik.

## 2. 2. Alat Keselamatan dan Kesehatan Kerja Secara Umum

Departemen Tenaga Kerja mensyaratkan kepada seluruh perusahaan/ industri agar setiap pekerja yang bekerja dapat bekerja dengan aman dan selamat, sesuai dengan norma-norma keselamatan kerja. Semua hal yang menyangkut masalah keselamatan kerja telah diatur dengan Undang-undang Keselamatan Kerja, baik mengenai tempat kerja, lingkungan kerja dan peralatan yang digunakan untuk bekerja, sedangkan langkah kerja atau prosedur kerja telah ditetapkan oleh perusahaan atau industri yang bersangkutan. Tujuan yang sama dalam membuat aturan keselamatan yaitu menciptakan situasi kerja yang aman dan selamat.

Perencanaan proses produksi yang baik dan penataan peralatan (lay out) tempat bekerja terus dikembangkan dengan tujuan untuk menciptakan situasi kerja yang aman bagi para pekerja dan peralatan kerja itu sendiri. Perbaikan terhadap perencanaan mesin terus dikembangkan seperti, misalnya terhadap kebisingan mesin akibat gesekan antara komponen mesin atau karena hubungan roda-roda gigi penggerak. Suara bising pada mesin dapat mengakibatkan rusaknya pendengaran pekerja.

Banyak hal telah dikembangkan guna mencegah terjadinya kecelakaan kerja, seperti penggunaan pipa-pipa penyalur bahan kimia

yang berbahaya, pemakaian tangki-tangki penyimpanan yang sesuai dengan standar keselamatan kerja. Dengan demikian bahaya luka akibat terkena bahan kimia yang berbahaya sewaktu pengangkutan bisa dihindari. Pekerja diharuskan memakai alat-alat keselamatan kerja sesuai dengan jenis pekerjaan yang dilakukan.

Alat-alat keselamatan kerja mutlak diperlukan bagi para pekerja guna menjamin agar pekerja dapat bekerja dengan aman. Alat keselamatan kerja tersebut harus mempunyai persyaratan-persyaratan tertentu, yaitu:

- Alat-alat keselamatan kerja tersebut sesuai dengan jenis pekerjaan dan jenis alat/mesin yang dioperasikan, sehingga efektifitas pemakaian alat keselamatan kerja benar-benar terpenuhi.
- Alat-alat keselamatan kerja tersebut harus dipakai selama pekerja berada di dalam bengkel, baik mereka sedang bekerja maupun pada saat tidak bekerja dan alat keselamatan kerja tersebut harus selalu dirawat dengan baik.  
Setelah peralatan keselamatan kerja tersebut diperoleh, biasanya akan timbul masalah yaitu kurang sesuai ukuran alat keselamatan kerja tersebut dengan orang yang akan memakainya.
- Tingkat perlindungan alat keselamatan kerja itu sendiri bagi para pekerja yang memakainya, artinya dengan menggunakan alat keselamatan kerja tersebut pekerja akan merasa aman dalam bekerja
- Alat keselamatan kerja tersebut hendaknya dapat dirasa nyaman dipakai oleh para pekerja, sehingga menimbulkan rasa aman dan nyaman bagi pekerja pada waktu bekerja.  
Masalah lain adalah dalam pemakaian alat keselamatan kerja, masih banyak para pekerja memakai alat keselamatan kerja nampak seperti terpaksa dan hanya memakainya sewaktu ada pemeriksaan serta apabila diperlukan saja. Jadi pemakaian alat-alat keselamatan kerja belum merupakan sikap kerja yang biasa. Dengan kata lain pemakaian alat-alat keselamatan kerja masih bersifat terpaksa, bukan merupakan kebutuhan. Untuk itu diperlukan beberapa tindakan agar para pekerja mau memakai alat keselamatan kerja seperti:
- Diharuskan setiap pekerja memakai alat-alat keselamatan kerja, baik pada waktu sedang bekerja, apabila mereka berada di dalam bengkel kerja. Artinya para pekerja harus menggunakan alat-alat keselamatan kerja selama ia berada di dalam bengkel kerja.
- Disediakan alat-alat keselamatan kerja dengan berbagai ukuran, sehingga para pekerja dapat memilih alat keselamatan kerja yang sesuai dengan ukuran badan dan anggota badannya. Dengan demikian para pekerja akan merasa nyaman memakainya.

- Memberlakukan sistem sanksi bagi pekerja yang tidak menggunakan alat-alat keselamatan kerja pada saat bekerja atau ia berada di dalam bengkel kerja. Perlu diingat bahwa sanksi tersebut harus bersifat mendidik, sehingga dapat meningkatkan sikap kerja yang aman.

Peralatan-peralatan keselamatan kerja meliputi:

### 1. Peralatan pelindung Kepala

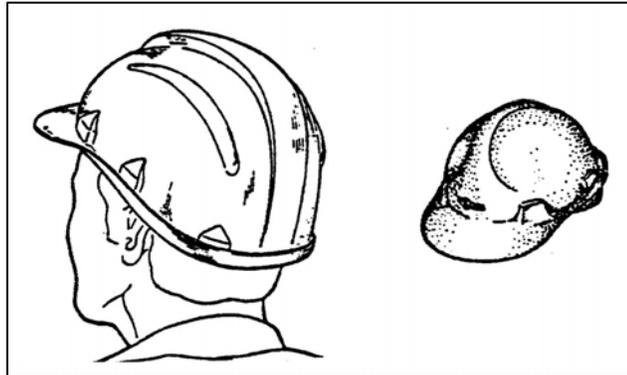
Walaupun setiap pekerja diharuskan memakai pelindung kepala (helmet), tetapi kadang-kadang mereka melalaikannya. Pemakaian pelindung kepala sangat diperlukan bagi para pekerja konstruksi, pekerja galangan kapal, pekerja penebang pohon, pertambangan dan industri. Peralatan pelindung kepala dirancang atau dibuat dari bahan-bahan yang baik agar dapat menghasilkan helm yang benar-benar dapat melindungi kepala dari luka akibat benturan, terkena atau kejatuhan benda, terkena benda kerja yang melayang, bahaya listrik dan lain sebagainya. Di samping itu juga dibuat helm khusus yang harus dapat melindungi kepala dan muka dari bahan-bahan kimia atau cairan panas.

Helm diklasifikasikan menjadi dua yaitu: helm yang mempunyai bagian pinggir seluruh lingkaran dan yang kedua adalah helmet dengan pinggir hanya pada bagian depannya. Dari kedua klasifikasi tersebut masih dibagi dalam empat kelas yaitu:

- Kelas A, yaitu helm untuk keperluan umum. Helmet ini hanya mempunyai tahanan kelistrikan yang rendah.
- Kelas B, yaitu helm untuk jenis pekerjaan dengan resiko terkena tegangan listrik yang besar (mempunyai tahanan terhadap tegangan yang tinggi), atau helmet ini tahan terhadap tegangan listrik yang tinggi.
- Kelas C adalah *metallic helm*, dipakai untuk pekerja yang bekerja dengan kondisi kerja yang panas, seperti pada pengecoran logam atau pada dapur-dapur pembakaran.
- Kelas D adalah helm dengan daya tahan yang kecil terhadap api, sehingga harus dihindari dari percikan api.

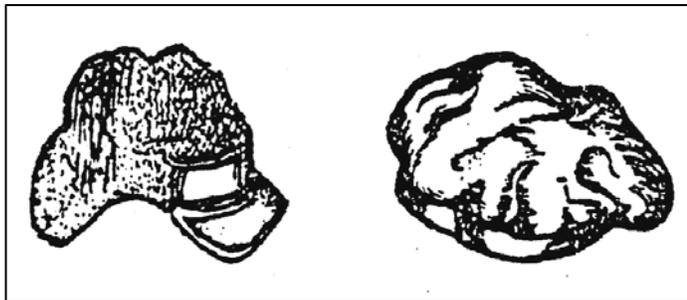
Khusus bagi pekerja yang bekerja pada malam hari helmet yang cocok untuknya adalah helm yang dapat mengeluarkan sinar pada malam hari atau memancarkan sinar pada daerah yang gelap. Khusus untuk helmet yang akan digunakan untuk daerah yang kecenderungan terjadinya kecelakaan akibat arus listrik maka helm tersebut harus selalu diperiksa secara teratur sifat hambatnya terhadap listrik.

Bagian dalam helm dilengkapi dengan pelapis dan tempat kedudukan kepala.



Gambar 2.12. Helm/pelindung kepala

Alat pelindung rambut berfungsi agar rambut bisa ditutupi secara sempurna, sehingga kecelakaan kerja akibat terbelitnya rambut pada bagian-bagian mesin yang berputar dapat dihindari.



Gambar 2.13. Penutup rambut

Alat pelindung rambut atau penutup rambut yang banyak dipakai adalah sorban, jala rambut dan penutup kepala yang dapat menutup secara sempurna. Pemakaian jaring rambut kurang aman apabila pekerja tersebut bekerja pada daerah di mana percikan api sering terjadi. Syarat penutup kepala adalah:

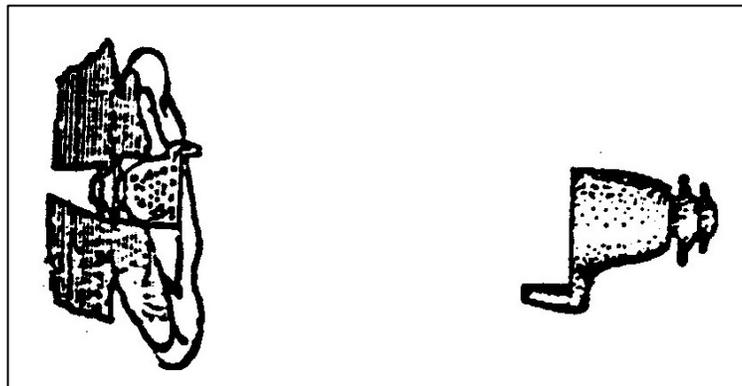
1. Tahan terhadap bahan kimia
2. Tahan panas
3. Nyaman dipakai
4. Tahan terhadap pukulan
5. Ringan dan kuat
6. Berwarna menarik
7. Mempunyai ventilasi apabila tidak untuk perlindungan terhadap debu.

## 2. Peralatan pelindung kebisingan

Kegunaan peralatan pelindung kebisingan adalah untuk melindungi telinga dari kebisingan yang berlebihan, sehingga dapat menyebabkan kerusakan pada sistem pendengaran pekerja. Banyak industri yang dalam proses produksinya menimbulkan kebisingan yang dapat menyebabkan kehilangan pendengaran bagi para pekerja. Standar kebisingan yang diizinkan adalah 90 desibel menurut undang-undang keselamatan kerja kesehatan kerja, oleh sebab itu kebisingan yang dihasilkan oleh suatu proses produksi di dalam industri harus selalu diukur dan diusahakan kurang dari standar yang telah ditentukan agar tidak menyebabkan kerusakan pada pendengar para pekerja..

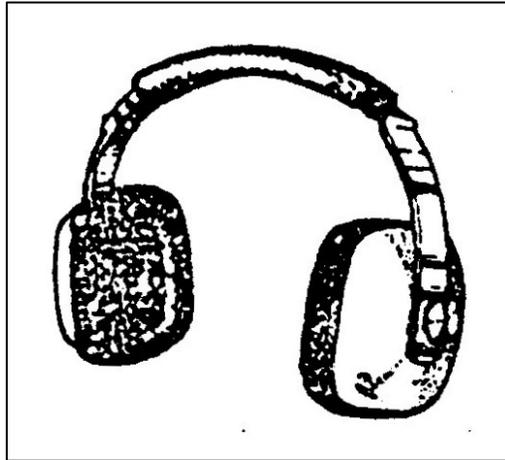
Alat perlindungan kebisingan ada dua jenis, yaitu yang dimasukkan ke dalam lubang telinga dan yang satunya adalah jenis yang menutup seluruh telinga.

- Jenis alat yang dimasukkan ke lubang telinga  
 Jenis peralatan ini pemasangan dimasukkan ke dalam lubang telinga dan model serta ukurannya bermacam-macam. Bahan yang digunakan untuk membuka peralatan ini adalah plastik yang lunak/lembut, karet yang lembut, lilin dan kain. Karet dan plastik yang lembut adalah jenis bahan yang sangat terkenal untuk pembuatan alat ini, karena ia mudah dibersihkan, murah harganya dan memberikan bentuk serta warna sangat bagus atau menarik. Kain adalah bahan yang jelek untuk perlindungan terhadap kebisingan, sebab ia sangat rendah daya hambatnya terhadap kebisingan. Penutup telinga dari bahan karet dan plastik yang lembut sangat efektif dalam pemakaiannya, sebab dalam pemasangannya sangat mudah yaitu hanya menekankan ke lubang telinga dan ia akan menutup lubang telinga secara sempurna, tanpa ada kebocoran.



Gambar 2.14. Alat pelindung kebisingan

- Jenis pelindung kebisingan yang menutup telinga  
Bentuk peralatan ini dapat menutup seluruh telinga, sehingga akan diperoleh keseimbangan pendengaran antara telinga kanan dan telinga kiri. Untuk menghasilkan perlindungan kebisingan yang efektif, maka bentuk, ukuran, bahan penyekat, jenis pegas dari penutup telinga ini harus benar-benar dipilih secara baik, sehingga si pemakai merasa nyaman.  
Dengan makin berkembangnya teknologi maka semakin baik alat-alat pelindung kebisingan dengan bentuk yang relatif kecil, tetapi mempunyai daya proteksi/perlindungan besar.



Gambar 2.15. Alat pelindung kebisingan

### 3. Pelindung mata

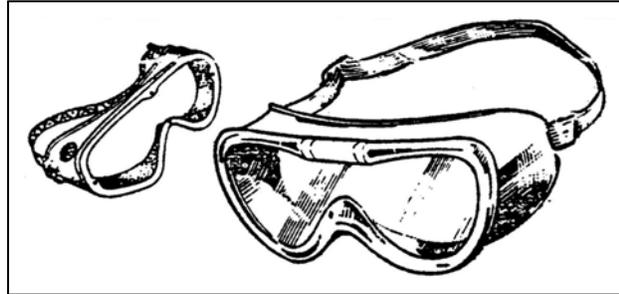
Luka pada mata dapat diakibatkan adanya bahan atau beram yang masuk ke mata akibat pekerjaan pemotongan bahan, percikan bunga api sewaktu pengelasan, debu-debu, radiasi dari sinar ultraviolet dan lainnya. Kecelakaan pada mata dapat mengakibatkan cacat seumur hidup, di mana tidak dapat berfungsi lagi atau dengan kata lain orang menjadi buta. Dalam suatu survei diperoleh data bahwa kecelakaan kerja atau luka pada diakibatkan oleh:

- Obyek atau bahan yang mengenai mata (pecahan logam, beram-beram, pecahan batu gerinda, paku, percikan bunga api dan lain sebagainya)
- Debu dari penggerindaan
- Karat
- Sinar atau cahaya
- Gas beracun atau asap beracun.

Banyak jenis peralatan yang digunakan untuk melindungi mata yang disesuaikan dengan kebutuhan perlindungan yang dibutuhkan.

Jenis kaca mata yang banyak digunakan dalam industri adalah:

- Kaca mata untuk pekerjaan dengan bahan kimia

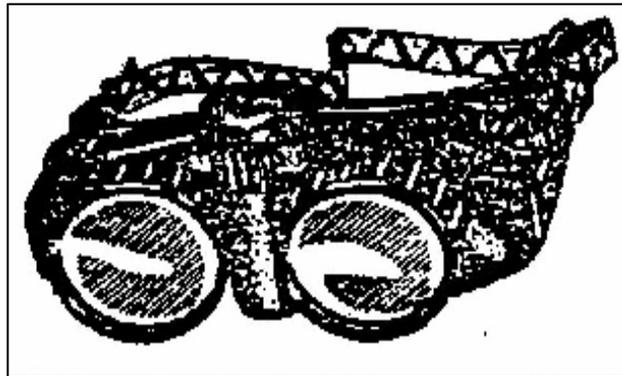


Gambar 2.16. Kacamata untuk pekerja pada laboratorium atau industri kimia.

- Kaca mata las

Kaca mata las terdiri dari dua jenis dan mempunyai bermacam-macam bentuk. Jenis yang umum digunakan untuk adalah kaca mata las untuk pengelasan listrik dan kaca mata yang digunakan untuk pengelasan asetilen.

Bentuk kaca mata las asetilen dan kaca mata untuk las listrik adalah bisa sama, tetapi lensa yang dipasang adalah tidak sama. Hal tersebut dikarenakan sinar yang dihasilkan oleh api las listrik lebih tajam dibandingkan sinar yang dihasilkan oleh api las asetilen. Perbedaannya hanya pada warnanya. Selain bentuk kaca mata pada pengelasan listrik disediakan khusus peralatan untuk melindungi muka dan mata dari sinar api las listrik yang dikenal dengan masker las.

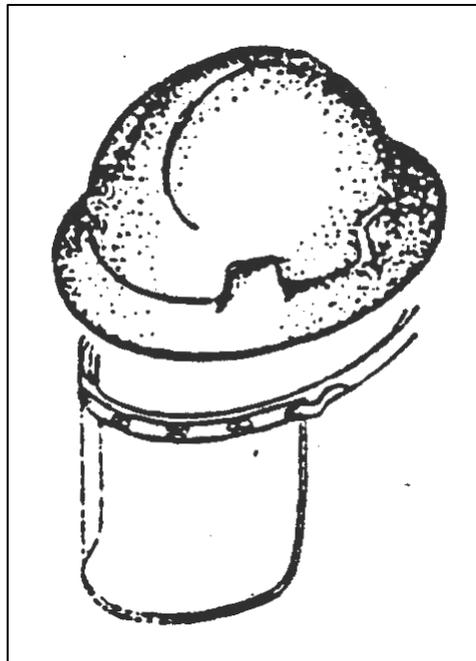


Gambar 2.17. Kaca mata las asetilen

#### 4. Pelindung muka

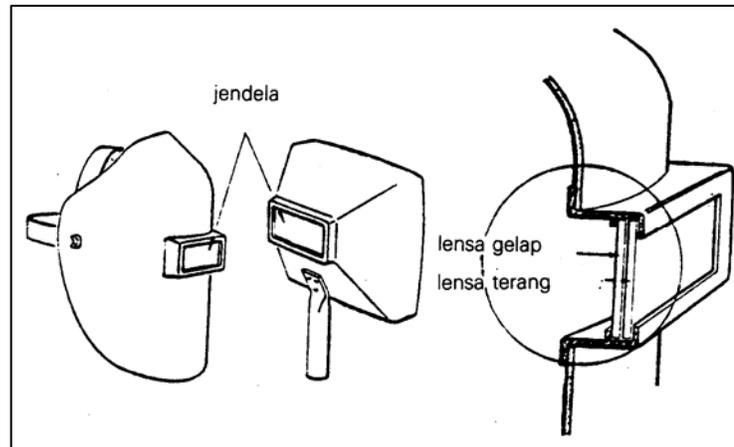
Banyak jenis peralatan dibuat untuk melindungi muka para pekerja. Biasanya alat tersebut juga berfungsi sebagai pelindung kepala dan leher sekaligus. Alat tersebut berfungsi melindungi kepala dari benturan, melindungi muka dari cairan bahan kimia, logam panas dan percikan bunga api dan luka lainnya yang akan terjadi pada kepala, leher dan muka pekerja.

Bahan untuk melindungi muka biasanya dari plastik transparan, sehingga masih dapat tetap melihat kegiatan yang dilakukan. Jenis alat pelindung kepala dan muka seperti babbiting helm (helm dari bahan babbiting), yang dapat melindungi kepala dan muka dari percikan logam panas dan radiasi panas. Bentuk helmet dilengkapi dengan jendela dan penutup dagu serta penutup rambut.



Gambar 2.18. Pelindung muka

Peralatan lain yang digunakan untuk melindungi muka adalah masker las. Jenis peralatan ini digunakan untuk melindungi mata dan muka dari percikan api las dan percikan logam cair hasil pengelasan. Pada jendela kacanya dilengkapi dengan lensa tambahan untuk menjaga agar lensa yang gelap tidak akan rusak kena panas/percikan api las dan percikan logam cair hasil pengelasan.



Gambar 2.19. Masker las listrik

## 5. Pelindung Tangan

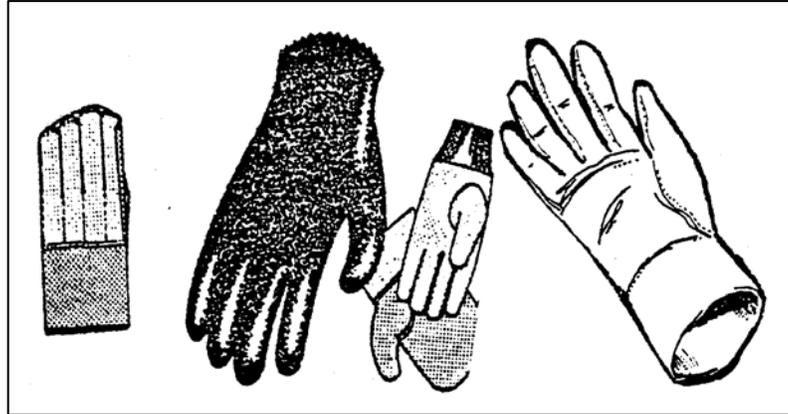
Jari-jari tangan merupakan bagian tubuh yang sering kali mengalami luka akibat kerja, seperti: terpotong oleh pisau, luka terbakar karena memegang benda panas, tergores oleh permukaan benda kerja yang tidak halus dan masih banyak lagi bentuk luka lainnya. Untuk itu tangan dan jari-jari sangat perlu dilindungi dengan baik, karena semua pekerjaan seluruhnya dikerjakan dengan menggunakan tangan. Alat pelindung tangan yang biasa digunakan adalah:

- Sarung tangan dari bahan asbes, digunakan untuk melindungi tangan dari panas. Jenis sarung tangan ini fleksibel sehingga sangat enak dipakainya.
- Sarung tangan dari bahan kulit, digunakan untuk melindungi tangan dari percikan api atau keadaan benda kerja yang tidak terlalu panas, beram-beram dan benda kerja yang kasar permukaannya. Biasanya sarung tangan dari bahan kulit ini dipakai pada pekerjaan-pekerjaan berat. Sarung tangan dari bahan kulit ini dipakai untuk pengerjaan pengelasan.
- Sarung tangan dari bahan karet, digunakan oleh pekerja bagian kelistrikan
- Sarung tangan yang terbuat dari bahan campuran karet, neoprene dan vinyl, digunakan untuk pekerjaan pengangkutan bahan-bahan kimia. Sedangkan sarung tangan dari bahan neoprene dan vinyl digunakan untuk pengangkutan bahan-bahan minyak atau petroleum
- Metal mesh gloves, sarung tangan jenis ini digunakan oleh pekerja yang selalu bekerja menggunakan pisau dan benda-benda tajam lainnya. Dengan pemakaian sarung tangan ini

bahaya luka akibat pisau dan benda tajam lainnya bisa dihindari.

- Sarung tangan dari bahan cotton digunakan untuk melindungi tangan dari debu dan kotoran.

Di samping sarung tangan ada bahan lain yang dapat melindungi kulit tangan dan kulit lengan dari luka pedih, yaitu sejenis cream. Cream ini dioleskan pada tangan dan lengan agar kulit terhindar dari bahan-bahan yang dapat melukai kulit.

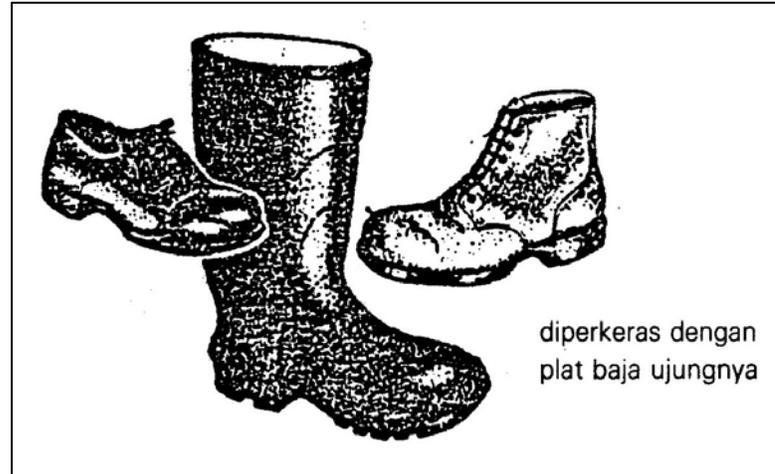


Gambar 2.20. Sarung tangan.

## 6. Pelindung kaki

Sepatu kerja atau pelindung kaki yang harus digunakan pada bengkel kerja mesin, harus memenuhi persyaratan tertentu, yaitu: harus dapat melindungi kaki pekerja dari luka kejatuhan benda kerja, terkena beram, benda panas/pijar, bahan-bahan kimia yang berbahaya dan kecelakaan yang mungkin timbul dan menyebabkan luka bagi pekerja.

Konstruksi sepatu kerja bengkel kerja mesin adalah pada bagian ujung sepatu dipasang atau dilapisi dengan pelat baja, agar mampu menahan benda yang jatuh menimpa kaki. Dengan adanya penahan tersebut, maka kaki tidak mengalami luka. Bagian alasnya harus cukup kuat dan tidak mudah tergelincir. Bahan yang umum dipakai dalam pembuatan sepatu kerja adalah kulit yang di samak. Khusus untuk pekerja bidang kelistrikan, maka bahan pembuat sepatu hendaknya dipilih bahan non konduktor.



Gambar 2.21. Sepatu kerja

### 7. Pelindung tubuh (apron)

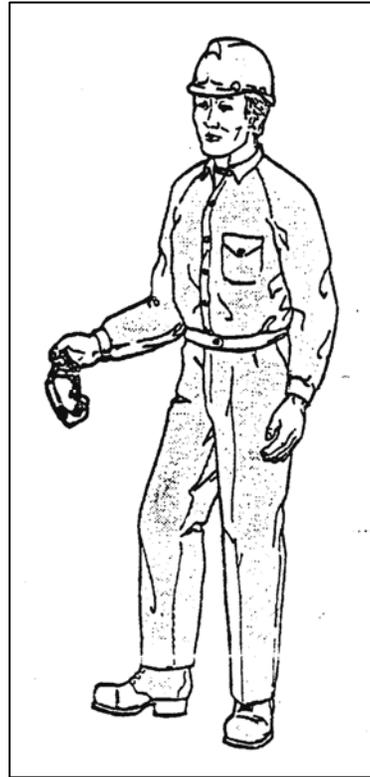
Pelindung tubuh atau dikenal dengan nama apron digunakan untuk melindungi tubuh bagian depan yaitu dari leher sampai kaki dari berbagai kemungkinan luka, seperti terkena radiasi panas, percikan bunga api dan percikan beram dan lainnya. Bahan untuk membuat apron ini dari asbes dan kulit yang telah di samak. Apron yang terbuat dari asbes biasanya diperkaya dengan kawat-kawat halus, agar apron tersebut dapat menahan benturan-benturan ringan dan alat-alat yang tajam.



Gambar 2.22. Apron

## 8. Baju kerja

Baju kerja atau pakaian kerja yang khusus dibuat untuk digunakan bekerja di dalam bengkel atau laboratorium biasanya harus cukup kuat dan bentuknya harus sesuai dengan jenis pekerjaan yang dikerjakan. Baju harus dapat melindungi pekerja dari luka akibat beram, serpihan benda kerja, goresan-goresan dan panas. Pakaian harus benar-benar ter-ikat atau pas dengan pemakainya. Dalam bekerja, baju terkancing secara sempurna, sehingga tidak ada bagian-bagian anggota badan yang terbuka atau tidak terlindungi.



Gambar 2.23. Baju Kerja

## 2. 3. Keselamatan Kerja Sebelum, Sewaktu dan Selesai Bekerja

### ➤ Sebelum bekerja

Keselamatan kerja yang harus diperhatikan sebelum melaksanakan pekerja meliputi :

1. Persiapan dan pemakaian perlengkapan keselamatan kerja untuk si pekerja yakni; pakaian kerja sepatu kerja , helm , sarung tangan dan lain-lain.
2. Pemeriksaan alat-alat dan perlengkapan yang digunakan seperti; pemeriksaan kepala palu , perlengkapan pengaman pada mesin-mesin dan lain-lain
3. Pemeriksaan terhadap bahan yang akan dipekerjakan seperti pemeriksaan sisi-sisi pelat yang tajam.
4. Lingkungan tempat bekerja juga perlu diperhatikan, sebab lingkungan kerja yang nyaman dapat memberikan motivasi terhadapsi pekerja untuk bekerja untuk bekerja untuk berjaja lebih kosenstrasi, sehingga kemungkinan terjadinya kecelakaan kecil terjadi.

### ➤ Sewaktu bekerja

Perhatikan keselamatan kerja sewaktu bekerja perlu mendapat perhatian yang serius, sebab biasanya kecelakaan yang sering terjadi adalah *sewaktu melaksakan pekerjaan*. Usaha-usaha yang diperlakukan untuk menghindari atau mengurangi terjadinya kecelakaan dapat ditempuh dengan jalan sebagai berikut:

1. Menggunakan peralatan sesuai dengan fungsinya.
2. Jangan coba-coba mengoperasikan mesin yang tidak mengetahui prinsip-prinsip kerja yang benar terhadap pekerjaan-pekerjaan yang dilakukan.
3. Si pekerja harus menguasai pengetahuan keselamatan kerja.
4. Konsentrasi penuh dalam bekerja.

### ➤ Selesai Bekerja

Setelah selesai bekerja keselamatan kerja juga perlu mendapat perhatian. Sebab akibat-akibat yang sering terjadi setelah selesai bekerja ini diantaranya terjadi kerusakan pada peralatan dan mesin-mesin, juga memungkinkan terjadinya kecelakaan terhadap si pekerja dan lingkungan tempat bekerja. Di samping itu kelalaian yang sering terjadi adalah lupa mematikan panel kontrol listrik. Hal ini sangat membahayakan bagi pekerja lainnya yang tidak mengetahui seperti tanpa sengaja menekan tombol mesin atau terpijaknya kabel arus listrik dan sebagainya.

## 2. 4. Rangkuman

Setiap pekerjaan akan ada resikonya baik kecil ataupun besar. Besar atau kecilnya resiko yang ditanggung tergantung dari jenis pekerjaan serta lingkungan kerja itu sendiri. Seorang teknisi atau mekanik harus memperhatikan keselamatan kerja karena banyak faktor yang mempengaruhi keselamatan kerja seseorang. Maka dari itu ia harus memperhatikan 3 kriteria keselamatan kerja, yaitu keselamatan manusianya (pekerja), keselamatan alat/mesin/perkakas yang digunakan dan keselamatan dari benda kerja. Setiap kecelakaan kerja tentunya akan merugikan baik dari segi materi, non materi bahkan jiwa sekalipun.

Kecelakaan kerja tidak dapat dihilangkan sama sekali namun dapat diminimalisir serta dicegah sebelum kecelakaan itu datang dengan melakukan pekerjaan menurut teknik dan prosedur yang benar serta harus memperhatikan kondisi kesehatan sebelum melakukan pekerjaan. Disamping itu juga kita juga harus memperhatikan jenis pekerjaan yang dilakukan serta perlengkapan keselamatan apa saja

yang perlu digunakan untuk menghindari kecelakaan saat bekerja. Seringnya terjadi kecelakaan saat bekerja sangat dipengaruhi oleh faktor manusia sebagai komponen utamanya.

Alat-alat keselamatan kerja mutlak diperlukan bagi para pekerja guna menjamin agar pekerja dapat bekerja dengan aman. Alat keselamatan kerja tersebut harus mempunyai persyaratan-persyaratan tertentu, yaitu:

- Alat-alat keselamatan kerja tersebut sesuai dengan jenis pekerjaan dan jenis alat/mesin yang dioperasikan.
- Alat-alat keselamatan kerja tersebut harus dipakai selama pekerja berada di dalam bengkel/lokasi.
- Tingkat perlindungan alat keselamatan kerja itu sendiri bagi para pekerja yang memakainya.
- Alat keselamatan kerja tersebut hendaknya dapat dirasa nyaman dipakai oleh para pekerja.

Peralatan-peralatan keselamatan kerja meliputi:

- Peralatan pelindung Kepala
- Peralatan pelindung kebisingan
- Pelindung mata
- Pelindung muka
- Pelindung tangan
- Pelindung kaki
- Pelindung tubuh

## 2. 5. Soal Latihan

1. Sebutkan 3 (tiga) kegiatan yang harus dilakukan sebelum melakukan pekerjaan pada bengkel agar tidak terjadi kecelakaan!
2. Sebutkan 6 (enam) kerugian baik yang diderita oleh pekerja, perusahaan dan alat/mesin akibat terjadinya kecelakaan kerja
3. Ada 3 (tiga) faktor utama yang sering menimbulkan kecelakaan kerja, sebutkan masing-masing dilengkapi dengan contoh.
4. Hubungkan kondisi yang *tidak aman* pada kolom sebelah kiri, dengan *kemungkinan akibat yang terjadi* pada kolom sebelah kanan.

- |  |  |
|--|--|
| a. Baju kerja longgar dan tidak terkancingkan secara baik.     | 1. Akan timbul luka bakar akibat beram panas                                   |
| b. Cincin dan jam tangan                                       | 2. Luka pada kaki  |
| c. Rambut panjang tidak terikat                                | 3. Mengundang terpintalnya rambut pada mesin bor atau mesin freis vertikal     |
| d. Minyak, gomok atau wak terserak di lantai                   | 4. Menimbulkan kurang konsentrasi pada operator mesin                          |
| e. Benda kerja yang panjang dan berputar                       | 5. Mungkin menyebabkan luka pada tangan, jari atau terkilir                    |
| f. Majun ditinggalkan pada mesin                               | 6. Mungkin timbul luka dan kerusakan pada mesin                                |
| g. Peralatan potong atau terjepit pada mesin                   | 7. Mungkin menimbulkan luka pada mata  |
| h. Mengoperasikan mesin tanpa mengetahui cara pegoperasiannya  | 8. Membuat keadaan berbahaya karena adanya pukulan sewaktu berputar            |
| i. Kegiatan lain yang tidak ada hubungannya dengan pekerjaan   | 9. Mungkin akan timbul kerusakan pada mesin atau menimbulkan luka pada pekerja |
| j. Menggunakan kompresor untuk membuang beram hasil pemotongan | 10. Menyebabkan jatuh/tergelincir  |

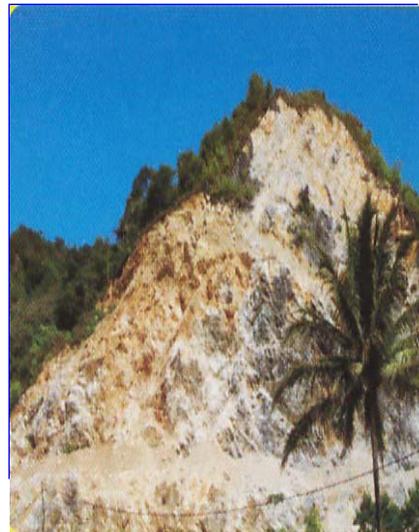
## BAB 3

## PENGETAHUAN BAHAN



## 3.1. Pendahuluan

Bahan merupakan semua unsur yang ada disekeliling kita. Semua benda disekitar kita terbuat dari bahan-bahan dari berbagai jenis. Artinya hampir setiap hari kita akan berhubungan dengan bahan. Mulai dari bangun pagi kita dibangunkan oleh jam beker yang juga terbuat dari bahan, mandi dengan air yang mengalir di pipa tembaga atau baja, juga terbuat dari bahan tembaga, menggosok gigi dengan sikat gigi juga terbuat dari bahan plastik, memakai baju juga terbuat dari bahan kapas, bahan sepatu dari kulit, pergi ke sekolah naik mobil atau motor juga terbuat dari bahan pelat baja dan sebagainya.



