

SIFAT - SIFAT FISIK LOGAM DAN PERLAKUAN - PANASNYA

MILIK UPT PERPUSTAKAAN IKIP PADANG

Oleh DR. DJASIMAN

DATE IMPL. TEL 20 Mar 1973

NO. KOL. 170

NO. VOLUME 240/170/73-50/27

CALL NO 669.01 Djs 50



Fakultas Pendidikan Teknologi & Kejuruan
Institut Keguruan & Ilmu Pendidikan
PADANG
1992

KATA PENGANTAR

Penulis mengucapkan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena dapat menyelesaikan penyusunan buku ini. Disadari sepenuhnya, kalau buku ini banyak kelemahan dan kekurangan baik dari segi materi, bahasa maupun cara penyajiannya. Oleh sebab itu kritik dan saran pembaca dan sejawat sangat ditunggu untuk perbaikannya di masa yang akan datang.

Buku ini diterjemahkan dari buku MACHINE TOOLS AND MACHINING PRACTICES VOLUME II, seksi G halaman 261-329 karya WHITE, NEELY, KIBBE, & MEYER (1977). Namun dalam mencerna dan memahami isi serta konteks masalah yang dijelaskan oleh White dkk, penyusun memadu dan merangkum bahan dari sumber lain. Penyusun tetap menyatakan bahwa karya ini pada dasarnya adalah terjemahan dari sumber utama yang disebutkan di atas.

Penterjemahan ini didorong oleh keinginan untuk ikut menyumbangkan dan melengkapi kepustakaan di bidang teknologi, khususnya bidang ILMU BAHAN. Pengalaman penterjemah sebagai seorang staf pengajar jurusan Pendidikan Teknik Mesin FPTK IKIP Padang sejak tahun 1977 memberi petunjuk bahwa pelajar bidang ini sering mengalami kesulitan mendapatkan buku bacaan yang dapat memperkaya dan melengkapi hasil kuliah mereka. Oleh sebab itu, penterjemah memberanikan diri untuk menerbitkan karya ini sebagai pelengkap kepustakaan yang telah ada, terutama yang berbahasa Indonesia.

Dalam kesempatan yang baik ini penterjemah ingin mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah memungkinkan diterbitkannya karya ini, antara lain :

- 1) Drs. Fasrijal Yakub, Dekan FPTK IKIP Padang,
- 2) DR. Agamuddin M.Ed. Ketua Jurusan Pendidikan Teknik Mesin FPTK IKIP Padang,
- 3) DR. Kumaidi M.A. dan rekan-rekan dosen jurusan Pendidikan Teknik Mesin lainnya, atas segala bantuan dan dorongan yang diterima penterjemah.

Tak lupa terima kasih juga disampaikan kepada anggota keluarga penterjemah, Syafniwati (istri), dan Fera, Reni, serta Iwan (anak) atas pengertian dan kesabaran selama kepala keluarga mereka menghabiskan banyak waktu untuk menyelesaikan terjemahan ini, serta pemberian semangat sampai karya ini dapat diselesaikan.

Akhirnya, sekali lagi penterjemah menunggu kritik dan saran dari pembaca dan sejawat untuk perbaikan dan penyempurnaan karya ini di masa yang akan datang.

Padang, Februari 1992

Drs. Djasiman

DAFTAR ISI

BAB	HALAMAN
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vi
I. PENDAHULUAN	1
1. Sifat-sifat Fisik dan Perlakuan Panas Logam.	1
2. Kompetensi	5
3. Pertanyaan Formatif	5
II. SIFAT-SIFAT MEKANIK DAN FISIK LOGAM	6
1. Pengetahuan yang Diharapkan	6
2. Pengantar	7
3. Kekerasan	7
4. Kekuatan	10
5. Elastisitas	16
6. Plastisitas	20
7. Kegetasan	20
8. Modulus Elastisitas	21
9. Keliatan	22
10. Mampu Tempa	22
11. Ketangguhan Takik	23
12. Kelelahan	27
13. Kekuatan Rangkak	28
14. Kerak	30
15. Tahan Korosi	30
16. Logam-logam Pada Temperatur Rendah	30
17. Pemuaian dan Daya Hantar Logam	32
18. Pemuaian Panas	33
19. Beberapa Peristiwa Penuntun Pengetahuan Pemuaian Panas	34
20. Pertanyaan Formatif	36
21. Petunjuk Praktikum	38

III.	STRUKTUR KRISTAL LOGAM	45
	1. Informasi	45
	2. A t o m	45
	3. Ikatan	46
	4. Logam dan Non Logam	50
	5. Struktur Kisi Kristal	50
	6. Batas Butir	53
	7. Kisi Kubik Pemusatan Ruang	54
	8. Kisi Kubik Pemusatan Sisi	55
	9. Kisi Hexagon Tumpukan Padat	56
	10. Perubahan Kristal Selama Pemanasan	57
	11. Pentingnya Ukuran Butir	60
	12. Klasifikasi Ukuran Butir	60
	13. Larutan, Cair, dan Zat Padat	61
	14. Jenis-jenis Larutan	62
	15. Pertanyaan Formatif	67
	16. Petunjuk Praktikum	69
IV.	DIAGRAM FASA UNTUK BAJA	72
	1. T u j u a n	72
	2. Informasi	72
	3. Perubahan Fasa Besi	75
	4. Diagram Besi Karbon	76
	5. Daerah Besi Delta	77
	6. Pembagian Baja	78
	7. Mikrostruktur	78
	8. Pendinginan Lambat Baja Karbon 1020	82
	9. Pendinginan Lambat Baja Karbon 1095	83
	10. Memanaskan Baja 1020	83
	11. Unsur-unsur Paduan dan Diagram Besi Karbon	85
	12. Pertanyaan Formatif	88
	13. Petunjuk Praktikum	91
V.	DIAGRAM I-T DAN KURVE PENDINGINAN	94
	1. T u j u a n	94
	2. Informasi	94

	3. Hasil Kerja Transpormasi	95
	4. Diagram Transpormasi Isothermal	96
	5. Kurve Lengkung	99
	6. Laju Pendinginan Kritis	100
	7. Pertanyaan Formatif	106
	8. Petunjuk Praktikum	108
VI.	KAMPU KERAS BAJA DAN MARTENSIT YANG DITEMPER. .	110
	1. T u j u a n	110
	2. Informasi	110
	3. Hasil Transpormasi	117
	4. Langkah-langkah Penyepuhan	117
	5. Pemudaan Martensit	121
	6. Pertanyaan Formatif	125
	7. Petunjuk Praktikum	127
VII.	PERLAKUAN PANAS BAJA	132
	1. T u j u a n	132
	2. Informasi	132
	3. Media Pendingin	134
	4. Penemperan	140
	5. Masalah-masalah Perlakuan Panas	141
	6. Pertanyaan Formatif	151
	DAFTAR KEPUSTAKAAN	156

DAFTAR TABEL

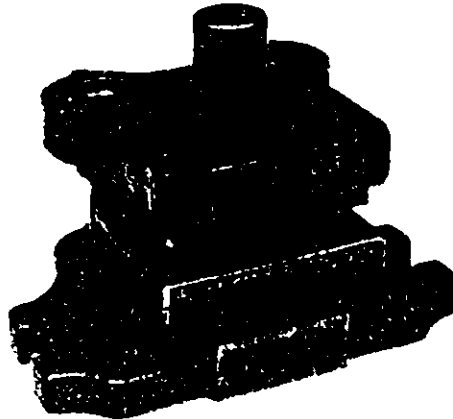
TABEL.	HALAMAN
1. Kekuatan Bahan	14
2. Sifat-sifat Mekanik Baja SAE 1015	18
3. Sifat-sifat Mekanik Baja SAE 1095 Pendinginan Air .	19
4. Kekeuatan Rangkak Beberapa Paduan	29
5. Sifat-sifat Beberapa Logam Biasa	51
6. Data Pengaruh Massa Baja SAE 4140	147

BAB I

PENDAHULUAN

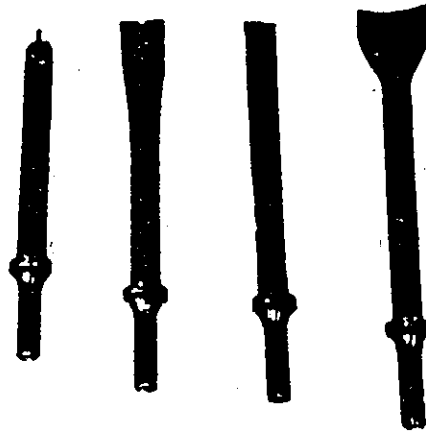
1. Sifat-sifat Fisik dan Perlakuan Panas Logam

Jika baja yang tersedia untuk perlakuan panas adalah baja karbon sedang atau tinggi, kita hanya memerlukan pengetahuan minimal tentang karakteristik logam. Logam dipanaskan sampai merah jambu dan segera didinginkan dengan air atau garam, kemudian disepuh, biasanya melalui pengontrolan warna untuk mendapatkan ketangguhan yang tepat sesuai dengan keperluannya. Dewasa ini banyak permintaan baja perkakas, mencakup pengerasan baja sampai ke dalaman tertentu, misal blok-blok mesin yang harus dikeraskan sampai pada bagian-bagian yang dalam (gambar 1.1).



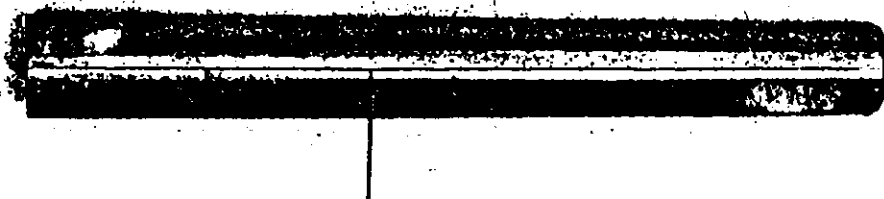
Gambar 1.1 Komponen mesin seperti Blok Mesin dicetak dilaku - panas sesuai dengan spesifikasi (lane community college).

Pengerasan baja dengan air hanya mengeraskan bagian permukaan logam atau pengeras lapisan yang tipis kira-kira tiga mili meter. Beberapa baja perkakas digunakan untuk berbagai tujuan seperti beban kejutan (gambar 1.2.) atau tahan panas.



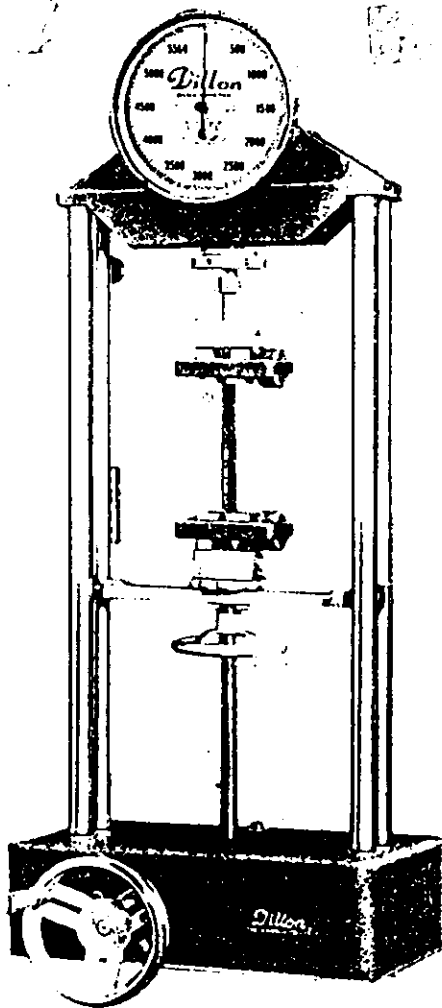
Gambar 1.2. Hammer udara harus tahan kejutan, menghendaki baja khusus (lane community college)

Perlakuan panas bukan merupakan proses yang sederhana, karena mencakup berbagai proses dengan prosedur yang sangat kompleks untuk menghindari kemungkinan kegagalan seperti retak karena pendinginan (lihat gambar 1.3).

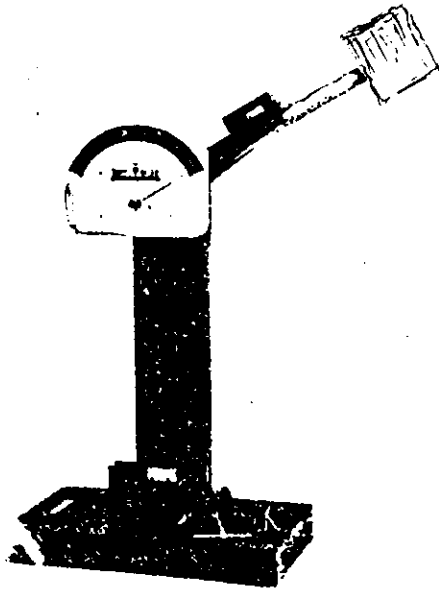


Gambar 1.3. Retak akibat pendinginan komponen, ini terjadi karena cara-cara perlakuan panas yang salah. (lane community college)

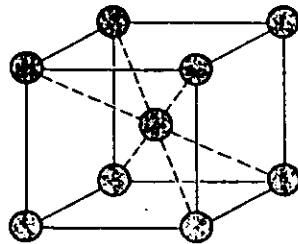
Orang yang ingin melaku-panas mesti mengetahui dan memahami tingkah laku logam dan prosedur pengujian sifat-sifat mekaniknya. Sifat-sifat mekanik dan cara pengujiannya, terutama pengujian tarik atau ketangguhan kepatahan (notch) (gambar 1.4 dan 1.5) merupakan bagian yang akan dibahas pada bagian awal buku ini. Di samping itu, pengetahuan struktur bahan atau kristal (gambar 1.6) merupakan pengetahuan dasar yang harus diketahui oleh orang yang ingin melaku-panas. Pengetahuan struktur kristal, juga akan dibahas dalam buku ini.



Gambar 1.4. Mesin penguji tarik
(Photo courtesy of W.C.
Dillon & Company, Inc)



Gambar 1.5. Mesin penguji pukul takik dari Izod-Charpy (The Tinius Olsen Testing Machine Co, Inc)



Gambar 1.6. Kristal pemusatan ruang Ferit yang temperatur fase besinya rendah

2. Kompetensi

Yang dapat dicapai setelah mempelajari buku ini :

1. Perbedaan unsur-unsur dan pembentukan atom - atomnya menjadi kristal paduan.
2. Perbedaan bahan-bahan seperti senyawa karbon dan besi dengan besi karbon murni.
3. Cara membuat grafik berbagai prosentase unsur - unsur dan cara menentukan strukturnya.
4. Cara menentukan dan menguji kekerasan baja atau kedalaman pengerasan.

3. Pertanyaan Formatif

1. Bagaimana cara seorang pelaku-panas menentukan temperatur yang tepat untuk pengerasan tanpa menggunakan alat pengukur temperatur (thermocouples) ?

2. Bahan pendingin apa yang harus dipakai untuk pengerasan baja karbon ?.

3. Apakah pengerasan baja karbon sampai tingkat kedalaman tertentu dapat dilaksanakan ? Beri penjelasan singkat !.

4. Apa yang akan terjadi jika proses perlakuan panas tidak dikerjakan secara tepat ?.

5. Apa yang harus diketahui seorang pelaku-panas selain pengetahuan tentang cara pengerasan atau pelunakan berbagai jenis baja ?.

BAB II

SIFAT-SIFAT MEKANIK DAN FISIK LOGAM

Sifat mekanik suatu bahan menentukan kegunaannya dalam suatu konstruksi. Pengetahuan tentang sifat mekanik dan cara pengujiannya akan membantu pemilihan bahan untuk pembuatan konstruksi tertentu. Bab II ini mengantarkan konsep rangkai (creep), kerak (scaling), transisi kerapuhan (brittle transition), dan korosi. Pemahaman seluk beluk ini akan mempertajam wawasan pembaca berkaitan dengan pemilihan bahan untuk berbagai jenis konstruksi.

Logam adalah pengantar panas dan listrik. Logam juga memuai bila dipanaskan dan menyusut bila didinginkan. Pembaca akan dapat membandingkan konduktivitas dan pemuai beberapa logam.

1. Pengetahuan yang Diharapkan

Setelah membaca bab ini, pembaca akan dapat;

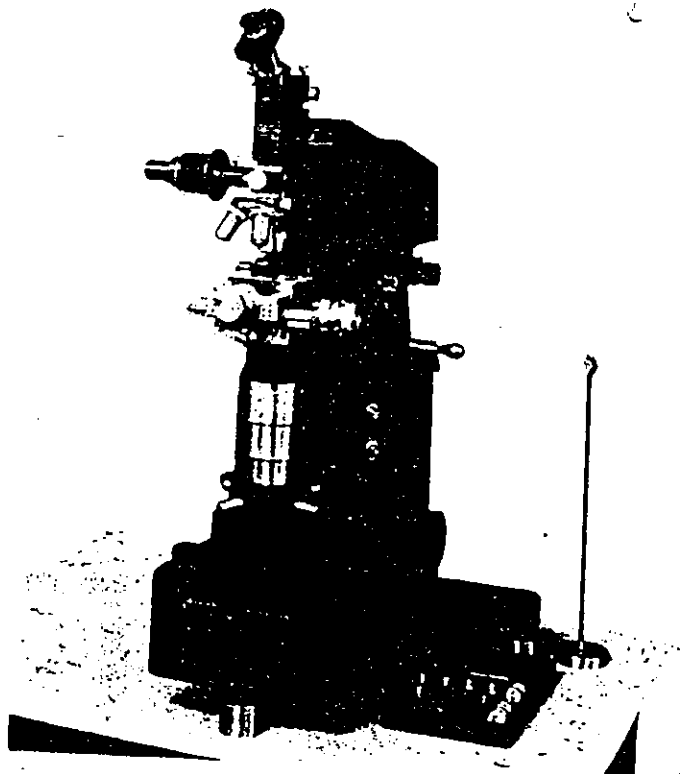
- 1) Menentukan dan menjelaskan sifat-sifat fisik dan mekanik logam secara benar.
- 2) Menjelaskan beberapa mesin pengujian dan kegunaannya termasuk rumus dan perhitungan yang diperlukan.
- 3) Menyiapkan benda kerja, melakukan pengujian, dan evaluasi pengujian pada mesin penguji-tarik.
- 4) Menyiapkan benda kerja untuk pengujian mesin penguji pukul takik dari Izod-Charpy, dan membuat percobaan - percobaan serta evaluasi.
- 5) Melaksanakan sebuah percobaan untuk mendemonstrasikan perbedaan daya hantar panas dari dua macam logam.
- 6) Melakukan suatu percobaan untuk mendemonstrasikan sifat (seluk beluk) kerak baja lunak dan baja tahan karat.

2. Pengantar

Pembaca, mungkin berbagai penjelasan tentang sifat-sifat mekanik logam (misalnya kegetasan/kerapuhan, liat/kenyal, elastis, kekerasan, mampu tempa, dan kekuatan) dapat dibaca dari sembarang buku pengetahuan logam. Sifat lain logam ialah kekuatan kelelahan, korosi logam pada temperatur tinggi, rangkak (creep), daya hantar panas, dan pemuaian logam. Tiap-tiap sifat mekanik dapat diuji dan evaluasi untuk menentukan kegunaan logam atau perlakuan panas untuk aplikasi tertentu. Berbagai sifat logam akan dijelaskan di bawah ini.