Gambar 3.1. Sumber bahan dari alam

Sekalipun bahan ini tidak asing untuk kita, akan tetapi bagi mereka yang akan menjadi orang teknik harus lebih mengetahui tentang bahan-bahan tersebut. Untuk membangun konstruksi sebuah bangunan seperti; konstruksi jembatan, konstruksi gedung, badan pesawat dan sebagainya. Kita harus mempergunakan bahan yang sesuai untuk kegunaan tertentu. Ini diperlukan agar kita mengetahui tentang pembuatan, sifat dan penggunaan dari bahan teknik tersebut. Juga penting untuk mengetahui, bagaimana sifat-sifat bahan itu dapat diperbaiki.

Awalnya bahan (logam dan non logam) ditemukan di alam dalam keadaan murni atau bercampur. Untuk bahan logam umumnya yang ditemukan dalam keadaan murni yaitu emas, perak, bismut, pelatina dan ada pula unsur yang bercampur dengan unsur-unsur seperti karbon, sulfur, fosfor, silikon serta kotoran seperti tanah liat, pasir dan bebatuan. Demikian juga dengan bahan non-logam yang ditemukan dalam keadaan murni seperti kayu, kertas, plastik, karet, kulit, kapas dan sebagainya. Bahan non logam dalam bentuk campuran ditemukan seperti bebatuan, pasir, dan sebagainya.

Dewasa ini terdapat berbagai jenis bahan yang dapat digunakan sebagai bahan baku industri. Jenis-jenis bahan yang sangat beragam itu kadang-kadang menyulitkan pemakai dalam menentukan pilihan yang tepat. Bahan yang satu mempunyai keunggulan ditinjau dari segi keuletan, tahan terhadap korosi, mulur (creep), suhu kerja yang tinggi akan tetapi harganya cukup mahal dibandingkan dengan bahan yang lain.

### 3.2. Pemilihan Bahan

Penentuan bahan yang tepat untuk kegunaan tertentu pada dasarnya merupakan gabungan dari berbagai sifat, lingkungan dan cara penggunaan sampai di mana sifat bahan dapat memenuhi persyaratan yang telah ditentukan. Beberapa sifat teknis yang harus diperhatikan sewaktu pemilihan bahan:

Tabel 3.1. Sifat teknis bahan yang perlu diperhatikan dalam pemilihan bahan.

1.	Sifat Mekanis
	- Modulus elastisitas
	- Batas mulur
	- Kekuatan tarik
	- Sifat fatik
	- Keuletan
	- Kekuatan impak
	- Tahan aus
	- Perbandingan kekuatan/berat
	Daya Tahan Terhadap:
	- Tekuk
	- Torsi
	- Geser
2.	Sifat Yang Diperlukan Selama Proses Pembentukan
	- Mampu mesin ( <i>machinability</i> )
	- Mampu las ( <i>weldability</i> )
	- Karakteristik pengerjaan dingin
	- Karakteristik pengerjaan panas
3.	Sifat-Sifat Yang Penting Sehubungan Dengan Pengaruh Lingkungan
	- Daya Tahan Korosi;
	• Lingkungan Biasa
	• Di bawah pengaruh unsur-unsur kimia, minyak, lemak, pelumas, korosi lubang, dsb.
	- Daya tahan panas
	- Ketahanan aus
	- Pelapukan

(Amstead, B.H., 1979)

Pemilihan bahan pada akhirnya ditentukan oleh berbagai hal yang telah disebutkan tadi termasuk cara-cara pembuatan atau pembentukannya.

### 3.3. Pengelompokan Bahan

Bahan yang digunakan dalam dunia teknik (rekayasa) dapat dibagi atas bahan logam dan bahan non logam. Bahan logam dapat pula dibagi atas **logam ferro** (*besi*) yaitu merupakan logam yang mengandung unsur besi (Fe) dalam susunan unsur dasarnya; dan **logam non-ferro** (*bukan-besi*) merupakan logam yang tidak mengandung unsur besi (Fe) dalam susunan unsur dasarnya. Logam *non-ferro* diantaranya adalah Aluminium (Al), Magnesium (Mg), Tembaga (Cu), Seng (Zn), Nickel (Ni), dan Logam Mulia.

Sedangkan bahan non-logam dapat terdiri dari bahan organik dan bahan an-organik. Bahan organik seperti kayu, kertas, plastik, karet, kulit, kapas dan sebagainya. Sedangkan bahan an-organik seperti; batu, pasir, semen, keramik, gelas, grafit dan sebagainya. Dalam pemanfaatannya kedua kelompok besar bahan ini banyak digunakan di dunia teknik (rekayasa), karena pemilihan sifatnya yang sesuai dengan kebutuhan tertentu.

### 3.4. Beberapa Aspek Penting Dalam Ilmu Bahan

#### 3.4.1. Paduan

Paduan adalah proses pencampuran dua logam atau lebih, untuk memperoleh sifat-sifat yang lebih baik dari bahan hasil paduan. Dengan memadukan dua bahan atau lebih maka dimungkinkan didapat logam paduan yang kuat. Tembaga dan timah adalah logam lemah, sedangkan perunggu; paduan dari tembaga dan timah adalah bahan yang kuat. Begitu juga paduan aluminium dengan tembaga akan menghasilkan paduan duralumin yang relatif lebih kuat. Besi murni adalah bahan yang empuk, sedangkan zat arang adalah rapuh, sedangkan paduan antara besi murni dengan zat arang (karbon) disebut baja. Baja adalah bahan logam yang sangat keras dan liat.

#### 3.4.2. Pengolahan Panas

Pengolahan panas juga merupakan aspek penting dari ilmu bahan. Dengan pengolahan panas, akan didapatkan sifat-sifat yang lebih baik dari bahan. Contohnya dengan memanaskan baja dengan cepat sekitar 800°C dan kemudian mendinginkannya dalam minyak atau air, baja akan menjadi lebih. Istilah lain dari pengolahan panas ini disebut juga dengan "*menyepuh*"

*panas*". Pengolahan panas lain adalah antara lain memurnikan, menkarbonkan, menitrasikan dan memijarkan.

### 3.4.3. Penguatan

Penguatan atau pengokohan adalah cara ketiga untuk memperoleh sifat-sifat yang lebih baik. Pengokohan terjadi pada tiap perubahan bentuk dalam keadaan dingin. Contoh-contoh bentuk perubahan bentuk dalam keadaan dingin adalah menempa dingin, mencanai dingin dan menarik dingin.

### 3.4.4. Ditempa dan Dicanai

Proses pembuatan dari bahan baku hingga menjadi jadi produk yang dapat dijual di pasaran dapat berlangsung dengan menggunakan palu-tempa atau dengan menggunakan canai. Produk yang dihasilkan disebut dengan logam tempa dan logam canai. Logam yang ditempa dan logam yang dicanai disebut juga logam remas. Logam yang ditempa masuk ke pasaran dalam bentuk benda tempa dan logam yang dicanai antara lain dalam bentuk pelat, batang, profil dan pipa.

### 3.4.5. Dituang

Proses penuangan adalah proses memasukan logam cair ke dalam cetakan tertentu. Berbagai produk akhir yang bentuk akhirnya sedemikian rumit, maka proses pembuatannya lebih baik dengan proses penuangan. Proses penuangan banyak kita jumpai pada pembuatan bak verseneling engine mobil, piston, dan berbagai produk akhir yang bentuknya sangat rumit.

## 3.5. Logam Besi (Ferro) dan Bukan Besi (Non-Ferro)

### 3.5.1. Logam Besi (Ferro, Fe)

Bahan logam ferro mengandung karbon antara 0 sampai 4,5%, dan dibagi atas tiga golongan yaitu:

- a. Besi dengan kadar karbon; 0 sampai 0,008%
- b. Baja dengan kadar karbon; 0,008% sampai 2,0%
- c. Besi cor dengan kadar karbon; 2,0 sampai 4,5%

Di dalam besi kandungan karbon dan unsur paduan sangat rendah, karena itu besi tidak dapat dikeraskan dengan cara pendinginan celup (*quencing*). Besi yang digunakan dalam industri ada tiga jenis yaitu besi tempa, besi ingot dan besi tuang.

Kedua jenis besi ini adalah jenis besi dengan kadar karbon yang sangat rendah yang diproses dengan cara khusus untuk penggunaan tertentu. Besi tempa adalah besi yang mengandung terak silikat antara 2% sampai 4%. Komposisinya terdiri dari 99% besi murni, sifatnya dapat ditempa, liat, dan tidak dapat dituang.



Gambar 3.2. Logam ferro (Fe) yang berbentuk batangan yang telah dipadu dengan unsur lain

Besi tempa antara lain dapat digunakan untuk membuat rantai jangkar, kait keran dan landasan kerja pelat, sedangkan besi ingot adalah besi murni.

Besi tuang merupakan campuran besi dan karbon. Kadar karbon sekitar 4 %, sifatnya rapuh tidak dapat ditempa, baik untuk dituang, liat dalam pemadatan, lemah dalam tegangan. Digunakan untuk membuat alas mesin, meja perata, badan ragam, bagian-bagian mesin bubut, blok silinder dan cincin torak.

Baja karbon adalah paduan antara besi dan karbon dengan sedikit Si, Mn, P, S dan Cu. Sifat baja karbon tergantung pada kadar karbon, karena itu baja ini dikelompokan berdasarkan kadar karbonnya. Ada beberapa jenis baja karbon yang dikenal yaitu:

➤ **Baja Karbon Rendah (BCR)**

Baja karbon rendah disebut juga baja lunak. Komposisi campuran besi dan karbon, kadar karbon 0 sampai 0,3 %, mempunyai sifat dapat ditempa dan liat. Digunakan untuk membuat mur, skrup, pipa, dan keperluan umum dalam pembangunan. Baja karbon ini dibagi lagi dalam baja kil, semi kil dan baja rim. Penamaan ini didasarkan kepada persyaratan deoksidasi, cara pembekuan dan distribusi rongga atau lubang halus di dalam ingot. Baja karbon rendah dapat mempunyai unsur paduan dari Si dan Mn. Dengan memperkecil nilai karbon dalam baja karbon rendah, dapat mempertinggi mampu takik baja ini.

➤ **Baja Karbon Sedang (BCS)**

Komposisi campuran besi dan karbon, dengan kadar karbon 0,3% sampai 0,45 %. Sifat lebih kenyal dari yang keras dan digunakan untuk membuat benda kerja tempa berat, poros, dan rel baja.

➤ **Baja Karbon Tinggi (BCT)**

Komposisi campuran besi dan karbon, dengan kadar karbon 0,45 sampai 1,70 %. Sifat dapat ditempa, dapat disepuh keras dan dimudahkan dan digunakan untuk membuat kikir, pahat, gergaji, tap, stempel, dan alat mesin bubut.

➤ **Baja Karbon Tinggi Dengan Campuran**

Komposisi baja karbon tinggi ditambah nikel dan kobal, krom atau tungsten. Sifatnya rapuh, akan tetapi tahan terhadap suhu tinggi tanpa kehilangan kekerasan, dapat disepuh keras dan dimudahkan. Umumnya banyak digunakan untuk membuat mesin bubut dan alat-alat permesinan lainnya.

Dalam baja karbon, bila kadar karbon baja naik maka kekuatan dan kekerasannya bertambah tinggi, akan tetapi keuletannya menurun atau lebih getas. Klasifikasi baja karbon dapat dilihat pada tabel 3.2.

Tabel 3.2. Klasifikasi Baja Karbon

Jenis dan Kelas		Kadar Karbon (%)	Kekuatan Luluh (kg/mm <sup>2</sup> )	Kekuatan tarik (kg/mm <sup>2</sup> )	Perpanjangan (%)	Kekerasan Brinell	Penggunaan
BCR	Baja lunak khusus	0,08	18-28	32-36	40-30	95-100	Pelat tipis
	Baja sangat lunak	0,08-0,12	20-29	36-42	40-30	80-120	Batang kawat
	Baja lunak	0,12-0,20	22-30	38-48	36-24	100-130	Konstruksi umum
	Baja setengah lunak	0,20-0,30	24-36	44-55	32-22	112-145	
BCS	Baja setengah keras	0,30-0,40	30-40	50-60	30-17	140-170	Alat-alat mesin perkakas, rel, pegas, dan kawat piano
	Baja keras	0,40-0,50	34-46	58-70	26-14	160-200	
BCT	Baja sangat keras	0,50-0,80	36-47	65-100	20-11	180-235	

(Harsono Wiryosumarto dan Toshie Okumura, 1991)

Besi cor adalah paduan besi karbon dengan kadar karbon (C) lebih dari 2%, dan masih ada unsur lain seperti Si, Mn, P, S dan sebagainya. Di samping itu dalam penggunaan tertentu masih ditambah lagi dengan Ni, Cr, dan Mo. Kekuatan besi cor pada umumnya lebih rendah dari pada kekuatan baja cor, tetapi dalam beberapa besi tertentu kekuatannya menyamai baja cor.

Tabel 3.3. Klasifikasi Besi Cor

Jenis dan Kelas		Simbol JIS	Komposisi kimia (%)					Kekuatan Tarik (kg/mm <sup>2</sup> )
			C	Si	Mn	P	S	
Besi cor kelabu	Kelas 1	FC 10	2,5-4,0	1,4-2,5	0,4-1,0	0,05-1,0	0,06-0,15	10 ≤
	Kelas 2	FC 15						13 ≤
	Kelas 3	FC 20						17 ≤
	Kelas 4	FC 25						22 ≤
	Kelas 5	FC 30						27 ≤
	Kelas 6	FC 35						32 ≤
Besi cor khusus	Besi Cor Perlit Lanz	-	3,0-3,3	0,6-1,1	0,5-1,0			28-35
	Besi Cor Emmel	-	2,5-3,0	2,0-2,5	0,8-1,1			30-35
	Besi Cor Piowalsky	-	2,7-3,0	1,6-2,7	-			30-40
	Besi Cor Mehanit	-	2,7-3,0	1,0-1,5	0,6-0,8			32-34
Besi cor malliable (tungku putih)	Kelas 1	FCMW 34	2,6-3,2	0,6-1,1	<0,5	<0,3		32-36
	Kelas 2	FCMW 36						34-38
Besi cor malliable (tungku hitam)	Kelas 1	FCMB28	2,0-3,0	0,8-1,5				28 ≤
	Kelas 2	FCMB32						32 ≤
	Kelas 3	FCMB35						35 ≤
	Kelas 4	FCMB37						37 ≤
Besi cor nodular	Kelas 1	FCD40	3,3-3,9	2,2-2,9	0,2-0,6	0,02-0,1	<0,015	40 ≤
	Kelas 2	FCD45						45 ≤
	Kelas 3	FCD55						55 ≤
	Kelas 4	FCD70						70 ≤
Besi cor paduan			-	-	-	-	-	-

(Harsono Wiryosumarto dan Toshie Okumura, 1991)

### 3.5.2. Logam Bukan Besi (Non-Ferro)

Logam non ferro yaitu logam yang tidak mengandung unsur besi (Fe). Kurang lebih 20% dari logam yang diolah menjadi produk industri merupakan logam bukan-besi (*non-ferro*). Indonesia merupakan salah satu negara penghasil logam bukan besi (*non-ferro*) yang cukup banyak meliputi; timah putih, tembaga, nikel,

emas dan aluminium. Dalam keadaan murni logam bukan besi memiliki sifat yang cukup baik, namun untuk meningkatkan kekuatannya umumnya dicampur dengan logam lain sehingga membentuk paduan. Ada beberapa ciri-ciri sifat bukan logam (*non-ferro*), diantaranya adalah;

- Tahan terhadap korosi (pengkaratan)
- Mempunyai daya hantar listrik yang baik
- Mudah dibentuk

Beberapa jenis logam bukan besi (*non-ferro*) antara lain sebagai berikut :

### ➤ Tembaga (Cu)

Tembaga adalah suatu unsur kimia dalam tabel periodik memiliki lambang Cu dan nomor atom 29. Lambangnya berasal dari bahasa Latin *Cuprum*. Tembaga merupakan konduktor panas dan listrik yang baik. Selain itu unsur ini memiliki korosi yang lambat sekali.

Tembaga mempunyai warna coklat kemerah-merahan, mempunyai sifat tempa yang cukup baik, liat, dan kuat. Tembaga banyak digunakan untuk membuat berbagai suku cadang bagian listrik, radio penerangan, dan alat-alat dekorasi, perkakas dapur. Seperti alat-alat elektronik, mesin listrik, patung-patung dan tropi, peralatan rumah tangga; pisau, garfu dan kualii leper.



Gambar 3.3. Bahan tembaga dibuat sebagai hiasan kaligrafi

Tembaga murni dibagi dalam tiga jenis yang didasarkan kepada cara pemurniannya. Jenis pertama adalah tembaga tangguh yang dibuat dengan mencairkan kembali tembaga hasil elektrolisa. Jenis kedua adalah tembaga bebas oksigen yang dibuat dengan mendeoksidasi tembaga hasil elektrolisa. Jenis yang ketiga adalah tembaga bebas oksigen hantaran tinggi yang dibuat dengan mencairkan tembaga elektrolisa dalam atmosfer hidrogen.

Paduan tembaga mempunyai daya hantar listrik dan daya hantar panas yang lebih rendah dari pada tembaga murni,

tetapi kekuatannya lebih baik. Sebagai unsur paduan pada tembaga umumnya digunakan adalah Zn, Si, Sn, Al, Ni dan lain-lainnya. Paduan antara Cu-Zn disebut **brass** atau **kuningan** atau **loyang**. Sedangkan paduan antara Cu-Sn disebut **brons** atau **perunggu**. Jenis-jenis paduan lainnya juga disebut brons, misalnya paduan yang mengandung fosfor disebut brons fosfor, sedangkan Cu-Si disebut brons silikon, CU-Al disebut perunggu aluminium.

Sifat-sifat utama tembaga adalah mempunyai warna coklat kemerah-merahan dan mempunyai konduktivitas elektrik yang tinggi. Tembaga memiliki ciri, yaitu mampu memantulkan cahaya coklat kemerah-merahan dan menyerap warna lain dalam frekuensi spektrum tampak.

Tembaga terletak dalam keluarga yang sama dengan perak dan emas dalam jadwal berkala, oleh karena itu ia mempunyai sifat-sifat yang serupa dengan kedua logam itu. Kesemuanya mempunyai konduktivitas elektrik yang tinggi. Tembaga seperti halnya emas dan perak mempunyai sifat mampu tempa yang baik. Tembaga tidak larut dalam air (H<sub>2</sub>O) dan isopropanol, atau isopropil alkohol.

Dipasaran banyak terlihat tembaga digunakan untuk pembuatan alat-alat elektronik, pipa tembaga untuk kulkas dan *air conditioning* (ac), bahan kabel listrik, pembuatan tropy, hiasan dinding dari tembaga (kuningan), gantungan kunci, kunci pintu rumah, pisau, garpu, sudu, alat-lat medis dan sebagainya.

### ➤ Aluminium (Al)

Aluminium adalah unsur kimia yang mempunyai simbol Al dan nomor atom 13. Aluminium dijumpai terutamanya dalam bijih bauksit dan terkenal karena daya tahannya terhadap pengoksidasian (tahan karat) dan lebih ringan. Aluminium digunakan dalam banyak industri untuk menghasilkan bermacam-macam bentuk produk industri otomotif, rumah tangga, elektronik, pesawat terbang, perkapalan, kereta api dan sebagainya. Logam aluminium juga dipakai secara luas dalam bidang kimia, listrik, bangunan dan alat-alat penyimpanan.

Untuk mendapatkan sifat tertentu aluminium banyak di padu dengan logam lain. Paduan aluminium banyak digunakan karena sifatnya yang kuat dan ketahanannya terhadap suatu kondisi tertentu lainnya. Campuran aluminium ini tahan terhadap asam dan menunjukkan kadar kekorosian yang

rendah dalam suhu atmosfer dan juga mempunyai sifat oksidasi yang rendah pada suhu tinggi. Paduan aluminium tahan atau kurang bereaktif terhadap sulfur dan hasil oksidasi dari pembakaran. Paduan ini juga tahan terhadap korosi air laut. Daya tahan terhadap korosi air laut paduan aluminium ini disebabkan oleh komponen aluminium dalam campuran, yang bertindak sebagai pelindung pengkorosian.

Paduan aluminium dapat diklasifikasikan dalam tiga cara yaitu berdasarkan pembuatan dengan klasifikasi paduan cor dan paduan tempa; berdasarkan perlakuan panas dengan klasifikasi dapat atau tidak dapat diberlakukan; dan ketiga berdasarkan unsur-unsur paduan. Berdasarkan klasifikasi ketiga ini aluminium dapat dibagi dalam tujuh jenis yaitu: Jenis Aluminium Murni, Al-Cu, Al-Mn, Al-Si, Al-Mg, Al-Mg-Si dan Jenis Al-Zn.

Paduan aluminium yang dapat diberlakukan adalah paduan dimana kekuatannya dapat diperbaiki dengan pengerasan dan penemperan, sedangkan paduan yang tidak dapat diberlakukan kekuatannya hanya dapat diperbaiki dengan cara pengerjaan dingin. Pengerasan pada paduan aluminium yang dapat diberlakukan tidak karena adanya



Gambar 3.4. Velg roda dari paduan aluminium

transformasi martensit seperti dalam baja karbon, tetapi karena adanya pengendapan halus fasa kedua dalam butir kristal paduan. Karena proses ini maka pengerasan pada paduan aluminium disebut pengerasan endap atau pengerasan *presipitasi*. Sifat-sifat pengerasan ini sangat tergantung pada unsur paduannya.

Logam aluminium yang termasuk dalam kelompok yang tidak dapat diperlakukan adalah jenis Al-murni, jenis Al-Mn, jenis Al-Si dan jenis Al-Mg. Sedangkan kelompok yang dapat diperlakukan masih dibagi lagi dalam jenis perlakuan panasnya yaitu anil-temper (O-temper), pengerasan regang (H-temper), pengerasan alamiah dan pengerasan buatan.

### ➤ Timbal (Pb)

Timbal adalah suatu unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang Pb dan nomor atom 82. Lambangnya diambil dari bahasa latin *Plumbum*. Unsur ini beracun dan efek dari racun ini antara lain; dapat menurunkan daya ingat pada otak manusia.

Timbal mempunyai warna biru kelabu. Sifatnya dapat ditempa, sangat liat, tahan korosi, air, asam, dan bobot sangat berat. Timbal banyak digunakan sebagai bahan pembuat kabel, baterai, bubungan atap atau kuda-kuda rumah, dan bahan pengisi pada baterai kering.

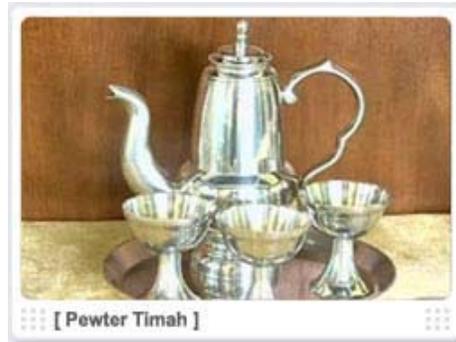


Gambar 3.5. Bahan timbal

### ➤ Timah (Sn)

Timah adalah sebuah unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki simbol Sn (bahasa Latin: *stannum*) dan nomor atom 50. Unsur ini merupakan logam miskin keperakan, dapat ditempa ("*malleable*"), ditemukan dalam banyak aloy, dan digunakan untuk melapisi logam lainnya untuk mencegah karat. Timah diperoleh terutama dari mineral *cassiterite* yang terbentuk sebagai oksida

Warna aluminium bening keperak-perakan, sifatnya dapat ditempa, liat dan tahan korosi. Timah digunakan sebagai pelapis lembaran baja lunak (pelat timah) dan untuk pembuatan peralatan di industri pengawetan dan pelapis/bungkus makanan.



Gambar 3.6. Alat rumah tangga dari bahan paduan aluminium

Timah adalah logam memiliki kekerasan yang rendah, berat jenis 7,3 g/cm<sup>3</sup>, serta mempunyai sifat konduktivitas panas dan listrik yang tinggi. Dalam keadaan normal (13–1600°C),

logam ini bersifat mengkilap dan mudah dibentuk. Timah terbentuk sebagai endapan primer pada batuan granit dan pada daerah sentuhan batuan endapan metamorfosa. Biasanya berasosiasi dengan turmalin dan urat kuarsa timah, serta sebagai endapan sekunder, yang di dalamnya terdiri dari endapan *alluvium*, *elluvial*, dan *koluvium*.

Mineral yang terkandung di dalam bijih timah pada umumnya mineral utama yaitu kasiterit, sedangkan pirit, kuarsa, zircon, ilmenit, plumbum, bismut, arsenik, stibnite, kalkopirit, kuprit, xenotim, dan monasit merupakan mineral ikutan. Kegunaan timah banyak sekali terutama untuk bahan baku logam pelapis, solder, cendera mata, dan lain-lain. Potensi timah di Indonesia terdapat di Pulau Bangka, Pulau Belitung, Pulau Singkep, dan Pulau Karimun.

### 3.6. Bahan Non Logam

Bahan non logam adalah suatu bahan teknik yang tidak termasuk ke dalam kelompok logam yang didapat dari bahan galian, tumbuhan atau hasil dari proses pengolahan minyak bumi. Bahan non-logam dapat terdiri dari bahan organik dan bahan an-organik. Bahan organik seperti kayu, kertas, plastik, karet, kulit, kapas dan sebagainya, sedangkan bahan an-organik seperti; batu, pasir, semen, keramik, gelas, grafit dan sebagainya. Bahan-bahan non logam antara lain asbes, karet dan plastik.

#### 3.6.1. Asbes

Asbes adalah suatu jenis mineral terdiri dari asam kerbik dan magnesium yang berbentuk serat. Untuk beberapa mineral sangat berbeda dalam komposisi, kekuatan, fleksibilitas dan kualitas dari serat-seratnya. Misalnya jenis krisotil yang bentuk seratnya bervariasi panjang dan pendek, sedangkan jenis antopilit bentuk seratnya bervariasi, tidak dapat dipintal tetapi lebih tahan terhadap asam.



Gambar 3.7 Atap rumah dari bahan asbes

Asbes dipakai untuk melapisi rem mobil. Serat asbes yang murni dipakai untuk keperluan kimia. Tali asbes dan kain asbes banyak digunakan untuk bermacam-macam keperluan. Misalnya untuk kaus tangan, baju tahan api, isolasi listrik dan panas, bahan packing, sumbat bius dan peredam bunyi.

### 3.6.2. Karet

Istilah karet digunakan untuk menyatakan berbagai jenis bahan yang mempunyai tingkat kekenyalan yang tinggi, bersifat lentur dan dapat dideformasikan beberapa kali lebih panjang dan dapat dikembalikan ke bentuk semula.

Karet alam terbuat dari sari getah pohon *hevea bras-iliensis* (pohon karet) yang tumbuh di daerah tropis. Untuk mendapatkan sari ini, pohon karet tersebut disayat kulitnya untuk mendapatkan getah putih yang disebut lateks. Lateks yang diperoleh terdiri dari bola karet dan air. Kemudian dimastikasi atau diplastikan agar dapat diproses dengan lebih mudah, dan dicampur dengan bahan pengisi seperti karbon hitam, zat pewarna, belerang, dibuat campuran, dibentuk dengan tekanan, dan divulkanisasi oleh reaksi penyilangan sambil dipanaskan untuk mendapatkan benda cetakan.

Warna karet alam agak kecoklat-coklatan, tembus cahaya atau setengah tembus cahaya, dengan berat jenis 0,91-0,93. Sifat mekaniknya tergantung pada derajat vulkanisasi, sehingga dapat dihasilkan banyak jenis. Temperatur penggunaannya adalah sekitar 99°C paling tinggi, melunak pada suhu kira-kira 130°C dan mengurai pada suhu kira-kira 200°C. Bersifat isolasi listriknya bagus dan karet tidak tahan terhadap minyak dan pelarut.

Bahan karet, digunakan secara luas untuk ban mobil, pengemas karet, penutup isolasi listrik, sol sepatu dan sebagainya. Karet tahan terhadap keausan. Karet sintetis atau karet tiruan dibuat dari mineral minyak bumi. Karet sintetis lebih tahan terhadap minyak dan lemak, tetapi kurang tahan terhadap temperatur tinggi.



Gambar 3.8 Ban mobil yang terbuat dari karet alam

Karet sintetis saat ini banyak dijumpai di pasaran dengan berbagai jenis, sesuai dengan kebutuhannya. Beberapa jenis karet sintetis yang umum dipasaran adalah; karet butadien, karet nitril, karet polisulfida, karet uretan, karet olefin, dan karet etilen propilen. Penamaan jenis karet sintetis ini sesuai dengan proses pembuatannya.

### 3.6.3. Plastik

Bahan plastik merupakan bahan yang sangat penting dalam dunia permesinan dan industri modern. Plastik adalah bahan sintetis yang berasal dari minyak mineral, gas alam, batu bara, batu kapur, binatang dan tumbuh-tumbuhan.

Istilah plastik mencakup produk polimerisasi sintetik atau semi-sintetik. Mereka terbentuk dari kondensasi organik atau penambahan polimer dan bisa juga terdiri dari zat lain untuk meningkatkan performa atau nilai ekonominya. Plastik dapat dibentuk menjadi film atau fiber sintetik. Nama ini berasal dari fakta bahwa banyak dari mereka "malleable", memiliki properti keplastikan.

Plastik didesain dengan variasi yang sangat banyak sehingga tahan terhadap panas, keras, "reliency" dan lain-lain. Plastik sangat banyak digunakan di dunia industri untuk berbagai macam keperluan seperti pengepakan (packaging), dunia transportasi, alat-alat kantor dan alat-alat rumah tangga.

Sifat-sifat plastik pada umumnya adalah :

1. Tahan korosi
2. Berat jenis cukup rendah
3. Ulet dan kuat
4. Tidak tahan panas yang tinggi



Gambar 3.9 Packaging mesin dari bahan plastik

Plastik dapat dibagi ke dalam dua golongan besar yaitu golongan “*termoplast*” dan golongan “*termohard*”. Sifat dari kedua golongan plastik tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut:

➤ **Termoplast**

Termoplast dibentuk dari molekul-molekul panjang. Termoplast adalah bahan plastik yang dapat dibentuk melalui proses pemanasan. Plastik jenis banyak digunakan untuk pengepakan pada makanan-makanan ringan, dan minuman kaleng.

➤ **Termohard**

Termohard terbentuk dari molekul-molekul bentuk jaringan besar. Termohard merupakan bahan yang tahan terhadap panas tinggi, dengan pemanasan plastik jenis ini tidak mudah menjadi lembek dan menjadi cair.

### 3.7. Pembuatan Pelat Baja Tipis dan Pelat Baja Tebal

#### 3.7.1. Bahan Pelat Baja Tipis

Pelat tipis umumnya dibentuk dari baja karbon rendah. Pelat baja tipis dibuat melalui berbagai cara untuk tujuan tertentu untuk keperluan di industri dan permesinan. Gambar 3.10, memperlihatkan proses pembuatan pelat baja tipis.

Pelat baja tipis banyak juga dipakai untuk dinding bodi alat-alat transportasi seperti mobil, kapal laut, kereta api, mesin bubut, mesin freis dan sebagainya.



Gambar 3.10. Proses mengerolan pelat baja tipis

Penggunaan utama baja pelat tipis yang dirol panas, dirol dingin dan dilunakan adalah untuk benda yang dibentuk dengan proses mengepresan (penekanan). Pembentukan dengan pres terdiri dari pengguntingan dan pembentukan dimana pengepresan merupakan proses utama. Seperti disebutkan di

atas penggunaannya adalah untuk peralatan dapur, pelat dinding kendaraan, jembatan, dan sebagainya.



Gambar 3.11. Penggunaan pelat baja tipis sebagai dudukan komponen sensor alat ukur radiasi matahari

### 3.7.2. Proses Pembuatan Baja Paduan Pelat Tipis

Baja dapat didefinisikan suatu campuran dari besi dan karbon, dimana unsur karbon (C) menjadi dasar campurannya.

Di samping itu mengandung unsur campuran lainnya seperti sulfur (S), fosfor (P), silikon (Si) dan mangan (Mn) yang jumlahnya dibatasi. Kandungan karbon di dalam baja sekitar 0,1%-1,7%, sedangkan unsur lainnya dibatasi persentasenya.



Gambar 3.12 Pembuatan baja paduan

Unsur paduan yang bercampur di dalam lapisan baja, untuk membuat baja bereaksi terhadap pengerjaan panas atau menghasilkan sifat-sifat khusus.

#### ❖ Unsur Campuran Dasar Baja (Karbon)

Unsur karbon adalah unsur campuran yang amat penting dalam pembentukan baja, jumlah persentase dan bentuknya membawa pengaruh yang amat besar terhadap sifat baja tersebut. Tujuan

utama penambahan unsur campuran lain ke dalam baja adalah untuk mengubah pengaruh dari unsur karbon.

Apabila dibandingkan dengan kandungan karbonnya maka dibutuhkan sejumlah besar unsur campuran lain untuk menghasilkan sifat yang dikehendaki pada baja. Unsur karbon dapat bercampur dalam besi dan baja setelah didinginkan secara perlahan-lahan pada temperatur kamar dalam bentuk sebagai berikut.

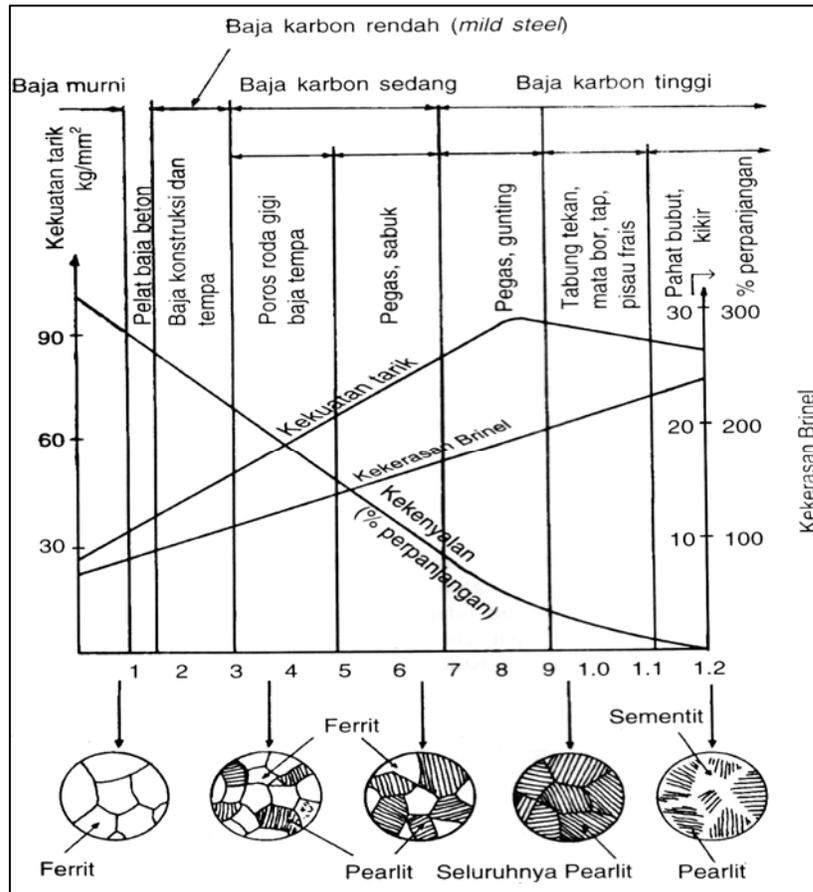


Gambar 3.13. Pemakaian baja paduan

- a. Larut dalam besi untuk membentuk larutan padat ferit yang mengandung karbon diatas 0,006% pada temperatur kamar. Unsur karbon akan naik lagi sampai 0,03% pada temperatur sekitar 725<sup>0</sup>C. Ferit bersifat lunak, tidak kuat dan kenyal.
- b. Sebagai campuran kimia dalam besi, campuran ini disebut sementit ( $Fe_3C$ ) yang mengandung 6,67% karbon. Sementit bersifat keras dan rapuh.