3. Kekerasan

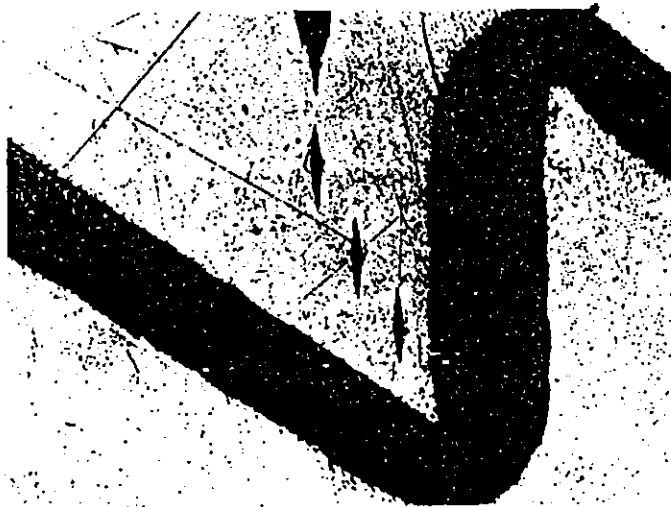
Sifat kekerasan jika diuji dengan mesin Brinell dan Rockwell akan diperlihatkan oleh kedalaman penekanan. Pengujian mikro-hardnes suatu logam, juga mengukur kedalaman penetrasi, biasa digunakan dalam laboratorium metalurgi.



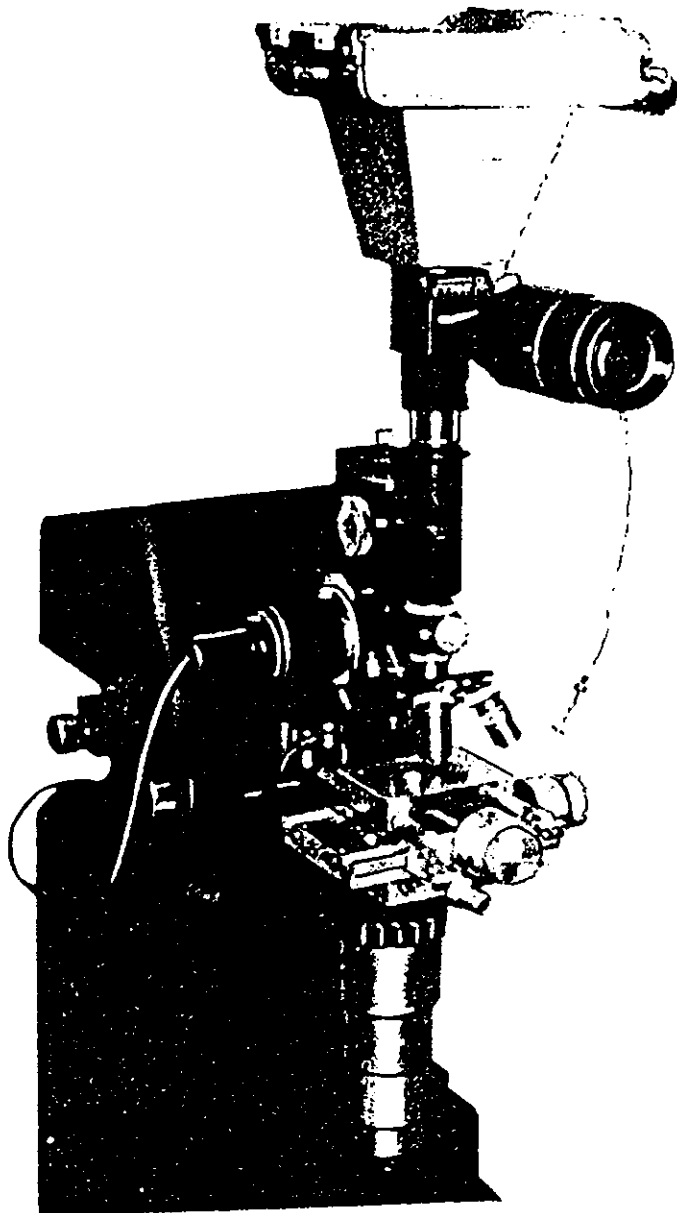
Gambar 2.1. Mesin penguji kekerasan Tukon
(Courtesy Of Wilson Instrument
Division of Acco)

Gambar 2.1 memperlihatkan mesin pengujian kekerasan Tukon yang dioperasikan memakai peluru knoop dan skala memiliki beberapa keuntungan antara lain :

- 1) Memiliki alat penginspersi bekas penekanan, yang "built-in".
- 2) Memiliki kepekaan pengujian, terutama untuk bagian-bagiannya yang lebih tipis (gambar 2.2).
- 3) Memiliki kamera polaroid yang dapat ditempelkan langsung pada mikroskop (gambar 2.3) untuk membuat grafik pengetesan.

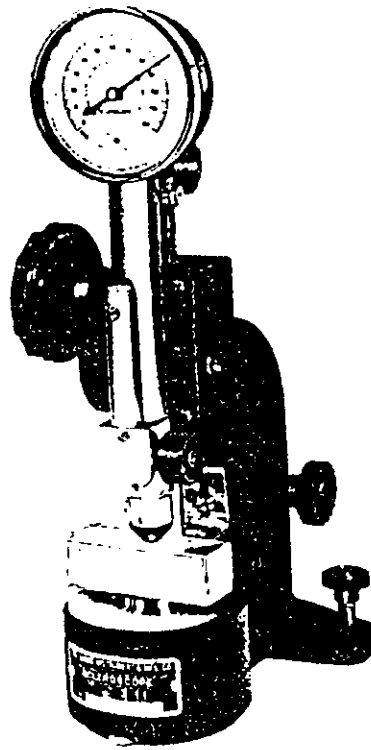


Gambar 2.2. Bekas penekanan (indentation) dalam gigi-gigi pisau gergaji. Perhatikan bekas-bekas penekanan pada pinggiran pengerjaan dingin menjadi lebih kecil. Pada penumpuan dua perangkat gigi gergaji dijalin serentak untuk menjaga pinggiran karena pemutaran waktu benda kerja dipolis (Courtesy of Wilson Instrumen Division of Acco)



Gambar 2.3. Kamera yang ditumpukan pada mikroskop untuk mengambil photomikrograph (Courtesy of Wilson Instrument Division of Acco).

Kekerasan elastis diukur dengan alat yang disebut Shore Scleroscope (gambar 2.4 dan 2.5), yang mengukur kelentingan hamer kecil berujung diamond ketika dijatuhkan bebas dari suatu ketinggian tertentu.



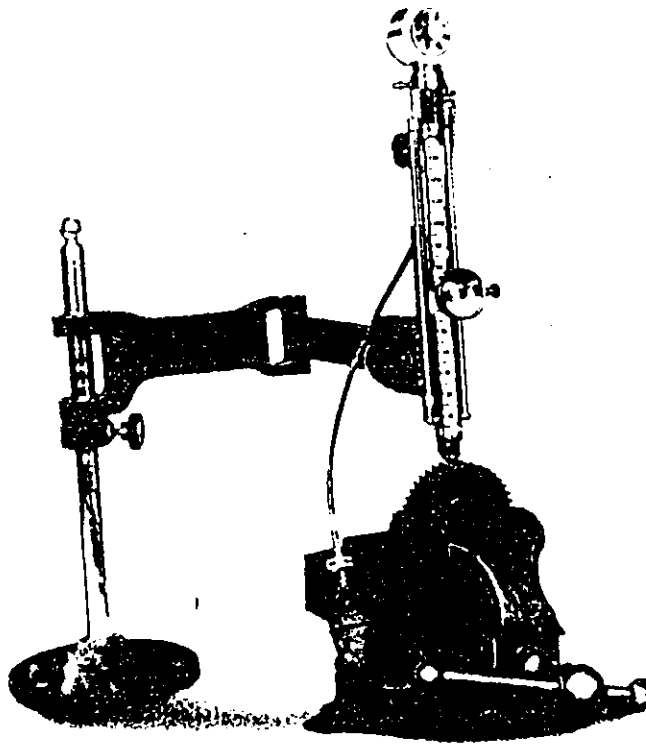
Gambar 2.4. Scleroskop model D. Bagian-bagian benda kecil bisa diuji dengan model ini.

(Shore USA Trademark 757760 Scleroscope USA Trademark - 723850).

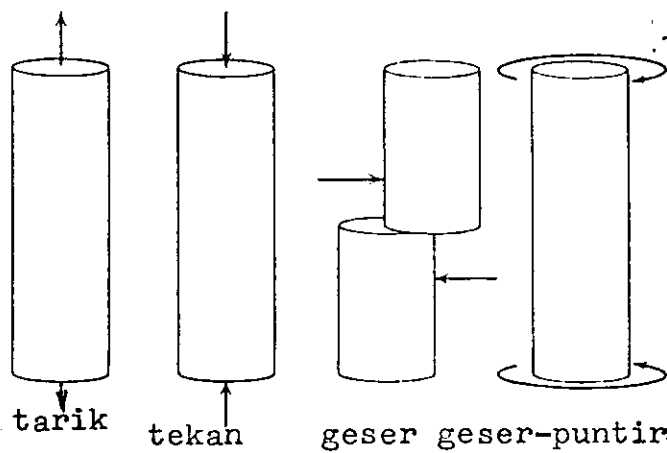
Kekerasan bertalian dengan ketahanan potong dan kikis, diukur (diuji) di bengkel dengan pengujian kikiran. Pengujian ini digunakan terutama untuk pemilihan bagian benda-benda pada pengerjaan mesin.

4. K e k u a t a n

Kekuatan logam merupakan kemampuan logam itu menahan perubahan bentuk apabila menerima gaya luar. Ada tiga bentuk dasar tegangan yaitu tegangan tarik, tekan dan geser (gambar 2.5).



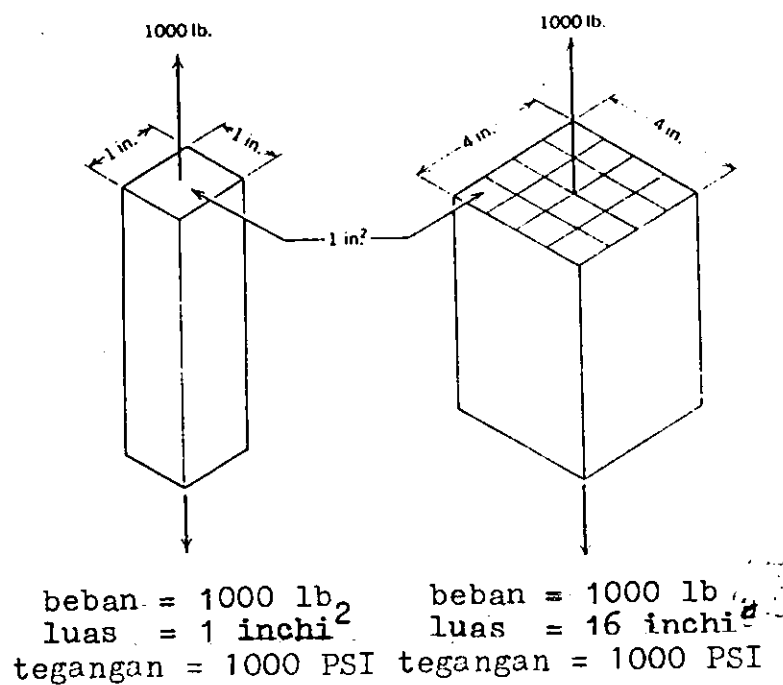
Gambar 2.5. Penjepitan stand yang digunakan dengan scleroscope model C-2 untuk menguji kekerasan pada roda gigi (Shore U.S.A. Trademark 757760, scleroscope U.S.A. trademark 723850).



Gambar 2.6 Tiga bentuk tegangan

Apabila kekuatan bahan diuji, bentuk tegangan yang bekerja pada mata bahan uji harus diketahui. Baja mempunyai kekuatan tekan dan tarik yang sama besar, tetapi besi cor mempunyai kekuatan tarik yang lebih rendah dari kekuatan tekannya. Untuk sembarang logam, kekuatan geser telah lebih kecil dari pada kekuatan tarik (lihat tabel 2.1).

Kekuatan bahan biasanya dinyatakan dalam Newton per meter kuadrat (Pascal). Ini disebut satuan tegangan (gambar 2.6). Satuan tegangan sama dengan beban dibagi luas total (Satuan Tegangan = $\frac{\text{Beban}}{\text{Luas}}$).

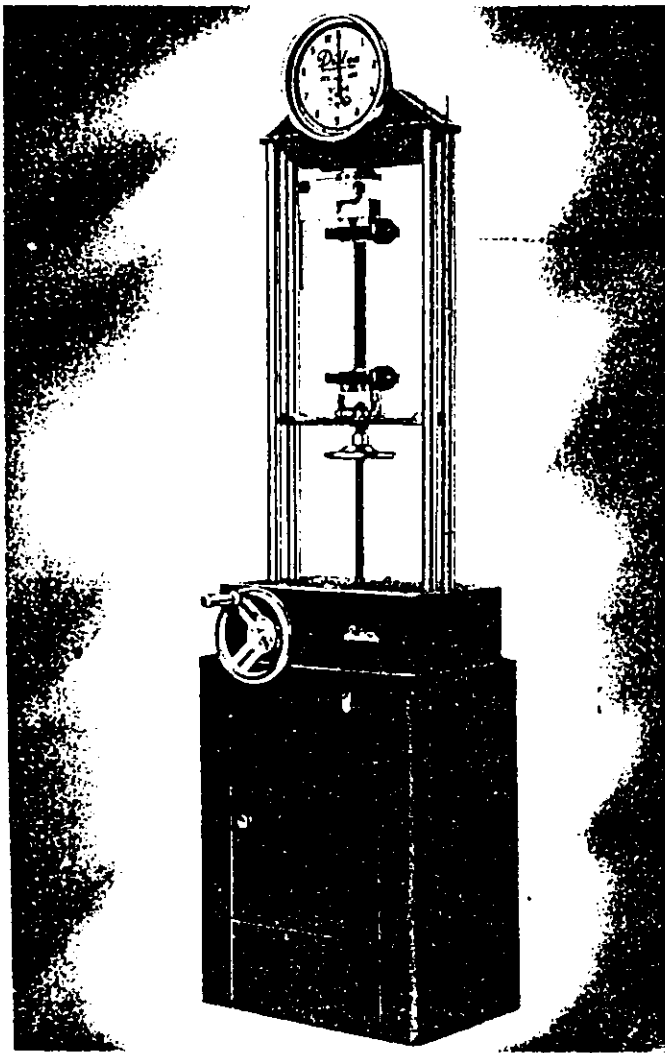


Gambar 2.7. Satuan Tegangan

Apabila tegangan bekerja pada suatu logam, akan terjadi perubahan bentuk. Misalnya apabila suatu logam menerima tegangan tekan, logam itu akan bertambah pendek, sebaliknya bila logam itu menerima tegangan tarik akan memanjang. Perubahan bentuk itu biasa disebut dengan re

gangan (strain) dan dinyatakan dalam perubahan persatuan panjang bahan (mili), jadi regangan tidak menulis satuan. Regangan ini berubah sesuai dengan perubahan tegangan.

Logam diuji tarik dengan mesin penguji tarik (gambar 2.8). Benda kerja dengan ukuran tertentu yang telah diketahui (dalam inchi) ditempatkan dan dibebani tarik dalam mesin sampai putus, dan bentuk spesimennya dapat dilihat pada gambar 2.9.



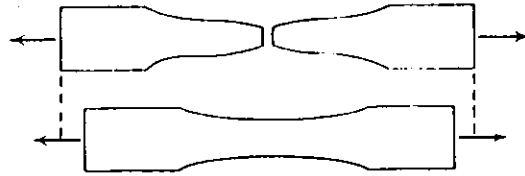
Gambar 2.8. Penguji tarik Universal
(photo courtesy of W.C.
Dillon & Company, Inc).

Tabel 2.1. Kekuatan Bahan

Bahan	Kekuatan yang diizinkan satuan tegangan					Batas Elastis			Kekuatan Maximum	
	ME (PSI)	KTR	KTK	KTG	KTE	KTR	KTK	KTR	KTK	KTG
Besi cor	15.000.000	3.000	15.000	3.000	-	6.000	20.000	20.000	80.000	20.000
Besi tempa	25.000.000	12.000	12.000	9.000	12.000	25.000	25.000	50.000	50.000	40.000
Baja bangun- nan	29.000.000	20.000	20.000	13.000	20.000	36.000	36.000	65.000	65.000	50.000
Tungsten- karbida	50.000.000	-	-	-	-	80.000	120.000	110.000	400.000	70.000

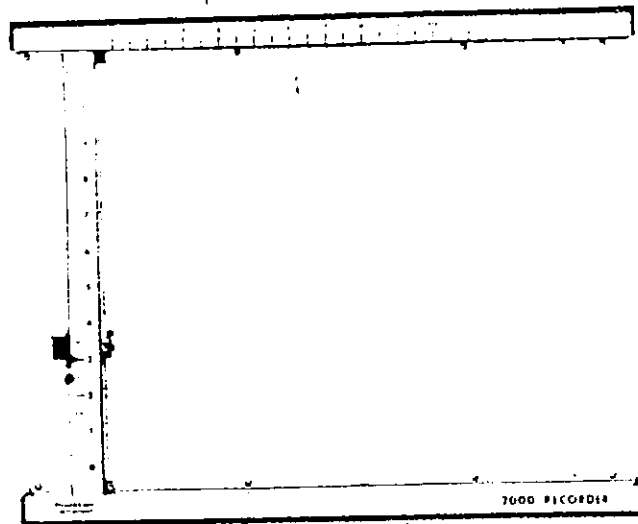
Keterangan

- ME : Modulus elastis.
- KTR : Kekuatan tarik.
- KTK : Kekuatan tekan.
- KTG : Kekuatan geser.
- KTE : Kekuatan ekstrim bengkok.