Sementit dapat larut dalam besi berupa sementit yang bebas atau tersusun dari lapisan-lapisan dengan ferit yang menghasilkan struktur "perlit", dinamakan perlit karena ketika di "etsa" dipes dengan jalan goresan dan dilihat dengan mata secara bebas, perlit kelihatannya seperti karang mutiara. Perlit adalah gabungan sifat yang baik dari ferit dan sementit.

Apabila baja dipanaskan kemudian didinginkan secara cepat maka keseimbangannya akan rusak dan unsur karbon akan larut dalam bentuk yang lain. Itulah sifat yang dihasilkan dengan bermacam-macam pemanasan dan periode pendinginan baja. Sifat dan mikrostruktur itu yang ada dalam baja sebelum pengerjaan panas (*heat treatment*) dilakukan. Untuk lebih jelasnya perhatikan gambar berikut.



Gambar 3.14. Struktur dan sifat-sifat baja karbon sebelum Pengerasan.  
(Amstead, B.H., 1979)

#### ❖ Unsur-Unsur Campuran Lainnya

Di samping unsur-unsur karbon sebagai campuran dasar dalam besi, juga terdapat unsur-unsur campuran lainnya yang jumlah persentasenya diatur sedemikian rupa. Unsur-unsur itu yaitu fosfor (P), sulfur (S), silikon (Si), dan mangan (Mn).



Gambar 3.15. Proses pencampuran unsur lain pada pembuatan baja noduan

Pengaruh unsur tersebut pada baja adalah sebagai berikut:

- **Unsur Fosfor (P)**

Unsur fosfor membentuk larutan besi fosfida. Baja yang mempunyai titik cair rendah juga tetap menghasilkan sifat yang keras dan rapuh.

Fosfor dianggap sebagai unsur yang tidak murni dan jumlah kehadirannya di dalam baja dikontrol dengan cepat sehingga persentase maksimum unsur fosfor di dalam baja sekitar 0,05 %. Kualitas bijih besi tergantung dari kandungan fosfornya.

- **Unsur Sulfur (S)**

Unsur sulfur membahayakan larutan besi sulfida (besi belerang) yang mempunyai titik cair rendah dan rapuh.

Besi sulfida terkumpul pada batas butir-butirannya yang membuat baja hanya didinginkan secara singkat (tidak sesuai dengan pengerjaan dingin) karena kerapuhannya.

Hal itu juga membuat baja dipanaskan secara singkat (tidak sesuai dengan pengerjaan panas) karena menjadi cair pada temperatur pengerjaan panas dan juga menyebabkan baja menjadi retak-retak. Kandungan sulfur harus dijaga serendah mungkin dibawah 0,05%.

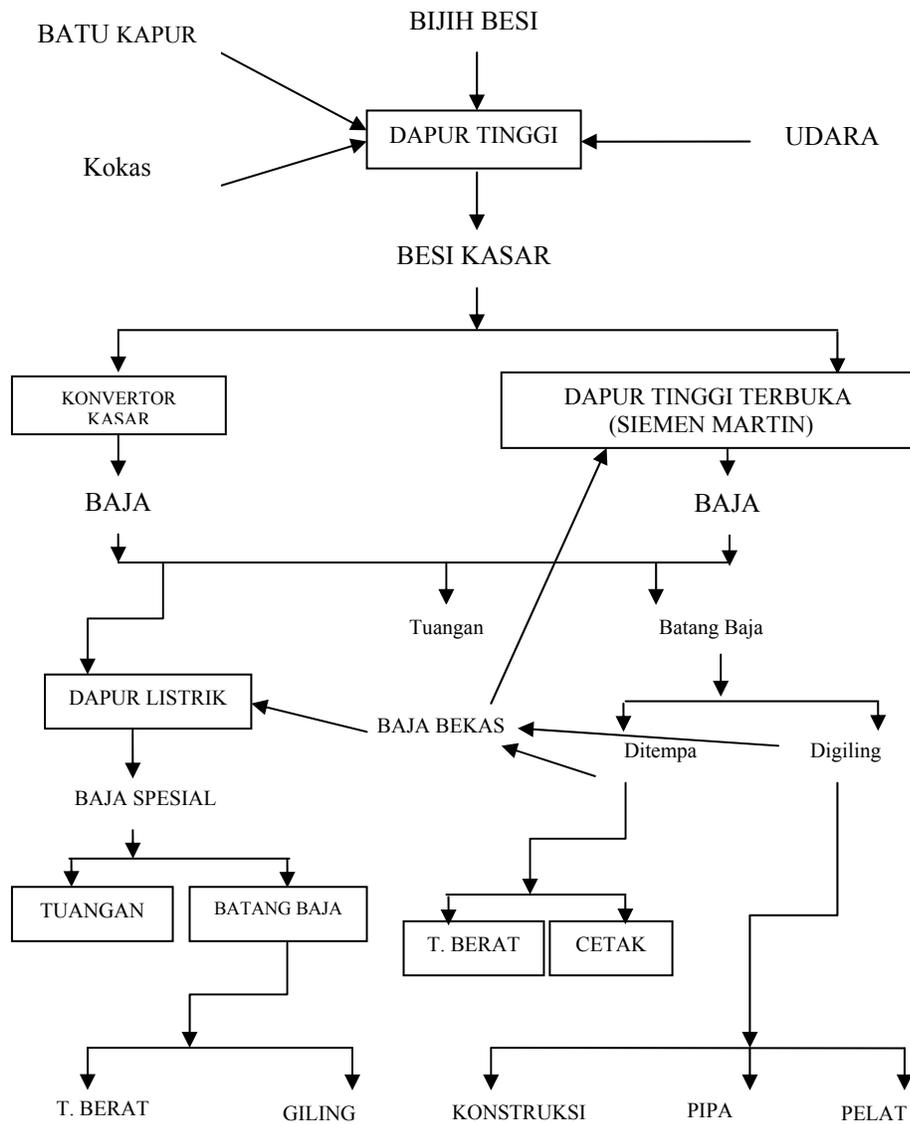
- **Unsur Silikon (Si)**

Silikon membuat baja tidak stabil, tetapi unsur ini tetap menghasilkan lapisan grafit (pemecahan sementit yang menghasilkan grafit) dan menyebabkan baja menjadi tidak kuat. Baja mengandung silikon sekitar 0,1% - 0,3%.

- **Unsur Mangan (Mn)**

Unsur mangan yang bercampur dengan sulfur akan membentuk mangan sulfida dan diikuti dengan [membentuk besi sulfida.

Mangan sulfida tidak membahayakan baja dan mengimbangi sifat jelek dari sulfur. Kandungan mangan di dalam baja harus dikontrol untuk menjaga ketidakteraturan sifatnya dari sekumpulan baja yang lain. Baja karbon mengandung mangan lebih dari 1%.



Gambar 3.16. Diagram proses pembuatan baja paduan hingga menjadi pelat tipis

#### ❖ Baja Karbon Rendah Pembentuk Pelat Tipis

Baja karbon rendah merupakan produk yang utama dalam sebuah pabrik baja dan besi. Bentuk produk dari baja karbon rendah berupa pelat baja. Pelat baja di bedakan atas pelat baja tipis (*sheet metal*) dan pelat baja tebal (*slab dan billet*).

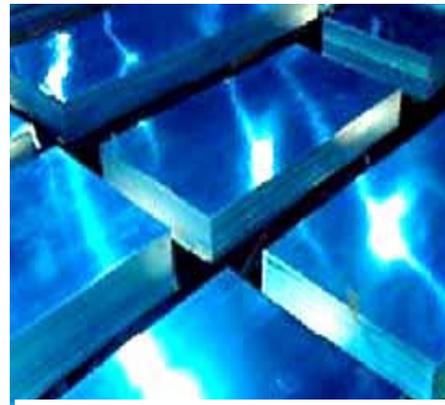
Pelat baja tipis, banyak digunakan untuk berbagai keperluan dalam dunia teknik seperti; pembuatan dinding body mobil, dinding kereta api, kapal laut, pemipaan, sudu-sudu turbin, dan sebagainya. Sedangkan dari pelat tebal, dibuat untuk keperluan berbagai jenis konstruksi, diantaranya konstruksi jembatan dan konstruksi gedung atau rumah, tank baja dan sebagainya. Dewasa ini dibuat berbagai produk dari baja dengan perlakuan khusus yang telah diperkuat untuk berbagai kebutuhan tertentu di lapangan.



Gambar 3.17 Pelat baja tipis

### 3.7.3. Bahan Pelat Baja Tebal

Seperti telah disinggung di atas bahwa baja tebal banyak digunakan untuk keperluan berbagai jenis konstruksi dan pembuatan alat-alat berat. Pembuatan konstruksi seperti konstruksi jembatan, gedung-gedung bertingkat, sedangkan untuk pembuatan alat berat seperti loader, exavator, roda dan bantalan kereta api, tank baja dan sebagainya.



Gambar 3.18. Pelat baja tebal

Urutan pembuatan baja pelat tebal adalah sebagai berikut:

#### ❖ **Pengolahan biji besi menjadi besi kasar**

Untuk pengolahan bijih besi menjadi besi kasar diperlukan bahan dan proses sebagai berikut:

#### ❖ **Biji besi**

Biji besi ialah besi yang masih bercampur dengan bermacam-macam zat yang terdapat di alam (besi yang masih kotor). Biji besi banyak terdapat di negara-negara Amerika Serikat, Rusia, Spanyol, Jerman dan Swedia. Batu-batu besi itu dikirim ke

negara-negara yang membutuhkan. Batu-batu besi yang terdapat di dalam tanah mengandung kadar besi lebih kurang 25–70% dan unsur besi ini bersenyawa dengan zat asam, zat cair dan zat arang. Macamnya biji besi tersebut adalah :

1.  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  – batu besi magnetit, mengandung kadar besi 60 – 70%. Bersipat magnetis dan berwarna hitam kehijau-hijauan.
2.  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – batu besi hemotit, mengandung kadar besi 50 – 70%. Batu besi ini berwarna merah.
3.  $\text{FeCO}_3$  – batu besi siderit, mengandung kadar besi 30 – 50%. Batu besi ini berwarna kuning keputih-putihan.
4.  $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{nH}_2$  – karat besi mengandung air (bukan besi tambang).

#### ❖ **Bahan tambahan**

Bahan tambahan sangat diperlukan dalam pengolahan biji-biji besi, sebab bahan tambahan ini dapat berfungsi untuk mengikat batu-batu ikatan dan abu kokas, sehingga merupakan terak cair. Kalau tidak diadakan pengikatan, maka batu-batu ikatan dan abu-abu bahan bakar sukar untuk dilebur di dalam tungku dapur tinggi, sehingga dapat menyebabkan penyumbatan-penyumbatan dalam dapur.

Sebagai bahan tambahan biasanya dipergunakan batu kapur ( $\text{CaCO}_3$ ), kadang-kadang pula dolomit yaitu campuran dari  $\text{CaCO}_3$  dan  $\text{MgCO}_3$ . Tetapi jika biji besinya sendiri telah mengandung kapur, maka bahan tambahannya harus dipakai yang bersifat asam umpamanya fluorid-kalsium ( $\text{CaFO}_2$ ).

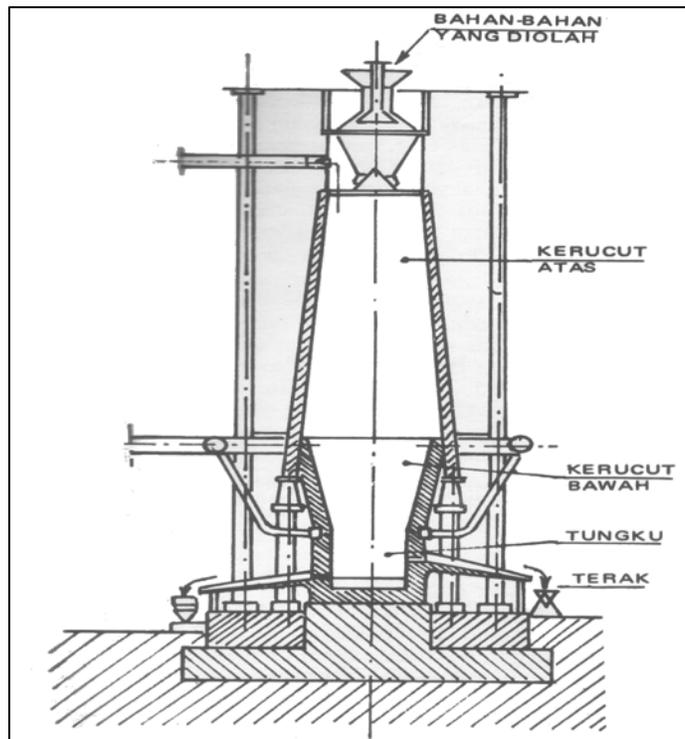
#### ❖ **Bahan bakar (kokas)**

Bahan bakar yang digunakan untuk melebur biji-biji besi di dalam dapur tinggi dengan proses pembakaran antara lain :

1. Arang kayu, bahan bakar ini dibuat dengan jalan destilasi kering dari kayu. Suatu keuntungan dari pemakaian arang kayu ialah kemurnian pembakaran yang besar, sedang kerugiannya adalah harganya yang mahal dalam bobot pemakaian yang kecil.
2. Arang batu (batu bara), bahan bakar ini sukar digunakan karena kotorannya mengandung zat belerang yang dapat mempengaruhi jalannya proses
3. Kokas, bahan bakar ini didapat dari destilasi kering arang batu atau batu bara. Kokas lebih banyak dan paling baik dipakai untuk pembakaran dapur tinggi sebab kokas mempunyai sifat tidak mengandung belerang, tidak banyak mengandung abu, dan tidak mudah pecah (remuk).

❖ **Dapur tinggi**

Sebuah dapur tinggi (gambar diatas) adalah tempat untuk melebur biji besi hingga menjadi besi kasar.



Gambar 3.19. Dapur tinggi

Konstruksi dan susunan dapur tinggi:

- 1) Dinding dapur tinggi terdiri dari kerucut atas dan kerucut bawah dan bagian bawahnya dilapisi batu tahan api.
- 2) Tebal dinding lapisan sampai 1 meter dan garis tengah dapur maksimum 6 meter
- 3) Tinggi dapur 25 – 35 meter
- 4) Mulut dapur dibuat dari pelat baja yang berbentuk cincin
- 5) Pemasukan biji besi pada mulut sebelah atas berganti-ganti dengan bahan tambahan kokas yang digerakkan oleh alat pengangkat hidrolis
- 6) Sebelum dipakai, dapur tinggi dipanasi lebih dahulu 8 sampai 14 hari lamanya.
- 7) Gas panas ( $CO_2$ ) yang terjadi tidak dibuang, tetapi disalurkan untuk memanasi udara bakar yang akan

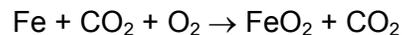
dimasukkan ke dalam dapur. Alat pemanas udara ini disebut cowper.

- 8) Kapasitas dapur tinggi dapat menghasilkan 300–400 ton besi mentah dalam 24 jam.

#### ❖ Operasi dapur tinggi

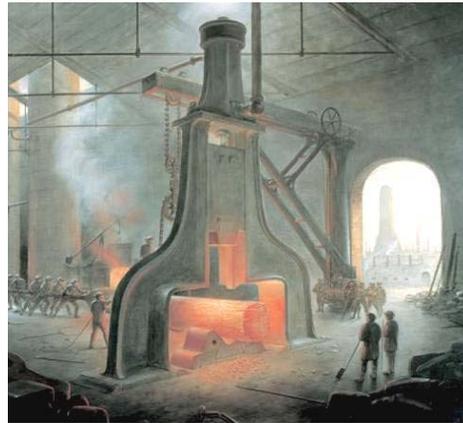
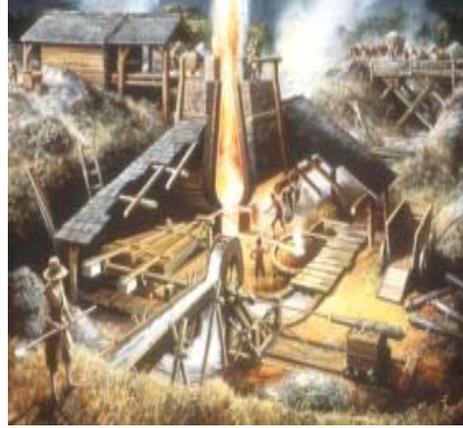
Bahan-bahan yang akan diolah dalam dapur tinggi, dimasukkan (dituangkan) secara berlarut-larut dan teratur yaitu bahan bakar besi dan berikutnya bahan tambahan, sehingga di dalam dapur tinggi terdapat muatan yang berlapis-lapis.

Setelah dalam dapur tinggi diberi pemanasan dan dibantu dengan udara panas yang dihembuskan lewat pipa-pipa udara yang dipasang sekeliling tungku dapur. Dengan pemanasan tersebut mulailah arang kokas terbakar, hingga menjadi coal monoxide (CO). gas ini mengalir melalui biji-biji besi, naik ke atas dan bersenyawa dengan zat asam yang ada di dalam besi itu sendiri sehingga terjadilah perenyawaan coal dioxyde (CO<sub>2</sub>) yaitu :



Dengan perubahan CO ini disebut proses reduksi di dalam pelebur besi cair. Dalam hal ini ikatan besi telah dibersihkan dari zat asam, tetapi mengambil zat arang (C) dari arang kokas. Pada pelapisan arang kokas dioksida (CO<sub>2</sub>) ini diubah menjadi karbon monoksida (CO) lagi.

Sekarang karbon monoksida (CO) naik ke atas melalui biji-biji besi, maka monoksida ini akan mengambil zat asam yang ada dalam besi, sehingga jadi lagi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), sedangkan besinya mengambil zat arang dari arang kokas dari arang kokas



Gambar 3.20. Operasi dapur tinggi

dalam pembakaran. Proses semacam ini terjadi pada suhu  $800^{\circ}\text{C}$  sedangkan gas-gas yang keluar dari dapur tinggi, mengalir ke tempat pembersih gas dengan suhu  $300^{\circ}\text{C}$  dan dari sini dialirkan ke pesawat pembawa cowper. Besi yang sudah cair menetes ke bawah diselimuti oleh lapisan tempat yang berkumpul di dalam tungku, sedangkan teraknya terapung diatas cairan besi.

Terak cair ini berguna pula untuk melindungi besi cair terhadap pengaruh udara. Di bagian bawah kaki tungku terdapat lubang terak dan lubang besi cair. Sebelum besi cair dikeluarkan maka teraknya harus dikeluarkan lebih dahulu sampai bersih. Banyaknya zat arang yang diambil oleh tiap 100 kg mengandung 2,5 – 4,5% C. Zat arang ini dibutuhkan dalam besi teknik karena dengan pengurangan kadar zat arang kita dapat membuat baja perkakas, baja konstruksi dan baja tuang. Pembuatan bahan-bahan semacam ini dapat dilakukan dalam dapur-dapur yang tersendiri. Gas dapur tinggi selain dipakai untuk pemanas udara bakar dapat juga dipakai untuk menggerakkan motor-motor gas atau turbin gas, sebagai pesawat pembantu dari perusahaan dapur tinggi.

#### ❖ Besi kasar

Hasil besi cair dapur tinggi dapat langsung dituang menjadi besi tuang atau besi kasar padat. Atau dapat juga langsung dikerjakan yaitu untuk mendapat besi kasar cair dan diangkut ke tempat alat pencampur. Pada alat pencampur ini diharapkan susunan besi kasar cair dapat menjadi lebih homo-gen.

Besi kasar yang dihasilkan dapur tinggi ada dua macam yaitu:



Gambar 3.21. Besi kasar (*pig iron*)

##### (1) Besi kasar putih

Besi kasar putih ini mengandung 5 – 30% Mn dan mengandung 3 – 4,5% C. Sifatnya sangat keras dan rapuh oleh karena itu, tidak dapat dipakai dalam bengkel tuang

besi, tetapi sangat baik untuk pembuatan besi tempa atau baja.  $BD = 7,3 - 7,7$  dan titik cair =  $1000 - 1300^{\circ}\text{C}$ .

## (2) Besi kasar kelabu

Besi ini mengandung 1% sampai 3% Si dan mengandung 3% C, Berat Jenis = 7,7 dan titik cairnya  $1300^{\circ}\text{C}$ . Warna kelabu disebabkan karena terdapatnya grafit dalam besi dan pembentuk-grafit disebabkan oleh kadar silisium (Si) yang dikandung dalam besi kasar. Besi kasar kelabu ini sangat baik dipakai untuk bengkel-bengkel tuang dan untuk pembuatan alat-alat perkakas.



Gambar 3.22. Dapur besi kasar

## ❖ Proses Pembuatan Baja Dari Besi Kasar

### (1) Proses Bassemer

Konverter Bassemer didapatkan pada tahun 1855 oleh Henry Bessemer seorang bangsa Inggris. Konverter ini pada bagian sebelah dalamnya dilapisi dengan batu tahan api yang terbuat dari kwarsa ( $\text{SiO}_2$ ) dan bersifat asam. Jenis konverter ini hanya dapat mengolah besi kasar dengan kadar P maksimum 0,80%.

Tetapi kadar C = 3,5 – 4%, kadar Si = 1,5 – 2,5%, Mn = 4 – 5 %, S = 0,05%. Jadi merupakan besi kasar kelabu. Kadar P harus rendah mengingat (P) tidak dapat dihilangkan dalam proses ini. Selain itu (P) dapat merusak lapisan konverter yang bersifat asam.

Besi kasar cair dari alat pencampuran yang diisikan 1/7 dari bagiannya, isi konverter maksimum adalah 15 – 30 ton. Pada alat bejana terdapat lubang-lubang saluran udara dengan

ukuran lebih kurang berdiameter 12 – 20 mm yang dihubungkan dengan ruang udara.

Bejana ini dapat diputar melalui 2 titik tumpuan poros. Pada poros tumpuan yang satu dilengkapi dengan roda gigi dan poros tumpuan yang lain terdapat pipa saluran udara. Sebagai bahan pemanas konverter ini adalah udara panas. Prinsip dari proses Bessemer adalah untuk memperkecil kadar C. Oleh udara panas Si dan Mn yang ter-kandung dalam besi kasar dapat terbakar, juga zat arang (C) diperkecil dengan timbulnya CO<sub>2</sub> yang dinyatakan dengan nyala api. Lapisan batu tahan api yang bersifat

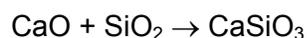


Gambar 3.23. Konverter Bessemer

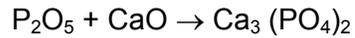
asam dapat mempercepat terjadinya proses dalam besi kasar cair dan proses ini tidak berlaku untuk besi kasar yang mengandung fosfor. Besi atau baja yang diperoleh dari proses Bessemer ini, dikerjakan dengan mesin-mesin rolls untuk dijadikan pelat baja.

## (2) Proses Thomas

Konverter ini khusus mengerjakan besi kasar putih yaitu suatu besi kasar yang mengandung 3 – 3,5 % C dan 0,2 – 0,5 % Si. Sebelum cairan besi dimasukkan ke dalam konverter terlebih dahulu diisikan bahan tambahan kapur untuk mengikat (P) dan (Si) sehingga menjadi kerak (kotoran). Bahan tambahan ini harus cukup banyak 12 – 18% dari muatan konverter, jadi harus mampu mengikat Si dan P, karena jika kurang oksid silisium (SiO<sub>2</sub>) akan merusak lapisan dapur dengan reaksi.



Setelah Si, Mn, dan C terbakar akhirnya Pnya juga akan terbakar dan oksid P akan bereaksi dengan CaO menjadi kalsium posfat.



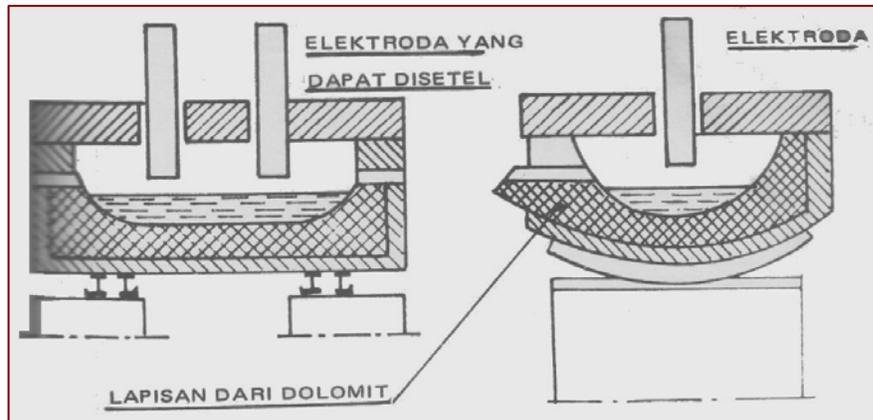
Kalsium posfat ini merupakan terak yang sangat berharga karena setelah melalui pengerjaan lebih lanjut dapat dijadikan pupuk tanaman. Selanjutnya dioksidasi dan pengembalian zat arang dilakukan seperti pada proses Bessemer. Besi yang terjadi dikerjakan dengan mesin-mesin Walls (penggilas) untuk dijadikan pelat baja.



Gambar 3.24. Konverter Thomas

### (3) Proses Listrik

Dapur listrik ini adalah khusus untuk pengolah baja, sehingga hasil bajanya sering disebut pula baja listrik. Dapur ini menggunakan arus listrik yang menimbulkan panas untuk mencairkan muatan. Bahan-bahan yang dimasukkan ke dalam dapur berbentuk padat atau dalam keadaan cair.



Gambar 3.25. Dapur listrik

Karena pada dapur ini, tidak ada nyala api yang mengandung zat asam, maka pengeluaran zat arang tidak dapat berlangsung sama seperti pada dapur lainnya. Maka untuk mengikat zat arang, ke dalam dapur ini dimasukan bahan khusus yang dapat mengikat zat arang dari besi kasar, sehingga yang tinggal hanya bajanya saja lagi. Dapur yang banyak dipergunakan ialah dapur busur cahaya dari Heroult.

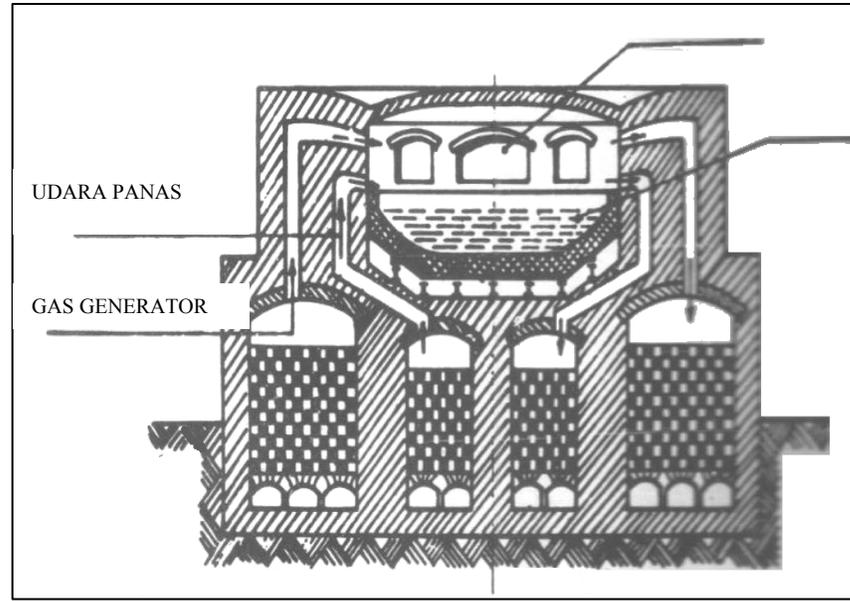
Pada dapur ini, dua buah elektroda yang dihubungkan kepada arus listrik akan menimbulkan suatu busur cahaya. Suhu yang terjadi ketika itu terjadi lebih kurang  $3000^{\circ}\text{C}$ . Dapur-dapur listrik ini dibuat sedemikian rupa sehingga ia dapat dimiringkan. Hasil dapur inilah yang baik untuk dibuat alat perkakas atau bagian-bagian mesin yang dapat menerima beban berat, dicampur dengan logam-logam yang lain seperti krom, nikel, wolfram dan sebagainya.

#### **(4) Proses Siemen Martin**

Sebuah dapur pelebur baja yang dapat mencapai suhu tinggi dibuat oleh orang-orang yang bernama Siemen dan Martin, sehingga dapurnya disebut pula dapur siemen Martin. Dapur ini mempunyai tungku kerja yang diperlengkapi dengan ruang-ruang hawa. Tungku kerja ini mempunyai kapasitas 30 – 50 ton. Bahan-bahan yang dimasak selain besi kasar dari dapur tinggi juga dapat dimasukkan besi bekas atau besi tua. Kalau besi yang dimasukkan mengandung posfor, bahan lapisan dapurnya bersifat basa, sebaliknya kalau besinya tidak mengandung posfor bahan lapisan dapurnya bersifat asam.

Cara memanaskan dapur Siemens Martin adalah dengan gas generator dan udara yang sebelumnya dimasukkan ke dalam pemanas yang dapat mencapai suhu lebih kurang  $1300^{\circ}\text{C}$ . gas generator dan udara kemudian masuk ke dalam tungku kerja dan terjadi pembakaran yang dahsyat, sehingga suhu tungku kerja menjadi semakin tinggi yaitu lebih kurang  $2000^{\circ}\text{C}$ .

Baja yang dihasilkan disebut baja Siemen Martin, mempunyai kualitas lebih baik dari hasil dapur peleburan yang lain karena susunannya lebih homogen dan tahan terhadap suhu yang tinggi.



Gambar 3.26. Dapur Siemen Martin

#### (5) Proses Baja Cawan

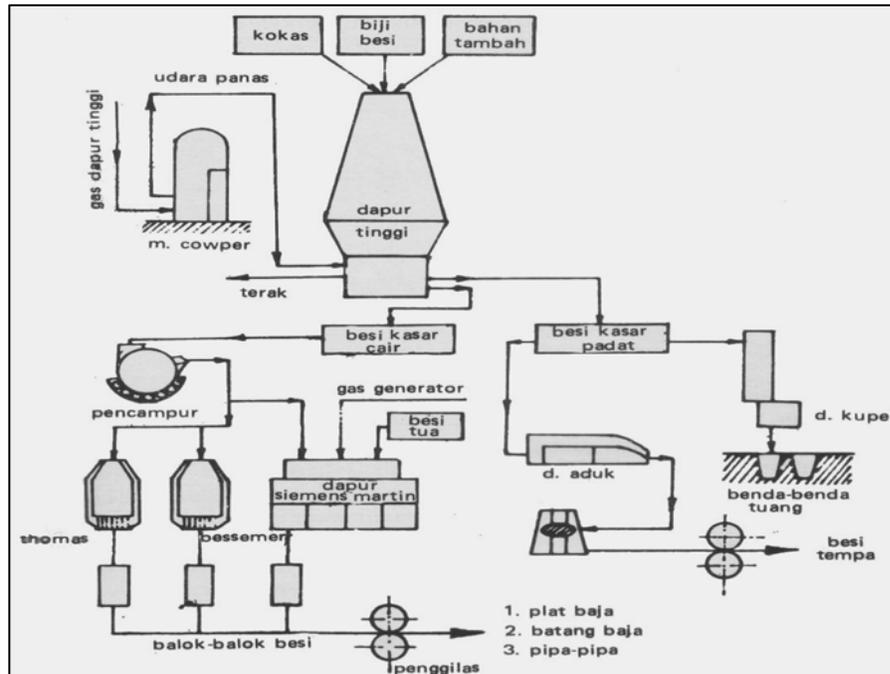
Baja dari hasil dapur Siemens Martin dicampur dengan unsur-unsur Nikel, Molibden, Krom dan Wolfram di dalam suatu cawan yang setelah ditutup cawan tersebut dimasukkan ke dalam tungku api. Cawan-cawan ini dapat berisi baja cair sebanyak 40 kg.

Baja cawan yang dihasilkan sangat baik untuk bahan perkakas dan bahan-bahan pegas. Baja cawan mempunyai sifat ulet, tahan panas dan atahan asam. Cawan ini dibuat dari campuran grafit dan batu tahan api yang dikeringkan oleh udara kemudian dipijarkan ke dalam dapur.

Dari gambar 3.27 ditunjukkan suatu cara/bagan urutan-urutan pengolahan mulai dari biji besi sampai menjadi bahan-bahan baja dalam bentuk perdagangan. Dalam gambar dapat dilihat pula perlengkapan dapur tinggi yaitu sebuah pesawat menara Cowper untuk memanaskan udara yang kemudian dihembuskan ke dalam pembakaran dapur tinggi.

Hasil dapur tinggi yang berupa besi kasar cair sebelum diolah dalam dapur-dapur Thomas, Bessemer, dan Siemens Martin harus dicampur terlebih dahulu dalam periuk pencampur. Sedangkan besi kasar padat dapat langsung diolah pada dapur

kupel dan dapur aduk sampai menjadi bahan-bahan tuangan dan besi tempa.



Gambar 3.27. Bagan pengolahan bijih besi sampai menjadi besi (baja) profil

### 3.8. Penyejukan dan Pelunakkan Baja

Menyepuh baja adalah cara mengeraskan baja dengan jalan memanaskan baja pada suhu penyespuhan yang segera disusul oleh suatu pendinginan yang mendadak. Sebagai zat pendingin yang dapat dipergunakan adalah air, air garam, cairan gliserin, dan sebagainya. Suhu penyespuhan untuk berbagai macam kadar zat arang (C) dalam baja telah tertentu misalnya:

1. Untuk baja dengan kadar 0,8% C suhu 750° C
2. Untuk baja dengan kadar 0,7% C suhu 800° C
3. Untuk baja dengan kadar 0,5% C suhu 900° C

Makin tinggi suhu penyespuhan, makin keras hasil bajanya dan kristal-kristal baja yang terjadi makin besar yang menyebabkan baja itu sangat rapuh dan mudah putus. Jadi, sebaliknya dalam penyespuhan kristal-kristal baja yang terjadi harus halus sehingga hasil bajanya menjadi keras dan kuat.

### 3.8.1. Menyemen

Menyemen dimaksudkan menyepuh atau memperkeras permukaan benda kerja yang bersifat kenyal. Misalnya menyemen roda-roda gigi, poros-poros nok, batang antar dan sebagainya. Sebagai bahan penyemen dapat dipakai arang kayu, arang kulit, arang tulang zat cair, gas dan bubuk semen spesial. Dengan menyemen ini permukaan baja diperkeras kira-kira setebal  $\frac{1}{2}$  sampai  $1\frac{1}{2}$  mm.

➤ **Bahan penyemen padat**

Benda kerja dengan lebih kurang 0,2% C dimasukkan dalam peti baja bersama sama rang kayu, tepung arang tulang atau bubuk semen spesial kemudian ditutup rapat. Peti lapis dengan tanah liat kemudian dipijarkan sampai  $900^{\circ}\text{C}$  selama 6 – 8 jam. Setelah itu diambil dipijarkan lagi pada suhu  $750^{\circ}\text{C}$  dan kemudian disepuh. Dengan demikian permukaan benda kerja menjadi keras.

➤ **Bahan penyemen cair**

Sebagai zat cair digunakan Cyankali dan racun berbahaya. Benda kerja dipijarkan kemudian dioleskan dengan zat cair tersebut.

➤ **Bahan penyemen gas**

Sebagai bahan penyemen gas digunakan asetilyn, oksid arang yang bercampur amoniak. Menyemen dengan gas hanya pada besi dengan kadar 0,4% C sampai 0,6% C. Benda kerja dipanaskan dengan gas asetylene sampai  $900^{\circ}\text{C}$  kemudian disemprot dengan air.