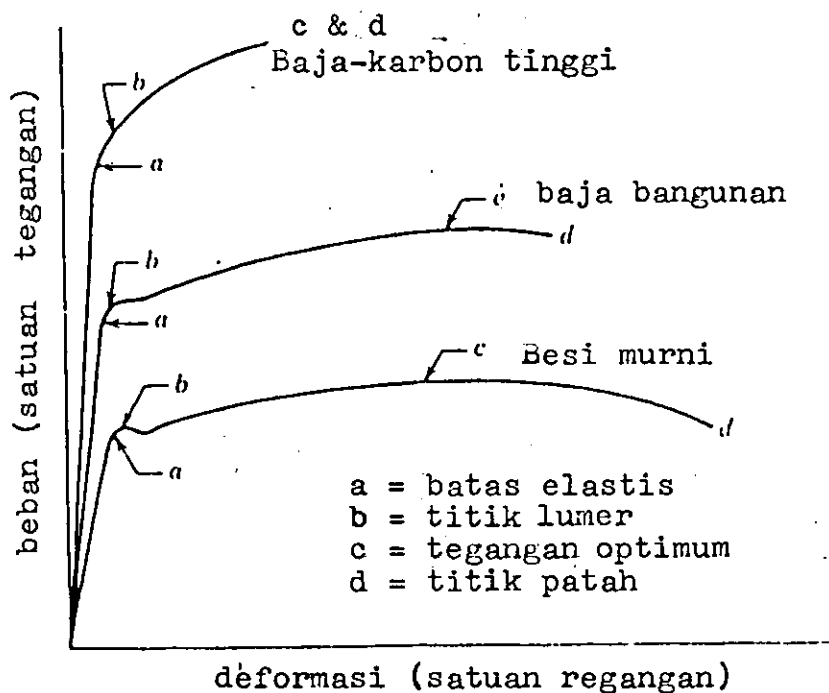
Gambar 2.9. Benda uji dari bahan liat sebelum dan sesudah ditarik.

Suatu peralatan pencatat (lihat gambar 2.10) kadang-kadang digunakan untuk pencatatan perubahan pembebanan dan besarnya perubahan regangan.



Gambar 2.10. Pencatat 2000 model XY. Kurva tegangan-regangan dicatat pada alat seperti ini (Omni Graphic* is a registered Trade-mark of Houston Instrument. Courtesy Of Houston Instrument).

Informasi dari peralatan pencatat tersebut kemudian dipakai untuk membuat grafik yang disebut diagram tegangan dan regangan, sebagaimana diperlihatkan dalam gambar 2.10.

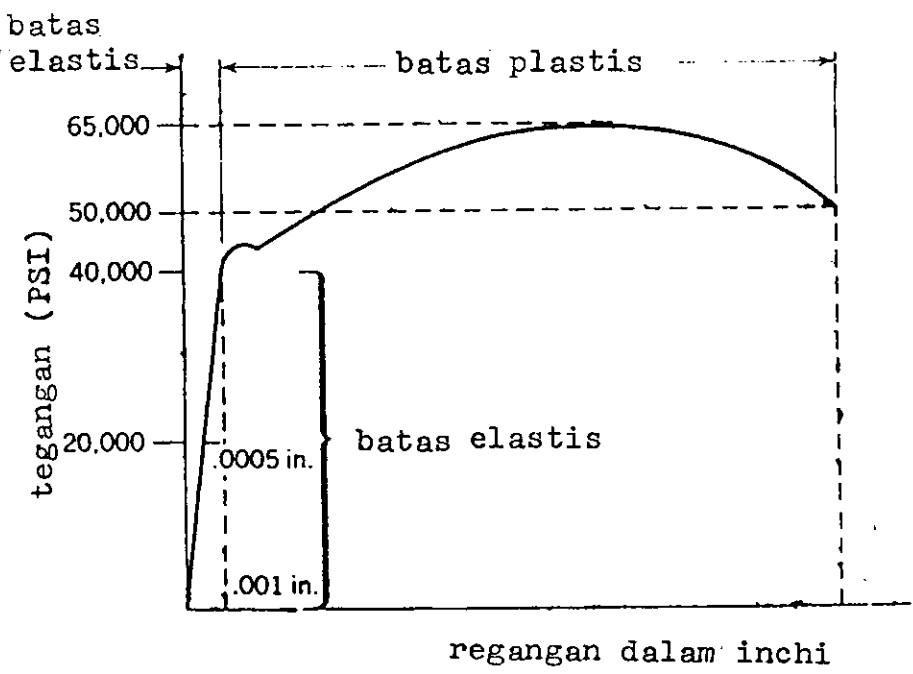


Gambar 2.11. Diagram tegangan - regangan. Beberapa kurva tegangan - regangan terlihat pada diagram ini.

5. E l a s t i s i t a s

Kemampuan logam menerima regangan karena pembebanan dan kembali ke ukuran serta bentuk aslinya, jika beban dilepaskan disebut elastis. Batas elastis (batas proporsional) ialah beban terbesar yang dapat diterima bahan dengan beban tetap, dapat kembali ke bentuk aslinya jika beban tersebut dilepaskan. Batas elastis ini mudah diketahui pada diagram tegangan - regangan, yaitu titik terakhir dari bagian garis lurus kurva (grafik) tegangan - regangan (gambar 2.12).

Batas lumer (titik lumer) ialah titik yang sedikit lebih tinggi dari batas elastis, namun pada berbagai aplikasi titik lumer ini dapat dianggap sama dengan batas elastis.



Gambar 2.12. Diagram tegangan - regangan untuk baja liat.

Beban yang diizinkan (beban yang aman) pada suatu logam harus selalu lebih kecil dari batas elastisitas atau batas lumer.

Sifat-sifat mekanik berbagai logam dapat ditemukan dalam berbagai buku ajar yang umumnya berisi data seperti lumer, kekuatan maximum, dan kekerasan. Tabel 2.2 merupakan salah satu contoh dari tabel sifat mekanis baja bernomor SAE 1015. Perhatikan kekontrasan (pada pengaruh masa) antara kekerasan, titik lumer, dan kekuatan maksimum untuk dua macam logam. Persentase karbon dan unsur lain juga dicantumkan bersama dengan ukuran butir, dan temperatur kritis. Baja khusus dalam Tabel 2.2 digunakan untuk pengarbonan dan pengerasan kulit, juga pemberian informasi yang terkait. Baja yang terlihat pada Tabel 2.3 adalah baja perkakas.

Tabel 2.2. Sifat-sifat mekanik baja SAE 1015 (Source Bethlehem Steel Corporation, Modern Steel & their properties, Seventh Edition, Handbook 2757, 1972)

	Hasil-hasil pemanasan				
	C	Mn	P	S	Si
Kelas	0,13/0,18	0,30/0,60	0,40 max	0,50 max	- Ukuran butir
Ladel	0,15	0,53	0,018	0,031	0,17 6 - 8
	Titik-titik kritisnya, F : AC ₁ 1390 AC ₃ 1560 AR ₃ 1510 AR ₁ 1390				
<u>Pendingin dan penemperan</u>					
Dikarbonkan pada 1675 ^o F selama 8 jam : pendingin tungku, dipanaskan kembali sampai 1425 ^o F : pendingin air; ditemper pada 350 ^o F					
Diameter perlakuan 1 inchi, kedalaman kulit 0,048 inchi, kekerasan kulit HRC 62.					
Pengaruh Massa					
Ukuran diameter (inchi)	Kekuatan tarik (PSI)	Titik lumer (PSI)	Perpanjangan (% 2 inc)	Pengecilan luas (%)	Kekerasan (HB)
Dianil (dipanaskan sampai 1600 ^o F, didinginkan tungku 30 ^o F per jam sampai 1340 ^o F, didinginkan di udara					
1	56.000	41.250	37,0	69,7	111
Dinormalkan (dipanaskan sampai 1700 F, didinginkan dalam udara)					
1/2	63.250	48.000	38,6	71,0	126
1	61.500	47.000	37,0	69,0	121
2	60.000	44.500	37,5	69,2	116
4	59.250	41.800	36,5	67,8	116
Dikarbonkan pada 1675 ^o F selama 8 jam dipanaskan lagi sampai 1425 ^o F, didinginkan dalam air, ditemper pada 350 ^o F.					
1/2	106.250	60.000	15,0	32,9	217
1	75.500	44.000	30,0	69,0	156
2	70.750	41.375	32,0	70,4	131
4	67.250	39.000	30,5	69,5	121
Jika kekerasan pendingin (air)					
Diameter ukuran : Permukaan benda: 1/2 jari-jari : Pusat benda					
1/2	HRC 36,5		HRC 23		HRC 22
1	HRB 99		HRB 91		HRB 90
2	HRB 98		HRB 84		HRB 82
4	HRB 97		HRB 80		HRB 78

Table 2.3 Sifat-sifat mekanik baja SAE 1095 pendingin air (Source Bethlehem Steel Corporation, Modern Steel and Their Properties Seventh Edition, Handbook 2757, 1972)

Hasil - hasil Pemanasan					
	C	Mn	P	S	Si
Kelelasan	0,90/1,03	0,30/0,50	0,40 max	0,050 max	- Ukuran Butir
Modul	0,96	0,40	0,012	0,029	0,20 50% 5-7 50% 1-4
Titik-titik kritis F : Ac_1 1350, Ac_3 1365, Ar_3 1320, Ar_1 1265					
Pengaruh Massa					
Diameter (inc)	Kekuatan tarik (PSI)	Titik lumer (PSI)	perpanjangan (% 2 inc)	Pengecilan luas (%)	Kekerasan (HB)
Pendingin air dari 1450°F, ditemper pada 900°F					
1/2	191.500	135.500	12,3	31,7	375
1	182.000	121.000	13,0	37,3	363
2	179.750	113.000	12,7	33,8	352
4	167.250	94.500	12,5	31,4	331
Pendingin air dari 1450°F, ditemper pada 1000°F					
1/2	172.000	111.000	12,4	44,1	321
1	165.000	102.500	16,0	41,4	311
2	154.750	98.500	15,7	39,1	302
4	150.000	81.000	15,7	35,3	285
Pendingin air dari 1450°F, ditemper pada 1100°F					
1/2	144.000	99.000	17,2	44,9	293
1	143.000	96.500	16,7	43,7	293
2	140.000	90.000	17,5	43,6	285
4	131.250	78.000	18,7	41,1	262
Tingkat kekerasan pendingin (air)					
Diameter ukuran	Permukaan benda	1/2 Jari-jari	Pusat benda		
1/2	HRC 65	HRC 55	HRC 48		
1	HRC 64	HRC 46	HRC 44		
2	HRC 63	HRC 43	HRC 40		
4	HRC 63	HRC 38	HRC 30		

6. Plastisitas

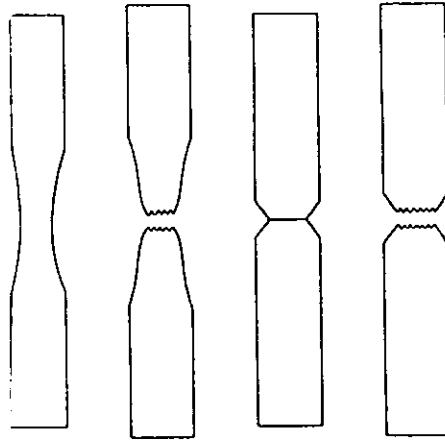
Zat yang bersifat plastis sempurna, misalnya tanah liat yang sedang dibentuk, tidak akan kembali ke bentuk aslinya jika beban dihilangkan, bagaimanapun kecilnya beban itu. Logam mengalami status plastis apabila menerima beban diatas batas elastisnya. Oleh karena itu bagian kurva tegangan - regangan diluar batas elastis, seperti pada gambar 2.12, disebut daerah plastis. Apabila gaya yang dikerjakan cukup dengan menggunakan rol, pres, dan pukulan-pukulan hamer, maka logam-logam bisa dibentuk menjadi bentuk-bentuk yang berguna, baik dalam keadaan panas maupun dingin. Banyak logam cenderung melakukan pengerasan bila dalam keadaan dingin. Pada umumnya, dalam kebanyakan kejadian manaikan daya gunanya, logam ini tentu bisa dilunakan untuk pengerjaan dingin lanjutan bila batas-batas tertentu sudah dicapai.

7. Kegetasan (Brittleness)

Bahan yang tidak memiliki perubahan bentuk plastis ketika dibebani, disebut bahan yang getas (rapuh). Pengerjaan dingin yang berlebihan bisa mengakibatkan kegetasan. Besi cor tidak akan berubah bentuk plastis, walaupun beban putus dan oleh karena itu disebut bahan yang getas.

Takikan (notch) yang sangat tajam yang terpusat pada beban dalam lingkungan penampang kecil dapat juga menurunkan keplastisitasan (gambar 2.13).

Takikan-takikan umumnya menyebabkan kegagalan sebelum waktunya pada bagian-bagian benda. Barang - barang hasil las, kekerasan tumpuan pada poros-poros mesin dan sudut-sudut tajam hasil benda tempaan dan coran. Coran adalah contoh takikan-takikan yang tidak diinginkan (tegangan-tegangan sisa).



Gambar 2.13. Sebaliknya takikan dan efeknya pada keplastisan pada logam liat dapat merubah sifat getas apabila "tegangan dalam" itu ada.

8. Modulus Elastisitas

Ketegaran (stiffness) dinyatakan dengan modulus-elastisitas yang juga disebut dengan modulus young. Di dalam batas elastis jika tegangan dibagi dengan regangan yang terkait pada suatu titik tertentu, hasilnya akan menjadi modulus elastisitas bahan itu.

$$\text{Modulus elastisitas (Psi)} = \frac{\text{Tegangan}}{\text{Regangan}}$$

Modulus elastisitas untuk beberapa bahan umum diberi dalam tabel 2.1.

Sebagai contoh ketegaran, dua batang dengan dimensi sama digantungkan mendatar pada satu ujung dengan yang lain menggantung dengan berat yang sama. Tentu kedua batangnya sama lentur kalau dibuat dari baja yang sama. Sesungguhnya batang terbuat dari baja lunak,

dan yang lain terbuat dari baja perkakas yang dikeraskan ke dua besarnya masih memantul sama di dalam batas elastis alasannya ialah bahwa semua baja kira-kira mempunyai modulus elastis yang sama. Jika satu batang terbuat dari tungsten-karbida, hasilnya sama sekali berbeda; batang karbida pemantulannya jauh lebih kecil dari pada baja, maka modulus elastisnya lebih tinggi dari pada batang baja itu.

9. Keliatan (ductility)

Sifat yang diizinkan logam berubah bentuk secara permanen bila dibebani tarik disebut liat. Suatu logam yang ditarik menjadi kawat ialah liat. Baja, aluminium, emas, perak, dan nikel adalah beberapa contoh logam liat.

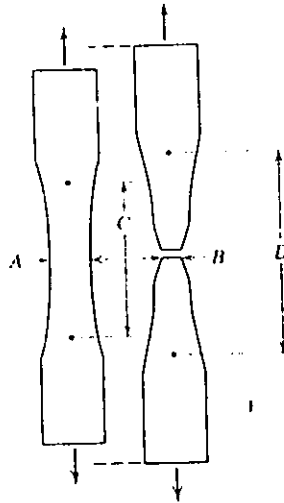
Pengujian tarik adalah digunakan untuk mengukur keliatan. Benda uji tarik diukur luas penampang dan panjang dengan tanda-tanda alat ukur, sebelum dan sesudah mereka tarik. Prosen perpanjangan (kenaikan panjang) dan prosen pengecilan penampang (berkurangnya luas penampang pada titik tertipis/tersempit) adalah nilai: nilai keliatan. Prosen perpanjangan tinggi (kira-kira 70 %), dan pengecilan luas penampang menunjukkan keliatan tinggi. Cara-cara menghitung harga-harga ini dijelaskan dalam gambar 2.13. Logam yang menunjukkan kurang dari 20 % perpanjangan akan mempunyai keliatan rendah.

10. Mampu Tempa (Malleability)

Kemampuan logam merubah bentuk permanen bila dibebani tekan, disebut mampu tempa. Logam-logam yang dapat dihamer atau dirol menjadi lembaran logam adalah mampu tempa. Logam-logam liat adalah juga mampu tempa, tetapi sedikit logam yang mampu tempa seperti timah hitam, timah putih, emas, perak, besi, dan tembaga.

11. Ketangguhan Takik (Notch Toughness)

Ketangguhan takik ialah kemampuan logam menahan putus (rupture) karena beban pukul pada waktu takikkan dapat juga karena adanya sisa tegangan. Alat-alat yang digunakan untuk mengukur ketangguhan adalah mesin peng- uji Izod-Charpy (gambar 2.15)

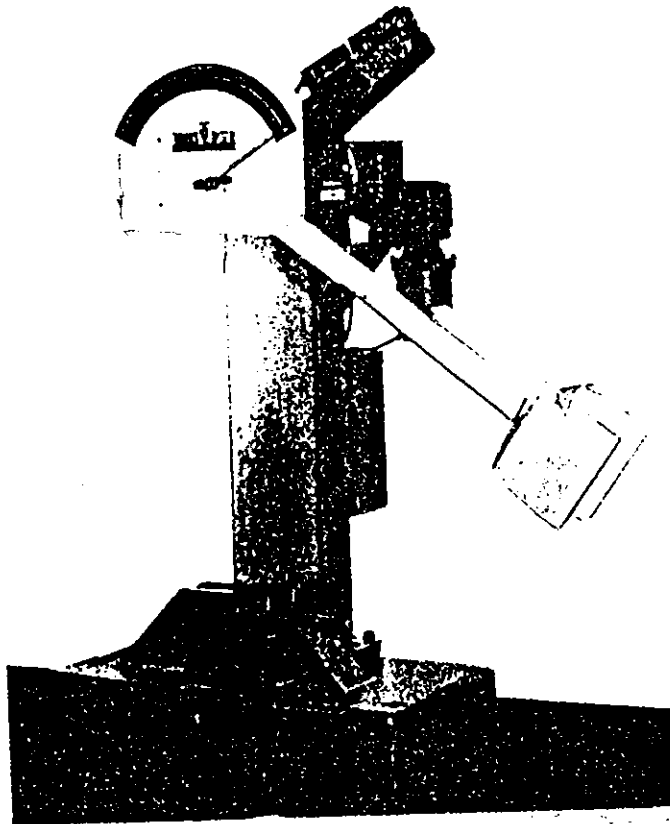


- A = Luas penampang awal
 B = luas penampang setelah penarikan
 C = Panjang awal
 D = Panjang setelah penarikan
- $$\text{Perpanjangan (\%)} = \frac{D - C}{C} \times 100$$

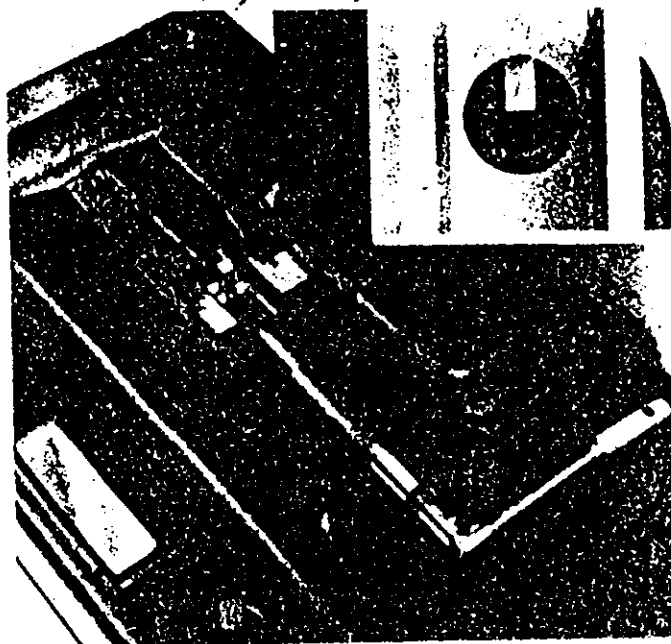
$$\text{Pengecilan penampang (\%)} = \frac{A - B}{A} \times 100$$

Gambar 2.14 Pertambahan panjang dan pengecilan luas penampang

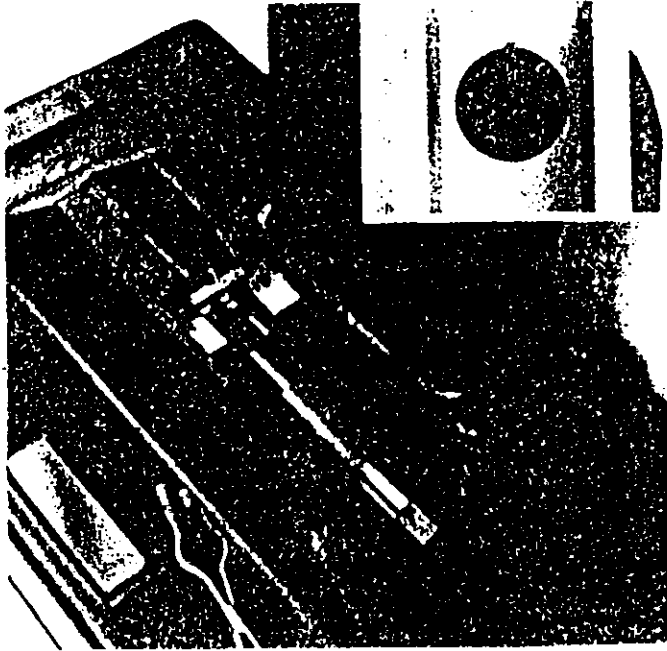
Cara-cara antara Izod dan Charpy pembebanannya di- bedakan (gambar 2.16 dan 2.17), tetapi dalam praktek ha silnya sama.