### 3.8.2. Menitrir

Menitrir adalah suatu cara menyepuh dari jenis baja yang mengandung Aluminium (Al), Chrom (Cr), dan Molibden (Mo). Caranya benda kerja dimasukkan ke dalam aliran amoniak ( $\text{NH}_3$ ) dan dipanaskan sampai  $600^{\circ}\text{C}$  selama kurang lebih 2 hari. Pada suhu  $500^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{N}_2$  dari  $\text{NH}_3$  terurai dan mengikat Al hingga permukaan benda kerja menjadi keras. Tebal lapisan yang dicapai dengan cara ini adalah 0,5 – 1 mm. Alat-alat yang disepuh dengan cara ini biasanya pena torak, silinder motor yang diberi bus baja dan bidang-bidang jalan untuk batang engkol.

### 3.8.3. Menyepuh dengan Chrom

Cara penyepuhan ini dilakukan untuk melapisi permukaan benda kerja dengan chrom agar tahan gesekan misalnya bidang silinder motor dilapisi dengan chrom secara elektrolisa setebal 0,1–0,4 mm, kemudian lapisan itu diambil lagi secara elektrolisa

pula. Dengan demikian permukaan bidang silinder menjadi keras dan berpori-pori. Hal ini dimaksudkan jika motor sedang bekerja maka pori-pori tersebut dapat menahan minyak pelumas hingga pelumas dan dinding silinder menjadi sempurna.

### 3.9. Jenis dan Bentuk Bahan Yang Banyak Diperjualbelikan di Pasaran

Pengolahan besi kasar dalam proses beberapa dapur sehingga mendapatkan pula beberapa hasil baja yaitu besi tempa, besi tuang, dan baja. Untuk mendapatkan bentuk-bentuk bahan dalam perdagangan maka hasil baja dari dapur-dapur tersebut diatas masih akan dikerjakan lagi misalnya dengan jalan di tempa, dikempa, dicanai dan dituang.

Besi cair yang berasal dari konverter atau dapur Semens-Martin dituangkan ke dalam acuan tuang dari besi persegi empat Untuk menghindari kebakaran, maka acuan dilapisi dengan suatu bahan yang tahan api. Bila besi cair sudah agak dingin dan kental sehingga dapat dikeluarkan dari dalam acuan dan balok-balok besi yang berwarna merah keputih-putihan dibawa ke cetakan atau walsen untuk dibentuk menjadi bermacam-macam profil misalnya rel, besi lonjor, besi pelat dan lain-lain.

Dalam perdagangan besi tersebut ada bermacam-macam bentuk dan ukurannya. Tentang kualitasnya besi tergantung dari pengolahan dan paduan-paduan logam lainnya.

#### 3.9.1. Besi lonjor

Yang termasuk besi lonjor yaitu macam-macam bentuk besi lonjor yang diperdagangkan. Mengenai ukuran panjang pada besi lonjor ini adalah dari 5 -  $5\frac{1}{2}$  m. Ukuran yang dinormalisasi adalah ukuran-ukuran besi yang sering kali diperdagangkan untuk umum.

#### 3.9.2. Besi batang tipis

Besi batang yang berpenampang atau berbangun persegi empat panjang adalah yang disebut "besi batang tipis" (Gambar 3.29a). Ukuran dari besi batang tipis yang paling kecil adalah  $\frac{1}{4}$ " x  $\frac{1}{2}$ " dan ukuran yang paling besar adalah 3" x 8". Yang diberi ukuran



Gambar 3.28. Tank baja memakai pelat baja tebal

dari besi-besi batang tipis ini ialah ukuran dari lebar dan tebalnya misalnya besi batang tipis berukuran  $\frac{3}{4}$ " x  $1\frac{1}{2}$ " berarti mempunyai lebar  $1\frac{1}{2}$ " dan tebalnya  $\frac{3}{4}$ " sedang ukuran panjang-nya menurut normalisasi dalam perdagangan.

### 3.9.3. Besi lonjor bulat

Besi yang berpenampang lingkaran disebut "besi lonjong bulat" (Gambar 3.29-b). Besi lonjong bulat ini mempunyai ukuran tebal dari  $\frac{3}{16}$ " sampai 8" walaupun sebagian dari ukuran ini tidak tersedia. Dalam perdagangan besi bulat tersebut sering dinamakan besi beton dipakai sebagai penguat beton atau pondasi beton. Besi bulat yang tipis dari  $\frac{3}{16}$ " diberi nama kawat atau ijzer draad.

### 3.9.4. Besi lonjor bentuk persegi empat

Besi ini mempunyai penampang persegi (Gambar 3.29-c). besi ini diukur dari salah satu sisinya yang persegi empat dan dapat dibeli dari ukuran  $\frac{3}{16}$ " sampai 6" tebalnya.

### 3.9.5. Besi pintu dorong

Besi pintu dorong digunakan untuk membuat pintu yang dapat didorong atau pintu harmonika (Gambar 3.29-d). besi ini diperdagangkan dalam dua macam ukuran yaitu :

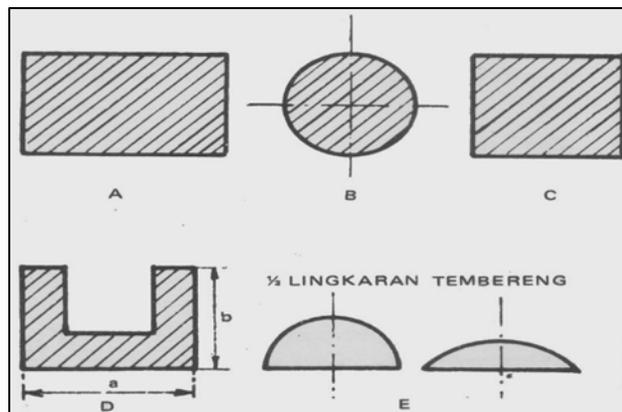
a = 13 mm dan b = 9,25 mm

a = 16 mm dan b = 10,5 mm

### 3.9.6. Besi lonjor setengah bulat

Besi lonjor setengah bulat ini semacam besi lonjong yang mempunyai penampang setengah lingkaran (Gambar 3.29-e). mengenai besarnya ukuran besi dapat diumpamakan besi dari 1" tebalnya, maka besi ini mempunyai tebal  $\frac{1}{2}$ ".

Karena besi ini ada dua macam yaitu selain yang berbentuk setengah bulat ada juga yang berbentuk setengah bulat gepeng atau disebut pelat kapal.



Gambar 3.29. Macam-macam bentuk besi lonjong

### 3.9.7. Besi bulat (baja pita)

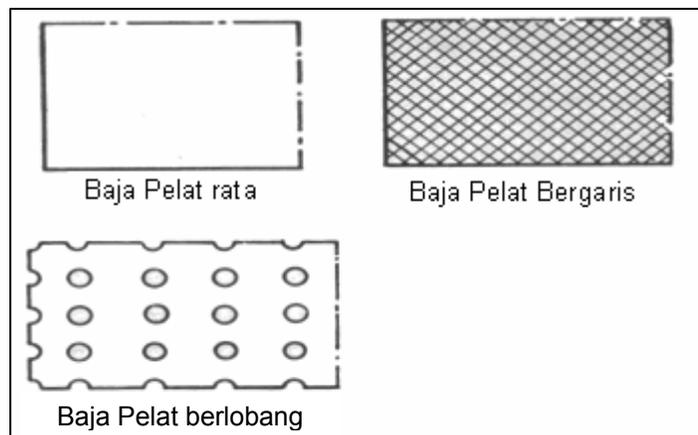
Baja pita ini sama dengan pelat besi lonjong, hanya mengenai perbandingan tebalnya terlalu tipis. Besi semacam ini seringkali dipakai untuk penguat peti-peti kayu atau lingkaran-lingkaran tong. Baja pita hitam mempunyai ukuran panjang dan lebar paling kecil  $\frac{1}{64}$ " x  $\frac{1}{2}$ " dan ukuran paling besar  $\frac{1}{8}$ " x  $2\frac{1}{2}$ ". Baja pita yang digalvani (dilapisi dengan *zink*) mempunyai ukuran  $\frac{1}{16}$ " x  $\frac{3}{4}$ ";  $\frac{1}{16}$ " x 1" dan  $\frac{1}{8}$ " x 1". Baja pita yang digalvani ini dapat dipakai untuk pengikat dan tahan karat.

### 3.9.8. Baja pelat

Baja pelat banyak dipakai pada konstruksi mobil dan konstruksi mesin. Baja pelat ini mempunyai ukuran-ukuran tertentu yaitu ukuran yang diperdagangkan. Menurut ukuran tebalnya baja pelat dapat dibedakan yaitu pelat-pelat yang kasar ukuran tebalnya 4,75 – 8 mm, pelat yang sedang tebalnya 3,00 – 4,75 mm, dan pelat yang halus ukurannya 0,22 – 3,00 mm. Menurut bentuknya baja pelat dapat dibedakan menjadi :

- Pelat dengan permukaan yang licin (rata)
- Pelat dengan permukaan yang bergaris-garis
- Pelat dengan permukaan yang berlubang-lubang

Baja pelat yang permukaannya licin dan dengan ukuran tebal yang agak tipis banyak dipakai untuk karesori-karesori mobil dan dinding mesin. Untuk baja pelat yang bergaris-garis banyak dipakai untuk membuat tangga-tangga besi, dan baja pelat yang berlubang dipakai untuk membuat pagar dan penutup-penutup lemari mesin.



Gambar 3.30. Macam-macam bentuk baja pelat

### 3.10. Jenis, Dimensi, dan Bentuk Pelat

Bahan pelat terdiri dari berbagai jenis bahan. Secara garis besar bahan pelat ini dikelompokkan menjadi dua bagian besar yakni : bahan pelat logam ferro dan pelat logam non ferro . Bahan pelat logam ferro ini diantaranya adalah pelat baja lembaran yang banyak beredar di pasaran. Bahan pelat dari logam non ferro ini diantaranya bahan pelat aluminium, tembaga, dan kuningan.

Sifat-sifat bahan pelat sangat penting untuk diketahui. Sifat-sifat bahan ini sangat berpengaruh terhadap proses pembentukan yang akan dilakukan pada bahan pelat tersebut. Kualitas suatu bahan sangat ditentukan oleh sifat mampu bentuk dari bahan. Biasanya bahan pelat dihasilkan dari proses pengerolan dengan tekanan tinggi. Proses ini menghasilkan pelat dengan struktur memanjang.

Struktur mikro yang terbentuk memanjang dari hasil pengerolan ini memberikan kontribusi yang baik terhadap proses pembentukan pelat. Struktur memanjang ini memberikan sifat yang lebih elastis dari bahan pelat lembaran tersebut. Kondisi ini perlu diketahui. Secara umum bahan-bahan logam ini mempunyai sifat-sifat fisik dan sifat-sifat kimiawi terhadap efek kualitas pengerjaannya. Sifat-sifat bahan logam ini diantaranya:

- Setiap bahan logam mempunyai masa jenis yang berbeda antara satu dengan yang lainnya.
- Warna bahan logam juga merupakan ciri khusus dari setiap bahan.
- Bahan logam mempunyai titik lebur yang berbeda untuk setiap jenis bahan logam.
- Bahan logam dapat juga sebagai penghantar panas dan sebagai penghantar listrik. Bahan logam yang paling baik untuk penghantar panas dan penghantar listrik diantaranya tembaga dan perak.
- Sifat kemagnitan juga dimiliki oleh setiap bahan logam. Bahan logam yang baik sifat kemagnetannya antara lain: baja, kobalt, nikel dan sebagainya.
- Sifat elastis atau kemampuan logam untuk kembali kekeadaan semula setelah mengalami pembebanan, juga dimiliki setiap bahan logam. Elastisitas dari suatu bahan logam mempunyai batasan menurut jenisnya masing-masing.
- Bahan logam mempunyai ukuran kekerasan yang dapat diukur tingkat kekerasannya dengan berbagai macam pengujian kekerasan. Uji kekerasan untuk bahan logam ini diantaranya: *Brinell, Vickers, Rockwell, Shore*. Biasanya kekerasan suatu bahan logam dipengaruhi oleh kandungan karbon pada bahan logam tersebut. Semakin besar kandungan karbonnya pada bahan logam maka kekerasannya juga akan bertambah.

- Sifat kelunakan juga dimiliki oleh setiap bahan logam. Kelunakan suatu bahan logam ini perlu diperhitungkan pada pekerjaan pembentukan. Apabila logam mempunyai tingkat kekerasan yang tinggi maka akan sangat menyulitkan untuk dilakukan proses pembentukan.
- Sifat rapuh dimiliki setiap bahan logam khususnya pada besi tuang. Sifat rapuh atau mudah pecah ini sangat kurang baik terhadap proses pembentukan pelat. Untuk mengatasi sifat rapuh ini biasanya dibutuhkan penambahan unsur yang bersifat mengikat seperti: Si (silisium).
- Keuletan yang dimiliki bahan logam tidak sama dengan kelunakan ataupun elastisitas. Keuletan ini sangat dibutuhkan untuk beberapa komponen-komponen permesinan. Sifat ulet ini biasanya dikombinasikan dengan sifat kekerasannya, Kombinasi ini menghasilkan bahan yang keras tetapi ulet. Contoh penggunaan bahan untuk komponen permesinan ini digunakan untuk menerima beban dinamis.
- Setiap bahan logam mempunyai sifat rentangan yang berbeda. Sifat rentangan ini sangat dibutuhkan untuk pekerjaan-pekerjaan pembentukan khususnya pada pekerjaan deep drawing.

Lembaran-lembaran pelat yang tersedia di pasaran terdiri berbagai macam jenis bahan diantaranya:

1. Pelat Seng
2. Pelat Baja
3. Pelat Baja Paduan
4. Pelat Alumanium
5. Pelat Alumanium campuran (*alloy*)
6. Pelat Tembaga
7. Pelat Kuningan
8. Pelat Perunggu

Dimensi atau ukuran lembaran pelat yang ada di pasaran ini terdiri dari dua jenis ukuran diantaranya:

1. Ukuran Panjang 1800 mm x Lebar 900 mm dengan tebal bervariasi
2. Ukuran Panjang 2400 mm x Lebar 1200 mm dengan tebal bervariasi

Ukuran ketebalan pelat yang ada di Pasaran sangat bervariasi mulai dari ukuran tipis sampai pada ukuran yang tebal. Menurut British Standard (B.S 4391) ukuran ketebalan tersedia seperti pada tabel berikut.

Tabel 3.4 Ketebalan Pelat B.S 4391

No	Tebal Pelat (mm)	No	Tebal Pelat (mm)
1	0,020	18	0,400
2	0,025	19	0,500
3	0,030	20	0,600
4	0,032	21	0,630
5	0,040	22	0,800
6	0,050	23	1,000
7	0,060	24	1,250
8	0,063	25	1,600
9	0,080	26	2,000
10	0,100	27	2,500
11	0,120	28	3,150
12	0,125	29	4,000
13	0,165	30	5,000
14	0,200	31	6,300
15	0,250	32	8,000
16	0,300	33	10,00
17	0,315		

(British Standard, 1992)

Aluminium dan aluminium alloy mempunyai standard ukuran tersendiri. Pelat aluminium yang berbentuk lembaran menurut B.S 1470 mempunyai Ukuran :

1. Panjang 2000 mm x Lebar 1000 mm
2. Panjang 2500 mm x Lebar 1250 mm

Ukuran ketebalan pelatnya berkisar antara 0,5 mm s/d 3 mm. Ukuran-ukuran pelat yang ada di pasaran terdiri dari dua jenis ukuran yakni ukuran Metric dan Imperial unit. Ukuran imperial unit dalam satuan inci dan ukuran metric dalam satuan mm. Ukuran ketebalan pelat distandardkan menurut ISWG sebagai berikut:

Tabel 3.5 Ketebalan Pelat ISWG

No	ISWG	Mm
1	28	0,40
2	26	0,50
3	24	0,60
4	22	0,80
5	20	1,00
6	18	1,20
7	16	1,60
8	14	2,00
9	12	2,50
10	10	3,00

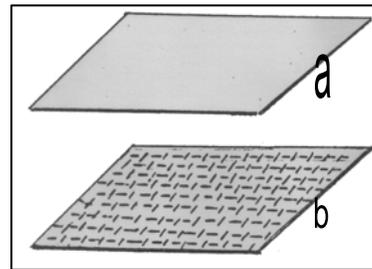
(British Standard, 1992)

Bentuk lembaran pelat yang tersedia di pasaran terdiri dari berbagai bentuk. Bentuk palat yang umum dipasaran adalah bentuk rata yang terdiri dari semua jenis bahan pelat. Ukuran dan bentuk lembaran pelat ini disesuaikan menurut standar ukuran dan bentuknya.

Bentuk-bentuk lembaran pelat ini umumnya di pasaran terdiri dari dua jenis yakni pelat rata dan pelat berusuk, pelat bentuk setengah lingkaran dan pelat bentuk trapesium.

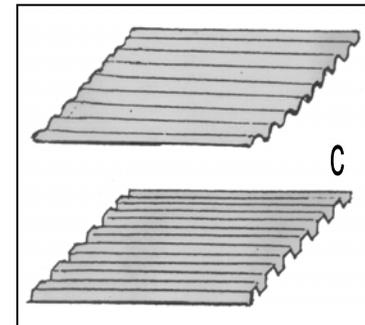
Pelat yang banyak beredar di pasaran adalah pelat rata yang terdiri dari berbagai jenis bahan. Pelat berusuk ini biasanya hanya terdiri dari bahan pelat baja saja. Gambar pelat rata dan pelat berusuk ini dapat dilihat pada gambar berikut:

1. Bentuk Rata Pelat yang mempunyai permukaan Datar  
(Gambar. 3.31.a Pelat Rata)

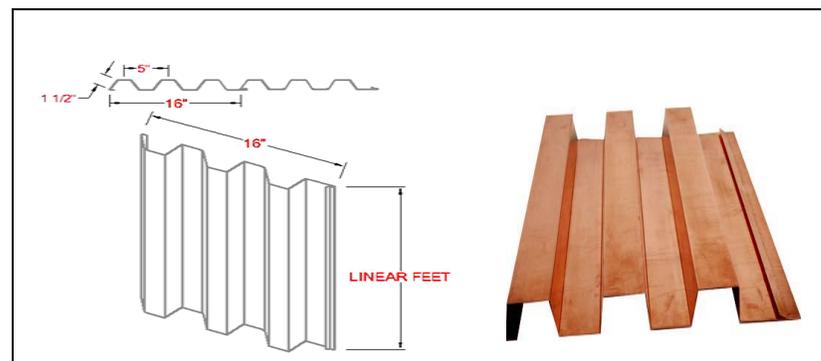


2. Bentuk Berusuk Pelat yang mempunyai permukaan berusuk atau tidak licin  
(Gambar 3.31.b Pelat Berusuk)

3. Bentuk Bergelombang Setengah Lingkaran. Pelat yang mempunyai permukaan bergelombang mem-bentuk setengah lingkaran  
(Gambar 3.31.c. Pelat berge-lombang)



4. Bentuk Gelombang Trapesium Pelat yang mempunyai Permukaan Bergelombang Trapesium  
(Gambar 3.31.d Pelat Berge-lombang Trapesium)



Gambar 3.31. Bentuk Pelat

### 3.11. Bahan Pelat Aluminium

Aluminium diperoleh dari bahan-bahan paduan dengan persenyawaan dari spaat kali ( $K Al Si_3 O_8$ ), bauksit ( $Al_2 O_3 \cdot 2H_2O$ ) dan krolit suatu aluminium natrium flourida ( $Al F_3 NaF$ ).



Gambar 3.32. Pelat aluminium

Pembuatannya dilebur dalam suatu dapur secara elektrolitis. Aluminium berwarna putih kebiru-biruan dan lebih keras daripada timah, akan tetapi lebih lunak daripada seng. Titik cair aluminium adalah  $659^{\circ}C$  dan berat jenisnya 2,6 – 2,7.

Aluminium terdapat dua macam yaitu :

1. Aluminium tuangan mempunyai kekuatan tarik sebesar  $10 \text{ kg/mm}^2$  dan regangannya 18 – 25%.
2. Aluminium tempa mempunyai kekuatan tarik sebesar 18 – 28  $\text{kg/mm}^2$  dan regangannya 3 – 5%

Aluminium tahan terhadap udara akan tetapi tidak tahan terhadap bahan-bahan alkalis (sabun atau soda) dan juga tidak tahan asam, selain asam sendawa (salpeterzuur) dan asam-asam organik yang telah dilunakkan.

Kegunaan aluminium adalah untuk logam aliase yang ringan, untuk pembuatan mesin motor dan pesawat terbang, baik dituang maupun dalam bentuk pelat dan batang, dan untuk penghasil kalor yang besar misalnya untuk alat-alat pemanasan.

Atom aluminium pada dasarnya terlalu kuat bergabung dengan atom oksigen dan disebut aluminium oksid. Bijih tambang untuk aluminium adalah bauksit. Bauksit terdiri dari 60% alumina ( $Al_2O_3$ ), 30% iron oksida ( $Fe_2O_3$ ) sejumlah  $SiO$  dan lain-lain.

Dalam hal ini agak sulit memisahkan alumina dari bauksit. Tidak dapat dengan pemanasan kokas atau embusan oksigen, karena logamnya akan terbakar terlebih dahulu dan yang tertinggal adalah kotorannya.

Bijih bauksit mula-mula dimurnikan dengan proses kimia dan aluminium oksid murni diuraikan dengan elektrolisis. Proses berikut ini adalah yang sering sekali dilakukan dalam pengolahan aluminium yang modern. Bauksit dimasukkan ke dalam kaustik soda, alumina di dalamnya membentuk sodium aluminate. Bagian yang lain tidak bereaksi dan dapat dipisahkan.

### 3.11.1. Sifat-sifat aluminium

Warna aluminium dengan mudah diidentifikasi dengan warna perak mengkilap yang khas. Warnanya berubah menjadi kelabu muda akibat pembentukan oksida apabila diletakkan di udara. Lapisan ini pada waktu baru berbentuk berpori dan dapat diberi warna dengan dicelup, kemudian dirapatkan (disebut *penganodaan*). Oksida ini sangat ulet dan tahan api.

Temperatur lebur aluminium murni  $660^{\circ}\text{C}$ . Paduan-paduan antara  $520$  dan  $660^{\circ}\text{C}$  (M.P. atau titik lebur dari oksida aluminium lebih dari tiga kali temperatur ini), massanya adalah  $2,79 \text{ g/cm}^3$ . Aluminium ringan sekali dibandingkan dengan logam-logam lain dan mempunyai konduktivitas yang sangat baik tetapi aluminium tidak bersifat magnetis. Kekuatan tarik dan kekerasan aluminium, dapat berubah-ubah dari sekitar 25 Hv untuk aluminium murni sampai di atas 165 Hv untuk aluminium yang dikeraskan dengan pengerjaan dingin dan dikeraskan dengan proses pendinginan cepat. Koefisien ekspansi linear  $25,6 \times 10^{-6}$  per  $^{\circ}\text{C}$ . Keuletan, plastisitas, dan kemampu muluran aluminium sangat baik.

Aluminium ini dengan mudah diketam dan dibentuk, baik panas maupun dingin. Selama pengerjaan dingin, bahan aluminium mudah dikeraskan. Untuk pengerjaan selanjutnya diperlukan penganealan untuk melunakkannya. Jika tidak dilunakan bisa berakibat keretakan pada bahan aluminium. Ketahanan terhadap defleksi, penampang aluminium perlu lebih tebal untuk menahan defleksi yang sama dari pada penampang ekivalen untuk baja. Untuk melunakkan aluminium dipanasi sampai antara  $350 - 400^{\circ}\text{C}$ .

### 3.11.2. Ketangguhan

Aluminium mempunyai sifat yang yang tetap cukup tangguh pada temperatur yang sangat rendah. Ini merupakan salah satu alasan aluminium digunakan untuk pengangkutan gas-gas cair dengan temperatur di bawah nol.

### 3.11.3. Konduktivitas dan ekspansi termal

Konduktivitas termalnya sekitar lima kali dari baja karbon rendah. Koefisien ekspansi liniernya lebih kecil dari tahan karat 18/8 tapi sekitar dua kali dari baja karbon rendah. Hal ini harus diperhatikan bila menyambung kedua bahan tersebut. Konduktivitas listriknya adalah sekitar 60% dari tembaga. Maka pada waktu sekarang aluminium digunakan untuk pengelasan dan kabel-kabel jaringan listrik.

### 3.11.4. Tahan korosi

Tahan korosi aluminium sangat baik pada keadaan tertentu akibat lapisan yang tipis dari oksida pelindung yang menempel dengan sendirinya. Suatu kekecualian adalah jika aluminium digabung dengan logam-logam seperti baja dan tembaga dalam hal adanya uap basah yang berbentuk asam dan air garam. Ini akan menyebabkan suatu aksi elektrolisis yang mengakibatkan korosi aluminium lebih dari korosi baja.

Penganodaan terdiri atas pengendapan secara elektrolisis suatu lapisan yang relatif tebal dari suatu oksida berwarna pada aluminium yang berada dalam genangan asam belerang atau asam krom, hal ini sering digunakan untuk melindungi aluminium. Barium klorat atau pembungkusan dengan bahan serat dari beberapa benda sering digunakan untuk mengisolasi dua logam yang berbeda.

Selain dari aluminium murni yang diperdagangkan, aluminium tempa dapat dikelompokkan dengan baik sekali menurut kepala-kepala : Tidak dapat diperlakukan dengan panas (*non heat treatable*) (diberi tanda N), dapat diperlakukan panas (*heat treatable*) (diberi tanda H).

- a) Golongan dapat diperlakukan tanpa panas adalah tipe mangan  $1\frac{1}{4}\%$  (N3) yang dapat diperkuat dengan pengerjaan dingin, memenuhi dalam 4 temper (kekerasan) yaitu H2, H4, H6, H8, sebelumnya dikenal sebagai setengah keras, tiga perempat keras, dan seterusnya. Ini dapat dilunakkan dengan pemanasan dalam daerah  $320^{\circ}\text{C} - 420^{\circ}\text{C}$  ( $350^{\circ}\text{C}$ ), diikuti dengan pendinginan lambat (kondisi 0).
- b) Paduan yang dapat diperlakukan panas mampu dikeraskan sepuh (*age hardened*) dan diperkuat dengan hilangnya sedikit keuletan dengan proses yang dikenal sebagai pengerasan sepuh dengan perlakuan larutan. Unsur-unsur paduan utamanya adalah sejumlah kecil tembaga, magnesium, mangan dan silikon.

Perlakuan panas pengerasan sepuh terdiri atas :

- a) Pemanasan paduan sampai pada suatu temperatur yang ditentukan. Bergantung pada unsur-unsur paduannya, biasanya antara  $450^{\circ}\text{C}$  –  $540^{\circ}\text{C}$  supaya unsur-unsur tersebut tidak larut ke dalam aluminium.
- b) Pencelupan ke dalam air (perlakuan larutan). Pada taraf ini dapat disimpan dalam suatu pendingin.
- c) Penyepuhan alam pada temperatur kamar selama kira-kira seminggu (kondisi T.B.), atau penyepuhan tiruan pada  $160$  sampai  $180^{\circ}\text{C}$  antara 2 dan 20 jam (T.F.).

Pemanasan yang berlebihan diatas temperatur ini menyebabkan penyepuhan berlebih dan merupakan suatu kerugian pada kekerasan dan kekuatan tarik (kondisi penyepuhan 100 - 200). Penguatan dari paduan ini adalah akibat presipitasi (pendinginan cepat) partikel-partikel mikroskopik senyawa-senyawa seperti  $\text{Mg}_2\text{Si}$  (magnesium silikat) dan  $\text{CuAl}_2$  (tembaga aluminida), yang terperangkap dalam latis atom aluminium sehingga merupakan penguatannya. Penampang-penampang dapat dirol panas atau diekstrusi dingin.

Ingat, pengelasan senantiasa menyebabkan pelunakan pada daerah terkena efek panas (*Heat Affect Zone, HAZ*) dari paduan-paduan yang dapat diperlakukan panas.

Tabel 3.6. Komposisi Khas dari paduan-paduan aluminium yang umum

<p><i>Di pe rla ku ka n ta np a pa na s</i></p> <p>2,25% Mg; 3% Mn; 97,4% Al</p>	<p>NG4.0</p> <p>EIB.0</p>	<p><i>K e k u a t a n t a r i k</i></p> <p>190 N/mm<sup>2</sup></p> <p>70,5 N/mm<sup>2</sup></p>	<p>Dilunakkan</p> <p>Dilunakkan</p>	<p><i>K e k e r a s a n</i></p> <p>58 VPN</p> <p>28 VPN</p>
<p><i>Di pe rla lu ka n pa na s</i></p> <p>4,5 % Cu; 7 % Mg; 0,8% Ti; 0,15% Mn; 93,8% Al</p>	<p>HE15TF</p>	<p>405 N/mm<sup>2</sup></p>	<p>Dicelupkan pada 50<sup>o</sup>C</p> <p>Disepuh 5 jam pada 185<sup>o</sup>C</p>	<p>178 VPN</p>

--	--	--	--	--

( Tata Surdia dan Shiroku Saito, 1984)

Kondisi:

- M = seperti yang diperoduksi, 0 = dilunakkan
- H = regangan yang dikeraskan (pengerjaan dingin)
- T.B. = perlakuan larutan dan disepuh secara alamiah
- T.F. = larutan dan presipitasi yang diperlukan

Bentuk bahan:

Tempa (F-forged). Paku keling (R-rivet). Baut (B-bolt). Lembaran (S - sheet). Batang atau penampang (E).

Aluminium bersifat melawan terutama terhadap nitrat terkonsentrasi dan asam asetat, tetapi tidak terhadap alkalis. Setiap komposisi-komposisi yang memuat merkuri melawan aluminium dan paduan-paduannya sangat berat. Sisa-sisa fluks harus dihilangkan untuk mencegah korosi sesudah pematiran.

Paduan-paduan Al-Mangan dengan Mn 1%, Cr 0,5% mempunyai tahanan terhadap korosi, terutama terhadap air laut dan udara laut. Paduan-paduan 5 – 7% Al-Magnesium mudah mengalami korosi antar kristal terutama jika terlalu ditegangkan.

### 3.11.5. Pemotongan (mekanis)

Aluminium dapat dipotong secara mekanis atau dilubangi pada setiap mesin yang digunakan untuk baja karbon rendah. Pisau-pisau dan tepi pemotongan harus dibersihkan dengan teliti untuk mencegah kontaminasi tepi potong dengan partikel-partikel besi. Ruang-ruang bebas harus diubah untuk ketebalan-ketebalan ekivalen bila perlu tapi kontur-kontur dapat digerumis keluar pada ketebalan dibawah sekitar 22 mm. Tambahan lagi aluminium-aluminium lunak dapat dikerjakan dengan mesin dengan menggunakan mesin-mesin frais klise kecepatan tinggi.

### 3.11.6. Pemotongan (termal)

Pemotongan termal dari aluminium biasanya dilakukan dengan menggunakan proses plasma busur api. Pada proses ini busur api memanaskan gas ke temperatur yang sangat tinggi pada nosel yang didinginkan air. Nosel ini menciutkan busur api yang mengakibatkan kenaikan kecepatannya dan bergabung dengan temperatur tinggi, menghasilkan hembusan arus plasma dan menguapkan aluminium membentuk pemotongan yang sempit. Agak tirus pada tepi potong merupakan ciri-ciri yang tak dapat

dihindarkan. Untuk penampang tipis kadang-kadang digunakan sinar laser dan elektron.

### 3.11.7. Pembentukan

Aluminium dapat dipintal, dirol, dibengkokkan, atau diproses dengan cara yang sama seperti L.C.S. tapi mungkin memerlukan pelunakan di antara langkah-langkah pembentukan karena pengerasan kerja. Pada waktu pemasangan tepi-tepi pelat pada suatu rem pres, sebelum pengerolan ke bentuk konis atau silinder, harus hati-hati dalam penggunaan tekanan. Aluminium lunak dan mudah diputuskan. Tanda-tanda pengenalan dan pengerutan bisa berakibat tidak sedap dipandang dan sukar dibersihkan.

### 3.11.8. Pengelasan

Proses penyambungan yang paling umum untuk penampang-penampang aluminium yang tipis dan tebal dan padua-paduannya adalah pengelasan lebur. Proses busur api logam berperisai gas yang menggunakan argon sebagai perisai gas biasanya digunakan terhadap bahan-bahan dengan tebal di atas 6 mm untuk pekerjaan produksi. Metode busur api tungsten berperisai gas digunakan untuk ketebalan yang kurang dari ini dan untuk pipa-pipa, tapi hal ini tidak merupakan peraturan yang ketat dan mengikat dan tergantung kepada pekerjaan. Pematrian api (nyala) aluminium dan pengelasan gesekan juga merupakan proses-proses yang mempunyai aplikasi yang spesifik. Sumber daya tiga fasa dibutuhkan apabila pengelasan tahanan aluminium. Lembaran yang tipis dapat dilas dengan menggunakan busur api plasma atau berkas elektron.

Beberapa poin yang penting dicatat pada waktu pengelasan lebur aluminium adalah :

- a) Konduktivitas yang tinggi akan memperbesar H.A.Z. dan juga mengharuskan pemanasan awal dalam hal-hal tertentu.
- b) Ekspansi termal yang tinggi menyebabkan lebih distorsi dari pada L.C.S.
- c) Pengelasan menyebabkan dikeraskan kerja atau diperlakukan panas bahan kehilangan sedikit kekuatan tarik dan kekerasannya pada daerah yang dipengaruhi oleh panas dari pengelasan tersebut.
- d) Semua paduan Al-Mg-Si dan Al-Mg-Zn dilas dengan menggunakan bahan-bahan pengisi yang bukan sesuai untuk menghindarkan peretakan pembekuan. Al-Mg-si

- (bahan pengisi Al 10% Si); Al-Mg-Zn (bahan pengisi Al 10% Mg)
- e) Tungsten yang dizirkonisasi digunakan untuk pengelasan paduan aluminium
  - f) Paduan-paduan Al magnesium sensitif terhadap pertumbuhan butir yang berlebih lebihan pada H.A.Z.
  - g) Keporisan kadang-kadang menimbulkan persoalan disebabkan oleh pemasukan gas. Semua sambungan harus dibersihkan dari lemak, kotoran dan uap basah dengan pelarut-pelarut (aseton) dan oksida-oksida dihilangkan dengan kawat baja tahan karat atau bahan penggosok yang murni.
  - h) Tidak ada perubahan warna dalam pemanasan Al.

### 3.11.7. Pematrian

Pematrian tungku atau suluh pada daerah 550 – 620°C dengan menggunakan 5 – 12% batang silikon. Fluks yang didasarkan pada klorida-klorida logam alkali dan florida-florida merupakan metode cepat yang murah dalam penyambungan aluminium, terutama untuk sambungan-sambungan tumpang dan sudut.

### 3.11.8. Pembautan dan pengelingan

Paku-paku keling spesifikasinya harus sama dengan bahan induknya untuk menghindarkan korosi galvanis dan bisa berupa paku-paku keling padat, tabung atau “buntu” (*“blind”*).

Paku-paku keling tersebut biasanya dipukul dingin dan kalau dari tipe pengerasan sepuh, dapat turut didinginkan hanya sebelum pemukulan. Pengelingan pneumatik atau desakan biasanya digunakan untuk pemebentukan kepalanya.

Baut-baut tipe dapat memperlakukan panas yang berkekuatan tinggi digunakan berikut ring-ring. Baut-baut tipe tahan karat austenitik 18/10 juga digunakan.