Gambar 2.15 Mesin pengujian Izod-Charpy
(The Tinius Olsen Testing Machine
Co, Inc.).

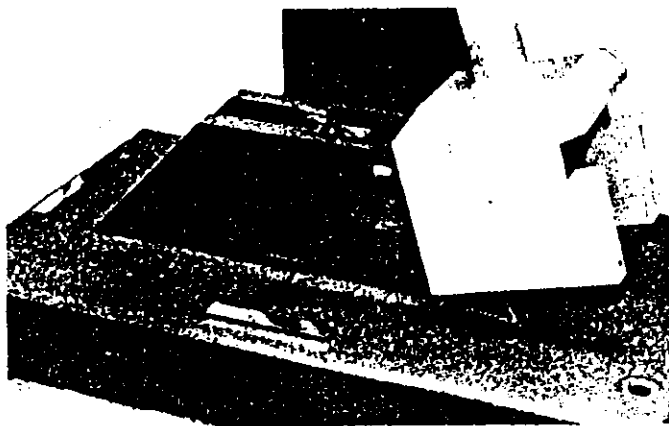


Gambar 2.16 Posisi tumpu tegak pada benda uji Izod di
perlihatkan dengan dijepit pada ragum.
Lembaran keterangan dijelaskan di bagian
bawah dari hasil benturan:



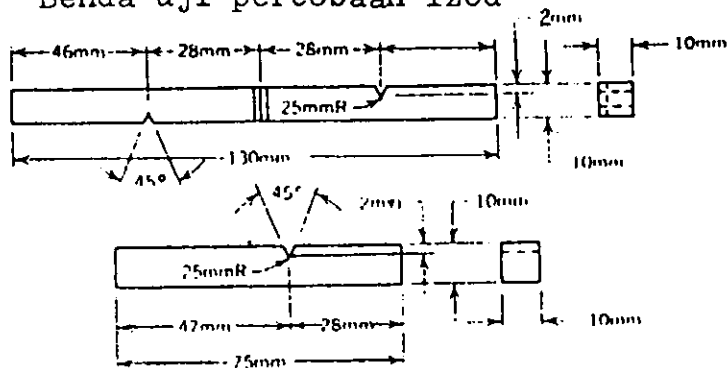
Gambar 2.17 Posisi tumpu mendatar pada benda uji Charpy nampak diklem dalam ragum. Keterangan ini dijelaskan pada bagian bawah pembentur.

Landasan (gbr. 2.18) itu mempunyai dua blok perata untuk mengatur mesin. Hamer didudukan pada penumpu landasan dan pembenturnya ada pada hamer. Standar benda uji (gbr. 2.19) digunakan baik untuk pengujian Izod, atau Charpy.

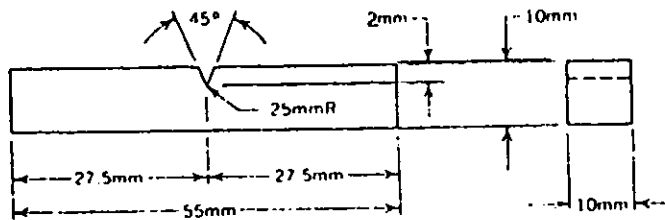


Gambar 2.18 Keterangan Blok perata landasan. Hamer di-jatuhkan, kemudian membentur benda kerja (The Tinius Olsen Testing Machine Co, Inc).

Benda uji percobaan Izod

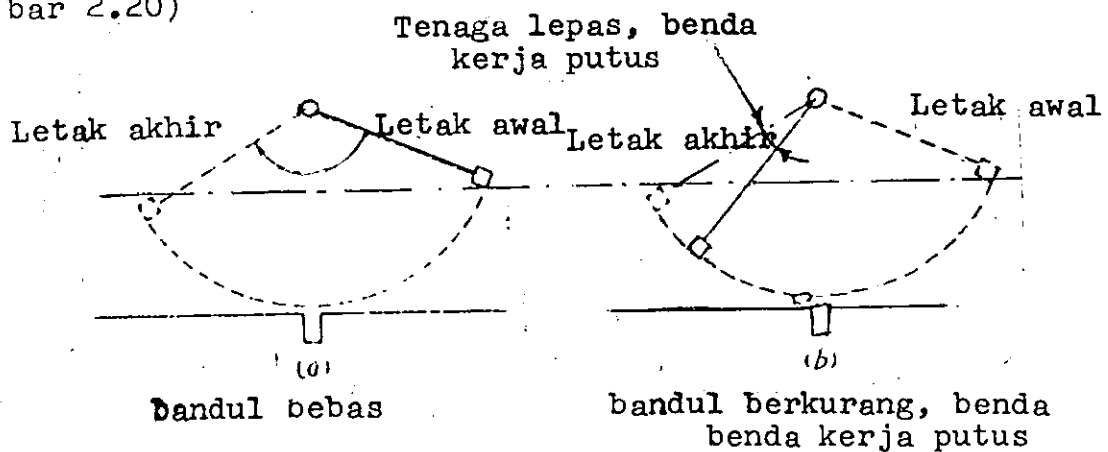


Benda uji percobaan Charpy



Gambar 2.19 Spesifikasi benda uji percobaan Izod dan Charpy (The Tinius Olsen Testing Machine, Co, Inc.).

Mesin percobaan itu terdiri dari ragum dimana benda uji diklem. Beban pada lengan pengayun bisa dijatuhkan (gambar 2.20)



Gambar 2.20 Cara-cara penentuan nilai-nilai tumbukan Izod (a) ayunan bebas (b) ayunan berkurang setelah benda putus.

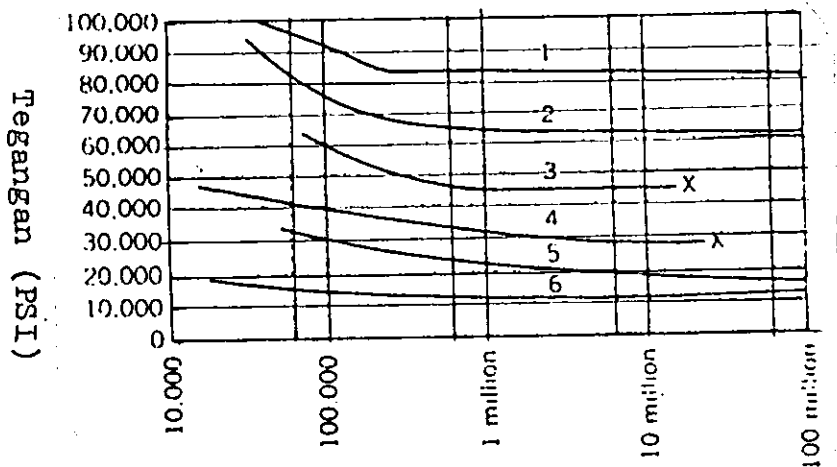
Perhatikan benda-benda kerja yang telah memenuhi standar. Ayunan (bandul) dijatuhkan dan menumbur benda kerja dan seterusnya mengayun ke depan. Tetapi bandul tidak akan mengayun setinggi posisi semula. Perbedaan antara tinggi awal bandul dan tinggi akhir menunjukkan berapa besar tenaga yang terserap dalam pemutusan benda kerja itu. Tenaga ini diukur dalam foot-pound. Logam yang tangguh, penyerapan tenaga lebih banyak dari pada logam getas, sehingga bandul yang tangguh tidak akan mengayun sejauh pada logam yang getas.

12. K e l e l a h a n

Apabila bagian-bagian benda kerja mengalami pembebanan dan pembongkaran yang berulang kali, maka dapat mengakibatkan cacat pada bagian itu karena tegangan-tegangan jauh di bawah kekuatan lumer, sehingga tidak ada perubahan bentuk plastis. Perubahan bentuk ini, disebut "kelemahan lelah" (fatigue failure). Apabila merencanakan bagian-bagian mesin yang mengalami getaran atau beban-beban siklus, kekuatan lelah menjadi amat penting dari pada kekuatan tarik maximum atau kekuatan lumer.

Mesin pengujian kelelahan bisa melayani benda-benda kerja beberapa siklus pembebanan pada suatu tegangan. Hasil-hasil percobaan berulang kali pada tegangan yang berbeda dapat dicatat pada grafik yang disebut diagram siklus tegangan (gambar 2.21). Batas lelah ialah beban maximum dalam pound per inchi kwadrat yang mampu melakukan sejumlah kali tak terhingga, tanpa mempengaruhi kegagalan. Akan tetapi 10 (sepuluh) juta siklus pembebanan biasanya dipandang cukup membakukan batas-batas kelelahan.

Umur kelelahan bisa dipertinggi dengan perencanaan yang sempurna. Hindarilah kelemahan-kelemahan hasil las, tepian ujung poros yang tajam, ciri-ciri perkakas benda



Benda kerja tidak lemah pada pemutar 100 juta siklus tegangan.

1. Baja karbon tinggi, pendingin olie, ditemper pada 860° F (640° C).
2. Perlakuan panas baja paduan, pendingin olie, ditemper pada 1200° F (649° C).
3. Perlakuan panas baja karbon 50 %.
4. Baja bangunan.
5. Paduan alumunium 2024.
6. Besi cor kelabu.

Gambar 2.21 Hubungan antara batas leleh dengan kekuatan tarik. Batas leleh baja mendekati 45%-50% dengan kekuatan tariknya sampai 200.000 lb. Pengulangan tegangan-tegangangan dalam batas leleh yang berlebihan menyebabkan kegagalan optimum.

kerja yang sulit dikerjakan dengan mesin, kesemuanya ini dapat membantu menghilangkan tegangan-tegangangan sisa. Dengan cara demikian umur kelelahan dapat ditingkatkan.

13. Kekuatan Rangkak (Creep Strength)

Rangkak/penjalaran ialah gerakan aliran perubahan bentuk yang terus menerus lambat dengan beban yang konstan pada beban di bawah kekuatan lumer logam. Rangkak biasanya dihubungkan dengan temperatur tinggi, walau pun kadang-kadang terjadi pada temperatur normal.

Jika temperatur naik, rangkai menjadi banyak problem. Kekuatan rangkai ditentukan dalam batas jumlah rangkai plastis yang diizinkan per periode 1000 (seribu) jam. Tabel 2.4 menjelaskan kekuatan rangkai untuk beberapa paduan.

Tabel 2.4 Kekuatan rangkai beberapa paduan.

P a d u a n (%)	Kekuatan tarik pada 70°F (PSI)	Tegangan pada 800°F untuk 1 % perpanjangan per 10 ribu j a m	Tegangan pada 1200°F untuk 1 % perpanjangan per 100 ribu jam	Tegangan pada 1200°F mengantisipasi kelelahan atau kegagalan
0,20 Baja-karbon	62.000	35.100	200	1.500
0,5 Molybdenum	64.000	39.000	500	2.600
0,08 S/d 20 baja karbon				
1 Krom	75.000	40.000	1.500	3.500
0,60 Molybdenum				
0,20 Baja-karbon				
304 Baja tahan karat	85.000	28.000	7.000	15.000
19 Krom				
9 Nikel				

Perhatikan kekuatan-kekuatan yang diberikan pada rangkai per 10.000 jam pada 800°F (427°C) dan pada rangkai per 100.000 jam pada 1200°F (649°C). Cacat-cacat (kegagalan) karena tegangan juga diberikan.

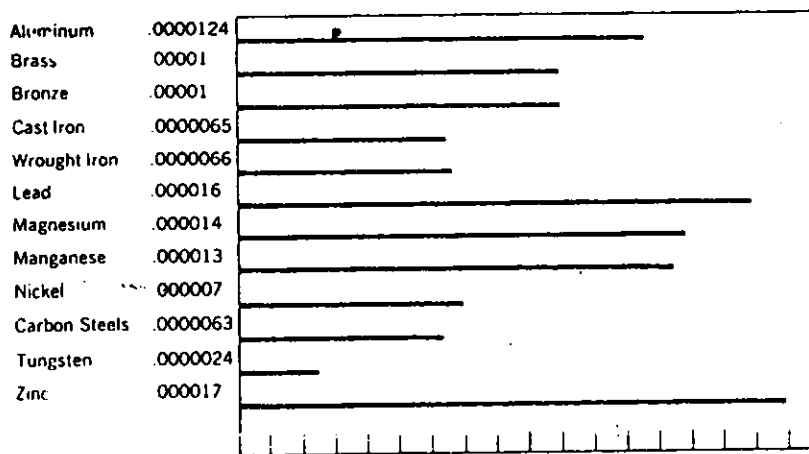
dipakai untuk menentukan zone transisi logam. Apabila benda kerja batangan takikan memperlihatkan setengah kurang getas dan setengah kurang liat, maka temperatur transisi telah tercapai.

Apabila merancang bagian-bagian untuk layanan temperatur rendah, temperatur kerja sebaiknya berada di atas temperatur transisi. Nikel adalah unsur pepadu terefektif untuk menurunkan temperatur transisi baja. Berikut ini ialah beberapa contoh temperatur kerja bagi paduan dan logam-logamnya.

1. Untuk temperatur kerja serendah - 50°F (- 46°C)
 - a. Baja karbon rendah.
 - b. 3 % nikel baja karbon rendah.
2. Untuk temperatur serendah - 150°F (- 101°C)
 - a. 6 % nikel baja karbon rendah.
 - b. baja tahan karat dengan 8 % nikel atau lebih.
3. Untuk temperatur di bawah - 150°F (- 101°C)
 - a. Baja tahan karat dengan paling sedikitnya mengandung nikel 8 %.
 - b. Baja dengan 9 % nikel.
 - c. Logam-logam kubik pemusatan sisi (KPS) seperti alumunium atau monel.

17. Pemuaihan dan Daya Hantar Logam (Sifat-sifat Fisik Logam)

Logam pengantar panas lebih baik dari pada non logam. Perak pengantar panas terbaik bagi semua logam. Kemampuan mengantar panas dan kemampuan mengantar listrik ini saling berhubungan. Jika perak pengantar panas terbaik, tentu juga pengantar listrik terbaik. Gambar 2.23 membandingkan pengantar panas beberapa logam paduan. 2.23



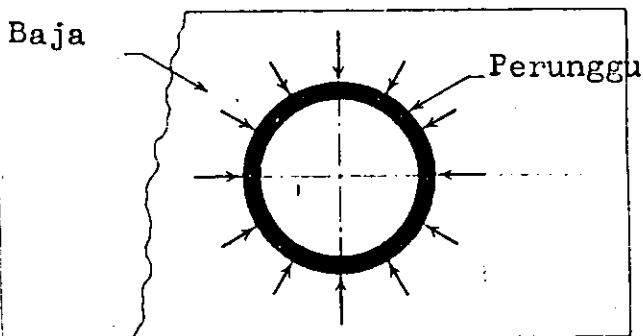
Gambar 2.24 Koefisien pemuaian panas per derajat Faren -
hait per satuan panjang.

19. Beberapa Peristiwa Penuntun Pengetahuan Pemuaian Panas

Pengetahuan koefisien pemuaian panas baja yang di -
peruntukkan bagi teknik untuk menghitung ukuran- ukuran
pemuaian pada sambungan jembatan serta bangunan-bangunan
baja lain. Perlakuan-perlakuan panas harus memperhati -
kan laju-laju pemuaian dan penyusutan yang berbeda pada
waktu pemanasan dan pendinginan baja. Laju pemuaian da -
lam, sering lebih rendah dari pada laju dari luar apabi -
la sepotong baja dipanasi secara cepat. Tegangan-tegang
an yang disebabkan oleh pemanasan yang tidak merata da -
pat mempengaruhi logam. Disamping itu sifat keliatannya
rendah.

Jika seorang mekanik harus melepaskan paking (ring)
perunggu dari rumah, atau panas yang tidak pakan pada
tempat paking, seperti pengelasan disekitar paking,

itu mungkin lepas karena pengerjaan panas (gambar 2.25)



Gambar 2.25 Aplikasi pemuaian panas logam.

Koefisien pemuaian panas perunggu hampir dua kali koefisien pemuaian panas baja. Jika paking dan rumahnya dipanaskan, perunggu akan memuai hampir dua kali laju pemuaian dari baja pada jumlah panas yang sama. Baja membatasi perunggu dari pemuaian, kemudian perunggu tertegang di atas batas elastisnya dan memasuki daerah batas plastis, dimana diameter paking berubah bentuk lebih kecil, jika perunggu atau baja didinginkan pakingnya seukuran lebih kecil dari pada kaliber baja, sehingga mudah terlepas dari lubangnyanya. Seorang masinis menukar bantalan dengan toleransi yang tepat, kurang lebih 0,0001 inchi pada poros baja 4 inchi. Pada waktu operator mengukur-ukur itu, poros masih dalam keadaan panas. Setelah ia istirahat, kemudian membuka dan memeriksa pekerjaannya untuk menentukan ukuran itu dibawah 0,0025 inchi. Apakah yang terjadi ?, temperatur porosnya turun 100°F ($37,8^{\circ}\text{C}$) sampai mencapai suhu kamar. Rumus berikut ini digunakan untuk menghitung jumlah konsentrasi setelah

pendinginan sampai temperatur kamar.

Koefisien Pemuaian x Diameter x Kenaikan Temperatur ($^{\circ}\text{F}$)
= Pemuaian.

$0,0000063 \times \text{Diameter (4 inchi)} \times 100^{\circ}\text{F} = 0,0025 \text{ inc.}$

Jika poros baja diameternya 1 (satu) inchi, memuai sebesar $0,0000063$ inchi, untuk kenaikan 1 (satu) $^{\circ}\text{F}$, ini mengembang sebesar $0,00063$ inchi. Untuk kenaikan 100°F dengan diameter 4 (empat) inchi, pemuaian menjadi $0,0025$ inchi. Jika mesin bekerja pada temperatur itu, maka terjadi penyusutan dalam jumlah yang sama pada waktu pendinginan. Semua operator mesin bubut, memahami pemuaian panjang dari benda kerja yang ditukar (dibuka) itu, mempengaruhi titik mati pengencangan dan pemanasan.

Perbedaan temperatur benda kerja khususnya bagian-bagian benda yang tipis, dapat mengakibatkan kelambatan gerak (crawl) pada tabel mesin Fris. Timbulnya panas pada mesin ini karena pemotongan atau penyayatan karbida, pada waktu tidak ada kolan yang digunakan. Mungkin inilah yang umumnya menjadikan masalah.

20. Pertanyaan Formatif

Tes sendiri

- 1) Apakah rangkai itu terjadi dalam batas elastis atau batas plastis baja ?.
- 2) Terangkan kelemahan laju relatif rangkai. Apakah kelemahan rangkai itu tiba-tiba atau melakukan kelemahan itu tiap tahun.
- 3) Apakah yang terjadi di bawah temperatur transisi logam ?.
- 4) Apa yang terjadi pada sifat-sifat kekerasan, kekuatan, dan modulus elastis karena turunnya temperatur?.

- 5) Sebutkan unsur-unsur pemadu yang dapat ditambahkan pada baja untuk menurunkan temperatur transisinya .
- 6) Jelaskan 3 (tiga) katagori kekerasan dan bagaimana cara pengukurannya.
 - a. _____
 - b. _____
 - c. _____
- 7) Sebutkan tiga macam tegangan dasar.
 - a. _____
 - b. _____
 - c. _____
- 8) Jika luas lembaran baja 2 (dua) inchi kwadrat, keku-
atan tariknya 40.000 lb, Bagaimana satuan tegangan -
nya ?.
- 9) Terangkan sifat-sifat keliatan.
- 10) Terangkan sifat-sifat mampu tempa.
- 11) Dengan cara bagaimana kekuatan lelah dapat disempur-
nakan ?.
- 12) Bagaimana korelasi daya hantar listrik dan daya han-
tar panas pada logam ?.
- 13) Dalam keadaan bagaimanakah logam adalah penghantar
' terbaik, dipadu atau tidak dipadu ?.
- 14) Bagaimana cara menyatakan laju pemuaiian panas untuk
bahan tertentu ?.
- 15) Mengapa seorang masinis perlu sangat waspada terha -
dap pemuaiian panas dari logam yang digunakan ?.

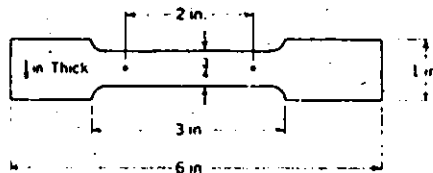
21. Petunjuk Praktikum

Tentukan mesin uji tarik dan siapkan benda kerja, an da akan:

- a. Belajar menggunakan mesin uji tarik.
- b. Hitung perpanjangan, pengecilan luas, dan satuan tegangan benda kerja yang ditarik.

Prosedur Kerja

- 1) Siapkan benda kerja baja lunak seperti pada gambar 24. Tandai ukuran dengan pound. Bagian dalamnya te pat 2 (dua) inchi.
- 2) Ukur dengan menggunakan mikrometer lebar dan tebal pada titik tersempit.
- 3) Catat informasi ini.



Gambar 2.26

- 4) Susun penguji tarik dengan dijepitkan pada ragam rata dan cakra angka 0 s/d 10,000 lb yang bentuknya itu dapat diubah-ubah (ditukar).
- 5) Tempatkan benda kerja ke mesin penguji tarik, kemudi an tariklah sampai putus.
- 6) Catat titik lumernya.
- 7) Catat beban patahnya.

- 8) Lepaskan benda kerja dan cocokkan benda yang pecah itu secara serentak. Ukur lebar dan tebal benda-benda itu pada titik-titik batas; ukur panjang antara bekas-bekas pengukuran dan catat informasi itu.
- 9) Hitung perpanjangan dan pengecilan luas dengan menggunakan rumus yang diberikan pada gambar 2.14.
- 10) Hitung tegangan dengan menggunakan rumus seperti berikut ini.

$$\text{Tegangan} = \frac{\text{Beban}}{\text{Luas awal}}$$

Catatan

Luas awal = lebar x tebal pada titik batas (genting) sebelum ditarik.

Kesimpulan

Adakah pemikiran bahwa logam ini bersifat liat ?, mengapa demikian ?.

D a t a Benda Kerja Tarik

Panjang antara bekas yang diukur =
 T e b a l =
 L e b a r =
 L u a s =

Benda Kerja Tarik Setelah Ditarik

Panjang antara bekas yang diukur =
 Beban putus =
 Titik lumer =
 T e b a l =
 L u a s =

Hasil-hasil

Tegangan maximum	=
Prosentase pengecilan penampang	=
Prosentase perpanjangan	=

22. Petunjuk Praktikum 2

Susun mesin pengujian Izod-Charpy dan siapkan benda kerja, maka anda dapat menentukan ketangguhan takik baja karbon dalam keadaan dianil dan dikeraskan.

Prosedur Kerja

1. Siapkan benda kerja baja karbon SAE 1080 s/d 1095 per spesifikasi gambar 16/gambar 17 sebanyak dua buah untuk Izod atau Charpy dalam keadaan dianil atau karena dirol.
2. Keraskan benda kerja dengan pendinginan air dari 1.500°F ($815,6^{\circ}\text{C}$) dan ditemper sampai 400°F ($204,4^{\circ}\text{C}$).
3. Tes kedua benda mengenai kekerasan, catat hasil-hasil yang didapat.
4. Tes kedua benda pada mesin Izod-Charpy, catat hasil-hasil yang didapat.

Kesimpulan

Logam mana yang menunjukkan ketangguhan lebih besar, dan logam mana pula yang tergetas ?.

D a t a

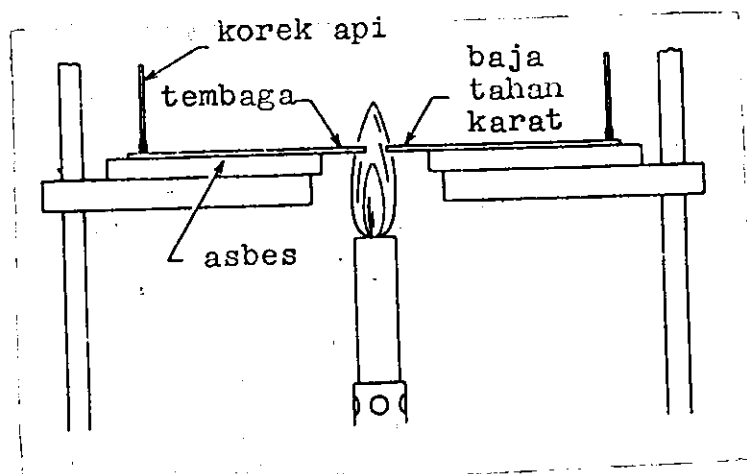
<u>Kekerasan</u>	<u>Benda kerja (1)</u>	<u>Benda kerja (2)</u>
(FT-1b)	(lunak)	(keras)

23. Petunjuk Praktikum 3

Tentukan sumber panas secukupnya pada pembakar Bunsen atau penyala propane pada kepingan tembaga, dan kepingan baja tahan karat yang bentuk dan ukurannya sama, maka anda akan dapat mendemonstrasikan perbedaan daya hantar panas antara tembaga dan baja tahan karat.

Prosedur Kerja

1. Susun pembakar sehingga nyala api itu berada pada ujung-ujung kepingan yang tersusun seperti pada gambar 2.27.
2. Perhatikan ujung-ujung kepingan yang dipanasi pada temperatur 200°F ($93,3^{\circ}\text{C}$) dengan lilin. Pada ujung-ujung yang lain dari kedua kepingan masing-masing dipasang korek api seperti Gbr. 2.27. Perhatikan lilin yang ditandai pertama itu meleleh atau korek api yang pertama menyala.



Gambar 2.27

Kesimpulan

Logam yang mana daya hantar panasnya tertinggi.

Catatan

Anda dapat mendemonstrasikan perbedaan antara daya hantar panas dari logam-logam yang lain seperti baja dan baja tahan karat jika anda menggunakan kondisi yang lebih terperinci.

24. Petunjuk Praktikum 4

Susun tungku kepingan baja dengan ukuran $1/16 \times 1 \times 4$ inchi, dan baja tahan karat dengan ukuran yang sama, an da akan dapat menentukan sifat-sifat kerak pada dua logam.

Prosedur Kerja

1. Tempatkan dua benda kerja pada pembakar Bunsen atau tungku listrik dan biarkan keduanya tetap pada panas yang berwarna kuning selama 1 (satu) jam.
2. Periksa dan catat dari hasil pengamatan pada jarak interval 10 menit.

Kesimpulan

Apakah yang terjadi pada baja lunak ?, dan apa pula yang terjadi pada baja tahan karat ?. Baja yang mana yang akan anda garis bawah pada layanan-layanan temperatur tinggi ?.

BAB III

STRUKTUR KRISTAL LOGAM

Kekuatan-kekuatan apakah yang mengikat logam begitu kuatnya ?, mengapa logam-logam bisa mengikat seperti itu ?. Pertanyaan-pertanyaan semacam ini tentunya akan tertumpu pada struktur atom dan kristal.

Tujuan dari topik ini, agar anda dapat:

- 1) Menerangkan aneka ragam kondisi, dan fase struktur kristal logam.
- 2) Menerangkan aneka ragam pengaruh larutan padat.
- 3) Mengonduksi percobaan Metcaff, dan menentukan ukuran butir yang tepat pada benda pekerjaan yang akan dicoba.

1. Informasi

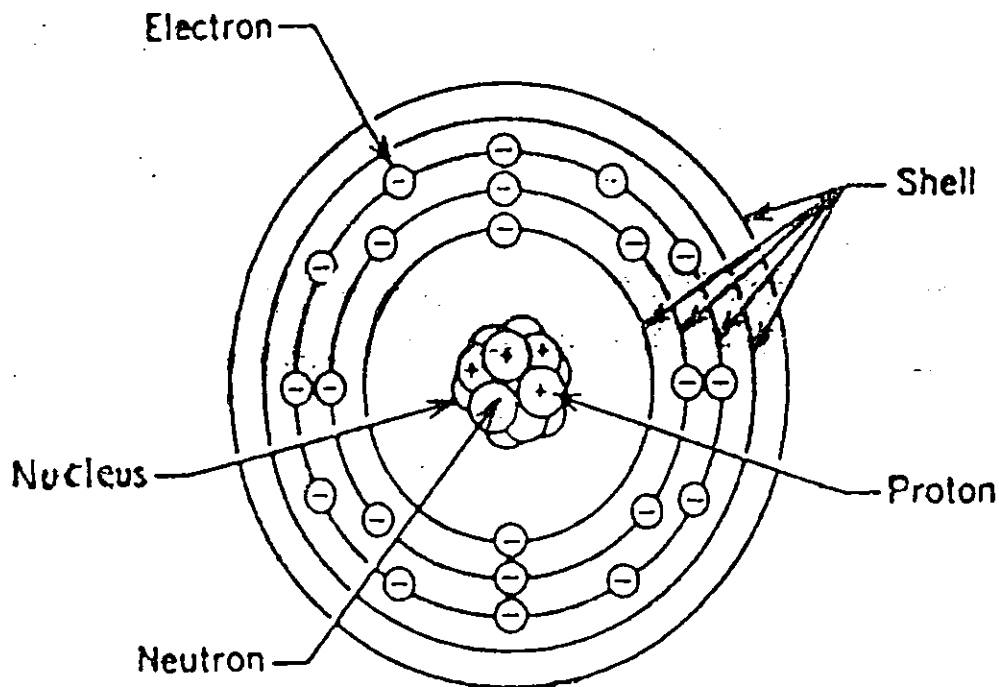
Besar daya guna logam disebabkan perubahan elastis pada tingkat tegangan tertentu yang diikuti oleh perubahan plastis pada tingkat-tingkat tegangan yang lebih tinggi. Kesesuaian bahan-bahan keramik yang getas (brittle), atau polimer seperti kayu atau kulit, logam memegang peranan yang unik dalam perekonomian manusia.

Materi tersusun dari atom-atom yang amat kecil yang dapat dilihat dengan bantuan mikroskop. Atom-atom yang berasal dari bahan yang berbeda, akan berubah menurut jumlah dan susunannya, dan bukan bentuk zatnya. Materi yang tersusun dari jenis atom tunggal disebut unsur (elemen).

2. Atom

Atom menyerupai miniatur tata surya. dengan bagian-bagian utamanya, seperti pada gambar 3.1 Nucleus/inti atom terdiri dari proton dan neutron. Proton mempunyai muatan listrik positip. Neutron mempunyai berat yang sama dengan proton, tetapi muatannya netral. Pemutaran dengan kecepatan tinggi disekeliling inti (nucleus)

adalah partikel-partikel yang lebih kecil yang disebut elektron. Elektron-elektron yang bermuatan negatif berarti elektron yang mempunyai gaya tarik menarik yang sangat kuat terhadap inti muatan positif.



Gambar 3.1 A t o m

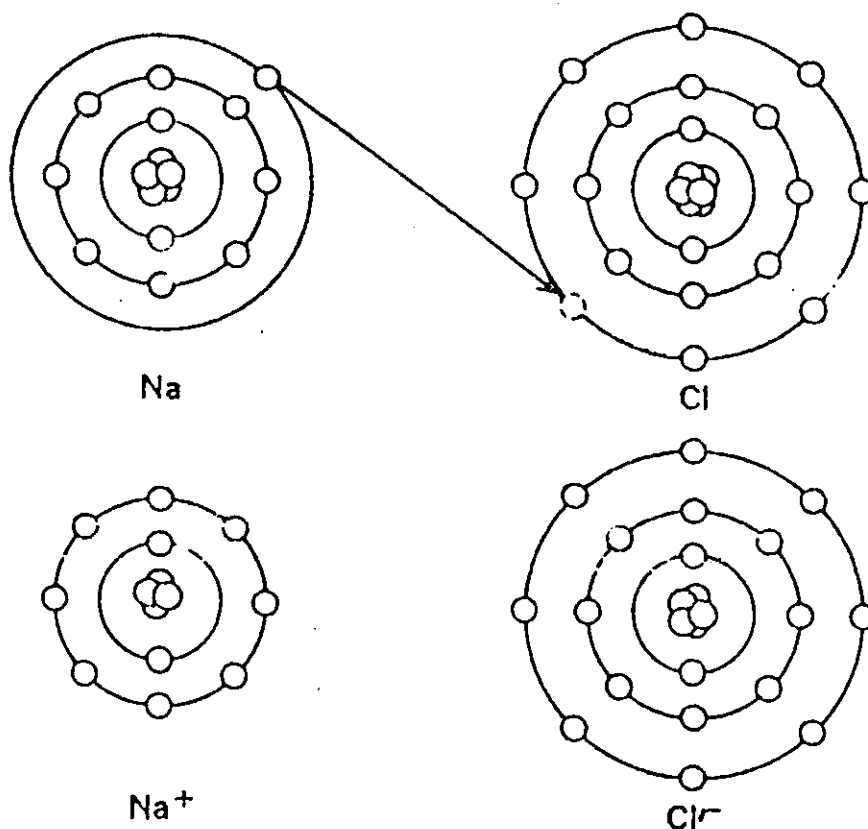
Masing-masing atom mempunyai lintasan elektron yang disebut dengan shell (kulit lintasan). Jumlah susunan dan putaran (spin) elektron dalam shell ini berkaitan dengan inti muatan positif yang menentukan jenis atom dan sifat wujudnya (karakteristik) elektron pada lintasan terluar, disebut elektron valensi yang memegang peranan dalam menentukan sifat fisik dan kimianya. Atom-atom logam posisinya mudah berpindah-pindah ke arah elektron valensi, untuk membentuk ion positif.

3. I k a t a n

Dengan informasi ini, sekarang bisa meneruskan untuk menentukan bagaimana logam dapat mengikat begitu

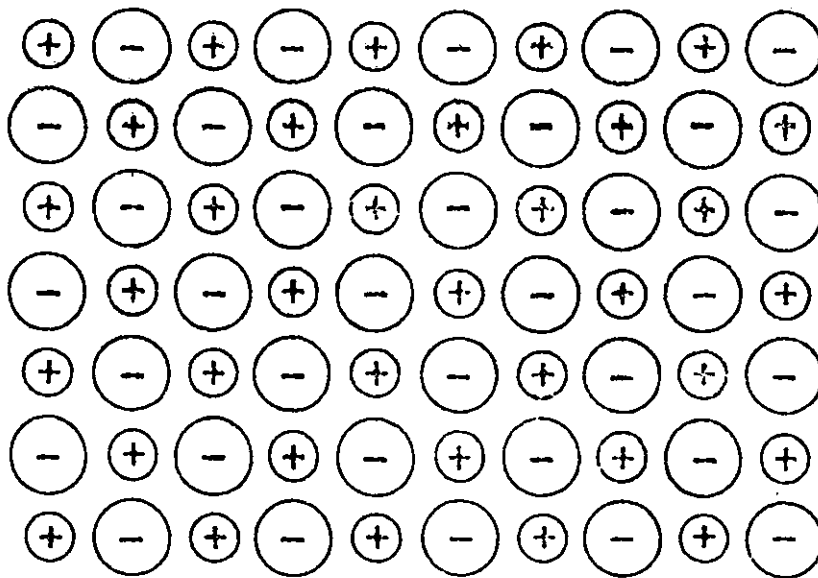
kuatnya. Ada empat macam kemungkinan cara-cara pengikatan atom itu kuat ialah ikatan ionic, covalent, logam dan Vander Waals.

Ikatan ion adalah gaya tarik menarik ion negatif dan ion positif. Natrium Clorida (NaCl) adalah contoh ikatan ion (lihat gambar 3.2)



Gambar 3.2 Ikatan ion

Pada gambar tersebut, logam Natrium kehilangan elektron valensi, yang diterima oleh non logam Clorida untuk memenuhi shell valensinya. Atom Natrium sekarang mempunyai muatan positif, dan atom Clorida bermuatan negatif. Hasil dari struktur garam ini agak lemah, maka gaya tarik menarik elektrostatic sangat bagus dan searah. Hal ini dapat dilihat pada gambar 3.3

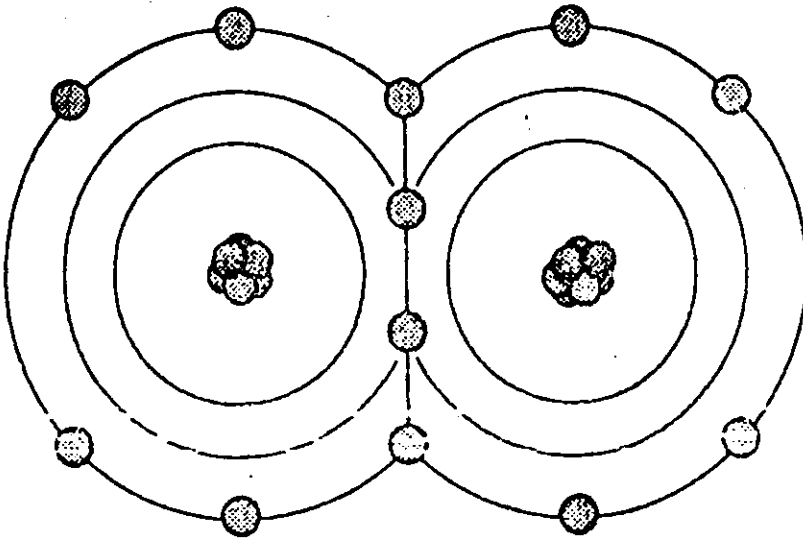


Gambar 3.3 Struktur kisi garam
(Natrium Clorida).