### 3.11.9. Pengikatan perekat

Aluminium adalah merupakan suatu bahan yang ideal untuk pengikatan dengan perekat-perekat. Perekat-perekat tersebut bisa dari tipe pengesetan panas (*thermosetting*), yang menggunakan reaksi kimia yang dibantu oleh panas dan tekanan untuk mengeraskan dan mengikat (mengawetkan) resin epoksi membentuk sambungan. Perekat tersebut mempunyai kekuatan yang tinggi tapi cenderung menjadi rapuh dan tidak dapat dilebur kembali.

Tipe umum yang lain adalah termoplastik. Tipe tersebut dapat dikeraskan dengan pendinginan dan dilunakkan dengan pemanasan, dan asal saja temperatur pembusukan resin tidak dilebihi proses ini dapat diulang. Panas tidak diperlukan untuk membentuk ikatan tetapi tekanan dibutuhkan. Tipe perekat yang kuat adalah termoplastik.

Keuntungan pengikatan perekat dapat diringkaskan sebagai berikut:

- 1) Penyepuhan berlebih tidak terjadi dan tidak ada distorsi akibat pemasukan panas
- 2) Menghasilkan sambungan-sambungan yang halus tanpa tonjolan-tonjolan. Pengikatan perekat mempunyai kulit yang tipis dan kekuatan pembelahan. Penyambungan-penyambungan harus direncanakan atas prinsip tumpang/geser dengan lapisan perekat tipis untuk luas sambungan yang maksimum yang dibersihkan secara kimia.

### 3.12. Bahan Pelat Tembaga

Secara industri sebagian besar penggunaan tembaga dipakai sebagai kawat atau bahan untuk penukar panas dalam memanfaatkan hantaran listrik dan panasnya yang baik.

Tembaga murni untuk keperluan industri dicairkan dari tembaga yang diproses dengan elektrolisa dan diklasifikasikan menjadi tiga macam menurut kadar oksigen dan cara deoksidasi yaitu tembaga ulet, tembaga deoksidasi, dan tembaga bebas oksigen



Gambar 3.33. Pelat tembaga

Warna tembaga adalah merah muda kemerah-merahan bila di polis tapi terbentuk permukaan coklat bila dipanaskan. Temperatur lebur sampai  $1083^{\circ}\text{C}$ . Kekerasannya berubah-ubah dengan derajat kerja dingin. Dalam keadaan dianeal 47–52 Hv (kekesaran Vickers). Setelah kwantitas kerja dingin cukup 85–105 Hv. Tembaga bukan bersifat magnet. Bahan ini mempunyai massa  $8,94 \text{ g/cm}^3$  pada  $20^{\circ}\text{C}$ .

Koefisien ekspansi linear Tembaga :  $17,7 \times 10^{-6}$  per $^{\circ}\text{C}$ . Kekuning-kuningan :  $70/30 = 19,9 \times 10^{-6}$  per $^{\circ}\text{C}$  ;  $60/40 = 20,8 \times 10^{-6}$  per $^{\circ}\text{C}$ .

Konduktivitas Tembaga konduktivitas tinggi bebas oksigen (O.F.H.C.– Oxygen free high conductivity) mempunyai konduktivitas listrik dan termal yang tinggi sekali. Apabila elemen-elemen ditambahkan pada tembaga murni, konduktivitas listriknya menurun. Kekuatan tarik Kondisi dianeal 220 – 250 N/mm $^2$ . Setelah pengerjaan dingin 310 – 400 N/mm $^2$ .

Tembaga sangat lunak dalam kondisi dianeal tetapi dengan cepat bertambah keras selama pengerjaan dingin, misalnya pemukulan dengan palu, pengerolan dan penekanan. Pertambahan kekerasan disertai pertambahan kekuatan tarik tetapi kehilangan keuletan.

Keuletan, plastisitas dan kemamputempaan tembaga murni sangat baik, tetapi memerlukan penganealan untuk menghilangkan efek pengerjaan dingin. Dalam kondisi dianeal tembaga tersebut sangat baik untuk penarikan yang dalam (drep drawing), ekstrusi dan penarikan ke bentuk kawat. Banyak paduan-paduan tembaga yang mempunyai keuletan yang tidak baik antara 400 – 700  $^{\circ}\text{C}$  (lembang keuletan/*ductility trough*).

Untuk mengenal tembaga, panaskan sampai berwarna merah muda kira-kira 500 $^{\circ}\text{C}$  dan biarkan dingin di udara dan celupkan ke dalam air untuk menghilangkan kerak oksida.

### 3.12.1. Tahan korosi

Tembaga mempunyai tahan korosi yang tinggi terhadap sebagian besar asam tetapi diserang dengan dahsat sekali oleh asam-asam pengoksida seperti nitrat dan hidroklorat. Tidak ada paduan-paduan tembaga yang cocok dengan amonia.

Korosi elektro kimia terjadi apabila dua logam yang tidak serupa bersama-sama dalam suatu larutan yang berasam, menyebabkan logam yang satu merusak dengan merugikan logam yang lain. Salah satu logam bertindak sebagai katoda dan logam yang lain yang merusak merupakan anoda. Apabila tembaga atau paduan-paduannya dihubungkan dengan logam-logam yang lain pada lingkungan-lingkungan yang korosif, korosi elektro kimia merupakan faktor yang penting. Gabungan aluminium dan tembaga jika mungkin harus dicegah, mengingat tembaga sangat bersifat katoda terhadap aluminium dan menyebabkan aluminium cepat rusak.

### 3.12.2. Pemotongan (mekanis)

Tembaga dalam kondisi aneal yang lunak cenderung menutup gigi gergaji dan melepaskan tepi tajam pahat-pahat pemotong. Ini mengakibatkan bram-bram yang besar dan distorsi-distorsi pada tepi potong pada waktu pengguntingan dan pelubangan kesulitan yang serupa tidak akan dialami pada waktu pengguntingan kuningan 70/30 atau pada waktu pemesian kuningan 60/40.

### 3.12.3. Pemotongan (termal)

Tembaga dapat dipotong secara termal dengan proses plasma busur api yang menggunakan argon/hidrogen atau campuran nitrogen atau sinar laser.

### 3.12.4. Pembentukan

Tembaga dan kuningan-kuningan 70/30, 65/35 dapat dipintal, dirol, dipres dan dibengkokkan tapi mungkin memerlukan pelunakan dengan perlakuan panas pada taraf antara untuk menghilangkan setiap efek pengerasan kerja pada sekitar 500 – 600°C.

### 3.12.5. Penyambungan

Tembaga dan paduan-paduannya dengan mudah dilas lebur menggunakan m.m.a. dan elektroda-elektroda timah-tembaga atau di las T.I.G., dengan elektroda polaritas negatif arus searah (d.c) dengan gas perisai argon/helium dan bahan-bahan pengisi yang ditunjukkan pada B 2901 bagian 2 dan bagian 3. metode pengelasan yang lain adalah M.I.G., gesekan, tekanan dingin, oksiasetilin, busur api plasma.

### 3.12.6. Pembautan dan pengelingan

Baut-baut dan jangkar-jangkar yang digunakan tipe yang tidak akan menyebabkan aksi elektrokimia dan seringkali baja-baja berlapis atau paduan-paduan tembaga seperti monel. Paku-paku keling untuk tembaga lembaran yang tipis biasanya tembaga murni lunak yang diperdagangkan.

### 3.12.7. Paduan-paduan tembaga

- **Tembaga pitch tangguh**

Tembaga bantalan oksigen yang dikenal sebagai pitch tangguh (tough pitch) mengandung sedikit oksigen dalam bentuk oksida kupro. Ini digunakan secara luas untuk jaringan listrik. Sukar dilas oleh karena tembaga tersebut kemungkinan besar retak apabila panas, disebut capat panas (hot shortness). Selama pengelasan banyak sekali keporian karena pembentukan uap dari oksigen dan hidrogen.

- **Tembaga yang dioksidasikan**  
Fosfor ditambahkan sebagai bahan oksida pada waktu pembuatan yang memperbaiki sifat-sifat mekanik dan mengurangi cepat panas, tetapi mengurangi konduktivitas listrik. Tembaga tipe ini mampu las.
- **Tembaga arsenis**  
Penambahan 0,3 sampai 0,5 arsen memperbesar kekuatan tarik dan ketangguhan, terutama temperatur antara 200-300°C. Tahanan terhadap oksidasi dan keretakan berkurang karenanya merupakan alasan dipakai dalam kotak-kotak api.

Tipe yang dioksidasikan digunakan pada waktu pengelasan dengan elektroda-elektroda tipe perunggu timah dengan memanaskan lebih dulu antara 300 – 400 °C untuk tebal lebih dari 5 mm dan pengelasan TIG menggunakan bahan pengisi tembaga seperti menurut BS 2901 dan helium argon atau perisai nitrogen. Kecepatan aliran untuk nitrogen 50% lebih besar dari argon. Memanaskan lebih dulu akan menambah peleburan dari bahan-bahan yang lebih tebal dari 1,6mm.

### 3.13. Bahan Pelat Kuningan

Kuningan atau loyang adalah logam paduan dari tembaga dan seng dalam prosentase lebih kurang 65% Cu dan 35% Zn. Logam ini berwarna merah kekuning-kuningan, sehingga sering juga disebut tembaga kuning. Paduan dengan kira-kira 45% Zn mempunyai kekuatan yang paling tinggi akan tetapi tidak dapat dikerjakan, jadi hanya dipergunakan untuk paduan coran.



Gambar 3.34. Pelat kuningan

Untuk benda-benda yang sulit bentuknya biasanya dibuat dari kuningan yang dituang (dicor), tetapi untuk bahan-bahan perdagangan hasil dari kuningan ditempa atau digiling sehingga berupa batang dan pelat-pelat lembaran. Kuningan mempunyai kekuatan tarik 18 – 24 kg/mm<sup>2</sup> dari regangannya sebesar 15 – 25%, tahan terhadap asam dan pengaruh kimia. Kegunaan dari kuningan adalah untuk alat-alat appendase ketel, untuk saluran-saluran gas dan air, dan untuk bagian-bagian konstruksi dengan beban ringan.

Ada beberapa tipe kuningan yang semuanya telah dicampur seng dalam suatu perbandingan dengan tembaga. Kuningan berwarna emas dan serupa dengan tembaga. Kekuatan tarik dan kekerasannya bervariasi tergantung pada jumlah kerja dingin yang dialami, kuningan tersebut dengan mudah dituang, ditempa atau distempel dan diekstrusi atau dirol panas (40/60). Dapat ditarik dipres, dipintal atau dikerjakan dengan mesin. Timah kadang-kadang ditambahkan untuk memperbaiki permesinan, tapi ini menyebabkan beberapa kesulitan dalam pengelasan, oleh karena itu timah menyebabkan keporian. Arsenat ditambahkan untuk mengurangi *dezincification* dan sedikit aluminium akan memperbaiki sifat tahan korosi.

Ada dua kelompok utama kuningan yaitu:

### 3.13.1. Kuningan peluru

70% Cu, 30% Zn	Dianeal	UTS 350	Dikerjakan dingin
		N/mm <sup>2</sup> 550 <sup>0</sup> C–600 <sup>0</sup> C	590 N/mm <sup>2</sup>
		Kekerasan 50 Hv	90 Hv

Kuningan ini mempunyai keuletan dan kekuatan yang sangat tinggi dan digunakan apabila operasi penarikan dalam perlu dilaksanakan. Ini harus diikuti dengan pengurangan tegangan yang membutuhkan pemanasan sampai sekitar 250<sup>0</sup>C untuk mencegah keretakan berikutnya di dalam perbaikan, seringkali disebut peretakan musiman (season cracking). Kuningan peluru tersebut mempunyai titik lebur sebesar 920<sup>0</sup>C dan tahanan korosi yang baik terhadap air laut dan korosi udara. Mudah dilunakkan dan disolder dengan perak, dipatri dan dilas dengan menggunakan nyala api oksidasi untuk pengelasan guna mencegah kehilangan seng. Pengelasan busur api adalah seperti untuk tembaga tapi pengelasan TIG dilakukan dengan menggunakan perisai argon dan batang tipe brons.

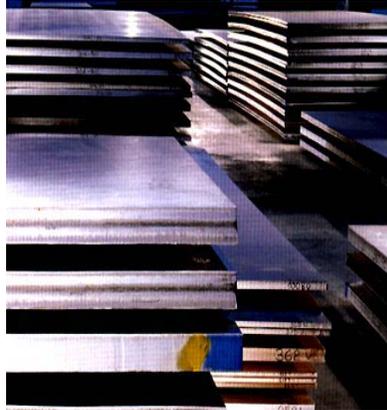
Penggunaan utama komponen tarik dalam (deep drawn) seperti tempat-tempat peluru, komponen tenunan / anyaman untuk pekerjaan dekorasi dan beberapa instrumen, tangki-tangki radiator dan alat-alat masak.

### 3.13.2. Logam muntz

60% Cu, 40% Zn	Dianeal		Dikerjakan dingin
		UTS 480 N/mm <sup>2</sup>	500 N/mm <sup>2</sup>
		Kekerasan 89 Hv	143 Hv

Bahan ini bekerja dengan baik dalam daerah  $650^{\circ}\text{C}$  sampai sampai  $750^{\circ}\text{C}$  dan tidak diinginkan supaya dikerjakan dingin untuk suatu jumlah yang berarti. Pengelasan dan pematian sama seperti kuningan 70/30. Penggunaan utama penampang-penampang yang diekstrusi seperti batang atau tabung. Hasil-hasil tuang seperti bagian-bagian pengatur (regulator) termasuk komponen-komponen yang distempel panas, lembaran-lembaran yang dirol panas.

### 3.14. Bahan Pelat Baja Khusus (Baja Paduan)



Gambar 3.35. Pelat baja khusus

Baja khusus (baja paduan) dihasilkan dengan biaya yang lebih mahal dari baja karbon karena bertambahnya biaya untuk penambahan pengerjaan yang khusus yang dilakukan di dalam industri atau pabrik.

Baja paduan dapat didefinisikan sebagai suatu baja yang dicampur dengan satu atau lebih unsur campuran seperti nikel, kromium, molibden, vanadium, mangan dan wolfram yang berguna untuk memperoleh sifat-sifat baja yang

dikehendaki (keras, kuat dan liat), tetapi unsur karbon tidak dianggap sebagai salah satu unsur campuran.

Suatu kombinasi antara dua atau lebih unsur campuran memberikan sifat khas dibandingkan dengan menggunakan satu unsur campuran misalnya baja yang dicampur dengan unsur kromium dan nikel akan menghasilkan baja yang mempunyai sifat keras dan kenyal (sifat baja ini membuat baja dapat dibentuk dengan cara dipalu, ditempa, digiling, dan ditarik tanpa mengalami patah atau retak-retak). Jika baja dicampur dengan kromium dan molibden, akan baja yang mempunyai sifat keras yang baik dan sifat kenyal yang memuaskan serta tahan terhadap panas.

Baja paduan digunakan karena keterbatasan baja karbon sewaktu dibutuhkan sifat-sifat yang spesial dari pada baja, keterbatasan daripada baja karbon adalah reaksinya terhadap pengerjaan panas dan kondisinya. Sifat-sifat spesial yang diperoleh dengan pencampuran termasuk sifat-sifat kelistrikan, magnetis dan koefisien spesifik dari pemuaian panas dan tetap keras pada pemanasan yang berhubungan dengan pemotongan logam.

### 3.14.1. Pengerjaan panas pada baja paduan

Pengerjaan panas baja karbon untuk memperoleh baja paduan yang baik dilakukan dengan cara-cara sebagai berikut:

#### ❖ Penyepuhan baja

Baja karbon yang disepuh menimbulkan butiran-butiran sebagai hasil pemanasan yang lama selama proses karburasi. Apabila dalam pemakaian men-dapat tekanan atau beban yang tinggi pada per-mukaannya, maka intinya harus dimurni-kan untuk mencegah lapisan pembungkus terkelupas dan memberikan kekuatan yang baik pada penampang melintang.



Gambar 3.36. Pengerjaan panas pada baja tahan karat

Penambahan nikel ternyata diperlukan untuk memurnikan dengan cara perlakuan panas dan perubahan bentuk diperkecil, apabila jumlah nikel sedikit lebih tinggi dapat dilakukan pendinginan dengan minyak.

Jika komponen yang tebal harus mempunyai inti yang kekuatannya seragam maka perlu ditambahkan kromium untuk menghilangkan pengaruh yang menyeluruh, tetapi unsur kromium tidak digunakan sendiri harus digunakan bersama nikel untuk mencegah terjadinya pertumbuhan butir-butir baru.

#### ❖ Penyepuhan baja nikel

Baja nikel yang disepuh mengandung 0,12%C, 3% Ni, dan 0,45% Mn dimana pada baja ini mengandung unsur karbon yang rendah sehingga menyebabkan intinya tidak bereaksi terhadap proses pengerasan yang langsung. Nikel dapat mencegah terjadinya pertumbuhan butiran-butiran baru selama proses karburasi, apabila peralatan yang berukuran kecil dibuat dari baja, maka proses pemurnian kemungkinan diabaikan dan pendinginan baja dilakukan di dalam air.

Baja nikel yang disepuh mengandung 0,12% C, 5% Ni, dan 0,45% Mn, baja ini hampir sama dengan baja yang disepuh yang mengandung 3% Ni. Kandungan nikel yang sedikit lebih tinggi memungkinkan untuk didinginkan dengan minyak dan membuatnya lebih sesuai untuk dibuat roda gigi dan alat berat.

❖ **Penyepuhan baja kromium**

Baja nikel kromium yang disepuh mengandung 0,15% C, 4% Ni, 0,8% Cr dan 0,4% Mn. Penambahan sejumlah kecil unsur kromium akan menghasilkan kekerasan dan kekuatan yang tinggi sebagai hasil dari pendinginan minyak.

• **Penitrian baja**

Baja yang dinitrit mengandung unsur-unsur campuran akan menghasilkan permukaan yang keras. Kandungan kromium sekitar 3% akan menghasilkan permukaan yang mempunyai kekerasan sekitar 850 Hv (kekerasan vikers). Baja yang mengandung 1,5% aluminium dan 1,5% kromium akan menaikkan kekerasan permukaannya menjadi sekitar 1.100 Hv. Kandungan karbon baja ini tergantung pada sifat inti yang diperlukan, sekitar 0,18 – 0,5 % C.

• **Pengerasan baja dengan udara**

Apabila unsur kromium cukup dalam baja maka kecepatan pendinginan kritis akan berkurang, sehingga pendinginan dapat dilakukan dalam udara. Jenis baja yang dikeraskan dengan udara adalah yang mengandung 2% kromium dan 0,6% karbon membuat temperatur pengerasan dan kecepatan pendinginan kritis menjadi rendah.

### 3.14.2. Jenis baja paduan

Berdasarkan unsur-unsur campuran dan sifat-sifat dari baja, maka baja paduan dapat digolongkan menjadi baja dengan kekuatan tarik yang tinggi, tahan pakai, tahan karat, dan baja tahan panas.

### ❖ **Baja dengan kekuatan tarik yang tinggi**

Baja ini mengandung mangan, nikel, kromium dan sering juga mengandung vanadium dan dapat digolongkan sebagai berikut :

- **Baja dengan mangan rendah**

Baja ini mengandung 0,35% C dan 1,5% Mn dan baja ini termasuk baja murah tetapi kekuatannya baik. Baja ini dapat didinginkan dengan minyak karena mengandung unsur mangan sehingga temperatur pengerasannya rendah dan menambah kekuatan struktur feritnya.

- **Baja nikel**

Baja ini mengandung 0,3% C, 3% Ni, dan 0,6% Mn serta mempunyai kekuatan dan kekerasan yang baik, dapat didinginkan dengan minyak karena mengandung unsur nikel yang membuat temperatur pengerasannya rendah. Baja ini digunakan untuk poros engkol, batang penggerak, dan penggunaan lain yang hampir sama.

- **Baja nikel kromium**

Baja ini mempunyai sifat yang keras berhubungan dengan campuran unsur kromium dan sifat yang liat berhubungan dengan campuran unsur nikel. Baja yang mengandung 0,3% C, 3% Ni, 0,8% Cr dan 0,6% Mn dapat didinginkan dengan minyak, hasilnya mempunyai kekuatan dan ketahanan yang baik dan baja ini digunakan untuk batang penggerak dan pemakaian yang hampir sama.

Baja yang mengandung 0,3% C, 4,35% Ni, 1,25% Cr dan 0,5% Mn (mengandung nikel dan kromium yang tinggi), mempunyai kecepatan pendinginan yang rendah sehingga pendinginan dapat dilakukan dalam hembusan udara dan distorsi yang kecil. Apabila unsur krom dicampur sendiri ke dalam baja akan menyebabkan kecepatan pendinginan kritis yang amat rendah, tetapi bila dicampur bersama nikel akan diperoleh baja yang bersifat liat. Jenis baja tersebut digunakan untuk poros engkol dan batang penggerak. Baja nikel kromium menjadi rapuh apabila ditemper atau disepuh pada temperatur 250 – 400 °C, juga kerapuhannya tergantung pada komposisinya, proses ini dikenal dengan nama “menemper kerapuhan” dan baja ini dapat diperiksa dengan penyelidikan pukul takik.

Penambahan sekitar 0,3% molibden akan mencegah kerapuhan karena ditemper, juga akan mengurangi pengaruh yang menyeluruh terhadap baja karena molibden adalah unsur berbentuk karbid.

- **Baja kromium vanadium**

Jika baja ini ditambah sekitar 0,5% vanadium sehingga dapat memperbaiki ketahanan baja kromium terhadap guncangan atau getaran dan membuatnya dapat ditempa dan ditumbuk dengan mudah, apabila vanadium menggantikan nikel maka baja lebih cenderung mempengaruhi sifat-sifatnya secara menyeluruh.

- ❖ **Baja tahan pakai**

Berdasarkan unsur-unsur campuran yang larut di dalamnya, baja terdiri dari dua macam yaitu baja mangan berlapis austenit dan baja kromium.

- **Baja mangan berlapis austenit**

Baja ini pada dasarnya mengandung 1,2% C, 12,5% Mn, dan 0,75 % Si. Selain itu, juga mengandung unsur-unsur berbentuk karbid dan kromium atau vanadium yang kekuatannya lebih baik. Temperatur transformasi menjadi rendah dengan menambahkan unsur mangan dan baja ini berlapis austenit apabila didinginkan dengan air pada temperatur 1.050<sup>0</sup>C. dalam kondisi ini baja hanya mempunyai kekerasan sekitar 200 HB (kekerasan Brinel), tetapi mempunyai kekenyalan yang sangat baik.

Baja ini tidak dapat dikeraskan dengan perlakuan panas, tetapi apabila dikerjakan dingin maka kekerasan permukaannya akan naik menjadi 550 HB tanpa mengalami kerugian terhadap kekenyalan intinya. Baja ini tidak dapat dipanaskan kembali pada temperatur yang lebih tinggi dari 250<sup>0</sup>C, kecuali kalau setelah dipanaskan baja didinginkan dalam air. Pemanasan baja pada temperatur sedang akan menyebabkan kerapuhan pada pengendapan karbid. Baja mangan berlapis austenit dapat diperoleh dengan jalan dituang, ditempa, dan digiling. Baja ini digunakan secara luas untuk peralatan pemecahan batu, ember keruk, lintasan, dan penyeberangan kereta api.

- **Baja kromium**

Jenis ini mengandung 1% C, 1,4% Cr, dan 0,45% Mn. Apabila baja ini mengandung unsur karbon tinggi yang bercampur bersama-sama dengan kromium akan menghasilkan kekerasan yang tinggi sebagai hasil dari pendinginan dengan minyak. Baja ini digunakan untuk peluru-peluru bulat dan peralatan penggiling padi.

- ❖ **Baja tahan karat**

Baja tahan karat (*stainless steel*) mempunyai seratus lebih jenis yang berbeda-beda. Akan tetapi, seluruh baja itu mempunyai satu sifat karena kandungan kromium yang membuatnya tahan terhadap karat. Baja tahan karat dapat dibagi ke dalam tiga kelompok dasar, yakni baja tahan karat berlapis ferit, berlapis austenit dan berlapis martensit.

- ❖ **Baja tahan panas**

Problem utama yang berhubungan dengan penggunaan temperatur tinggi adalah kehilangan kekuatan, beban rangkai, serangan oksidasi, dan unsur kimia. Kekuatannya pada temperatur tinggi dapat diperbaiki dengan menaikkan temperatur transformasi dan penambahan unsur kromium atau dengan merendahkan temperatur transformasi dan penambahan unsur kromium atau dengan merendahkan temperatur transformasi atau penambahan unsur nikel. Kedua pengerjaan ini akan menghasilkan struktur austenit.

Sejumlah kecil tambahan titanium, aluminium, dan molybdenum terhadap karbon akan menaikkan kekuatan dan memperbaiki ketahanannya terhadap beban rangkai. Unsur nikel akan membantu penahanan kekuatan pada temperatur tinggi dengan memperlambat atau menahan pertumbuhan butir-butiran yang baru. Ketahanannya terhadap oksidasi dan serangan kimia dapat diperbaiki dengan menambahkan silikon atau kromium.

Baja tahan panas dapat dikelompokkan sebagai berikut:

- **Baja tahan panas ferit**

Baja tahan panas ferit mengandung karbon yang rendah dan hampir seluruhnya dilarutkan ke dalam besi. Baja ini tidak dapat dikeraskan melalui perlakuan panas

- **Baja tahan panas austenit**

Baja tahan panas austenit mengandung kromium dan nikel yang tinggi. Struktur austenit tetap terpelihara sewaktu pendinginan, sehingga baja ini tidak dapat dikeraskan melalui perlakuan panas.

- **Baja tahan panas martensit**  
Baja tahan panas martensit mempunyai kandungan karbon yang tinggi sehingga dapat dikeraskan melalui perlakuan panas.

#### ❖ **Baja paduan yang digunakan pada temperatur rendah**

Komposisi dari baja paduan yang digunakan pada temperatur rendah tidak hanya sifat-sifatnya terpelihara sewaktu didinginkan, tetapi juga sifat-sifatnya tidak hilang sewaktu dipanaskan pada temperatur kamar. Baja yang telah diperbaiki kekuatannya hanya sedikit berkurang (reduksi) kekenyalan dan keliatannya sewaktu dites pada temperatur minus  $-183^{\circ}\text{C}$ . selain itu, perubahan sifat-sifatnya kecil sewaktu dipanaskan pada temperatur kamar yang diikuti dengan pendinginan.

- **Baja pegas**  
Pegas kendaraan dibuat dari baja yang mengandung sekitar 0,8% C sesuai dengan sifat-sifatnya yang dibutuhkan dan ditambahkan dengan lebih dari 0,4% Si dan 0,8% Mn. Baja pegas dikeraskan dengan pendinginan air atau minyak sesuai dengan komposisinya. Pegas katub dibuat dari baja yang sama dengan pegas kendaraan juga ditambahkan 1,5% Cr dan 0,17% V ke dalam karbon dan nikel.
- **Baja katub mesin (motor)**  
Katub yang menerima beban rendah digunakan baja yang mengandung 0,3% C, 3,5% Ni, 0,35% Cr, dan 0,35% Si. Kandungan unsur silikon dan kromium menaikkan beban yang dapat diterima katub sehingga dapat menerima beban yang berat. Katub untuk motor pesawat terbang dibuat dari baja austenit dengan kandungan sekitar 10% Ni dan 12 – 16% Cr. Katup pompa seringkali dibuat berlubang dan mengandung natrium untuk pendinginan.

#### ❖ **Baja paduan martensit yang dikeraskan**

Cara yang biasa dilakukan untuk menghasilkan baja berkekuatan tinggi adalah dengan cara perlakuan panas yang menjadikan struktur martensit, yang diikuti dengan perlakuan panas lanjutan untuk memodifikasi atau mengubah martensit. Cara tersebut dapat menghasilkan

kekuatan yang tinggi, tetapi disertai dengan kerapuhan yang tinggi, disebabkan kandungan unsur karbon. Cara perlakuan panas biasanya diterima karena sulit menghasilkan paduan yang bebas dari unsur karbon dan oleh karena itu mahal.

Berdasarkan eksperimen yang dilakukan bahwa besi kemungkinan mengandung unsur karbon yang dicampur dengan nikel sekitar 18 – 25%. Jenis baja paduan martensit ini bersifat kenyal dan mempunyai kekerasan sekitar 1,5 kali dari baja martensit yang tidak ditemper. Baja ini merupakan suatu bahan yang ideal untuk digunakan dengan cara memisahkan unsur-unsur lain untuk menaikkan kekuatannya.

Jenis yang digunakan pada waktu ini adalah yang mengandung besi dan 18% nikel dengan kobalt, molibdenum, dan titanium. Baja martensit dihasilkan dengan cara pemanasan dan pendinginan (pelarutan dalam pemijaran dingin) yang membuatnya cukup lunak sehingga dapat dipotong, dibentuk dan dibengkokkan. Pengerasan dilakukan dengan cara pemanasan pada temperatur sekitar 450°C – 500°C selama tiga jam yang diikuti dengan pendinginan di udara.

Pengerasan permukaan dapat dilakukan dengan menirit pada akhir perlakuan panas. Perlakuan panas terjadi pada temperatur yang relatif lebih rendah, tidak termasuk proses pendinginan sehingga tidak terjadi perubahan bentuk atau pecah-pecah. Kandungan karbon yang rendah pada kulit baja paduan martensit dapat dihilangkan selama pemanasan. Kecepatan pemanasan tidak menyebabkan baja martensit mudah dilas dibandingkan baja paduan berkarbon rendah dan sedang.

Baja ini dihasilkan seperti untuk membuat struktur menjadi kuat dan ringan tetapi tidak dapat menggantikan baja yang biasa karena biaya pengerjaannya tinggi.

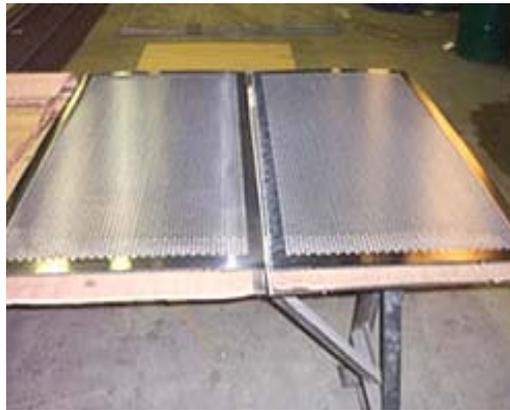
Tabel 3.7. Komposisi dan sifat-sifat jenis baja paduan martensit  
Komposisi: 18% N, 8% Co, 5% Mo, 0,4% Ti

Sifat-sifat Mekanik	Setelah Pelarutan Pemijaran Dingin Pada 820°C	Setelah Disepuh Selama 3 Jam pada 480°C
Kekuatan tarik	100 – 108 kg/mm <sup>2</sup>	160 – 182 kg/mm <sup>2</sup>
Perpanjangan	14 – 16%	8 – 10%
Pengurangan luas	70 – 75%	35 – 60%
Kekerasan	280 – 320% HV	500 – 560 HV

(Sumber: Tata Surdia dan Shinroku Saito, 1984)

### 3.15. Bahan Pelat Baja Stainless Steel (Baja Tahan Karat)

Salah satu cacat pada penggunaan baja adalah terjadinya karat, yang biasanya dicegah dengan mempergunakan pelapisan atau pengecatan. Baja tahan karat adalah semua baja yang tidak dapat berkarat. Banyak diantara baja ini yang digolongkan secara metalurgi menjadi baja tahan karat austenit, ferit, martensit, dan baja tahan karat tipe penguatan presipitasi.



Gambar 3.37. Pelat stainless steel



Gambar 3.38. Produk yang dibuat dari bahan pelat stainless steel

#### 3.15.1. Pengaruh unsur-unsur paduan pada ketahanan karat dari besi

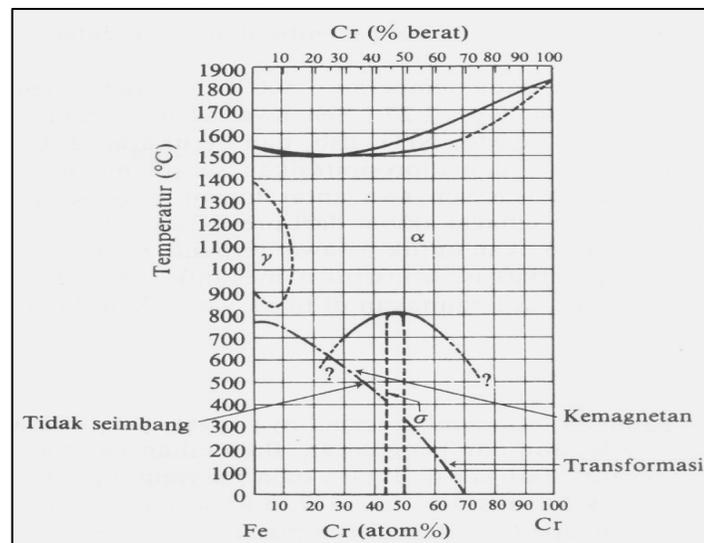
Kalau Cr dipadukan pada besi diatas 12 – 13%, karat yang berwarna merah tidak terbentuk karena oleh adanya oksigen di udara terjadi permukaan yang stabil (permukaan pasif). Oleh karena itu, baja yang mengandung unsur tersebut dinamakan baja tahan karat. Kalau baja mengandung lebih dari 17% Cr akan terbentuk suatu lapisan yang stabil. Karat pada lasan dari baja tahan karat 17% Cr sering terjadi disebabkan karena presipitasi karbida Cr pada batas butir dan oksidasi Cr dari permukaan karena lapisan permukaan menjadi kekurangan Cr yang mengurangi ketahanan karatnya.

Kalau Ni dipadukan pada besi, kehilangan berat yang disebabkan korosi di dalam asam berkurang dan ketahanan korosi bisa diperbaiki. Baja tahan karat adalah baja paduan yang memanfaatkan keefektifan unsur paduan tersebut seperti Cr dan Ni dan dapat dibagi menjadi sistem Fe-Cr dan Fe-Cr-Ni. Yang pertama termasuk baja tahan karat martensit dan ferit dan yang terakhir baja tahan karat austenit. Biasanya Mo, Cu, dsb ditambahkan kepada baja ini untuk memenuhi maksud tertentu pada penggunaan.

### 3.15.2. Struktur baja tahan karat

Memperhatikan unsur Cr, yang menjadi komponen utama pada baja tahan karat, diagram fasa Fe-Cr ditunjukkan dalam gambar 11. Cr dapat larut dalam besi memperluas daerah  $\alpha$  (ferit). Dalam baja dengan 12% Cr pada temperatur diatas  $900^{\circ}\text{C}$  terjadi fasa  $\gamma$  (austenit). Dalam paduan yang nyata C dan N juga terkandung, jadi fasa  $\gamma$  diperluas ke daerah yang mempunyai konsentrasi Cr lebih tinggi. Baja tahan karat 12% Cr biasa dipakai, diaustenitkan dari 900 sampai  $1000^{\circ}\text{C}$  tergantung pada C nya dan dicelupkan dingin pada minyak. Sehingga mempunyai struktur martensit ia menjadi baja tahan karat.

Dari gambar 11, baja 18% seharusnya mempunyai fasa  $\alpha$  dimulai dari temperatur pembekuan sampai temperatur kamar, tetapi karena sebenarnya mengandung 0,03 – 0,10% C dan 0,01 – 0,02% N, maka kira-kira diatas  $930^{\circ}\text{C}$  terbentuk fasa  $\gamma$ . Oleh karena itu, perlakuan panas untuk mendapat fasa  $\alpha$  dilakukan dibawah  $850^{\circ}\text{C}$ , baja ini dinamakan baja tahan karat ferit.