Ikatan covalent atau penyerahan elektron yang sangat kuat, tergantung pada jumlah elektron yang diberikan. Ikatan covalent terutama terdapat pada unsur-unsur non logam seperti Karbon (contoh intan). Sedangkan pada ikatan ion strukturnya padat dan searah.

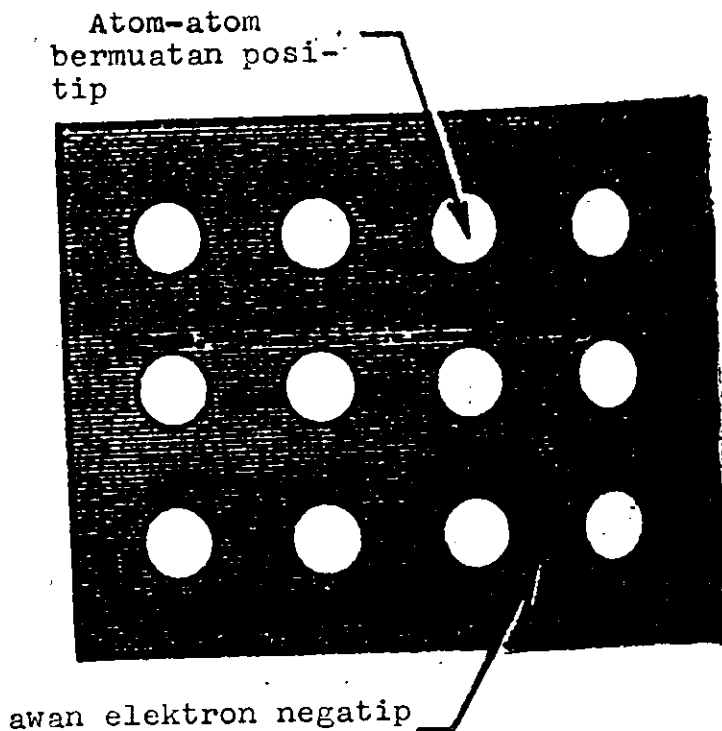
Atom Oksigen mempunyai enam (6) elektron pada lintasan (shell) ke dua. Lintasan ini memerlukan 8 (delapan) elektron. Jadi diberikan 2 (dua) elektron untuk masing-masing atom agar susunan elektron itu stabil (lihat gambar 3.4)

Apa bila satu atom atau lebih bergabung menjadi susunan ikatan, maka disebut molecule. Ikatan logam ialah elektron-elektron yang terdapat pada kulit valensi yang tidak berhubungan dengan atom-atom yang bermuatan positif, serta berada pada lingkungan awan atau gas.



Gambar 3.4 Molekul Oksigen mempunyai ikatan kovalent.

Atom-atom yang bermuatan positif ini disusun dalam pola yang sangat teratur. Atom-atom yang terikat itu disebabkan adanya saling tarik menarik elektron gas negatif. (Lihat gambar 3.5)



Gambar 3.5 Ikatan logam.

Gerakan elektron bebas itu menyebabkan konduktivitas panas dan listrik tinggi, dan juga mempengaruhi sifat elasticity dan plasticitynya.

Ikatan Vander Walls terdapat pada atom-atom netral seperti gas-gas lembam. Disana hanya ada gaya tarik menarik yang sangat lemah dan ini penting sekali, didapatkan pada temperatur-temperatur sangat rendah.

4. Logam dan Nonlogam

Hampir tiga perempat dari semua unsur berkaitan dengan logam. Beberapa dari logam atau unsur-unsur transisi seperti Silicon atau Germanium. Ada beberapa sifat unsur pada logam yang harus diperhatikan:

- 1) Struktur kristal - struktur butir.
- 2) Konduktivitas listrik dan panas tinggi.
- 3) Dapat dibentuk secara plastis.
- 4) Kilatan atau pantulan logam.

Keterangan umum beberapa logam, simbol kimia, dan struktur kristal dapat dilihat pada tabel 1.

Struktur Kisi Kristal

Logam bisa melarut menjadi 6 (enam) struktur kisi utama:

- 1) Kubus pemusatan ruang (KPR).
- 2) Kubus pemusatan sisi (KPS).
- 3) Hexagonal tumpukan padat (HTP)
- 4) Kubus
- 5) Tetragonal pemusatan ruang.
- 6) Rhombohedral (rhombic).

Symbol	Element	Crystal Structure
Al	Aluminum	FCC
Sb	Antimony	Rhombohedral
Be	Beryllium	CPH
Bi	Bismuth	Rhombohedral
Cd	Cadmium	CPH
C	Carbon (graphite)	Hexagonal
Cr	Chromium	BCC (above 26° C)
Co	Cobalt	CPH
Cu	Copper	FCC
Au	Gold	FCC
Fe	Iron (alpha)	BCC
Pb	Lead	FCC
Mg	Magnesium	CPH
Mn	Manganese	Cubic
Mo	Molybdenum	BCC
Ni	Nickel	FCC
Nb	Niobium (columbium)	BCC
Pt	Platinum	FCC
Si	Silicon	Cubic, diamond
Ag	Silver	FCC
Ta	Tantalum	BCC
Sn	Tin	Tetragonal
Ti	Titanium	CPH
W	Tungsten	BCC
V	Vanadium	BCC
Zn	Zinc	CPH
Zr	Zirconium	CPH

Tabel 3.1 Sifat-sifat beberapa logam biasa.

Struktur kristal mulai tumbuh pertama dengan pembe-nihan kristal atau pengintian sampai logam mengeras atau memadat. Jumlah pengintian atau butir yang dibentuknya , menentukan kekasaran atau kehalusan struktur butir logam. Pendinginan lambat, memberikan butir kasar dan pendingi-nan cepat akan memberikan butir yang lebih kecil.

Butir berkembang keluar dari kristal Dendrite, sehingga bertemu dengan kristal Dendrite lain, dan begitu seterusnya. Pertemuan (perkawinan) butir-butir, menyebabkan tersusunnya batas-batas butir.

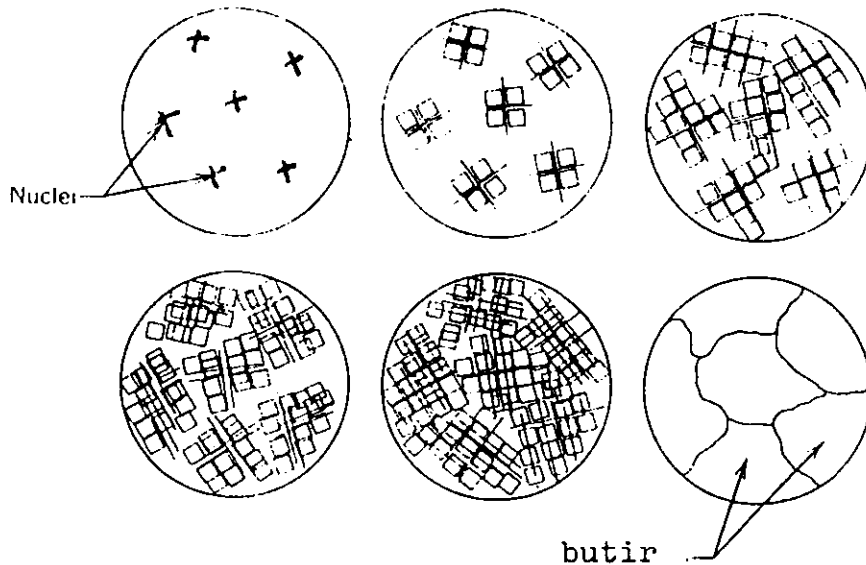
Karena pembekuan terjadi, susunan struktur kisi kristal membentuk ciri khusus. masing-masing bangun unit cell dengan yang lainnya membentuk pola-pola jarum kristal yang menyerupai pohon cemara kecil. Struktur - struktur ini yang disebut Dendrite (lihat pada gbr. 3.6)



Gambar 3.6 Kristal Dendrite yang berdimensi tiga diatas permukaan timah yang melarut.

Gambar 3.7 menjelaskan bahwa waktu logam cair mengalami pembekuan, waktu itu juga pertumbuhan Dendrite dari proses pengintian, berlangsung pementiran akhir.

Pengintian bisa berwujud partikel kotoran atau cellunit logam.

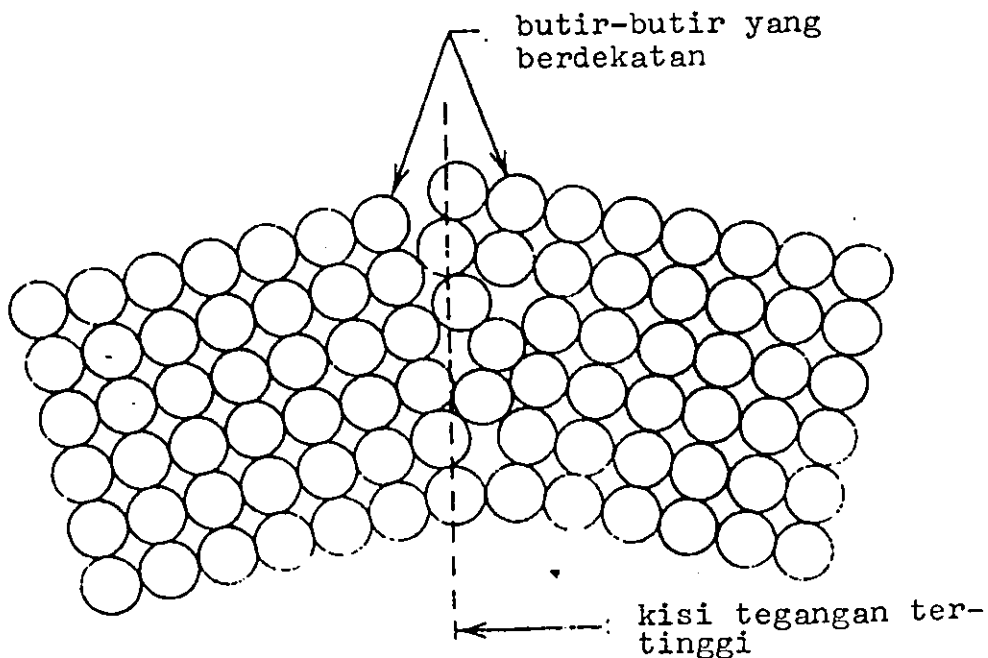


Gambar 3.7 Pembentukan butir-butir selama pembekuan.

6. Batas Butir

Karena struktur kristal berkembangnya beberapa arah yang berbeda-beda, terlihat adanya batas-batas butir yang atom-atomnya tertekan dalam pola yang tidak cocok. (lihat gambar 3.8).

Kondisi tegang ini, juga mempengaruhi batas-batas butir lebih kuat dari pada struktur kisi butir tetangganya yang temperatur rendah (dibawah panas merah), tetapi pada temperatur tinggi lebih lemah (panas kekuning-kuningan atau putih). Batas-batas butir dilingkungan itu kira-kira hanya satu atau dua atom, tetapi pada keadaan tegang, menyebabkan batas-batas yang di etsa berbeda-beda. Jadi batas itu bisa diamati dengan bantuan mikroskop.

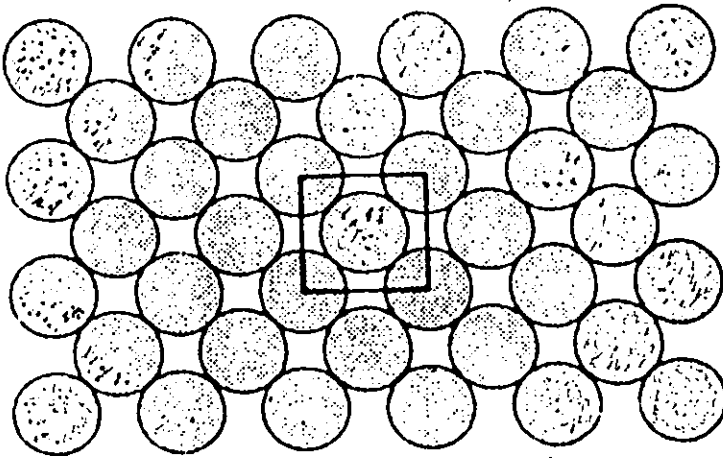


Gambar 3.8 Batas butir tegangan tinggi.

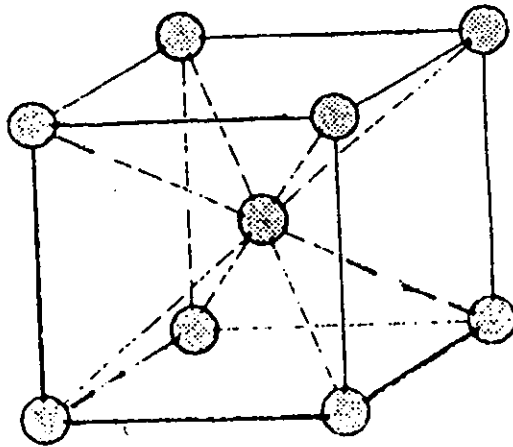
7. Kisi Kubik Pemusatan Ruang

Kisi kubik ini, tersusun dari atom-atom yang masing-masing berada pada pojok kubiknya dan yang satu berada tepat di tengah-tengah. Baja pada 1333°F (723°C), mempunyai susunan kisi yang disebut Besi atau Ferit. Logam-logam yang lain seperti Chromium, Columbium, Barium, Vanadium, Molybdenum, dan Tungsten mengristal menjadi struktur kisi itu. Kubik-kubik ini sesuai seperti pada gambar 3.9.

Logam-logam yang berkubik pemusatan ruang (gambar 3.10.) menunjukkan keliatan (keuletan) yang lebih rendah, tetapi kekuatan lumernya lebih tinggi dari pada logam-logam yang berkubik pemusatan sisi.



Gambar 3.9 Struktur kisi menunjukkan formasi kubik pemusatan ruang.

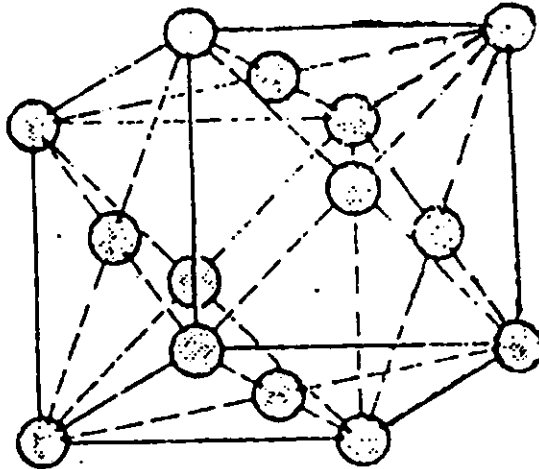


Gambar 3.10 Struktur kubus pemusatan ruang.

8. Kisi Kubik Pemusatan Sisi

Atom-atom Calcium, Aluminium, Tembaga, Timah hitam, Nikel, Emas, Platinum, dan beberapa logam lain, penyusunannya, satu atom terletak pada masing-masing pojok kubus dan satu atom persis ditengah-tengah kubus. Jika baja, berubah menjadi nonmagnetic didalam daerah kritis,

atom-atomnya mengatur diri menjadi suatu struktur yang disebut Besi Gamma atau Austenit (gambar 3.11).

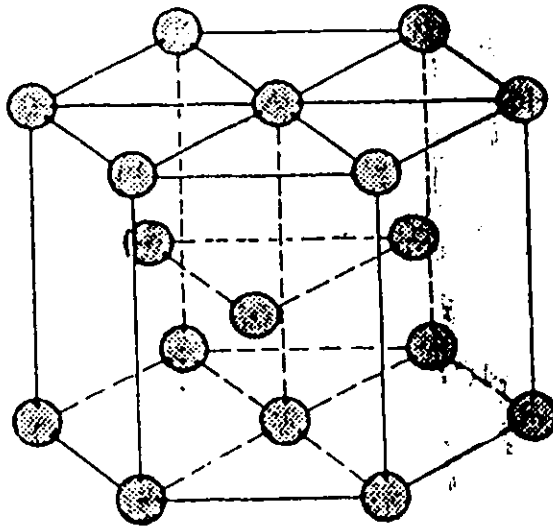


Gambar 3.11 Struktur kubus pemusatan sisi.

9. Kisi Hexagonal Tumpukan Padat

Struktur ini (gbr. 3.12) terdapat paling sedikit pada logam-logam biasa. Beryllium, Seng, Kobalt, Titanium, Magnesium, dan Kadmium: contoh-contoh logam mengristal di dalam struktur ini. Oleh karena adanya spasi pada struktur kisi, maka deretan atom-atom tidak akan mudah mendorong satu dengan yang lainnya pada hexagonal tumpukan padat ini. Dengan alasan ini, logam-logam tersebut mempunyai keuletan dan keplastisan yang lebih rendah dari pada struktur-struktur kubus.

Logam Mangan mempunyai struktur kubus lebih sederhana. Mangan digunakan sebagai unsur pemuad dalam Baja. Antimon digunakan sebagai unsur pemuad dengan seng dan timah putih. Antimon mempunyai struktur kristal Rhombo Hedral.



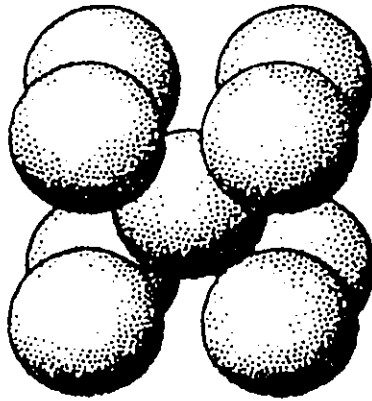
Gambar 3.12 Struktur Hexagonal tumpukan padat.

Apabila Baja Carbon didinginkan dari temperatur Austenit, struktur KPS berusaha berubah menjadi struktur KPR. Sejak ada larutan padat Carbon dan Besi, pada temperatur Austenit, kisi-kisi itu berisi atom-atom Carbon yang lebih kecil diantara sela-selanya, serta perubahan sempurna menjadi KPR tidak mungkin. Ini disebabkan oleh adanya interferensi atom-atom Carbon karena tidak cukupnya temperatur kamar dalam KPR untuk membiarkannya. Akibat, kristal KPR menjalar menjadi Tetragonal pemusatan sisi. Penyimpangan kisi itu menyebabkan kekerasan Martensit struktur Tetragonal pemusatan ruang.