Gambar 3.39. Diagram Fasa Fe – Cr  
( Tata Surdia dan Shinroku Saito, 1984)

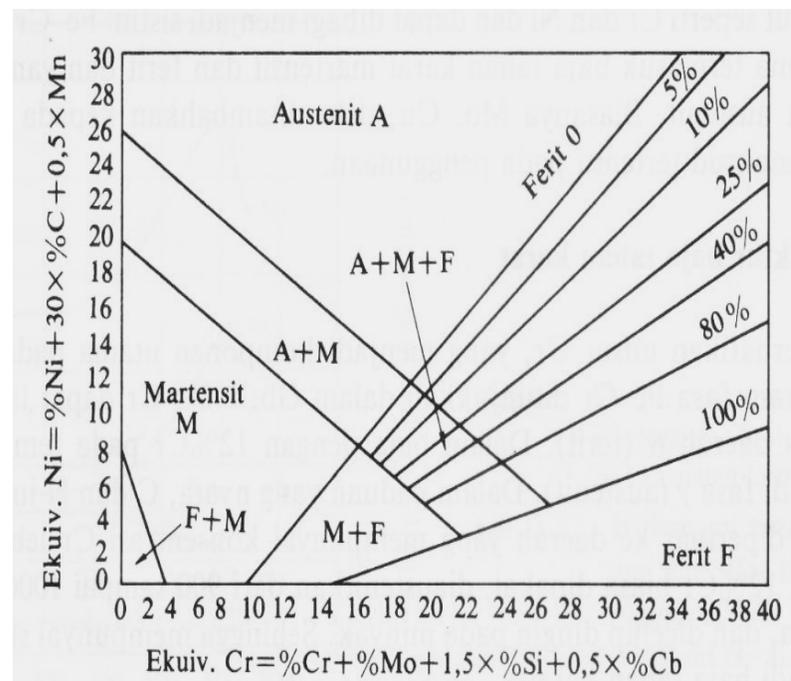
Struktur baja 18% Cr – 8% Ni adalah struktur dua fasa dari  $\alpha+\gamma$  dalam keseimbangan, tetapi kenyataannya pada kira-kira 1050°C seluruhnya menjadi austenit dan setelah pendinginan dalam air atau dalam udara fasa  $\gamma$  terbentuk pada temperatur kamar sukar bertransformasi ke fasa  $\alpha$ , baja ini dinamakan baja tahan karat austenit. Fasa  $\gamma$  merupakan fasa metastabil, sebagai contoh kalau diadakan deformasi plastik bisa terjadi transformasi martensit. Kalau baja dipergunakan dalam bentuk austenit, maka perlu diadakan perlakuan panas untuk membentuk austenit tadi setelah dilakukan deformasi plastik atau perlu dipakai baja yang mengandung lebih banyak Ni untuk memberikan kestabilan pada fasa austenit.

Untuk mengetahui hubungan dari fasa logam yang ada pada lasan yang mempunyai

Cr ekuivalen =  $\%Cr + \%Mo + 1,5 \times \%Si + 0,5 \times \%Nb$ , dan

Ni ekuivalen =  $\%Ni + 30 \times \%C + 0,5\% Mn$

Pada kedua sumbu, diagram Schaeffler menunjukkan hubungan tersebut dan ditunjukkan pada gambar 3.40.



Gambar 3.40. Diagram struktur dari baja tahan karat yang (Diagram Schaeffler)  
(Tata Surdia dan Shinroku Saito, 1984)

### 3.15.3. Pemilihan baja tahan karat

#### ➤ Baja tahan karat martensit

Gambar 3.40 menunjukkan klasifikasi baja tahan karat martensit dan baja tahan karat ferit. Komposisi baja tahan karat martensit adalah 12 – 13% Cr dan 0,1 – 0,3% C. Kadar Cr sebanyak ini adalah batas terendah untuk ketahanan asam karena itu baja ini sukar berkarat di udara, tetapi ketahanan karat dalam suatu larutan juga cukup. Sampai 500°C, baja ini banyak dipakai karena mempunyai ketahanan panas yang baik sekali dan dengan pengerasan dan penemperan dapat diperoleh sifat-sifat mekanik yang baik, oleh karena itu baja ini dapat dipakai untuk alat pemotong, perkakas dan sebagainya.

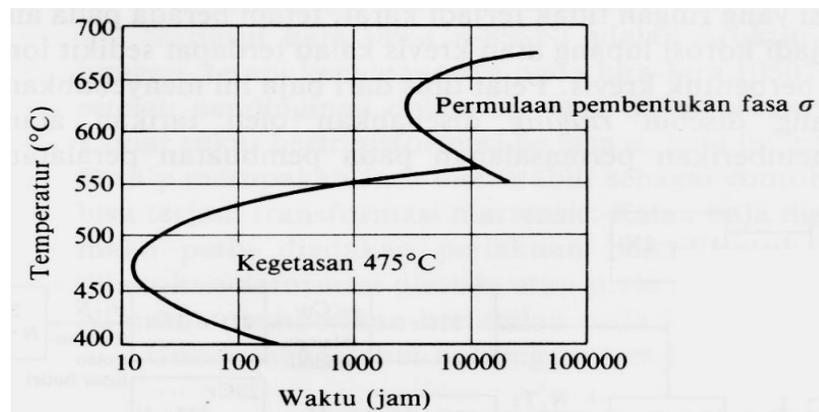
#### ➤ Baja tahan karat ferit

Menurut klasifikasi dalam gambar 3.40, baja tahan karat ferit adalah baja yang terutama mengandung Cr sekitar 16 – 18% atau lebih. Kebanyakan komponen dibuat dari pelat tipis, sebagai bahan untuk bagian dalam dari suatu konstruksi. Untuk peralatan dapur, untuk komponen trim mobil bagian dalam, dsb. Perlu diperhatikan bahwa pada lingkungan korosi yang ringan tidak terjadi karat, tetapi berada pada air larutan yang netral, dapat terjadi korosi lubang atau krevis kalau terdapat sedikit ion klor, atau kalau ada struktur berbentuk krevis. Pelat tipis pada baja ini menyebabkan tanda regangan spesifik yang disebut *ridging* disebabkan oleh tarikan atau penarikan dalam, hal ini memberikan permasalahan pada pembuatan peralatan dapur tetapi sekarang sebagai hasil dari berbagai studi permasalahan tersebut mungkin dapat dipecahkan.

Sifat yang sangat menguntungkan dari baja tahan karat ferit adalah bahwa tanpa kandungan Ni sukar untuk terjadi retakan korosi tegangan. Yaitu bahwa kalau ketahanan korosi baja tahan karat ferit dibuat sama atau lebih baik daripada baja tahan karat austenit, akan lebih menguntungkan apabila dipakai baja tahan karat ferit daripada baja tahan karat austenit, yang lebih mudah terjadi retakan korosi tegangan. Selanjutnya ketahanan korosi lubang bertambah kalau Cr dan Mo ditambahkan lebih banyak jadi sebagai pengganti Ni yang mahal maka dipakai baja 18% Cr – 1% Mo, 18 – 19%Cr – 2% Mo, dsb. Untuk komponen trim bagian luar mobil atau komponen pemanas air. Untuk permintaan dengan persyaratan yang lebih tinggi dapat dipakai baja 26% Cr – 1% Mo, dsb.

Selanjutnya baja tahan karat ferit yang mengandung lebih dari 18% Cr adalah getas tetapi keuletannya tergantung kepada jumlah kadar C dan N. Sekarang berkat kemajuan teknik pembuatan baja dapat dibuat dengan mudah baja 18 – 19% Cr dengan kadar C + N <0,02%, perkembangan permintaan yang akan baja ini dimasa datang telah pasti.

Seperti ditunjukkan pada gambar 3.40, baja tahan karat ferit mengandung 15% Cr atau lebih, getas pada 457°C karena pemanasan yang lama pada 400 – 500°C, dan kalau dipanaskan agak lama pada 600 – 650°C terjadi kegetasan fasa  $\sigma$  sehingga perlu menghindari daerah temperatur ini.



Gambar 3.41. Hubungan antara temperatur mula dan waktu pembentukan fasa  $\sigma$  dan kegetasan 475°C pada baja Cr tinggi. (Tata Surdia dan Shinroku Saito, 1984)

#### ➤ **Baja tahan karat austenit**

Baja tahan karat austenit lebih baik pada ketahanan korosinya, mampu bentuk dan mampu lasnya, karena itu dipakai pada berbagai industri kimia. Selain itu, dipakai untuk bahan konstruksi, perabot dapur, turbin, mesin jet, mobil, komponen berputar, bangunan kapal, reaktor atom, dan sebagainya.

Baja tahan karat austenit meskipun lebih baik ketahanan korosinya tapi harus berhati-hati pada penggunaannya karena kekurangannya seperti dikemukakan di bawah ini.

##### ▪ **Korosi antar butir**

Korosi antar butir disebabkan oleh presipitasi karbida Cr pada batas butir yang menyebabkan daerah kekurangan Cr didekatnya, dari daerah tersebut

korosi dimulai. Dalam keadaan tertentu karbida Cr sendiri kena korosi. Karbida Cr berpresipitasi pada daerah temperatur 500 – 900<sup>0</sup>C paling tinggi. Sebagai contoh, derajat korosi antar butir dipelajari dengan pengujian korosi dari batang uji yang dipanaskan pada 600<sup>0</sup>C yang disebut perlakuan sensitisasi.

Korosi antar butir ini terjadi di daerah yang dipengaruhi panas pada lasan yang menjadikan permasalahan. Karena hal tersebut disebabkan oleh terbentuknya karbida Cr, masalah tersebut dapat diatasi dengan Ti atau Nb yang merupakan unsur pembentuk karbida yang kuat untuk menghindari terjadinya karbida Cr.

- **Korosi lubang dan krevis**

Korosi lubang disebabkan oleh retakan lapisan yang pasif. Bagian yang pecah dari lapisan menjadi rusak karena konsentrasi, yang membentuk lubang. Kerusakan pasif disebabkan oleh adanya ion kalor.

Dalam hal ini korosi yang terjadi pada permukaan logam tanpa suatu pertumbuhan spesifik disebut korosi lubang dan korosi yang menyebabkan pecahnya lapisan pasif setempat karena pengurangan pH pada permukaan kontak dengan benda lain disebut korosi krevis. Agar tahan terhadap terjadinya lubang diperlukan kombinasi yang tepat dari Cr dan Mo. Dipandang dari sudut ini baja tahan karat ferit lebih menguntungkan. Baja tahan karat austenit mengandung 2 – 4% Mo banyak dipakai sebagai baja tahan yang tahan korosi lubang.

- **Retakan korosi regangan**

Retakan korosi regangan ialah retakan oleh korosi lokal dari lapisan pasif yang pecah karena tegangan tarik. Pada baja tahan karat austenit retakan korosi regangan sangat menyusahkan karena bersamaan dengan korosi lubang. Lingkungan yang utama adalah yang mengandung klorida, sulfida, air dengan temperatur tekanan tinggi dan soda kaustik.

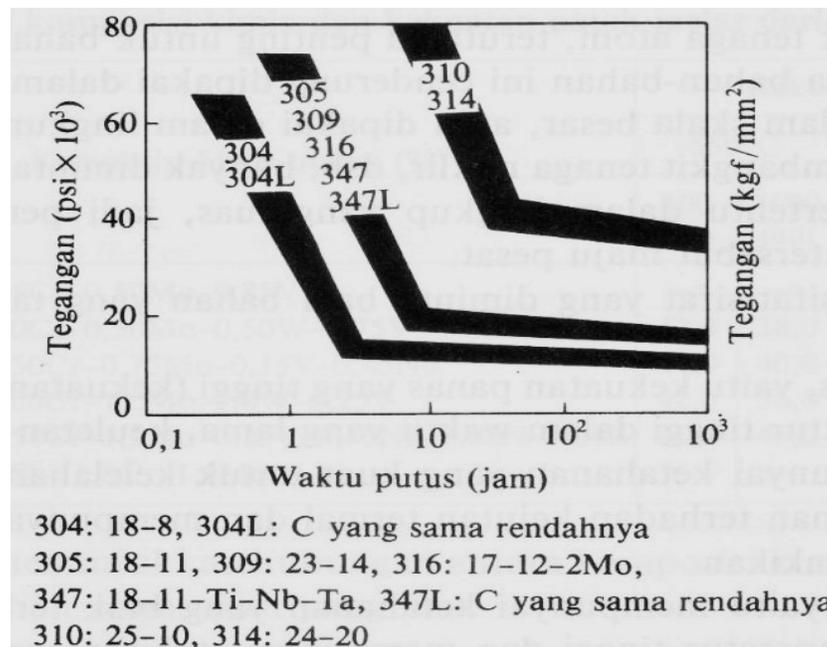
Pengujian retakan korosi regangan sering dilakukan dengan pembebanan pada kelarutan 42% magnesium klorida yang mendidih. Salah satu sebagai hasil pengujian ditunjukkan pada gambar 14. peningkatan Ni, c dan penambahan Si, dan sebagainya memberikan pengaruh efektif, dan

dengan adanya P, N atau sedikit molibden memberikan pengaruh jelek.

Kebanyakan memberikan patahan antar butir dengan mengurangi kadar karbon dan penambahan unsur penstabil karbid, memberikan pengaruh yang efektif.



Gambar 3.42. Salah bentuk pelat stainless steel tebal



Gambar 3.43. Pengaruh tegangan pada waktu patah dari baja tahan karat dalam larutan 42% MgCl yang mendidih.

➤ **Baja tahan karat berfasa ganda**

Sekarang banyak dipakai baja tahan karat yang berfasa ganda yaitu terdiri dari fasa austenit dan ferit. Umumnya

mempunyai komposisi 25% Cr – 5% Ni – 1,5% Mo – 0,03% C. Dalam baja tahan karat berfasa ganda kegetasan mampu las dan kekurangan lainnya dari baja krom tinggi diperbaiki dengan penambahan Ni, N, dsb. Perkembangan baru-baru ini dalam teknik pembuatan baja memungkinkan pembuatan baja macam ini dimana pengurangan kadar karbon lebih mudah. Perbandingan antara fasa austenit dan ferit biasanya 4 – 6 : 6 – 4 tergantung kepada komposisi dan perlakuan panasnya.

Baja tahan karat berfasa ganda mempunyai sifat bahwa fasa austenit dan ferit masing-masing memberikan pengaruh saling menutupi. Sebagai contoh tegangan mulur yang rendah dari fasa austenit dipertinggi dengan adanya fasa ferit, dan keuletan rendah dari fasa ferit diperbaiki oleh fasa austenit. Ketahanan korosi umumnya melebihi ketahanan korosi baja tahan karat 18 – 8, terutama baja yang mempunyai kadar Cr tinggi dan mengandung molybden Mo sangat baik dalam ketahanan korosi lubangnya, sehingga baja semacam ini bisa dipakai untuk penukar panas yang mempergunakan air laut. Karena baja ini mempunyai kekurangan yaitu sifat pengerjaan panasnya yang kurang baik, maka perlu diadakan studi lebih lanjut mengenai teknik produksinya.

➤ **Pengerasan presipitasi baja tahan karat**

Dengan mempergunakan ketahanan korosi yang baik dari baja tahan karat, kekuatannya telah diperbaiki dengan pengerasan presipitasi. Menurut struktur matriksnya baja tahan karat ini digolongkan menjadi macam martensit dan baja tahan karat ferit. Komposisi baja tahan karat martensit adalah 12-13% Cr dan 0,1-0,3% C. Kadar Crom (Cr) sebanyak ini adalah batas terendah untuk ketahanan asam, sehingga baja ini sukar berkarat di udara atmosfir. Sedangkan baja tahan ferit mengandung Cr 16-18% Cr atau lebih. Baja tahan nkarat jenis ini banyak dibuatkan untuk komponen yang berbentuk pelat tipis.

#### **3.15.4. Jenis-jenis baja tahan karat dan penggunaannya**

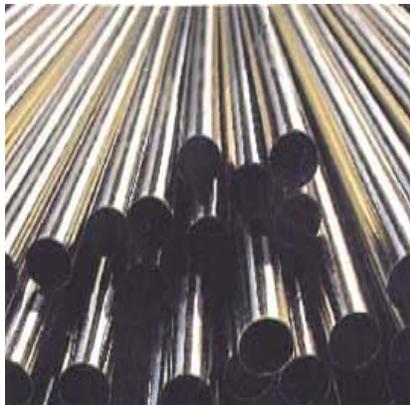
Bentuk-bentuk baja tahan karat (*stainless stell*) yang banyak digunakan untuk keperluan industri seperti pipa tebal stainless steel, koil stainless steel, pipa tipis dan kawat stainless steel.



Gambar 3.44. Pipa tebal stainless steel



Gambar 3.45. Koil Stainless Steel



Gambar 3.46. Pipa tipis stainless steel



Gambar 3.47. Kawat stainless steel

### **3.16. Pengaruh Masukan Panas Terhadap Sifat Mekanis Sambungan Las Antara Baja Karbon Rendah Dengan Baja Stainless.**

Dalam pengelasan antara baja karbon rendah dengan baja tahan karat banyak ditemukan masalah. Namun demikian di lapangan sering ditemui kondisi yang memaksa harus dilakukan pengelasan antara kedua baja tersebut, seperti pada peralatan atau konstruksi untuk tekanan tinggi, untuk pemakaian suhu tinggi atau lingkungan korosif. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh masukan panas terhadap sifat mekanis sambungan las antara baja karbon rendah dengan baja tahan karat. Bahan yang digunakan adalah baja karbon

rendah ST 41 Kelas E (BKI) dan baja tahan karat AISI 304. Teknik pengelasan yang digunakan adalah las busur listrik menggunakan kawat las AWS E 309 dengan variasi masukan panas. Pengujian sambungan las meliputi uji tarik, uji tekuk, uji kekerasan dan metalografi.

Dari penelitian ini diperoleh kuat tarik yang hampir sama yaitu sekitar  $49,30 \text{ kg/mm}^2$  pada masukan panas  $7291 - 6742 \text{ Joule/cm}$  dengan keuletan sekitar  $27,97 \%$ . Kegagalan uji tekuk terjadi pada masukan panas  $7291 \text{ Joule/cm}$  dan  $6742 \text{ Joule/cm}$ . Kekerasan rata-rata sebesar  $299.9804 \text{ Hv}$  dicapai pada logam las bagian atas dengan masukan panas  $6742 \text{ Joule/cm}$ . Uji metalografi dengan mikroskop optik dan SEM-EDAX menunjukkan bahwa struktur mikro HAZ- baja tahan karat mengalami presipitasi karbida serta terbentuk retak pada struktur perbatasan antara logam las dengan baja karbon rendah. Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa masukan panas yang besar menghasilkan kuat tarik dan elongasi yang hampir sama dan lebar HAZ yang lebih besar, sebaliknya masukan panas yang kecil menghasilkan nilai kekerasan yang tinggi.

### 3.17. Korosi Pada Pelat dan Cara Pencegahannya

#### 3.17.1. Pengertian Korosi

Korosi adalah proses alami yang terjadi pada material logam yang berakibat menurunnya kekuatan dari material logam tersebut. Proses korosi yang terjadi secara alami ini sangat sulit dihindari, usaha yang dilakukan hanyalah menghambat laju korosi yang terjadi dengan cara melakukan pencegahannya. Penggunaan pelat baja sebagai pilihan material suatu peralatan teknik, sering didatangkan dari mancanegara mengingat kualitas/standar dari material tersebut belum diproduksi didalam negeri.



Gambar 3.48. Pelat yang mengalami korosi

Korosi adalah proses pengoksidasian logam dengan lingkungan yang korosif, sehingga menimbulkan kerusakan atau pengdegradasi. Korosi dapat juga diartikan sebagai serangan yang merusak logam karena logam bereaksi secara

kimia atau elektrokimia dengan lingkungan. Ada defenisi lain yang mengatakan bahwa korosi adalah kebalikan dari proses ekstraksi logam dari material. Contohnya, logam besi di alam bebas dalam bentuk senyawa besi oksida atau besi sulfida, setelah diekstraksi dan diolah, akan dihasilkan besi yang digunakan untuk pembuatan baja atau baja paduan. Selama pemakaian, baja tersebut akan bereaksi dengan lingkungan yang menyebabkan korosi (kembali menjadi senyawa besi oksida).

Korosi banyak terjadi pada peralatan logam yang digunakan oleh manusia. Korosi dapat terjadi hampir pada semua logam terutama logam ferro (besi), karena logam jenis ini mudah beroksidasi dengan udara lingkungan. Korosi dapat menimbulkan kerugian yang sangat besar pada berbagai jenis konstruksi. Akibat korosi kekuatan konstruksi akan berkurang. Korosi juga bisa menimbulkan kebocoran terutama pada dinding kapal, bodi mobil, kereta api dan pada tabung gas elpiji.

Korosi memberikan pekerjaan rumah yang tak kenal henti kepada kita. Akibat korosi, bagian-bagian alat dan mesin harus diganti. Beberapa pelanggan disebuah bengkel otomotif komplain akibat timbulnya korosi pada dinding mobil mereka. Yang jelas korosi adalah sangat merugikan bagi manusia dan banyak merusak infra struktur yang dipunyai manusia. Menurut sebuah penelitian, dikatakan bahwa sekitar 13 persen dari besi baru hasil pengolahan digunakan setiap tahunnya untuk mengganti besi yang terkorosi. Penanganan korosi juga merupakan usaha yang mahal dan berpotensi membuat polusi lingkungan. Garis bawahnya, korosi tidak pernah bisa dicegah, yang dapat dilakukan hanya meminimalkannya. Itu pun dengan biaya ekstra mahal.



Gambar 3.49. Dinding mobil mengalami korosi

Korosi secara kimia adalah reaksi oksidasi logam, terutama besi, oleh oksigen di udara. Reaksi yang terjadi adalah:

$2\text{Fe} + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{OH}^-$ . Ion  $\text{Fe}^{2+}$  yang dihasilkan kemudian dioksidasi lebih lanjut menjadi  $\text{Fe}^{3+}$  dan akhirnya membentuk karat, yakni  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ .

### 3.17.2. Jenis-Jenis Penyebab Korosi

Penyebab korosi ada dua macam yaitu korosi disebabkan oleh proses kimia dan korosi disebabkan oleh proses elektrolisa:

#### ➤ **Korosi Akibat Proses Kimia**

Logam akan berkarat karena suatu proses yang dapat dikatakan sebagai suatu proses kimia yang sederhana. Oksigen yang terdapat pada atmosfer dapat bergabung dengan logam-logam membentuk lapisan oksida pada permukaannya. Apabila lapisan ini lepas, proses oksidasi dapat dilanjutkan dan logam secara perlahan-lahan akan berkarat.

Berkaratnya besi dan baja tidak dalam oksidasi yang sederhana, diperlukan adanya udara dan air (udara lembab). Besi tidak akan berkarat pada udara yang kering dan juga pada air murni. Akan tetapi, apabila udara dan air ada bersama-sama besi dan khususnya baja akan berkarat dengan cepat. Kecepatan berkarat tidak akan berkurang sebab lapisan dari hasil korosi yang terbentuk akan lepas sehingga lapisan karat yang baru terbentuk dibawahnya dan melepaskan lapisan diatasnya.

#### ➤ **Korosi Akibat Proses Elektrolisa**

Korosi akibat proses elektrolisa pada dasarnya adalah korosi yang terjadi akibat proses kimia juga, walaupun sedikit lebih kompleks. Kita lihat prinsip suatu sel listrik yang sederhana, terdiri dari pelat tembaga dan pelat seng keduanya tercelup dalam larutan asam sulfat.

Apabila pelat-pelat tersebut tidak bersentuhan di dalam larutan ataupun tidak ada hubungan di luar larutan, tidak akan ada aksi yang akan ambil bagian. Tetapi begitu mereka dihubungkan suatu arus listrik yang mampu menyalakan lampu kecil, mengalir membuat suatu rangkaian.

Kita mengerti bahwa suatu arus listrik terdiri dari arus partikel bermuatan negatif (elektron) mengalir dari seng ke tembaga (atau dari anoda ke katoda). Bagian yang harus paling diingat yaitu bahwa seng adalah *anodic* terhadap tembaga. Sehingga apabila logam-logam itu dihubungkan dan dicelupkan ke dalam suatu elektrolit, seng akan

mengurai atau berkorosi lebih cepat daripada dicelupkan sendiri dalam elektrolit.

Beberapa logam murni mempunyai daya tahan karat yang baik dari korosi atmosfer. Akan tetapi logam itu biasanya mahal dan beberapa diantaranya sifat mekaniknya lemah. Sehingga pelapisan tipis dari satu diantara logam-logam itu sering digunakan untuk melindungi baja ringan. Yang banyak dipakai adalah timah, aluminium dan sebagainya. Contohnya, timah murni dan aluminium mempunyai daya tahan korosi yang baik sekali, tidak hanya dalam atmosfer dan air, akan tetapi juga dalam beberapa cairan dan larutan dan cocok dibuat sebagai pelapis logam-logam tangguh tetapi cepat berkarat untuk keperluan tertentu.

Apa yang terjadi apabila lapisan timah pada baja ringan tergores? Baja ringan akan menjadi *anodic* pada timah sehingga akan terkorosi lebih cepat pada daerah tergores dibanding apabila tanpa timah sama sekali. Dengan demikian, dalam memberi pelapisan baja ringan harus betul-betul menyeluruh dan tanpa pecah.

### 3.17.3. Bentuk-bentuk korosi

Bentuk korosi dibedakan atas:

- Korosi menyeluruh, pada korosi menyeluruh logam dicerna pada seluruh permukaannya.
- Korosi setempat atau korosi bopeng, bentuk korosi ini mencerna logam setempat sehingga pada umumnya muncul bopeng-bopeng kecil dalam bahan.
- Korosi antar garis kristal, terjadi sepanjang batas hablur, sebagai akibatnya kristal-kristal terlepas satu sama lain. Bentuk korosi ini adalah sangat berbahaya oleh karena dari luar tidak nyata.

### 3.17.4. Korosi yang tidak tampak

Di awal disebutkan bahwa karat yang tidak terlihat pun berpotensi dan merugikan. Bagaimana dapat terjadi? Tegangan tinggi dalam material dapat menyebabkan material yang tampaknya kekar dari luar ternyata rentan patah. Hal ini sering terjadi dalam kecelakaan pesawat Comet di tahun 1950. Kecelakaan Comet disebabkan oleh lubang rivet kecil dengan diameter 4 mm. Menurut catatan, pesawat Boeing pernah juga mengalami beberapa kecelakaan akibat korosi seperti ini.

Kegagalan material karena korosi yang tidak terlihat umumnya disebut dengan perengkahan karena korosi-

tegangan (stress-corrosion cracking, SCC). Jadi, sebenarnya akibat kombinasi adanya tegangan dalam bahan dan korosi. Jenis yang paling umum adalah yang terkaji di batas butiran bahan. Permukaan bahan biasanya kelihatan mulus, kalau ada hanya terlihat jalur-jalur rengkahan kecil di permukaan (lihat gambar 2). Nah, dalam material jalur kecil tersebut bisa berakibat parah. Analoginya, mungkin, kita pernah melihat bagaimana tukang kaca memotong kaca, kan? Dengan hanya membuat jalur kecil di permukaan, kaca pun akan dengan mudah dipotong.

### 3.17.5. Cara pencegahan korosi

Dari reaksi yang diceritakan di atas terlihat bahwa untuk pencegahan korosi dapat dilakukan dengan pengubahan kecenderungan oksidasi besi, pengubahan lingkungan dan logamnya sehingga aliran arus atau elektron tidak terjadi, dan penghambatan persentuhan dengan oksigen langsung. Pengubahan kecenderungan oksidasi besi dapat dilakukan dengan menghubungkan besi dengan bahan yang lebih mudah teroksidasi, misalnya magnesium. Cara ini yang sering disebut dengan proteksi katodik. Dengan cara ini, magnesiumlah yang akan teroksidasi dan besinya akan terlindungi. Alternatif yang dapat digunakan adalah dengan memberi muatan negatif pada besi sehingga oksidasi besi juga dapat dicegah. Dengan diberi muatan negatif, potensial besi akan menurun. Penurunan potensial sebesar 100 mV di permukaan besi akan menurunkan laju perkaratan antara 5 dan 100 kali.

Termasuk dalam upaya pencegahan korosi dengan pengubahan lingkungan dan logamnya adalah dengan cara pembentukan paduan. Misalnya, dengan membuat baja tahan karat (18% Cr, dan 8% Ni), Usaha pengecatan serta pelapisan dengan oli dan minyak merupakan usaha men-cegah pertemuan langsung logam dan oksigen.



Gambar 3.50. Dinding mobil yang mengalami korosi

*Back to Nature* (kembali ke

alam) merupakan istilah yang digunakan oleh banyak orang, agar masyarakat kembali memanfaatkan bahan-bahan kimia yang telah disediakan oleh alam dan bukan bahan sintesis. Trend *back to nature* ini didasarkan oleh berbagai kekurangan, keamanan, dan bahaya kesehatan dari penggunaan yang terus menerus dari bahan kimia sintesis.

Contoh sederhana adalah dalam bidang pertanian, dimana banyak petani dan konsumen lebih memilih hasil pertanian yang dipupuk dengan menggunakan pupuk alami (kompos/kotoran ternak) dibandingkan dengan pupuk sintesis.

Contoh-contoh lainnya adalah penggunaan plastik, dimana sekarang sedang digalakkan pencarian bahan baku plastik alami (biopolimer) yang diharapkan dapat menggantikan peranan plastik sintesis yang bersifat non biodegradable dan tidak ramah lingkungan. Begitupun dengan zat aditif makanan baik alami maupun sintesis, *soft drink* (minuman lunak), dan lain-lain.

Korosi atau secara awam dikenal sebagai pengkaratan merupakan suatu peristiwa kerusakan atau penurunan kualitas suatu bahan logam yang disebabkan oleh terjadi reaksi dengan lingkungan. Biasanya proses korosi logam berlangsung secara elektrokimia yang terjadi secara simultan pada daerah anoda dan katoda yang membentuk rangkaian arus listrik tertutup. Proses pencegahan korosi dapat dilakukan, diantaranya dengan pelapisan pada permukaan logam, perlindungan katodik, penambahan inhibitor korosi dan lain-lain. Sejauh ini, penggunaan inhibitor merupakan salah satu cara yang paling efektif untuk mencegah korosi, karena biayanya yang relatif murah.

Inhibitor korosi sendiri didefinisikan sebagai suatu zat yang apabila ditambahkan dalam jumlah sedikit ke dalam lingkungan akan menurunkan serangan korosi lingkungan terhadap logam. Umumnya inhibitor korosi berasal dari senyawa-senyawa organik dan anorganik yang mengandung gugus-gugus yang memiliki pasangan elektron bebas, seperti nitrit, kromat, fospat, urea, fenilalanin, imidazolin, dan senyawa-senyawa amina. Namun demikian, pada kenyataannya bahwa bahan kimia sintesis ini merupakan bahan kimia yang berbahaya, harganya lumayan mahal, dan tidak ramah lingkungan, maka sering industri-industri kecil dan menengah jarang menggunakan inhibitor pada sistem pendingin, sistem pemipaan, dan sistem pengolahan air

produksi mereka, untuk melindungi besi/baja dari serangan korosi. Untuk itu penggunaan inhibitor yang aman, mudah didapatkan, bersifat biodegradable, biaya murah, dan ramah lingkungan sangatlah diperlukan.

Bahan alam sebagai alternatif Inhibitor. Salah satu alternatifnya adalah ekstrak bahan alam khususnya senyawa yang mengandung atom N, O, P, S, dan atom-atom yang memiliki pasangan elektron bebas. Unsur-unsur yang mengandung pasangan elektron bebas ini nantinya dapat berfungsi sebagai ligan yang akan membentuk senyawa kompleks dengan logam. Dari beberapa hasil penelitian diketahui bahwa ekstrak daun tembakau, teh dan kopi dapat efektif sebagai inhibitor pada sampel logam besi, tembaga, dan aluminium dalam medium larutan garam. Keefektifan ini diduga karena ekstrak daun tembakau, teh, dan kopi memiliki unsur nitrogen yang berfungsi sebagai pendonor elektron terhadap logam  $Fe^{2+}$  untuk membentuk persenyawaan.

Beberapa cara untuk menanggulangi besi atau logam lain agar tahan dari proses perkaratan:

1. Melapisi besi atau logam lainnya dengan cat khusus besi yang banyak dijual di toko-toko bahan bangunan.
2. Membuat logam dengan campuran yang serba sama atau homogen ketika pembuatan atau produksi besi atau logam lainnya di pabrik.
3. Pada permukaan logam diberi oli atau vaselin
4. Menghubungkan dengan logam aktif seperti magnesium (Mg) melalui kawat agar yang berkarat adalah magnesiumnya. Hal ini banyak dilakukan untuk mencegah berkarat pada tiang listrik besi atau baja. Mg ditanam tidak jauh dari tiang listrik.
5. Melakukan proses galvanisasi dengan cara melapisi logam besi dengan seng tipis atau timah yang terletak di sebelah kiri deret volta.
6. Melakukan proses elektro kimia dengan jalan memberi lapisan timah seperti yang biasa dilakukan pada kaleng.

#### **3.17.6. Perlindungan terhadap korosi baja tulangan di lingkungan laut**

Laut merupakan wilayah yang paling luas di permukaan dunia, dengan luas mencapai 70% dari seluruh permukaan dunia, dan memiliki sifat korosifitas yang sangat agresif. Untuk itu, struktur atau peralatan yang terpasang di laut dan terbuat dari logam, seperti jembatan, tiang pancang dermaga

atau anjungan minyak, telah diberi proteksi untuk mengendalikan serangan korosi di lingkungan laut. Salah satu bentuk proteksi yang umum diterapkan adalah menggunakan selimut beton (*concrete encasement*) pada baja tulangan.

Namun demikian, walaupun telah diproteksi dengan selimut beton, masih sering ditemukan baja tulangan beton yang terserang korosi, yang tentu saja berdampak pada menurunnya kekuatan struktur. Artikel ini akan membahas mengenai cara-cara mengendalikan korosi pada baja tulangan yang digunakan untuk struktur-struktur yang dipasang di lingkungan laut.

### ➤ **Lingkungan laut**

Agresivitas lingkungan laut disebabkan oleh beberapa faktor, seperti:

- Laut merupakan elektrolit yang memiliki sifat konduktivitas tinggi
- Kandungan oksigen terlarut cukup tinggi
- Temperatur permukaan laut umumnya tinggi
- Ion klorida pada air laut merupakan ion agresif
- Adanya biofouling

Daerah yang paling agresif pada lingkungan laut adalah zona atmosferik dan zona percikan (*splashing*), karena pada zona tersebut kandungan oksigen sangat tinggi, sehingga meningkatkan laju korosi. Bentuk-bentuk serangan korosi yang umum terjadi di lingkungan laut adalah korosi merata, korosi galvanik, korosi sumuran (*pitting*) dan korosi celah (*crevice*).

### ➤ **Perlindungan selimut beton dan mekanisme korosi pada baja tulangan**

Selimut beton merupakan komposit dari semen portland (campuran kalsium silikat dan kalsium aluminat), pasir, dan campuran-campuran lainnya. Selimut beton berfungsi seperti lapisan coating yang memberikan proteksi yang sangat baik pada baja tulangan. Selain itu, campuran semen portland dengan air akan menghasilkan kalsium silikat hidrat dan kalsium hidroksida yang bersifat basa dengan pH berkisar antara 13-13,5. Kondisi pori beton yang bersifat basa ini akan membuat baja dalam kondisi pasif (terbentuk lapisan pasif yang protektif) dan tidak terkorosi.

Ketahanan terhadap korosi yang dihasilkan selimut beton akan tetap terjaga selama selimut beton dapat menahan masuknya udara dan air. Apabila selimut beton terlalu tipis atau terlalu berpori, kerusakan akibat korosi akan terjadi karena penetrasi air yang mengandung oksigen terlarut melalui pori beton. Masuknya oksigen terlarut ini akan memicu terjadinya rangkaian sel elektrokimia yang menyebabkan terjadinya korosi.