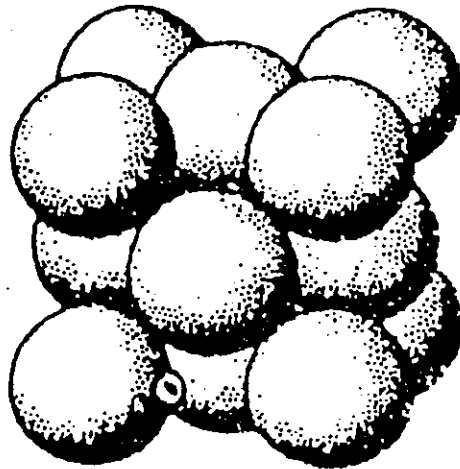
10. Perubahan Kristal Selama Pemanasan

Apabila logam dipanaskan lambat sampai ke titik cair, perubahan sebenarnya tentu terjadi. Umumnya logam Non Ferro seperti Aluminium, Tembaga, dan Nikel, tidak dapat mengalami perubahan di dalam struktur kisi kristal sebelum menjadi cair. Beda halnya dengan logam-logam Ferro (logam-logam yang mengandung besi).

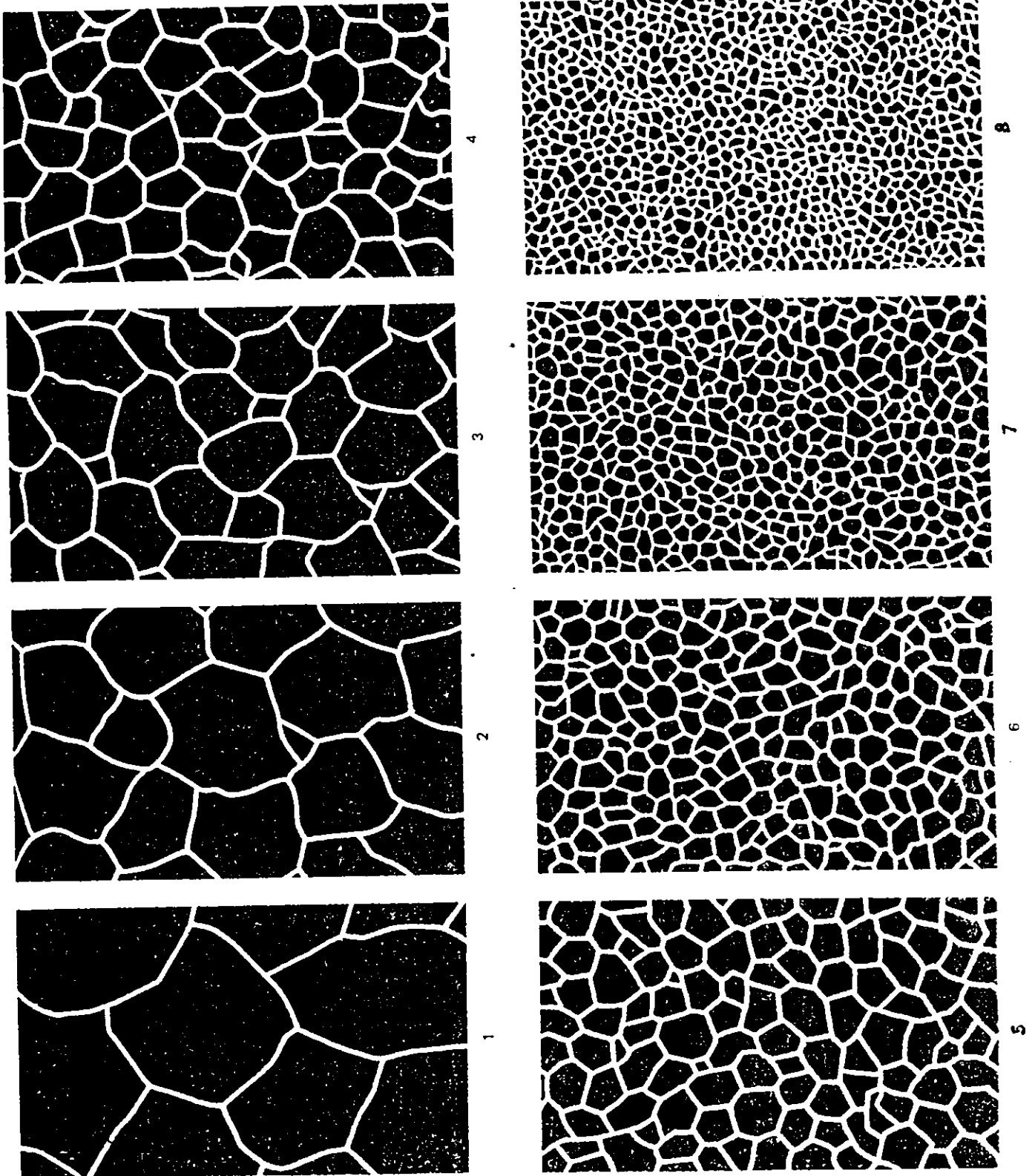
Besi ialah jenis khusus logam yang mengalami perubahan sesungguhnya, perubahan kristal bila dipanasi sampai tingkat cair. Besi dalam kondisi dingin adalah KPR (gbr 3.13),^{3.13} tetapi apabila dipanasi sampai kira-kira temperatur 1700°F (927°C) dalam bentuk murninya menjadi KPS (lihat gambar 3.14).



Gambar 3.13 Kubik pemusatan ruang.



Gambar 3.14 Kubik pemusatan sisi.



Gambar 3,15 Standar bilangan ukuran butir. Ukuran butir per inchi² (100 X) (photograph Courtesy of Bethlehem Steel Corporation).

Bahan yang berubah struktur kisi kristalnya pada kondisi tertentu disebut Allotropic.

11. Pentingnya (Perlunya) Ukuran Butir

Ukuran butir mempunyai pengaruh besar pada sifat - sifat mekanis logam. Ramalan pengaruh-pengaruh pertumbuhan butir itu, disebabkan perlakuan panas yang wajar . Temperatur-temperatur, unsur-unsur pemadu, dan waktu pen_{ce}lupan, semuanya berpengaruh terhadap pertumbuhan butir.

Umumnya butir kecil lebih baik dari pada butir besar. Butir kecil mempunyai kekuatan tarik lebih banyak, lebih keras, kurang penyimpangannya (distorsi) selama pendinginan, dan kurang kelemahan (susceptible), keretakan (cracking). Butir yang halus adalah terbaik bagi alat-alat perkakas dan alat cetak. Akan tetapi, butir be_sar kerap kali bertambah lemah kemampuan kerasnya dari yang pengarbonan dan bagi baja kelemahan tergantung pada pengerjaan dingin.

Semua logam mengalami pertumbuhan butir pada temperatur tinggi. Sebenarnya ada beberapa logam yang secara relatif mencapai temperatur tinggi kira-kira 1800°F (982°C) dengan pertumbuhan butir yang sangat kecil tetapi karena temperatur naik, pengalaman menunjukkan laju pertumbuhan cepat. Logam-logam ini akan menunjukkan pem_{butiran} yang halus.

12. Klasifikasi Ukuran Butir.

Ada beberapa cara untuk menentukan ukuran butir sebagaimana yang dilihat dibawah mikroskop. Cara penjelasannya di sini akan dikupas secara luas. Ukuran butir di_tentukan oleh banyaknya butir per inchi kwadrat, dib_a - wah 100 kali pembesaran.

Ukuran butir umumnya ditentukan oleh ukuran butir Austenit. Baja yang didinginkan tepat, tentu menunjukkan butiran halus. Dalam penjelasan, kerap kali sekeping baja diperlukan untuk menentukan ukuran butir. Cara yang sebenarnya yang dilakukan pada perbandingan antara benda uji dengan chart klasifikasi ukuran butir. Chart itu menyangkut delapan ukuran butir yang berbeda-beda. Yang dimaksud baja berbutir halus bila urutannya 5 (lima) sampai dengan 8 (delapan), sedangkan yang berbutir kasal ialah 1 (satu) sampai dengan 5 (lima). Jika 70 % ukuran butir menurun sampai batas-batas tertentu, berarti bisa diterima, klasifikasi dua ukuran mungkin perlu bila ada besarnya variasi sekeping logam. Bila ukuran butir Austenit tertentu, maka umumnya tabel-tabel sifat mekanis bisa diterima sebagai penentuan percobaan Mc Quaid - EHN. Percobaan ini terdiri dari pengarbonan benda-benda uji (specimen) pada temperatur 1700°F (927°C) lalu didinginkan lambat untuk mengembangkan jaringan (net work) Karbida pada batas-batas butir. Benda uji lalu dipolis, dietsa, kemudian dibandingkan dengan standar-standar ukuran butir pada 100 kali pembesaran.

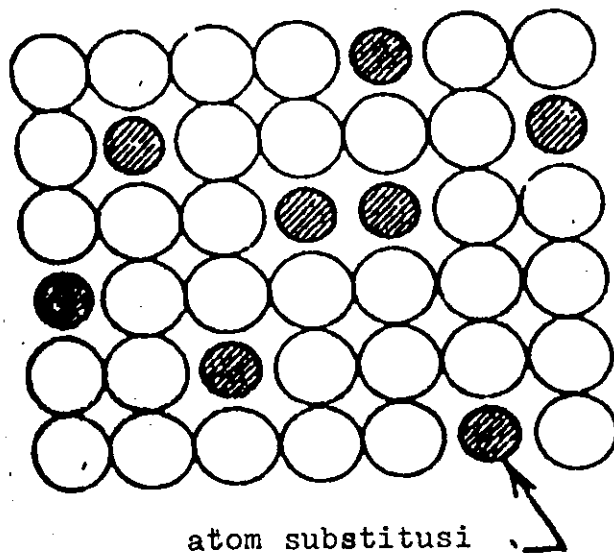
13. Larutan, Cair, dan Zat Padat

Apabila dua logam atau lebih dipanaskan sampai atau di atas titik cairnya dan bersenyawa, biasanya menjadi larutan yang dikatakan paduan. Logam yang berkomposisi , prosentase tertinggi menjadi pelarut dan logam yang berkomposisi lebih kecil prosentasenya menjadi yang dilarutkan. Beberapa logam cair tidak akan melarut seluruhnya pada logam cair lain. Mereka memisahkan atau membentuk campuran. Kita biasanya berfikir dengan larutan dalam istilah-istilah cairan seperti larutan garam, atau larutan gula. Ada juga batas-batas kelarutan; Air akan banyak melarut hanya pada garam atau gula.

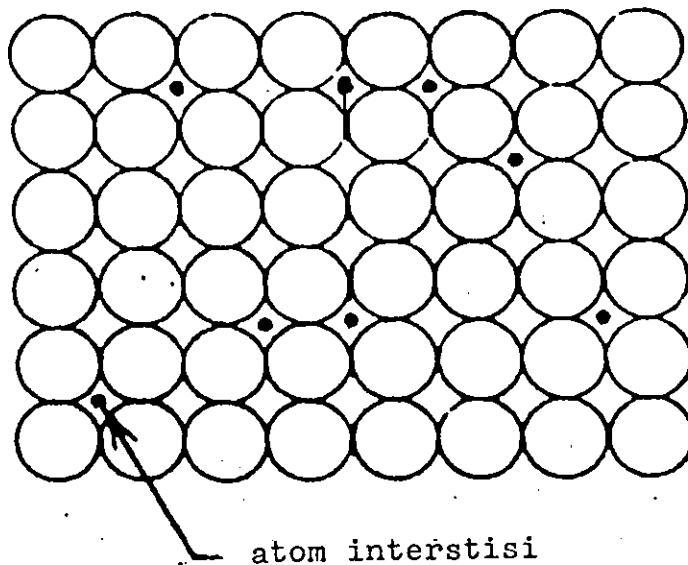
Minyak akan larut dalam air, tetapi dalam tingkat yang sangat terbatas. Jika anda saksikan ada kesamaan antara larutan-larutan logam cair dan larutan-larutan cairan lain. Larutan-larutan ini bisa juga terdapat pada logam-logam padat tetapi perubahan-perubahannya terbentuk pada batas kisi dan struktur butir dalam zat-zat padat. Atom itu sama sekali tidak begitu bebas bergerak kemana-mana, karena dalam keadaan cair atom-atom hanya bergerak pada tingkat terbatas serta amat lebih rendah ruang gerak dalam zat-zat padat. Laju gerakan tergantung pada suhu.

14. Jenis-jenis Larutan

Melarutkan bahan yang satu ke bahan lain, dapat dilakukan dengan dua cara: substitusi dan interstisi seperti dapat dilihat pada gambar 3.16 dan 3.17.



Gambar 3.16 Larutan padat substitusi.

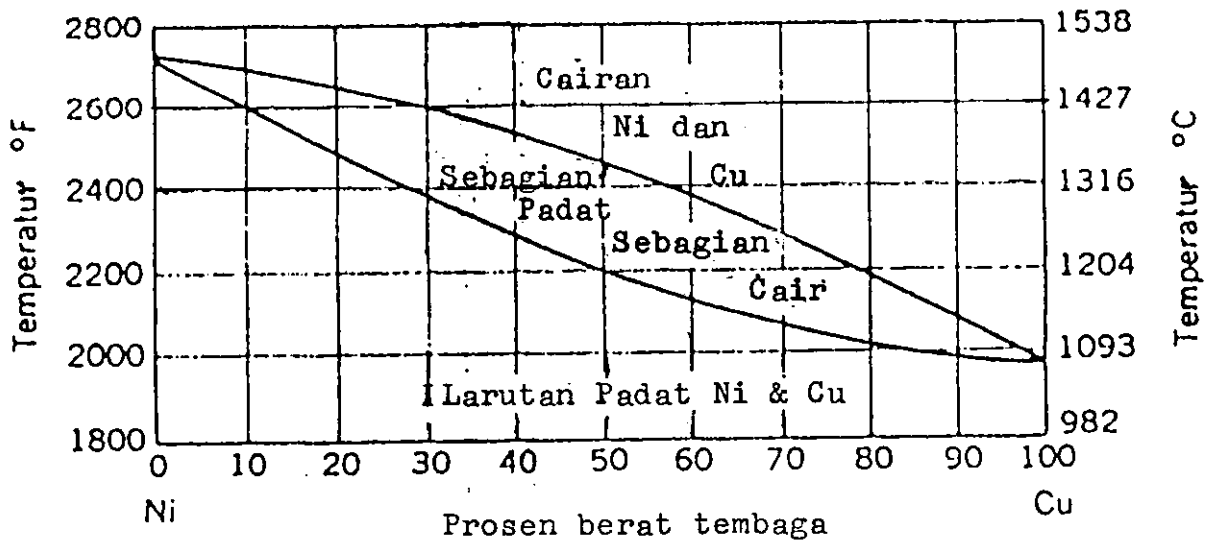


Gambar 3.17 Larutan padat interstisi.

Larutan padat substitusi adalah larutan dua unsur atau lebih dengan atom-atom yang ukurannya relatif sama. Perlunya maksud ini ialah karena pemaduan atom-atom, men_undukkan sistim atom didalam struktur kisi dan tidak harus benar-benar pas pada sela-sela antara atom yang tersusun sebagaimana yang dilakukan pada larutan-larutan in_{te}rstisi.

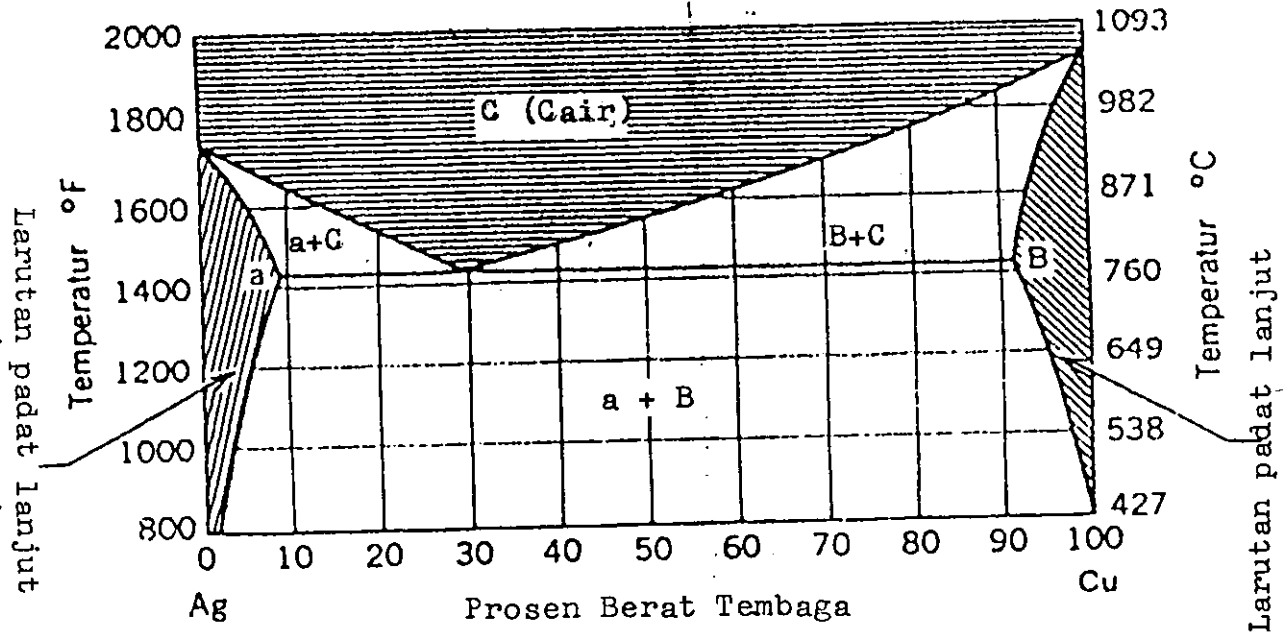
Bila logam larut sempurna dengan yang lain, misalnya tembaga dan nikel, dimana struktur kisi ke dua logam sama, ukuran atom relatif sama, maka ada kecenderungan bersenyawa. Jenis larutan ini disebut larutan padat tetap atau larutan padat kontinyu.

Gambar 3.18 adalah diagram yang menunjukkan bagaimana nikel dan tembaga bersenyawa menjadi larutan padat tetap. Apabila faktor-faktor diatas berubah, logam-logam mempengaruhi derajat (tingkat) daya larut. Contohnya adalah tembaga-perak. Ukuran atom cukup berbeda banyak dari pada tembaga-nikel, dan kecenderungan bersenyawa kurang banyak.



Gambar 3.18 Diagram fasa Tembaga-Nikel.

Bisa dilihat pada gbr. 3.19 bahwa larutannya ada -
lah kontinyu, pada masing-masing ujungnya tetap, tidak
larut yang berada di tengah (di antara ke dua ujung).
Jenis larutan ini disebut larutan padat terminal.



Gambar 3.19 Diagram fasa Perak-Tembaga.

Untuk menyimpulkannya biasanya makin banyak du logam yang memadu secara kimiawi dan fisik, makin cenderung membentuk larutan padat kontinyu.