Klorida terlarut merupakan penyebab utama terjadinya korosi dalam selimut beton. Ion klorida dapat berasal dari penetrasi air laut, atau dapat juga berasal dari air dan pasir yang digunakan dalam campuran selimut beton. Adanya ion klorida yang bersifat agresif akan membentuk senyawa asam dan bereaksi dengan selaput pasif yang bersifat basa, sehingga selaput pasif akan rusak dan baja tulangan akan terkorosi. Korosi akibat penetrasi ion klorida umumnya terjadi secara setempat (*pitting corrosion*).

Gas karbondioksida juga dapat menyebabkan terjadinya korosi pada baja tulangan, namun dengan laju yang jauh lebih lambat daripada korosi yang disebabkan oleh penetrasi ion klorida. Karbonasi selimut beton terjadi akibat interaksi antara gas karbondioksida di atmosfer dengan senyawa hidroksida dalam larutan pori selimut beton. Adanya proses karbonasi ini menyebabkan penurunan pH selimut beton dan menyebabkan pergeseran potensial korosi baja tulangan menjadi aktif terkorosi. Hal-hal yang mempercepat penetrasi karbondioksida pada selimut beton antara lain rendahnya kandungan semen, tingginya rasio air/semen, pengeringan beton yang kurang memadai, dan adanya retakan serta cacat pada permukaan selimut beton. Proses karbonasi ini juga dapat meningkatkan porositas selimut beton, sehingga tidak mampu lagi mencegah penetrasi klorida sebagai ion agresif.

#### ➤ **Pengendalian korosi pada baja tulangan**

Korosi baja tulangan beton umumnya dicegah dengan menggunakan sistem proteksi katodik, baik dengan sistem arus paksa (*impressed current*) maupun sistem anoda tumbal. Sistem arus paksa biasanya lebih disukai untuk memproteksi baja tulangan dalam selimut beton. Sistem ini dapat dilakukan dengan tiga cara :

- Dipasang pada arus konstan
- Dipasang pada tekanan *rectifier* konstan
- Potensial rebar dibuat konstan (dengan elektroda standar)

Pemasangan proteksi katodik dengan system arus paksa harus dirancang sedemikian rupa karena *prestressed tension wires* yang digunakan dapat berpotensi menimbulkan *hydrogen embrittlement*. Untuk sistem proteksi katodik dengan anoda tumbal, dapat digunakan metoda *galvashield* atau *zinc hydrogel anodes*.

Selain itu, pencegahan kerusakan beton juga dapat dilakukan untuk mencegah penetrasi oksigen terlarut dalam air, ion klorida dan karbondioksida ke dalam selimut beton, dengan cara meningkatkan daya lekat serta meminimumkan porositas selimut beton sebagai berikut :

- Menggunakan beton dengan rasio air: semen seminimum mungkin untuk meminimumkan porositas
- Menggunakan pasir dan kerikil yang seragam
- Air yang digunakan dalam campuran semen adalah air bebas klorida
- Menambah ketebalan selimut beton
- Melapisi selimut beton dengan *coating* dari organosilicon. Senyawa *organosilicon* akan membentuk ikatan kimia yang bersifat hidrofobik, sehingga penetrasi air dan garam terlarut dapat dibatasi
- Baja tulangan yang akan dibungkus selimut beton harus bersih, bebas dari kerak untuk memberikan daya lekat selimut beton yang baik.

### 3.18. Rangkuman

Bahan merupakan unsur yang sangat penting dalam kehidupan. Agar dapat menentukan sesuatu yang akan digunakan untuk keperluan tertentu maka sangat diperlukan pengetahuan tentang bahan. Misalnya apa bahan yang cocok digunakan untuk konstruksi sebuah gedung bertingkat, konstruksi mobil, pesawat terbang dan sebagainya maka diperlukan pengetahuan tentang bahan.

Apalagi bagi orang teknik (rekayasa) pengetahuan tentang bahan adalah sangat penting mengingat banyaknya konstruksi yang dibuat memerlukan perhitungan dan pemilihan bahan yang tepat. Pemilihan

bahan yang tidak tepat dan tanpa perhitungan yang matang tentu akan mengakibatkan hasil rancangannya akan gagal.

Bahan yang digunakan dalam dunia teknik (rekayasa) dapat dibagi atas bahan logam dan bahan non logam. Bahan logam dapat pula dibagi atas **logam ferro** (*besi*) yaitu merupakan logam yang mengandung unsur besi (Fe) dalam susunan unsur dasarnya; dan **logam non-ferro** (*bukan-besi*) merupakan logam yang tidak mengandung unsur besi (Fe) dalam susunan unsur dasarnya. Logam *non-ferro* diantaranya adalah Aluminium (Al), Magnesium (Mg), Tembaga (Cu), Seng (Zn), Nickel (Ni), dan Logam Mulia.

Sedangkan bahan non-logam dapat terdiri dari bahan organik dan bahan an-organik. Bahan organik seperti kayu, kertas, plastik, karet, kulit, kapas dan sebagainya. Sedangkan bahan an-organik seperti; batu, pasir, semen, keramik, gelas, grafit dan sebagainya. Dalam pemanfaatannya kedua kelompok besar bahan ini banyak digunakan di dunia teknik (rekayasa), karena pemilihan sifatnya yang sesuai dengan kebutuhan tertentu.

Bahan logam ferro mengandung karbon antara 0 sampai 4,5%, dan dibagi atas tiga golongan yaitu:

- Besi dengan kadar karbon; 0 sampai 0,008%
- Baja dengan kadar karbon; 0,008% sampai 2,0%
- Besi cor dengan kadar karbon; 2,0 sampai 4,5%

Besi tuang merupakan campuran besi dan karbon. Baja karbon adalah paduan antara besi dan karbon dengan sedikit Si, Mn, P, S dan Cu. Ada beberapa jenis baja karbon yaitu baja Karbon Rendah (BCR), Baja Karbon Sedang (BCS), Baja Karbon Tinggi (BCT) dan Baja Karbon Tinggi dengan Campuran.

Logam non ferro yaitu logam yang tidak mengandung unsur besi (Fe). Kurang lebih 20% dari logam yang diolah menjadi produk industri merupakan logam bukan-besi (*non-ferro*). Beberapa jenis logam bukan besi (*non-ferro*) antara lain Tembaga, Aluminium (Al), Timbal (Pb), Timah (Sn). Ciri-ciri sifat bukan logam (*non-ferro*) adalah:

- Tahan terhadap korosi (pengkaratan)
- Mempunyai daya hantar listrik yang baik
- Mudah dibentuk

Bahan non logam adalah suatu bahan teknik yang tidak termasuk ke dalam kelompok logam yang didapat dari bahan galian, tumbuhan atau hasil dari proses pengolahan minyak bumi. Bahan non-logam dapat terdiri dari bahan organik dan bahan an-organik. Bahan organik seperti kayu, kertas, plastik, karet, kulit, kapas dan sebagainya,

sedangkan bahan an-organik seperti; batu, pasir, semen, keramik, gelas, grafit dan sebagainya. Bahan-bahan non logam antara lain asbes, karet dan plastik.

Pelat tipis umumnya dibentuk dari baja karbon rendah. Pelat baja tipis banyak juga dipakai untuk dinding bodi alat-alat transportasi. Penggunaan utama baja pelat tipis yang dirol panas, dirol dingin dan dilunakan adalah untuk benda yang dibentuk dengan proses mengepresan (penekanan).

Unsur karbon adalah unsur campuran yang amat penting dalam pembentukan baja, jumlah persentase dan bentuknya membawa pengaruh yang amat besar terhadap sifat baja tersebut. Tujuan utama penambahan unsur campuran lain ke dalam baja adalah untuk mengubah pengaruh dari unsur karbon. Di samping unsur-unsur karbon sebagai campuran dasar dalam besi/baja, juga terdapat unsur-unsur campuran lainnya yang jumlah persentasenya diatur sedemikian rupa. Unsur-unsur itu yaitu fosfor (P), sulfur (S), silikon (Si), dan mangan (Mn).

Bahan baja tebal banyak digunakan untuk keperluan berbagai jenis konstruksi dan pembuatan alat-alat berat. Urutan pembuatan baja pelat tebal adalah dimulai dari pengolahan biji besi sampai menjadi besi kasar.

Pembuatan baja dari besi kasar dilakukan di dalam dapur tinggi atau konverter. **Konverter Bessemer** didapatkan pada tahun 1855 oleh Henry Bessemer seorang bangsa Inggris. Konverter ini pada bagian sebelah dalamnya dilapisi dengan batu tahan api yang terbuat dari kwarsa ( $\text{SiO}_2$ ) dan bersifat asam. Jenis konverter ini hanya dapat mengolah besi kasar dengan kadar P maksimum 0,80%.

**Konverter Thomas** khusus mengerjakan besi kasar putih yaitu suatu besi kasar yang mengandung 3 – 3,5 % C dan 0,2 – 0,5 % Si. Sebelum cairan besi dimasukkan ke dalam konverter terlebih dahulu diisikan bahan tambahan kapur untuk mengikat (P) dan (Si) sehingga menjadi kerak (kotoran). **Dapur listrik** khusus untuk pengolahan baja, sehingga hasil bajanya sering disebut pula baja listrik. Dapur ini menggunakan arus listrik yang menimbulkan panas untuk mencairkan muatan. Bahan-bahan yang dimasukkan ke dalam dapur berbentuk padat atau dalam keadaan cair.

**Siemen dan Martin** adalah sebuah dapur pelebur baja yang dapat mencapai suhu tinggi. Dapur ini mempunyai tungku kerja yang diperlengkapi dengan ruang-ruang hawa. Tungku kerja ini mempunyai kapasitas 30 – 50 ton. Baja dari hasil dapur Siemens Martin dicampur dengan unsur-unsur Nikel, Molibden, Krom dan Wolfram di dalam

suatu cawan yang setelah ditutup cawan tersebut dimasukkan ke dalam tungku api. Cawan-cawan ini dapat berisi baja cair sebanyak 40 kg. Proses ini dinamakan **Proses Baja Cawan**.

Menyepuh baja adalah cara mengeraskan baja dengan jalan memanaskan baja pada suhu penyepuhan yang segera disusul oleh suatu pendinginan yang mendadak. Makin tinggi suhu penyepuhan, makin keras hasil bajanya dan kristal-kristal baja yang terjadi makin besar yang menyebabkan baja itu sangat rapuh dan mudah putus.

Menyemen adalah menyepuh atau memperkeras permukaan benda kerja yang bersifat kenyal. Menitirir adalah suatu cara menyepuh dari jenis baja yang mengandung Aluminium (Al), Chrom (Cr), dan Molibden (Mo). Penyepuhan Chrom dilakukan untuk melapisi permukaan benda kerja dengan chrom agar tahan gesekan misalnya bidang silinder motor dilapisi dengan chrom secara elektrolisa setebal 0,1 – 0,4 mm, kemudian lapisan itu diambil lagi secara elektrolisa.

Aluminium diperoleh dari bahan-bahan paduan dengan persenyawaan dari spaat kali ( $K Al Si_3 O_8$ ), bauksit ( $Al_2 O_3 \cdot 2H_2O$ ) dan kreolit suatu aluminium natrium flourida ( $Al F_3 NaF$ ). Aluminium terbagi atas dua macam yaitu Aluminium tuangan yang mempunyai kekuatan tarik sebesar  $10 \text{ kg/mm}^2$  dan regangannya 18 – 25% dan Aluminium tempa yang mempunyai kekuatan tarik sebesar 18 – 28  $\text{kg/mm}^2$  dan regangannya 3 – 5%.

Tembaga murni untuk keperluan industri dicairkan dari tembaga yang diproses dengan elektrolisa dan diklasifikasikan menjadi tiga macam menurut kadar oksigen dan cara deoksidasi yaitu tembaga ulet, tembaga deoksidasi, dan tembaga bebas oksigen. Warna tembaga adalah merah muda kemerah-merahan bila di polis tapi terbentuk permukaan coklat bila dipanaskan. Temperatur lebur sampai  $1083^\circ\text{C}$ . Tembaga sangat lunak dalam kondisi dianeal tetapi dengan cepat bertambah keras selama pengerjaan dingin, misalnya pemukulan dengan palu, pengerolan dan penekanan.

Kuningan atau loyang adalah logam paduan dari tembaga dan seng dalam prosentase lebih kurang 65% Cu dan 35% Zn. Logam ini berwarna merah kekuning-kuningan, sehingga sering juga disebut tembaga kuning. . Kuningan mempunyai kekuatan tarik 18 – 24  $\text{kg/mm}^2$  dari regangannya sebesar 15 – 25%, tahan terhadap asam dan pengaruh kimia. Kegunaan dari kuningan adalah untuk alat-alat apendase ketel, untuk saluran-saluran gas dan air, dan untuk bagian-bagian konstruksi dengan beban ringan.

Baja paduan dapat didefinisikan sebagai suatu baja yang dicampur dengan satu atau lebih unsur campuran seperti nikel, kromium,

molibden, vanadium, mangan dan wolfram yang berguna untuk memperoleh sifat-sifat baja yang dikehendaki (keras, kuat dan liat), tetapi unsur karbon tidak dianggap sebagai salah satu unsur campuran. Baja paduan digunakan karena keterbatasan baja karbon sewaktu dibutuhkan sifat-sifat yang spesial dari pada baja, keterbatasan daripada baja karbon adalah reaksinya terhadap pengerjaan panas dan kondisinya.

Baja tahan karat (Stainless Steel) adalah semua baja yang tidak dapat berkarat. Banyak diantara baja ini yang digolongkan secara metalurgi menjadi baja tahan karat austenit, ferit, martensit, dan baja tahan karat tipe pengeras-an presipitasi. Baja tahan karat ada beberapa macam yaitu baja tahan karat martensit, baja tahan karat ferit, baja tahan karat austenit dan baja tahan karat berfasa ganda.

Korosi adalah proses alami yang terjadi pada material logam yang berakibat menurunnya kekuatan dari material logam tersebut. Korosi adalah kerusakan atau degradasi logam akibat reaksi dengan lingkungan yang korosif. Korosi dapat juga diartikan sebagai serangan yang merusak logam karena logam bereaksi secara kimia atau elektrokimia dengan lingkungan. Penyebab korosi ada dua macam yaitu korosi kimia dan korosi elektrolit.

### 3.19. Soal-soal latihan

1. Sebutkan sifat teknis bahan yang perlu diperhatikan dalam pemilihan bahan?
2. Tuliskan defenisi dari baja logam ferro dan logam non ferro?
3. Apa yang dimaksud dengan baja karbon dan sebutkan jenis-jenisnya?
4. Buatlah klasifikasi baja karbon?
5. Sebutkan tiga jenis tembaga murni?
6. Coba saudara jelaskan apa yang dimaksud dengan pengerasan endap atau pengerasan *presipitasi* pada paduan aluminium?
7. Aluminium merupakan salah satu bahan yang banyak digunakan dalam bidang teknik khususnya bidang teknik mesin. Kenapa demikian?
8. Sebutkan konstruksi dan susunan dapur tinggi?
9. Jelaskan bagaimana proses operasional dapur tinggi?
10. Sbutkan berapa macam besi kasar yang dihasilkan dapur tinggi?
11. Tuliskan defenisi dari konverter Bassemmer?
12. Gambarkan Diagram Schaeffler?
13. Apa yang dimaksud dengan korosi?
14. Jelaskan penyebab-penyebab terjadinya korosi pada baja?
15. Sebutkan bentuk-bentuk korosi?
16. Jelaskan cara-cara pencegahan korosi?



## DAFTAR PUSTAKA

- Agarwal,R.L & Tahil Manghnani, 1981. *Welding Engineering*. New Delhi: Khanna Publisher.
- Ahmad Antoni IKM. 1998. *Kamus Lengkap Teknik*. Surabaya: Gitamedia Press.
- Alip Mochamad. 1989. *Teori dan Praktek Las*. Jakarta: Ditjen Pendidikan Tinggi.
- Amanto, Hari dan Daryanto. 2003. *Ilmu Bahan*. Jakarta: PT Bumi Aksara.
- Amstead, B.H. 1979. *Manufacturing Processes*. New York: John Wiley and Son.
- Avitzur, Betzalel, 1977. *Metal Forming: Processes and Analysis*. New York: Mc Graw Hill.
- Beumer, B. J.M dan B. S Anwir. 1985. *Ilmu Bahan Logam, Jilid I*. Jakarta: Penerbit Bhratara Karya Aksara.
- Bogdan O.K and Nicholas W. 1977. *Steel Design for Structural Engineers*. New Jersey: Perntice Hall. Inc.
- Corkson, William, 1975. *Sheet Metal Work*. London: Oxford Technical Press.
- Davies. A.C. 1977, *The Science and Practice of Welding*. London: Cambrigde University Press.
- DeGarmo, E. Paul. 1979. *Materials and Processes in Manufacturing*. London: The Macmillan Company.
- Dickason, A. 1978. *Sheet Metal Drawing and Pattern Development*. London: Pitman Publishing Limited.
- Dickason, A. 1980. *The Geometry of Sheet Metal Work*. London: Pitman Publishing Limited.
- Dieter, George E. 1986. *Mechanical Metalurgy*. New York: Mc Graw Hill.
- Giachino. J.W. 1982. *Welding Technology*. USA: American Technical Publisher Inc

- Hantoro, Sirod dan Parjono. 2005. *Menggambar Mesin*. Jakarta: Adicita.
- Harsono,W & Toshie Okumura. 1981. *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: Pradnya Paramitha
- Intems. 1985. *Technology Metal 1*, Netherlands: Educaboek BV
- Juhana, Ohan dan M. Suratman. 2000. *Menggambar Teknik Mesin*. Bandung: Pustaka Grafika.
- Kalpakjian, Scrope. 1984. *Manufacturing Processes for Engineering Materials*. Canada: Addison Wesley Publishing Company.
- Kasbollah dan Salipoen. 1979. *Pengetahuan Bahan dan Perkakas Otomotif*. Jakarta: Depdikbud.
- Kenyon. W. 1979. *Basic Welding and Fabrication*. New York: Mc Graw Hill
- Korb, Lawrence, et.al. 1987. *Metals Handbook*. Ohio: ASM International.
- LA Heij,L dan L.A.De BruiJn. 1995. *Ilmu Menggambar Bangunan Mesin*. Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- Little, Richard.L. 1980. *Welding and Welding Technology*. New York: Mc Graw Hill.
- Lyman. T, 1968. *Sheet Metal Hand Book*. New York: ILO
- Luzadder, Warren J dan Hendarsin H. 1986. *Menggambar Teknik untuk Disain, Pengembangan Produk, dan Kontrol Numerik*. Jakarta; Penerbit Erlangga.
- Mayock, F.B. 1977. *Technical Drawing*. London: Heinemann Educational Books.
- Meyer, Leo. A. 1975. *Sheet Metal Shop Practice*. Chicago: Ais Publication.
- Mills, Kathleen, et.al. 1995. *Metals Handbook*. United States of Amerika: ASM International.
- Morling, K. 1978. *Geometric and Engineering Drawing for CSE and GCE*. London: Edward Arnold (Publisher) Ltd.
- Pinat Thaufiq. M. 1998. *Menggambar Mesin*. Padang : UPT MRC FT–UNP Padang.
- Purwantono. 1991. *Dasar-dasar Kerja Plat*. Padang:UPT Pusat Media Pendidikan FPTK IKIP Padang

Pusat Pembina dan Pengembangan Bahasa, 1990. *Kamus Besar Bahasa Indonesia*. Jakarta: Balai Pustaka

Rogan Warren. 1975. *Welding*. Sydney: McGraw-Hill Book Company.

Rohyana, Solih. 2004. *Mengelas Dengan Proses Las Busur Metal Manual*. Bandung: Armico.

Saito, G. Takeshi dan N. Sugiarto H. 1999. *Menggambar Mesin Menurut Standar ISO*. Jakarta: PT Pradnya Paramita.

Sumantri. 1989. *Teori Kerja Bangku*. Jakarta: Depdikbud.

Sularso. 1995. *Elemen Mesin*. Jakarta: Pradnya Paramitha

Surdia, Tata dan Kenji Chijiwa. 1976. *Teknik Pengecoran Logam*. Jakarta: PT Pradnya Paramita.

Surdia, Tata dan Kenji Chijiwa. 1984. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: PT Pradnya Paramita.

Syahrul. 1992. *Las Oksi-Asitelin*. Padang: MRC FPTK IKIP Padang.

TTUC. 1981. *Design Engginering*. Singapore: Terc

Van Bergeyk, K dan A. J. Liedekerken. 1981. *Teknologi Proses. Jilid II*. Jakarta: Penerbit Bhratara Karya Aksara.

Wood, Peter. W.1979. *Fundamental of Welding Skills*. London: The Mc Millan Press. Ltd

[www.advantage.efabricated.metals.com](http://www.advantage.efabricated.metals.com), diakses 8 Oktober 2007

[www.answers.com](http://www.answers.com), diakses 5 Nopember 2007

[www.automation.technology.com](http://www.automation.technology.com), diakses 20 Sepetember 2007

[www.buypart.sby.co.uk](http://www.buypart.sby.co.uk), diakses 30 Sepetember 2007

[www.edirectory.co.uk](http://www.edirectory.co.uk), diakses 15 September 2007

[www.Forging-hydraulic-oress.com](http://www.Forging-hydraulic-oress.com), diakses 8 Nopember 2007

[www.nootherm.tool.com](http://www.nootherm.tool.com), diakses 25 Oktober 2007

[www.substech.com](http://www.substech.com), diakses 17 September 2007

A4

[www.suwaprecision.com](http://www.suwaprecision.com), diakses 2 September 2007

[www.tpub.com](http://www.tpub.com), diakses 21 Oktober 2007

[www.uwm.com](http://www.uwm.com), diakses 24 Nopember 2007

[www.weldotherm.com](http://www.weldotherm.com), diakses 3 September 2007

## DAFTAR ISTILAH/GLOSARY

Alloy Steel	= baja paduan
Alloying element	= unsur paduan
Alternating current	= arus bolak balik
Annealing	= pelunakan
Arc welding	= busur nyala las
Assembling	= perakitan
Austenite	= besi gamma
Bainit	= baja halus hasil dari quenching
Beaded	= alur
Bearing	= bantalan
Bending	= menekuk/melipat/melengkungkan
Bending moment	= momen bengkok
Blanking	= pelubangan
Blind Rivet	= paku keeling tembak
Blower	= penghembus
Body	= badan
Brander	= pembakar
Brass	= kuningan
Braze welding	= las kuningan
Butt joint	= sambungan tumpul
CAD	= Computer Aided Design
Cavity	= rongga cetakan
Carbusing	= nyala karburasi
Case hardening	= pengerasan kulit
Centrifugal pump	= pompa centrifugal
Clothing`	= pakaian kerja
Clutch disc	= piringan kopling
Cold forging	= kerja tempa dingin
Complicated	= rumit
Compression	= kompresi/penekanan
Compressor	= kompresor
Conductivity	= konduktivitas
Copper	= tembaga
Core	= inti
Corner joint	= sambungan pojok
Corrosion	= korosi
Casting	= pengecoran
Counter block	= blok yang berlawanan
Coupling	= kopling
Crack	= retak
Creive	= celah
Cross joint	= sambungan silang

Crumping	= pengerutan
Cup	= tutup
Current	= arus
Cutting methode	= metode pemotongan
Damage	= rusak
Deep drawing	= penarikan dalam
Deformation	= deformasi
Dipping room	= kamar mandi
Direct current	= arus searah
Double curved surface	= permukaan lengkung berganda
Down	= di bawah
Downhand bult weld	= pengelasan di bawah tangan
Drift	= melubangi
Dry	= kering
Ductility	= kenyal
Edge joint	= sambungan sisi
Electrode wire	= inti elektroda
Element	= unsur
Enclosing	= merangkum
Equipment	= peralatan
Expendable mold	= cetakan sekali pakai
Explosive	= ledakan
Extruding	= ekstrusi
Fan	= kipas
Ferro metal	= logam besi
File	= kikir
File cabinet	= lemari arsip
Filler	= bahan tambah
Fillet joint	= sambungan sudut
Fire extinguisher	= tabung pemadam api
Flame	= nyala api asitelin
Flow meter	= alat pengukur aliran
Flux	= pelumasan
Fly wheel	= roda gila
Forging	= penempaan
Forming	= pembentukan
Fracture	= pecah
Fume	= asap
Fusion welding	= las cair
Gas metal arc welding	= las logam dengan perlindungan gas (GMAW)
Gas tungsten arc welding	= las tungsten dengan perlindungan gas (GTAW)
Gloove	= sarung tangan untuk mengelas
Goggle	= kaca mata las
Grease	= gemuk, pelumas

Handy craft	= pekerjaan tangan
Hardening	= pengerasan
Heat Affect Zone (HAZ)	= daerah pengaruh panas
Heat treatment	= perlakuan panas
Heating	= pemanasan
Helmet	= pelindung kepala
Hexagon	= segi enam beraturan
Hole	= rongga/lobang
Horizontal bult weld	= pengelasan horizontal
Horizontal	= horizontal
Impact	= tumbukan
Impressed current	= arus paksa
Inclusion	= kotor
Inpra red	= sinar infra merah
Iron	= besi
Joint type	= jenis sambungan
Key way	= pasak
Knock down	= bongkar pasang
Lap joint	= sambungan tumpang
Lap	= tumpangan
Locker	= laci
Logam ferro	= logam besi
Logam non ferro	= logam bukan besi
Machinability	= mampu mesin
Manufacturing	= pembuatan
Matches	= korek api
Metal part	= bagian logam
Metal	= logam
Mild steel	= baja lunak
Milling cutting	= mesin frais
Mixten weld metal	= logam lasan
Neutral flame	= nyala netral
Non ferro metal	= logam bukan besi
Non metal	= bukan logam
Oil	= minyak
Ornament	= hiasan
Orthogonal	= proyeksi tegak lurus dalam 2 dimensi
Overhead bult weld	= pengelasan di atas kepala
Overlap	= kelebihan logam pengisi las

Pentagon	= segi lima beraturan
Permanent mold	= cetakan permanen
Picling	= pengawetan/pelapisan
Pictorial	= proyeksi miring 3 dimensi
Pig iron	= besi kasar
Plastic deformation	= deformasi plastis
Pocket	= kantong
Poligone	= bersegi banyak
Portable	= dapat dipindah-pindahkan
Pressure	= tekanan
Pressure gouge	= pengukur tekanan
Pre cutting	= pemotongan awal
Pressing	= penekanan
Production	= produksi
Pulley	= pulli
Pump	= pompa
Punch	= pahat bilat
Quadrilaterals	= bersisi empat
Quenching	= celup dingin
Resistance welding	= las tahanan
Rolled resistance welding	= las tahanan rol
Rigid	= kaku
Riveting	= paku keling
Rolling	= pengerolan
Rubber	= karet
Ruled surface	= permukaan garis
Safety	= keselamatan
Shaft	= poros
Shearing	= gesekan
Sheet metal	= plat baja
Shield metal arc welding	= las busur nyala terbungkus
Sizing	= ukuran
Slack	= terak
Slip roller	= penggilingan
Solder	= solder/patri
Spatter	= percikan
Spinning	= putar/pilin
Splashing	= percikan
Spot welding	= las titik
Spring back	= gaya balik
Squeezing	= mengefrais
Stainless steel	= baja tahan karat
Statics	= statika
Steel	= baja

Strain	= regangan
Stretching	= peregangan
Strengthening	= penguatan
Stress	= tegangan
Swaging	= pukul putar
Switch	= pemutus hubungan
Tool	= alat
Torque	= torsi
Trousers	= celana panjang
True length	= panjang garis sebenarnya
Turbine	= turbin
Twist drill	= bor spiral
Unfold	= lipatan
Unroll	= membuka gulungan
Unrolled	= gulungan
Valve	= katup
Vernier caliper	= jangka sorong
Vernier height gauge	= alat ukur ketinggian
Vertical bult weld	= pengelasan vertikal
Vertical down	= pengelasan posisi tegak turun
Vertical Up	= pengelasan posisi tegak naik
Vertical	= vertikal
Vibration	= getaran
Vise	= ragum, penjepit
Vortex	= pusaran air
Warped cone	= kerucut baling
Warper surface	= permukaan baling
Weave bead	= jalur las
Weldability	= mampu las
Welded joint	= sambungan las
Welding	= pengelasan
Welding cost	= biaya pengelasan
Welding instruction	= instruksi pengelasan
Welding method	= metode pengelasan
Welding position	= posisi pengelasan
Welding quality	= kualitas pengelasan
Welding symbol	= simbol pengelasan
Welding squence	= urutan pengelasan
Wire drawing	= penarikan kawat
Wood	= kayu

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1.1. Tempa Tradisional .....	2
1.2. Mesin Bending dengan Program NC .....	4
1.3. Mesin Blanking dengan sistem Program NC .....	6
1.4. Jenis tumpuan dan arah reaksi.....	11
1.5. Sebuah benda diberi gaya tarik .....	12
1.6. Grafik Tegangan Regangan .....	13
1.7. Kurva Tegangan dan Regangan di Daerah Elastik .....	15
1.8. Hubungan Tegangan-Regangan pada Bahan Mulur Kontinu .....	16
1.9. Paku keling/rivet .....	18
1.10. Jarak pemasangan paku keling .....	16
1.11. Baut dan Mur .....	21
1.12. Poros Propeler Kapal .....	22
1.13. Kopling .....	23
1.14. Bejana Tekan .....	24
1.15. Poros, pasak, kopling .....	25
1.16. Macam-macam bentuk Pasak .....	25
1.17. Bentuk-bentuk roda gigi .....	27
1.18. Gambar Sudut Tekanan Roda Gigi .....	28
1.19. Roda Gigi Payung .....	30
1.20. Roda Gigi Cacing .....	30
1.21. Flat Belt .....	31
1.22. V-Belt .....	31
1.23. Timing Belt .....	31
1.24. Rantai dan Sproket .....	33
1.25. Mesin Bubut .....	34
1.26. Perkakas CNC .....	35
1.27. Mesin Potong Otomatis .....	36
1.28. Mesin Forging dan Squeezing .....	36
1.29. Mesin Perkakas NC .....	37
1.30. Mesin Rolling .....	37
1.31. Kompresor sentrifugal .....	38
1.32. Kompresor Torak .....	39
1.33. Pompa Centrifugal dan Roda gigi .....	40
1.34. Motor pembakaran luar .....	41
1.35. Turbin air .....	42
1.36. Turbin Propeller (Kaplan) .....	43
2.1. Langkah Sebelum Bekerja.....	48
2.2. Akibat kecelakaan kerja.....	49
2.3. Prosentase penyebab kecelakaan kerja di dalam bengkel kerja mesin .....	50
2.4. Mesin gerinda tanpa pelindung batu gerinda.....	51
2.5. Pemasangan penyanggah tidak benar .....	52

<b>Gambar</b>	<b>Halaman</b>
2.6. Rambut terpintal pada mata bor .....	53
2.7. Luka karena kikir.....	53
2.8. Pahat yang telah mengembang.....	54
2.9. Menggerinda tanpa kacamata .....	54
2.10. Sikap kerja yang kurang baik.....	55
2.11. Keadaan lingkungan kerja yang tidak aman/baik. ....	56
2.12. Helmet/pelindung kepala .....	59
2.13. Penutup rambut .....	59
2.14. Alat pelindung kebisingan.....	60
2.15. Alat pelindung kebisingan.....	61
2.16. Kacamata untuk pekerja pada laboratorium atau industri kimia.....	62
2.17. Kaca mata las asetilen.....	62
2.18. Pelindung muka .....	63
2.19. Masker las listrik .....	64
2.20. Sarung tangan.....	65
2.21. Sepatu kerja.....	66
2.22. Apron .....	66
2.23. Baju Kerja .....	67
3.1. Sumber bahan dari alam .....	71
3.2. Logam ferrous (Fe).....	75
3.3. Bahan tembaga dibuat sebagai hiasan kaligrafi.....	78
3.4. Velg roda dari aluminium .....	80
3.5. Bahan timbal.....	81
3.6. Alat rumah tangga dari bahan Aluminium.....	81
3.7. Atap rumah dari bahan asbes.....	82
3.8. Ban mobil yang terbuat dari karet alam .....	83
3.9. Packaging mesin dari bahan plastik .....	84
3.10. Proses mengerolan pelat baja tipis.....	85
3.11. Penggunaan pelat tipis baja tipis .....	86
3.12. Pembuatan baja paduan.....	86
3.13. Pemakaian baja paduan .....	87
3.14. Struktur dan sifat-sifat baja karbon sebelum pengerasan.....	88
3.15. Proses pencampuran unsur lain pada pembuatan baja paduan .....	88
3.16. Diagram pembuatan baja paduan .....	90
3.17. Pelat baja tipis .....	91
3.18. Pelat baja tebal .....	91
3.19. Dapur tinggi .....	93
3.20. Operasi dapur tinggi .....	94
3.21. Besi kasar (pig iron).....	95
3.22. Dapur besi kasar .....	96
3.23. Konvertor Bessemer .....	97
3.24. Konvertor Thomas .....	98

<b>Gambar</b>	<b>Halaman</b>
3.25. Dapur listrik.....	98
3.26. Dapur Siemen Martin.....	100
3.27. Bagan pengolahan biji besi sampai menjadi besi (baja) profil.....	101
3.28. Tank memakai pelat baja tebal.....	103
3.29. Macam-macam bentuk besi lonjor.....	104
3.30. Macam-macam bentuk baja Pelat.....	105
3.31. Bentuk pelat.....	109
3.32. Pelat aluminium.....	110
3.33. Pelat tembaga.....	117
3.34. Pelat kuningan.....	120
3.35. Pelat baja khusus.....	122
3.36. Pengerjaan panas pada baja tahan karat.....	123
3.37. Pelat stainless steel.....	129
3.38. Produk yang dibuat dari bahan pelat stainless steel ...	130
3.39. Diagram Fasa Fe – Cr.....	131
3.40. Diagram struktur dari baja tahan karat yang dideposisikan (Diagram Schaeffler).....	132
3.41. Hubungan antara temperatur mula dan waktu pembentukan fasa $\sigma$ dan kegetasan 4750C pada baja Cr tinggi.....	134
3.42. Salah bentuk pelat stainless steel tebal.....	136
3.43. Pengaruh tegangan pada waktu patah dari baja tahan karat dalam larutan 42% MgCl yang mendidih.....	136
3.44. Pipa tebal stainless steel.....	138
3.45. Koil Stainless Steel.....	138
3.46. Pipa tipis stainless steel.....	138
3.47. Kawat stainless steel.....	138
3.48. Pelat yang mengalami korosi.....	139
3.49. Dinding mobil yang mengalami korosi.....	140
3.50. Dinding mobil yang mengalami korosi.....	143
4.1. Kerangka dan standar ISO/TC 10.....	160
4.2. Peralatan gambar.....	161
4.3. Pengukuran radius lingkaran.....	162
4.4. Cara menarik garis dengan pensil.....	163
4.5. Cara menggunakan jangka.....	164
4.6. Membuat lingkaran dengan bantuan batang penyambung.....	164
4.7. Cara membagi dua garis lurus sama panjang.....	169
4.8. Cara membuat garis tegak lurus melalui titik O.....	169
4.9. Cara membuat garis tegak lurus melalui titik T.....	169
4.10. Cara membuat garis tegak lurus yang melalui titik A...	169
4.11. Cara membagi sudut $90^0$ menjadi dua sama besar.....	170
4.12. Cara membuat sebuah segi empat sama sisi.....	171

4.13. Cara membuat empat persegi panjang dengan sisi panjang AB .....	171
4.14. Cara membuat segi empat belah ketupat.....	171
4.15. Cara membuat belah ketupat yang telah diketahui sisi tingginya. ....	171
4.16. Cara membuat suatu segi lima yang panjang salah satu sisinya sudah diketahui.....	172
4.17. Cara membuat segi lima yang berada di dalam lingkaran. ....	172
4.18. Cara membuat suatu segi lima yang diketahui satu sisinya.....	173
4.19. Cara membuat segi lima yang berada di dalam lingkaran. ....	173
4.20. Cara membuat sebuah segi enam di dalam lingkaran. ....	174
4.21. Cara membuat sebuah segi enam di luar lingkaran. ....	175
4.22. Beberapa macam proyeksi .....	176
4.23. Gambar ilustrasi teknik .....	177
4.24. Gambar ilustrasi teknik (Bukan gambar piktorial) .....	177
4.25. Cara proyeksi aksonometri .....	178
4.26. Sudut proyeksi aksonometri .....	178
4.27. Sudut proyeksi isometri .....	179
4.28. Sudut proyeksi isometri .....	180
4.29. Sudut proyeksi dimetri .....	181
4.30. Sudut proyeksi miring .....	181
4.31. Proyeksi perspektif miring .....	182
4.32. Proyeksi sistem Eropa .....	183
4.33. Menggambar proyeksi sistem Eropa .....	184
4.34. Proyeksi sistem Amerika .....	185
4.35. Menggambar proyeksi sistem Amerika .....	186
4.36. Bentangan kubus.....	189
4.37. Bentangan Lingkaran secara grafis.....	190
4.38. Bentangan lingkaran secara matematis .....	191
4.39. Bentangan kerucut lurus/tegak secara matematis.....	191
4.40. Bentangan prisma tertutup .....	192
4.41. Bentangan prisma terbuka.....	193
4.42. Bentangan prisma terpancung (dipotong miring).....	193
4.43. Bentangan prisma dipotong miring.....	194
4.44. Pembentangan prisma .....	195
4.45. Metode baku untuk membentangkan permukaan samping prisma lurus.....	196
4.46. Pembentangan prisma segi enam lurus dan miring ....	197
4.47. Pembentangan prisma miring.....	193
4.48. Pembentangan silinder .....	199
4.49. Pembentangan silinderl lingkaran lurus dipotong miring.....	199
4.50. Siku dua potong.....	200

<b>Gambar</b>	<b>Halaman</b>
4.51. Bentangan silinder datar ditembus silinder miring .....	200
4.52. Pembentangan bidang miring .....	201
4.53. Bukaan dua buah tabung yang disambung .....	202
4.54. Bentangan sambungan T dua buah tabung/silinder ....	203
4.55. Bentangan sambungan dua buah tabung dengan diameter yang berbeda .....	204
4.56. Sambungan dua buah tabung yang tidak simetris.....	205
4.57. Diagram panjang sejati (metode putar) .....	206
4.58. Pembentangan kerucut .....	206
4.59. Bukaan dan suatu corong dengan alas segi empat dan ujungnya berbentuk lingkaran.....	207
4.60. Bukaan dan sebuah piramida yang disambung dengan silinder .....	298
4.61. Bukaan sebuah corong segi empat .....	209
4.62. Bukaan corong segi empat dari bahan pelat .....	210
4.63. Bukaan kerucut miring dan dipotong miring .....	211
4.64. Bukaan sebuah piramida dengan alas berbentuk segi enam .....	212
4.65. Bukaan kerucut dengan silinder .....	213
4.66. Bukaan kerucut dengan silinder .....	214
4.67. Pembentangan kerucut terpancung .....	216
4.68. Pembentangan piramida.....	216
4.69. Pembentangan piramida segitiga .....	217
4.70. Pembentangan prisma segi empat miring .....	217
4.71. Pembentangan triangulasi segi tiga dan segi empat ..	218
4.72. Triangulasi permukaan. ....	218
4.73. Bagian peralihan pipa yang menyambung pipa bulat dan pipa bujur sangkar .....	219
4.74. Bagian peralihan pipa bulat dan pipa pipa bujur sangkar.....	220
4.75. Bagian peralihan pipa bulat dan pipa lonjong.....	220
4.76. Pembentangan bagian peralihan pipa lewat triangulasi .....	221
4.77. Pembentangan bola dengan pendekatan.....	222
4.78. Pembentangan bola dengan sambungan pipa tegak ..	223
4.79. Pembentangan bola dengan sambungan pipa datar..	223
4.80. Menentukan titik tembus lewat pemeriksaan .....	225
4.81. Pemakaian bidang yang memproyeksikan garis .....	226
4.82. Menentukan tempat dimana garis menembus benda pada geometrik .....	227
4.83. Menentukan titik dimana garis menembus kerucut hal umum.....	228
4.84. Pictorial piala .....	229
4.85. Pembentangan kubah mesjid dengan proyeksi siku ...	230
4.86. Pembentangan kubah mesjid dengan proyeksi $45^0$ ....	231

<b>Gambar</b>	<b>Halaman</b>
5.1. Mistar baja sistem metric .....	237
5.2. Mistar baja sistem imperial .....	238
5.3. Mistar gulung .....	238
5.4. Protractor .....	239
5.5. Vernier Bevel Protractor .....	240
5.6. Penunjukkan ukuran vernier bevel protractor .....	240
5.7. Pengukuran dengan Vernier Caliper .....	241
5.8. Vernier Caliper dengan dial indikator .....	242
5.9. Vernier Caliper .....	243
5.10. Cara menggerakkan penyetel vernier caliper .....	244
5.11. Skala utama pada bagian nonius .....	244
5.12. Pembacaan pada vernier caliper .....	245
5.13. Penunjukkan ukuran pada vernier caliper .....	246
5.14. Penunjukkan pengukuran pada vernier caliper .....	247
5.15. Penunjukkan ukuran pada vernier caliper .....	247
5.16. Pembacaan skala vernier caliper .....	248
5.17. Rahang vernier pada posisi membuka 1/128 inchi .....	248
5.18. Posisi pengukuran 13/16 inchi .....	249
5.19. Posisi pengukuran 1 7/32 .....	249
5.20. Vernier dengan ketelitian 0,001 inchi .....	250
5.21. Penunjukkan perbedaan sebesar 0,001 inchi .....	250
5.22. Posisi pengukuran pada vernier caliper .....	251
5.23. Posisi penunjukan pada vernier caliper .....	251
5.24. Menyiapkan vernier caliper .....	252
5.25. Memperkirakan pembukaan rahang ukur .....	253
5.26. Menggerakkan rahang vernier caliper .....	253
5.27. Membaca ukuran pada vernier caliper .....	253
5.28. Menggerakkan rahang .....	254
5.29. Membaca ukuran pada vernier caliper .....	254
5.30. Tempat menyimpan vernier caliper .....	255
5.31. Vernier Caliper Analog .....	256
5.32. Vernier Caliper dengan Dial Indikator .....	256
5.33. Vernier Caliper Digital .....	257
5.34. Alat ukur ketinggian (vernier height gauge) .....	258
5.35. Langkah pengukuran .....	259
5.36. Cara melakukan pengukuran .....	260
5.37. Macam-macam Height Gauge .....	261
5.38. Pemakaian mikrometer luar .....	262
5.39. Ukuran rangka 0 – 25 mm .....	263
5.40. Ukuran rangka 25 – 50 mm .....	263
5.41. Bagian-bagian utama micrometer .....	263
5.42. Besarnya skala ukuran .....	264
5.43. Mengkalibrasi mikrometer .....	264
5.44. Mengkalibrasi mikrometer .....	265
5.45. Mengkalibrasi mikrometer ukuran 25 – 50 mm .....	265
5.46. Cara melakukan pengukuran yang benar .....	266

<b>Gambar</b>	<b>Halaman</b>
5.47. Penunjukan ukuran mikrometer.....	267
5.48. Penunjukan ukuran mikrometer.....	267
5.49. Penunjukan pengukuran.....	268
5.50. Ukuran mikrometer inchi.....	269
5.51. Besaran pada skala utama.....	270
5.52. Besaran pada skala bidal.....	270
5.53. Penunjukan ukuran.....	271
5.54. Cara menyimpan mikrometer.....	271
5.55. Macam-macam Mikrometer luar.....	272
5.56. Mikrometer Dalam.....	273
5.57. Mengukur diameter dalam.....	273
5.58. Mengukur celah sejajar.....	273
5.59. Mikrometer pengukur dalam dan batang pengganti ..	274
5.60. Skala ukuran pada mikrometer dalam.....	275
5.61. Mengukur dengan menggunakan mistar baja.....	276
5.62. Mikrometer dalam dan batang ukur.....	276
5.63. Mengendorkan baut pengunci dan melepaskan landasan tetap.....	277
5.64. Permukaan ukur dan batang ukur.....	277
5.65. Memasukkan batang ukur pengganti dan menguncikan baut pengunci.....	278
5.66. Mengkalibrasi mikrometer dalam.....	278
5.67. Menset mikrometer dalam.....	279
5.68. Memutar bidal sampai batang ukur menyentuh permukaan benda kerja.....	276
5.69. Mengukur kesekeliling permukaan dan membaca.....	280
5.70. Mengukur dengan menggunakan mikrometer dalam ..	281
5.71. Mikrometer pengukur kedalaman.....	282
5.72. Batang ukur pengganti.....	282
5.73. Skala ukur mikrometer pengukur kedalaman.....	283
5.74. Penunjukkan ukuran Pada mikrometer pengukuran kedalaman.....	283
5.75. Penunjukkan ukuran.....	284
5.76. Batang ukur 25 – 50 mm.....	284
5.77. Membuka baut pengunci dan mengeluarkan sumbu penyambung (rumah batang ukur).....	285
5.78. Pemasangan kembali.....	285
5.79. Mengkalibrasi alat ukur.....	286
5.80. Tempat penyimpanan.....	286
5.81. Alat ukur radius/mal radius.....	287
5.82. Pengukuran dengan mal radius.....	287
5.83. Mengukur radius pada bagian sudut benda kerja.....	288
5.84. Rumah bilah mal ukur.....	288
5.85. Bilah ukur mal radius.....	289
5.86. Cara melakukan pengukuran.....	290
5.87. Mal radius ukurannya terlalu besar.....	290

<b>Gambar</b>	<b>Halaman</b>
5.88. Mal radius ukurannya terlalu kecil. ....	290
5.89. Pengukuran dan bentuk radius yang benar.....	291
5.90. Dial indikator.....	291
5.91. Pengukuran kesejajaran dan kelurusan lubang.....	292
5.92. Pelaksanaan pengukuran.....	293
5.93. Dial indikator dengan blok magnet.....	293
5.94. Gambar kerja dan informasinya.....	296
5.95. Meja perata.....	298
5.96. Blok siku. ....	299
5.97. Pemasangan benda kerja pada blok.....	299
5.98. Siku-siku baja dikeling mati.....	300
5.99. Cara melakukan pengukuran dengan siku-siku.....	301
5.100. Benda kerja yang tidak rata. ....	302
5.101. Siku-siku dengan bilah yang dapat digeserkan.....	302
5.102. Siku-siku kombinasi.....	303
5.103. Pemakaian siku-siku kombinasi.....	304
5.104. Cara mencari titik pusat. ....	305
5.105. Macam-macam penggores. ....	305
5.106. Langkah penggoresan. ....	306
5.107. Menggores dengan beberapa alat bantu. ....	307
5.108. Blok penggores. ....	308
5.109. Penitik garis.....	309
5.110. Penitik pusat.....	309
5.111. Penitik otomatis.....	310
5.112. Membuat tanda dengan penitik.....	311
5.113. Jangka tusuk.....	313
5.114. Cara mengukur dengan jangka tusuk.....	314
5.115. Membuat lingkaran dengan jangka tusuk.....	314
5.116. Jangka kaki. ....	315
5.117. Mengukur diameter dalam dengan jangka kaki.....	316
5.118. Mengukur celah dengan jangka kaki. ....	316
5.119. Jangka bengkok.....	317
5.120. Mengukur diameter luar benda.....	318
5.121. Membaca ukuran dengan bantuan mistar baja.....	318
5.122. Jangka pincang.....	319
5.123. Mengukur pembukaan kaki dengan mistar baja.....	320
5.124. Cara membuat garis sejajar.....	320
5.125. V Blok.....	321
5.126. Pemakaian V blok.....	321
5.127. Klem C. ....	322
5.128. Klem sejajar. ....	322
5.129. Memberikan pewarna pada permukaan benda kerja.....	323
5.130. Melakukan pekerjaan menggaris dan menitik.....	324

<b>Gambar</b>	<b>Halaman</b>
6.1. Ragum .....	328
6.2. Tinggi pemasangan ragum pada meja kerja .....	328
6.3. Pelapis rahang ragum.....	329
6.4. Cara penjepitan beberapa jenis bahan benda kerja... ..	330
6.5. Pengikatan benda kerja pada ragum.....	331
6.6. Posisi penjepitan benda kerja pada ragum.....	331
6.7. Palu keras.....	332
6.8. Mengeling dengan palu konde.....	333
6.9. Palu lunak.....	334
6.10. Tang kombinasi.....	335
6.11. Tang potong.....	335
6.12. Tang pembulat.....	336
6.13. Tang pipa.....	336
6.14. Kikir dan nama bagian-bagiannya .....	337
6.15. Jenis gigi pemotong kikir .....	338
6.16. Kikir rata.....	338
6.17. Macam kikir instrumen .....	339
6.18. Cara memegang tangkai kikir .....	340
6.19. Mengikir kasar/pengikiran awal .....	341
6.20. Pengikiran ringan.....	341
6.21. Pengikiran benda kerja tipis.....	342
6.22. Posisi badan dan kaki saat pengikiran .....	342
6.23. Cara mengikir silang .....	344
6.24. Mengikir searah dengan panjang benda kerja.....	345
4.25. Mengikir lubang segi empat.....	346
6.26. Mengikir radius luar .....	347
6.27. Sikat kikir .....	347
6.28. Cara membersihkan kikir .....	348
6.29. Cara menyimpan kikir .....	348
6.30. Bagian-bagian gergaji tangan.....	349
6.31. Pahat tangan .....	359
6.32. Macam-macam pahat rata.....	351
6.33. Bentuk pahat tangan .....	351
6.34. Cara memegang pahat yang benar .....	353
6.35. Posisi berdiri saat memahat .....	353
6.36. Kepala Pahat .....	354
6.37. Pembatas meja kerja .....	355
6.38. Mengasah Mata Pahat .....	356
6.39. Skrap rata .....	357
6.40. Skrap setengah bulat.....	358
6.41. Skrap mata segi tiga .....	358
6.42. Macam-macam skrap .....	359
6.43. Gerakan pengasahan pada batu asah .....	360
6.44. Menajamkan mata potong .....	360
6.45. Menyekrap rata.....	361
6.46. Menyekrap dengan skrap setengah bulat.....	362

<b>Gambar</b>	<b>Halaman</b>
6.47. Tap .....	363
6.48. Snei dan Tap .....	363
6.49. Tap konis .....	364
6.50. Tap antara .....	364
6.51. Tap rata .....	365
6.52. Tangkai tap .....	365
6.53. Penjepitan benda kerja dan pemasangan tap .....	366
6.54. Pemasangan tap dan pemeriksaan kesukuan .....	367
6.55. Langkah awal pengetapan .....	367
6.56. Pemberian minyak pelumas .....	368
6.57. Snei pejal .....	368
6.58. Snei bercelah (Split die) .....	369
6.59. Pemegang snei .....	369
6.60. Mempersiapkan benda kerja .....	370
6.61. Langkah penguliran .....	371
6.62. Pemerluas lubang (reamer) .....	372
6.63. Memperluas lubang tirus .....	373
7.1 Jenis-jenis sambungan pada pelat .....	380
7.2 Langkah-langkah pengerjaan sambungan alas ganda .....	381
7.3 Sambungan berimpit .....	381
7.4 Penguatan sambungan berimpit .....	382
7.5 Sambungan sudut alas .....	382
7.6 Sambungan bilah .....	383
7.7 Sambungan Tutup melengkung .....	383
7.8 Langkah pembentukan sambungan alas silinder .....	384
7.9 Jenis-jenis kepala paku keling .....	385
7.10 Paku Tembak (blind rivet) .....	387
7.11. Pilot countersink .....	388
7.12. Drill Bit countersink .....	388
7.13. Pemasangan Rivet countersink .....	388
7.14 Gun Blind Rivet .....	389
7.15 Pemasangan Paku Tembak .....	389
7.16 Proses Pemasangan .....	390
7.17. Skema penyolderan .....	391
7.18. Solder Listrik .....	392
7.19. Solder Pemanas LPG .....	393
7.20. Solder Pemanas arang Kayu .....	393
7.21 Penyolderan .....	393
7.22. Proses Penyolder .....	394
7.23 Brazing .....	395
7.24 Brander untuk brazing .....	397
7.25 Fluks .....	397
7.26 Bahan Tambah .....	397
7.27 Brazing Mata Pahat Bubut .....	397

<b>Gambar</b>	<b>Halaman</b>
7.28. Proses Brazing di Industri.....	398
7.29. Las Resistansi Titik.....	399
7.30. Las resistasi titik dengan penggerak tuas tangan .....	400
7.31. Las resistansi titik dengan penggerak tuas.....	400
7.32. Penyetelan batang penyangga elektroda .....	401
7.33. Las Resistansi.....	401
7.34. Proses Las Resistansi .....	402
7.35. Skema Pengelasan.....	403
7.36. Polaritas arus pengelasan .....	405
7.37. Trafo Las dan Kelengkapannya .....	406
7.38. Meja Las .....	406
7.39. Ruang las .....	407
7.40. Perlengkapan Keselamatan Kerja Las Busur Nyala ...	408
7.41. Berbagai macam posisi pengelasan .....	409
7.42. Sambungan sudut.....	410
7.43. Kampuh V .....	410
7.44. Latihan mengelas Posisi 2 F.....	411
7.45. Beberapa model pengelasan .....	412
7.46. Teknik Ayunan dalam pengelasan di bawah tangan ..	413
7.47. Teknik Mengelas Kampuh Sudut .....	413
7.48. Teknik mengelas Pada Posisi Vertikal Up .....	414
7.49. Pengelasan posisi Over head.....	415
7.50. Jalur las dilihat secara visual .....	416
7.51. Kriteria hasil pengelasan .....	417
7.52. Proses pengelasan pipa di lapangan.....	418
7.53. Sambungan Las yang Mengalami Keretakan .....	418
7.54. Kawat Las/Elektroda.....	421
7.55. Proses Las Oksi-asetilin .....	428
7.56. Generator asetilen .....	429
7.57. Brander Las Asetilen .....	430
7.58. Nyala api Oksi-asetilen .....	432
7.59. Regulator Oksigen .....	437
7.60. Regulator Asetilen .....	437
7.61. Selang Gas .....	440
7.62. Las Asetelin .....	442
7.63. Las TIG .....	443
7.64. Skema pengelasan las TIG .....	444
7.65. Diagram rangkaian listrik dari mesin las listrik DC.....	445
7.66. Pengaruh polaritas pada pengelasan TIG .....	446
7.67. Skema las TIG .....	447
7.68. Contoh Pengerjaan Las TIG .....	448
7.69. Rangkaian Las TIG.....	448
7.70. Mulut pembakar ( <i>Welding Torch</i> ) dengan pendinginan air .....	450
7.71. Jenis pelindung nozel .....	451
7.72. Nozel las TIG .....	451

<b>Gambar</b>	<b>Halaman</b>
7.73. Botol gas pelindung .....	453
7.74. Regulator dan Flowmeter .....	454
7.75. Flowmeter dan Ekonomiser .....	455
7.76. Jenis Alat untuk Membersihkan Permukaan .....	455
7.77. Cara Memasang Peralatan Las TIG .....	454
7.78. Membuka Keran Katup Silinder .....	457
7.79. Sistem Saluran Daya, Gas dan Air Pendingin .....	457
7.80. Posisi Pengelasan dengan TIG .....	460
7.81. Posisi memegang gagang mulut pembakar (torch) .	461
7.82. Posisi sudut elektroda tungsten dan arah pengelasan bawah tangan .....	461
7.83. Mesin Las TIG semi-otomatis .....	463
7.84. Mesin Las TIG.....	463
7.85. Pemindahan Sembur pada las MIG.....	464
7.86. Bagian-bagian Utama Wire Feeder .....	467
7.87. Torch Las MIG .....	467
7.88. Sepatu Kabel .....	468
7.89. Silinder dan Regulator Gas Pelindung .....	469
7.90. Sikat baja .....	469
7.91. Smit tang .....	479
7.92. Pemotongan kawat .....	470
7.93. Perlengkapan GMAW/MIG .....	471
7.94. Penyetelan wire Feeder .....	472
7.95. Proses pengelasan las MIG .....	476
7.96. Operasional las MIG .....	476
7.97. Power supply Las MIG.....	477
7.98. Mesin Las MIG.....	478
7.99. Takikan bawah .....	478
7.100. Penumpukan logam las .....	479
7.101. Keropos.....	479
7.102. Kurang pencairan.....	479
7.103. Tercemar oleh tungsten .....	480
7.104. Terperangkap kotoran.....	480
7.105. Retak.....	481
7.106. Las catat .....	482
7.107. Menggunakan klem.....	483
7.108. Menggunakan pelat punggung .....	483
7.109. Teknik pengelasan berurutan .....	483
7.110. Klasifikasi ulir segi tiga.....	485
7.111. Gambar baut tembus, tap dan tanam .....	487
7.112. Jenis-jenis baut .....	488
7.113. Macam-macam Sekrup Mesin .....	488
7.114. Jenis-jenis mur .....	488
7.115. Gambar Sekrup.....	489

<b>Gambar</b>		<b>Halaman</b>
8.1.	Prinsip Kerja pemotongan .....	492
8.2.	Mesin Potong Otomatis/Mesin Gullotin otomatis .....	493
8.3.	Proses Pemotongan Otomatis .....	494
8.4.	Proses pemotongan gunting .....	494
8.5.	Gunting tangan lurus.....	495
8.6.	Proses Pemotongan dengan gunting lurus.....	495
8.7.	Gunting tangan lingkaran.....	496
8.8.	Proses pemotongan dengan gunting Lingkaran .....	496
8.9.	Gunting tangan kombinasi .....	496
8.10.	Proses pemotongan dengan gunting kombinasi.....	497
8.11.	Gunting kombinasi dengan penahan .....	497
8.12.	Gunting kanan.....	498
8.13.	Gunting lingkaran.....	498
8.14.	Gunting tuas .....	498
8.15.	Bagian-bagian gunting tuas .....	499
8.16.	Pemotongan Pelat dengan pahat .....	499
8.17.	Posisi pahat untuk pemotongan Pelat .....	500
8.18.	Gergaji Tangan .....	501
8.19.	Langkah pemotongan .....	503
8.20.	Pemasangan daun mata gergaji .....	504
8.21.	Memegang gergaji tangan .....	504
8.22.	Pemotongan pendahuluan.....	505
8.23.	Cara memotong bahan panjang .....	505
8.24.	Penjempitan pipa tipis pada ragum.....	506
8.25.	Cara memotong pipa. ....	506
8.26.	Mesin Gergaji Pita.....	507
8.27.	Posisi mesin guillotine.....	508
8.28.	Hasil pemotongan Pelat.....	509
8.29.	Bagian mesin Gullotine .....	509
8.30.	Mesin Gullotine Manual .....	510
8.31.	Gullotine Mesin .....	510
8.32.	Mesin Gunting Hidrolik.....	512
8.33.	Mesin Potong Plane Hidrolik.....	512
8.34.	Mesin Gunting Putar .....	513
8.35.	Mesin gunting lingkaran .....	513
8.36.	Mesin Pemotongan Melingkar .....	514
8.37.	Mesin Gunting Melingkar .....	514
8.38.	Mesin Wibler .....	515
8.39.	Mesin Potong Vertikal .....	516
8.40.	Mesin Gerinda Potong .....	516
8.41.	Penampang sepanjang garis potong pada pemotongan oksigen.....	518
8.42.	Brander Potong Las Asetilen .....	518
8.43.	Proses Pemotongan dengan Asetilen.....	519
8.44.	Pemotongan las busur Plasma .....	520
8.45.	Mesin Potong plasma (Plasma Cutting).....	521

<b>Gambar</b>	<b>Halaman</b>
8.46. Mesin Potong Tenaga Laser .....	521
8.47. Bentuk penampang potongan .....	522
9.1. Hasil Produk Pelat Tipis dan Pelat Tebal untuk Konstruksi alat pengolahan Hasil Pertanian dan Turbin air Skala Kecil .....	528
9.2. Pemotongan .....	530
9.3. Penembukan .....	530
9.4. Penembukan dengan penahan pegas .....	530
9.5. Pembengkokan .....	531
9.6. Bending U .....	531
9.7. Squeezing .....	531
9.8. Squeezing Tutup Botol .....	532
9.9. Press .....	532
9.10. Penguatan Tepi .....	532
9.11. Spring Back pada Pelat .....	535
9.12. Proses Bending dan Faktor- K .....	536
9.13. Palu Besi Segiempat dan Bulat .....	538
9.14. Palu Besi Kombinasi segi empat dan tirus serta Bulat .....	538
9.15. Palu Besi Kombinasi Bulat rata& Bola dan Pipih .....	538
9.16. Palu Kayu Kepala Bulat dan Palu Karet Bulat .....	539
9.17. Palu Karet Persegi .....	539
9.18. Palu Plastik Palu Kombinasi dan Bulat .....	539
9.19. Palu Kayu Tirus dan Palu Rata .....	540
9.20. Macam-macam Landasan .....	540
9.21. Kombinasi .....	541
9.22. Rata .....	541
9.23. Bulat .....	541
9.24. Kombinasi Silinder dan Tirus .....	541
9.25. Seperempat Bola .....	542
9.26. Kombinasi rata Kerucut .....	542
9.27. Kombinasi silinder .....	542
9.28. Sudut 45° dan Kerucut .....	542
9.29. Pipa .....	542
9.30. Alur .....	542
9.31. Kombinasi Tirus dan silinder .....	543
9.32. Kedudukan Landasan .....	543
9.33. Pembentukan secara manual .....	545
9.34. Pembentukan Mangkuk .....	545
9.35. Pengecekan radius benda .....	546
9.36. Pembentukan Pipa Lengkung .....	546
9.37. Langkah Proses Tekuk .....	548
9.38. Langkah awal Tekuk .....	548
9.39. Penekukan Pelat .....	549
9.40. Sudut Tekuk .....	549

<b>Gambar</b>	<b>Halaman</b>
9.41. Bentangan pada Proses Tekuk.....	550
9.42. Konstruksi Mesin Tekuk/Lipat .....	550
9.43. Jenis Lipatan .....	551
9.44. Langkah proses tekuk untuk sambungan lipat.....	551
9.45. Penekukan bidang Lengkung .....	552
9.46. Mesin Bending Hidrolik .....	552
9.47. Proses Bending Dies dan Punch .....	553
9.48. Mesin Lipat Universal.....	554
9.49. Mesin Lipat Universal.....	555
9.50. Berbagai macam Tipe Punch dan Dies .....	555
9.51. Langkah Bending Untuk Proses Bending Sisi Tepi Pelat menjadi Bentuk Silinder memanjang di Sepanjang tepi Pelat .....	556
9.52. Bentangan Pelat dengan Tipe Bend Allowanced dan Bend Reduction .....	556
9.53. Kelengkungan pada Proses Bending.....	557
9.54. Aplikasi proses tekuk .....	558
9.55. Perkembangan Mesin Tekuk yang di Industri Hydraulic Bending Machine NC .....	560
9.56. Proses pengerolan Pelat Tebal di Industri Pengerolan dilakukan dengan menggunakan Motor Listrik sebagai penggerak dan sistem penekannya menggunakan Hidrolik Sistem .....	561
9.57. 21 Tipe susunan Rol Jepit .....	562
9.58. Tipe Susunan Rol Piramide .....	562
9.59. Tipe Susunan Rol Kombinasi Jepit dan Piramide.....	563
9.60. Grafik Tegangan Regangan Baja Carbon dan Baja Karbon Tinggi.....	566
9.61. Mesin Rol Kombinasi Tipe Jepit dan Piramide .....	567
9.62. Macam-macam Kesalahan pada Proses Pengerolan.....	568
9.63. Aplikasi proses pengerolan yang ada di Industri .....	569
9.64. Proses peregangan.....	573
9.65. Efek peregangan.....	573
9.66. Proses Blanking untuk Penembukan Pelat.....	574
9.67. Proses Blanking Pelat menjadi Bentuk bulat dan persegi tak tentu .....	575
9.68. Peletakan benda kerja pada Proses Blanking .....	576
9.69. Proses Blanking untuk pembuatan Ring Pelat.....	577
9.70. Mesin Blanking Pelat .....	578
9.71. Punch dan Dies .....	578
9.72. Bentuk Punch.....	579
9.73. Menentukan Titik Berat Punch.....	579
9.74. Aplikasi Penggunaan Hasil Proses Blanking .....	580
9.75. Proses Drawing.....	581
9.76. Blank dan draw piece.....	581

<b>Gambar</b>	<b>Halaman</b>
9.77. Mesin Deep Drawing .....	582
9.78. Proses drawing .....	583
9.79. Beberapa macam bentuk draw piece .....	584
9.80. Langkah Proses Deep Drawing .....	584
9.81. Bagian Utama Die Drawing.....	585
9.82. Metoda Penekanan Gaya Tunggal .....	589
9.83. Metoda Penekanan Gaya Ganda .....	590
9.84. Pembuatan Mangkuk pada proses Deep Drawing ...	591
9.85. Contoh Produk Deep Drawing .....	591
9.86. Mesin Press .....	592
9.87. Mesin <i>Squeezing</i> sistem hidrolik .....	594
9.88. Produksi dari proses pressing mangkuk dalam jumlah besar. ....	594
9.89. Peralatan Mesin Press.....	595
9.90. Hasil Produk Jadi Proses Squeezing Kereta Api Cepat Dan Mobil .....	595
9.91. Proses Spinning untuk pembentukan Pelat.....	596
9.92. Proses Spinning .....	597
9.93. Tool spinning.....	597
9.94. Eretan Atas rest .....	598
9.95. Proses Spin .....	598
9.96. Tool Pembentuk .....	599
9.97. Proses finishing.....	599
9.98. Produksi Spinning Proses1 .....	600
9.99. Produksi Spinning Proses2.....	600
9.100. Komponen Hasil Produk Spinning .....	601
9.101. Pelat tanpa penguatan .....	602
9.102. Pelat dengan penguatan.....	602
9.103. Macam-macam penguatan Tepi .....	603
9.104. Penguatan Tepi dengan Lipatan.....	604
9.105. Macam-macam penguatan tepi dengan cara dipress .....	604
9.106. Penguatan Tepi dengan Proses Jogle.....	605
9.107. Penguatan Body .....	605
10.1. Grafik Kecepatan Pendinginan (Hubungan Suhu dengan waktu Pendinginan) .....	613
10.2. Dapur Tempa .....	614
10.3. Dapur Tempa sederhana.....	616
10.4. Landasan Paron .....	617
10.5. Landasan Datar dan Landasan Profil .....	617
10.6. Macam-Macam Smed Tang .....	618
10.7. Macam-macam Palu Tempa .....	619
10.8. Beberapa Jenis Palu Tempa .....	620
10.9. Mesin Hammer .....	621
10.10. Bagian Utama Mesin Hammer.....	622

<b>Gambar</b>	<b>Halaman</b>
10.11. Bak Pendingin .....	623
10.12. Penjepit Hidrolik .....	623
10.13. Ragum Tempa .....	623
10.14. Proses Penempaan Alat Pertanian Parang .....	624
10.15. Parang Hasil Tempa .....	624
10.16. Penempaan di Atas Landasan .....	625
10.17. Proses penempaan pembuatan parang .....	625
10.18. Penempaan Parang Panjang .....	626
10.19. Proses Tempa dengan Mesin Hammer .....	626
10.20. Mesin Hammer Konvensional .....	627
10.21. Tempa dengan menggunakan Die .....	628
10.22. Beberapa Model Penempaan .....	628
10.23. Hasil Produksi Tempa 1 .....	629
10.24. Hasil Produksi Tempa 2 .....	629
10.25. Proses Pembentukan Ekstrusi Dingin.....	632
10.26. Metode Pembentukan Ekstrusi .....	632
10.27. Metode penekanan Bantang .....	633
10.28. Langkah Pembentukan Kepala .....	633
10.29. Pembentukan Kepala Paku Keling .....	634
10.30. Hasil Produk Ekstrusi 1 .....	634
10.31. Hasil dari Proses Ekstrusi 2 .....	635
10.32. Diagram Batas Pembentukan Keeler Goodwin .....	636
10.33. Kemampuan Bentuk (Wood Cs) .....	637
10.34. Hub. Regangan Perentangan dengan Kurva Tegangan-Regangan .....	639
11.1. Macam-macam Screw, Baut dan Mur .....	648
11.2. Kotak Persegi .....	648
11.3. Kotak Saluran .....	649
11.4. Silinder .....	650
11.5. Silinder dengan pengawatan .....	651
11.6. Elbow persegi .....	652
11.7. Kotak Alat .....	653
11.8. Ember .....	654
11.9. Cerocok .....	655
11.10. Kotak Trapesium.....	656
11.11. Saluran Trapesium .....	657
11.12. Trapesium Eksentrik .....	658
11.13. Kotak Panjang .....	659
11.14. Kotak Bertutup .....	660
11.15. Perakitan kotak sampah .....	661

## DAFTAR TABEL

Tabel.	Halaman
3.1. Sifat teknis bahan yang perlu diperhatikan dalam pemilihan bahan. ....	72
3.2. Klasifikasi baja karbon .....	76
3.3. Klasifikasi besi cor .....	77
3.4. Ketebalan Pelat B.S 4391.....	108
3.5. Ketebalan Pelat ISWG.....	108
3.6. Komposisi Khas dari Paduan-paduan yang Umum .....	113
3.7. Komposisi dan sifat-sifat jenis baja paduan martensit Komposisi: 18% N, 8% Co, 5% Mo, 0,4% Ti .....	129
4.1. Bahasa dan Gambar.....	153
4.2. Kerangka dan bidang-bidang kerja ISO/TC 10.....	159
4.3. Harga sudut-sudut proyeksi dan skala perpendekan dalam proyeksi aksonometri. ....	179
6.1. Hubungan besar sudut mata potong dengan jenis bahan yang akan dipotong .....	352
7.1. Dimensi rivet B.S 4620 .....	386
7.2. Dimensi Spesial Blind River.....	387
7.3. Fluks dan penggunaannya .....	392
7.4. Komposisi Solder Lunak.....	394
7.5. Komposisi solder keras.....	396
7.6. Arti digit keempat dari elektroda .....	423
7.7. Kuat arus dan Tebal bahan dan dia elektrode.....	425
7.8. Hubungan Tebal Bahan, Nomor Tip Nozzle, dan Tekanan Gas .....	430
7.9. Perbedaan selang oksigen dan asetilen.....	440
7.10. Penggunaan Mesin las TIG untuk beberapa logam ....	447
7.11. Ketentuan umum penyetelan/pengaturan besaran arus dan tegangan pengelasan berdasarkan diameter kawat elektroda.....	473
7.12. Perbandingan penggunaan gas pelindung .....	475
7.13. Klasifikasi ulir segi tiga dalam ukuran Inchi dan metrik.....	485
7.14. Ukuran Standar Ulir Kasar Metris (JIS B.0205).....	486
7.15. Bahan Baut, Mur dan Skrup .....	487
8.1. Hubungan antara besar ukuran bahan dan jenis bahan dengan jenis daun mata gergaji.....	503
8.2. Suaian pisau mesin guillotine .....	508
8.3. Klasifikasi cara pemotongan.....	517
9.1. Klasifikasi Cold Working .....	533
9.2. Jenis material dan kecepatan maksimal <i>draw dies</i> .....	589
10.1. Warna Pembakaran dan Temperatur .....	615
10.2. Forging 1.....	630

10.3. Forging 2.....	630
10.4. Forging 3.....	631

ISBN 978-979-060-101-7  
ISBN 978-979-060-102-4

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. 16.962,00