1. Ukuran atom logam pemadu tidak boleh berbeda lebih dari 15 %.
2. Karakteristik kimia harus sama.
3. Logam-logamnya harus berkrystal dalam pola yang sama seperti BCC, FCC, CPH.

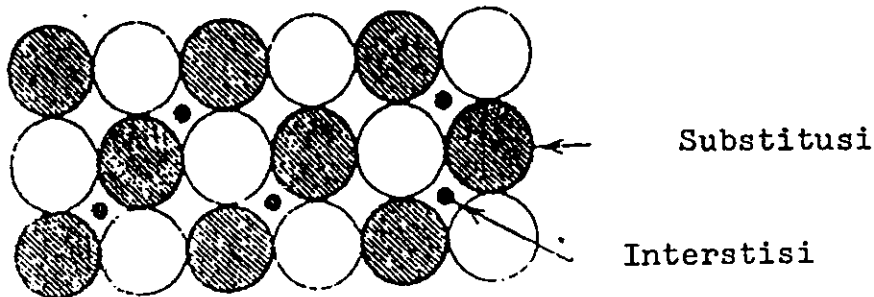
Larutan padat yang tidak larut di bawah temperatur transpormasi, sering memisahkan menjadi struktur lamelar (seperti plat) campuran.

Larutan padat interstisi tersusun dari unsur- unsur pemadu atau atom-atom yang berbeda besar dalam ukurannya seperti pada gbr.3.16&17. Atom-atom pemadu harus cukup kecil penyesuaian pada struktur kisi bahan dasarnya. Ketentuannya bahwa atom pemadu harus kira-kira separo dari ukuran atom dasar. Umumnya unsur-unsur pembentuk interstisi ialah Carbon; Nitrogen; Oksigen; Hidrogen; dan Boron. Unsur-unsur ini berperan penting dalam kemampuan bersenyawa secara kimiawi dengan logam dasar. Persenyawaan tersebut, seperti persenyawaan besi (Fe) dan Carbon (C) sebagai pembentuk besi carbida (Fe_3C). Besi carbida dan persenyawaan-persenyawaan lain seperti besi nitrida dan krom nitrida mempunyai banyak sekali kekuatan dalam meningkatkan kekerasan bahan, ketahanan terhadap panas dan ketahanan terhadap keausan.

Pertumbuhan logam-logam karbida, nitrida, dan borida membantu industri pesawat terbang dan ruang angkasa, dalam program-program pembangunan.

Kondisi ke tiga ialah persenyawaan atom-atom substitusi dan interstisi dengan logam dasar sama.

Proses perlakuan tersebut untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 3.20.



Gambar 3.20 Larutan padat substitusi dan interstisi.

Beberapa paduan seperti ini, memungkinkan kekuatan, kekerasan, dan perlakuan panas menguntungkan proses yang lain dalam bahan yang sama. Pada kedua larutan padat substitusi dan interstisi, larutan tersebut memperkuat bahan melakukan penyimpangan (distorsi) struktur kisi. Hal ini disebabkan oleh atom-atom yang dipadu. Penyimpangan kisi menimbulkan perenggangan di sekeliling bidang-bidang dan butir-butir yang slip, sehingga mengakibatkan kenaikan kekuatan dan kekerasan.

15. Pertanyaan Formatif

1) Jelaskan secara singkat struktur atom dan pentingnya elektron valensi

2) Bagaimanakah caranya ikatan logam bekerja, dan pengaruh apakah adanya ikatan logam itu ?

3) Sebutkan 5 (lima) struktur kisi kristal yang terdapat dalam logam

4) Pertumbuhan pada pengintian-pengintian butir itu menyerupai pohon cemara kecil disebut _____

5) Apakah kesinambungan batas-batas butir pada struktur kisi dari satu butir ke butir lain ? terangkan.

6) Kapanakah baja karbon yang diaustenitkan itu didinginkan ?, Mengapa kristal kubus pemusatan ruang (KPR) berubah menjadi struktur tetragonal pemusatan ruang (TPR) ?.

7) Apa yang diartikan dengan batasan allotropic dalam

pelaksanaan praktek besi atau baja ?.

- 8) Terangkan keuntungan baja butir halus jika dibandingkan dengan baja butir kasar.
-

- 9) Akan larutkah semua logam dengan logam lain apabi la logam-logam tersebut dalam keadaan cair ?, terangkan.
-

- 10) Susun daftar jenis-jenis larutan padat dan kondisi - kondisi lain yang terkait dalam zat padat itu.
-

17. Petunjuk Praktikum

Dengan adanya sepotong baja SAE 1095, dengan diameter $\frac{3}{8}$ inchi, panjang 4 inchi dan seperangkat cetakan atau stamp, maka anda akan:

- 1) Melihat pengaruh panas pada bahan-bahan butir halus, dan bahan-bahan butir kasar.
- 2) Menentukan ketepatan ukuran butir sampel yang digunakan.

Percobaan Metcalf

Apabila baja karbon tinggi (kira-kira 1 % karbon) dipanaskan lanjut 1800°F (1024°C) dan didinginkan dalam air, maka struktur butir menjadi sangat kasar dan lemah. Sebenarnya jika benda kerja didinginkan dari 1300°F ($704,4$ derajat Celcius) sampai 1500°F ($815,6^{\circ}\text{C}$) struktur butirnya sangat halus dan lebih kuat. Dalam keadaan normal, butir-butir itu hampir benar-benar kasar, tetapi bajanya lunak dan tangguh. Percobaan pengamatan ini akan anda saksikan, terutama mengenai perubahan-perubahan ukuran butir secara visual.

Dengan cara pengambilan logam yang tepat anda akan mampu membandingkan pertumbuhan butir struktur logam dari butir halus sampai ke butir kasar.

Prosedur Kerja

- 1) Ambil bahan dan buat takikan-takikan atau alur-alur VEE dalam setiap $\frac{1}{2}$ inchi dengan kedalaman 0,050 inchi. Lihat gambar 20. Kikir atau ratakan dengan menggunakan mesin sampai pada satu sisi bagian mencapai lebar $\frac{1}{8}$ inchi dan sayatlah tiap-tiap semua bagian itu.

Kesimpulan

- 1) Potongan logam yang mana dapat dipandang berbutir halus, berbutir kasar ?, terangkan mengapa demikian.

- 2) Bagaimanakah pengaruh ukuran butir pada kekuatan tarik ?.

- 3) Apa yang anda simpulkan pada penjelasan dari percobaan yang berhubungan dengan ukuran butir terhadap kekerasan ?, dan terhadap ketangguhan ?.

BAB IV

DIAGRAM FASA UNTUK BAJA

Diagram fasa berguna untuk menerangkan dan memahami tingkah laku logam. Banyak diagram fasa yang sangat kompleks pada beberapa paduan yang digunakan oleh orang-orang Metallurgi, tetapi hanya sedikit yang dipakai dalam unit ini. Diagram besi-carbon adalah pondasi pemahaman perlakuan panas besi dan baja.

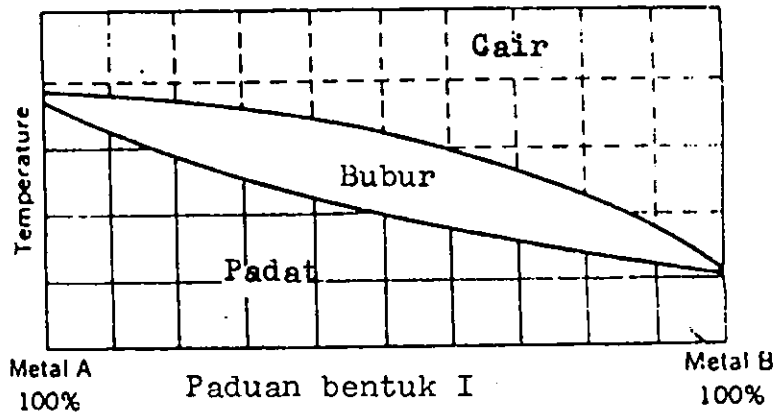
1. Tujuan

Setelah selesai unit ini, anda diharapkan dapat :

- 1) Mendemonstrasikan pemahaman diagram fasa dengan tuntas dan jelas.
- 2) Mengamplas, memolis, dan mengetsa benda kerja untuk pelajaran mikroskop.
- 3) Mampu menentukan kandungan hubungan karbon dengan lantaran evaluasi mikroskop.

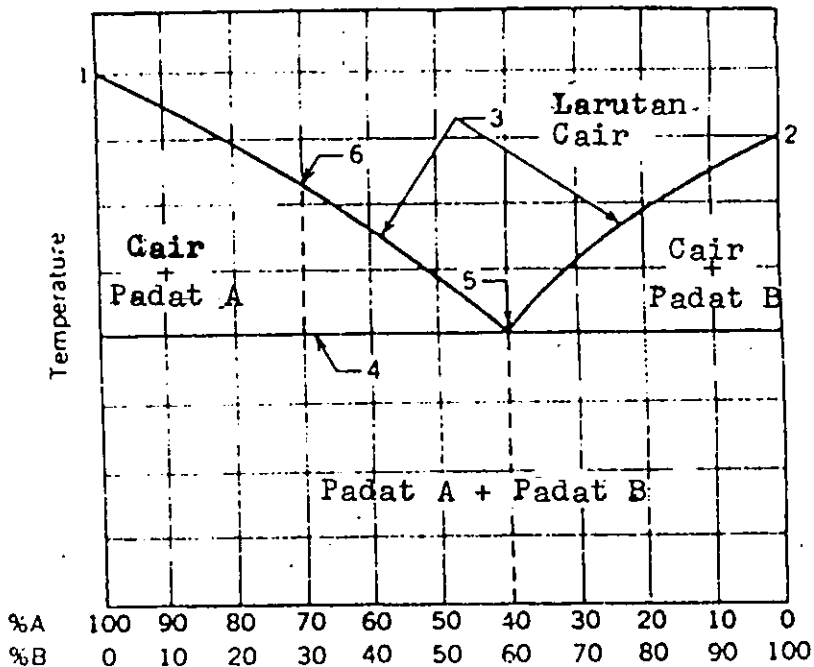
2. I n f o r m a s i

Zat bisa terjadi dalam tiga keadaan atau tiga fase: zat padat, cair, atau gas. Beberapa zat mampu berubah dari keadaan padat ke fase-fase lain atau ke struktur-struktur kristal. Kemampuan merubah menjadi fase yang berbeda-beda disebut allotropy. Besi adalah suatu unsur allotropic dan berubah dari KPS menjadi KPR selama pendinginan. Bila dua logam terpadu sekaligus, temperatur perubahan fase berbeda pada setiap persenyawaan dua logam itu. Temperatur-temperatur dan komposisi perubahan fase dapat dilukis grafiknya, sehingga semua kemungkinan persenyawaan dua logam murni dapat dijelaskan. Paduan tipe I larut sempurna baik cair, keadaan padat dan fase padat berkisi substitusi. Lihat gambar 4.1



Gambar 4.1 Bentuk I diagram konstitusi perak-emas.

Paduan tipe II larut dalam keadaan cair, tetapi tidak larut dalam keadaan padat (lihat gambar 4.2)

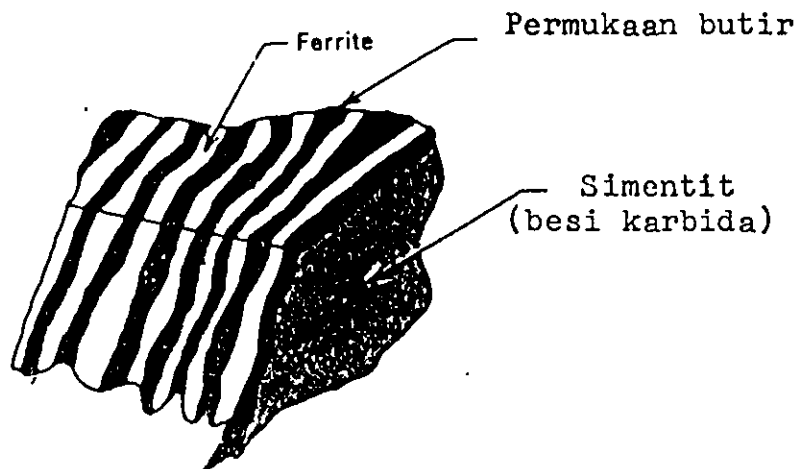


Gambar 4.2 Bentuk II diagram paduan.

1. Titik beku logam murni A.
2. Titik beku logam murni B.
3. Garis liquidus.
4. Garis solidus.
5. Eutectic.
6. 70 % sampai 30 % paduan.

Paduan-paduan yang tidak larut padat, biasanya campuranannya beberapa bentuk dari kedua unsur pembentuk itu.

Logam murni A ditunjukkan sebelah kiri dan logam murni lainnya di sebelah kanan. Pada alas dasar grafik prosentase konsentrasi logam naik, sedangkan yang lain menurun. Garis vertikal menunjukkan temperatur. Temperatur pembekuan (pemedatan) untuk logam-logam A dan logam-logam B adalah titik-titik 1 dan 2. Untuk paduan 2 (dua) logam, pembekuan mulai pada garis 3 (garis liquidus) dan berakhir pada garis 4 (garis solidus) lihat pada Gbr. 4.1. Titik 5 pada grafik adalah paduan cair terendah. Pembekuan paduan komposisi 70 - 30 mulai pada titik 6 dan berakhir pada garis solidus. Dalam metallurgi titik dimana cairan terendah disebut dengan titik eutectic. Perhatikan bahwa titik eutectic di situ tidak ada daerah yang cair. Komposisi eutectic, mulai dan selesai pembekuan pada temperatur yang sama. Garis solidus 4 juga disebut garis eutectic, karena komposisi eutectic disusun pada temperatur ini. Komposisi eutectic atau butir-butir eutectic sering menunjukkan lamellar atau mikrostruktur/plat berlapis-lapis (lihat gambar 4.3). Struktur ini terdapat pada baja carbon. Umumnya logam ini sekurang-kurangnya menunjukkan kemampuan larut kecil dibandingkan dengan logam-logam lain pada suhu kamar, tetapi pada dasarnya zat-zat padat eutectic ini bercampur.



Gambar 4.3 Mikrostruktur Pearlite Lamellar.

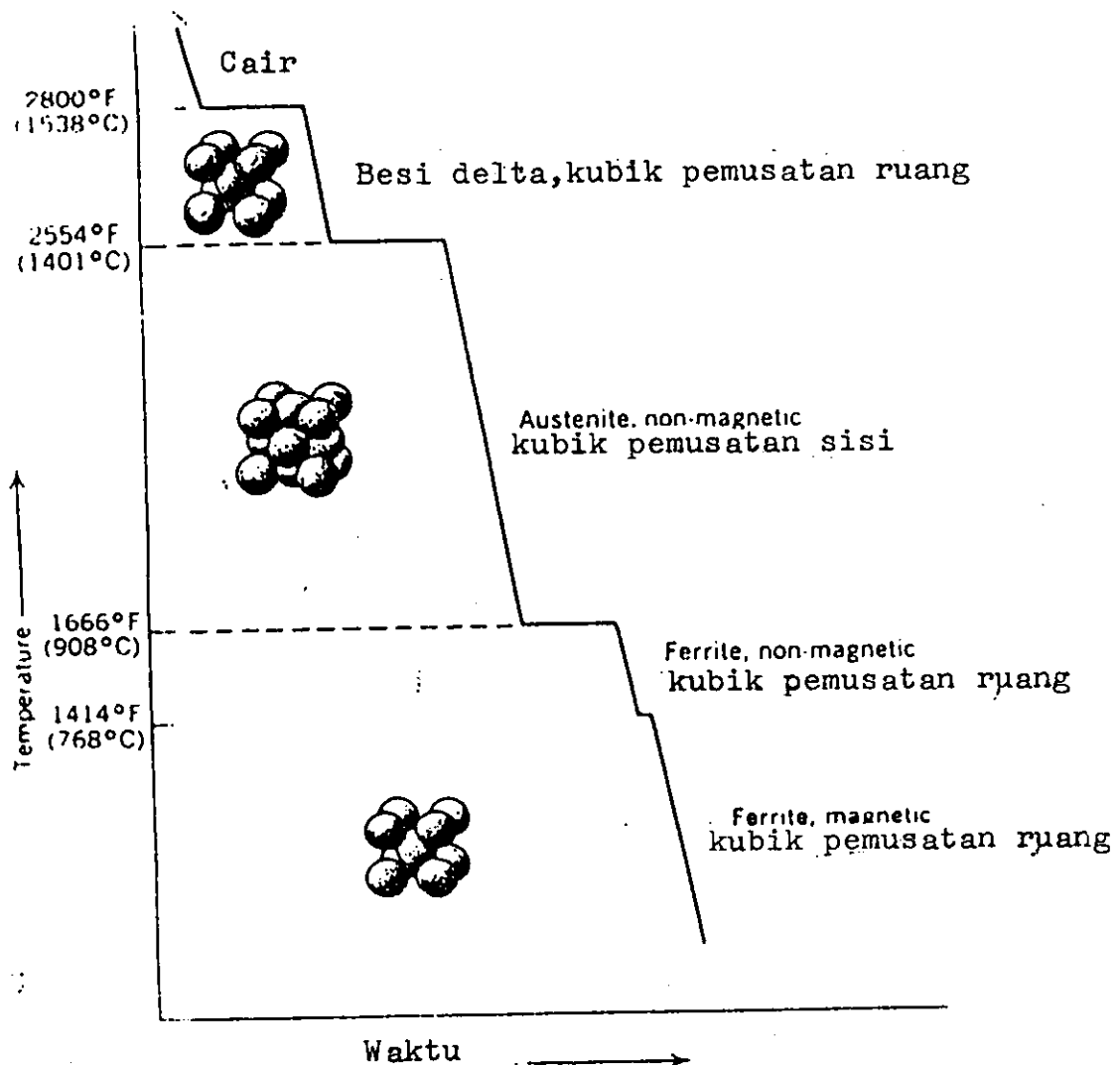
3. Perubahan Fase Besi

Besi adalah unsur allotropic yang dapat berubah lebih dari 1 (satu) struktur kristal. Perubahan ini tergantung pada temperatur. Apabila zat mengalami perubahan fase pada saat pendinginan, maka akan terjadi pelepasan panas. Apabila perubahan fase berubah setelah pemanasan, maka terseraplah panas. Perubahan sifat ini, sebagai dasar untuk menyusun grafik kurva kelengkungan. Jika hasil pendinginan besi terus dicatat, maka kita dapat menyusun grafik yang menyerupai gambar 4.4.

Tiap-tiap bagian tingkat kurva pendinginan menyatakan perubahan fase. Bagian-bagian tingkat ini adalah jenjang pelepasan panas dari perubahan-perubahan fase. Pada 2800°F (1538°C), besi berubah menjadi struktur BCC padat. Semua perubahan berhubungan dengan pembentukan struktur kisi padat yang lain.

Pada 2554°F (1401°C), besi delta KPR berubah menjadi Austenit KPS. Austenit membentuk ferit KPR pada 1666°F (908°C). Perubahan berikutnya sama sekali

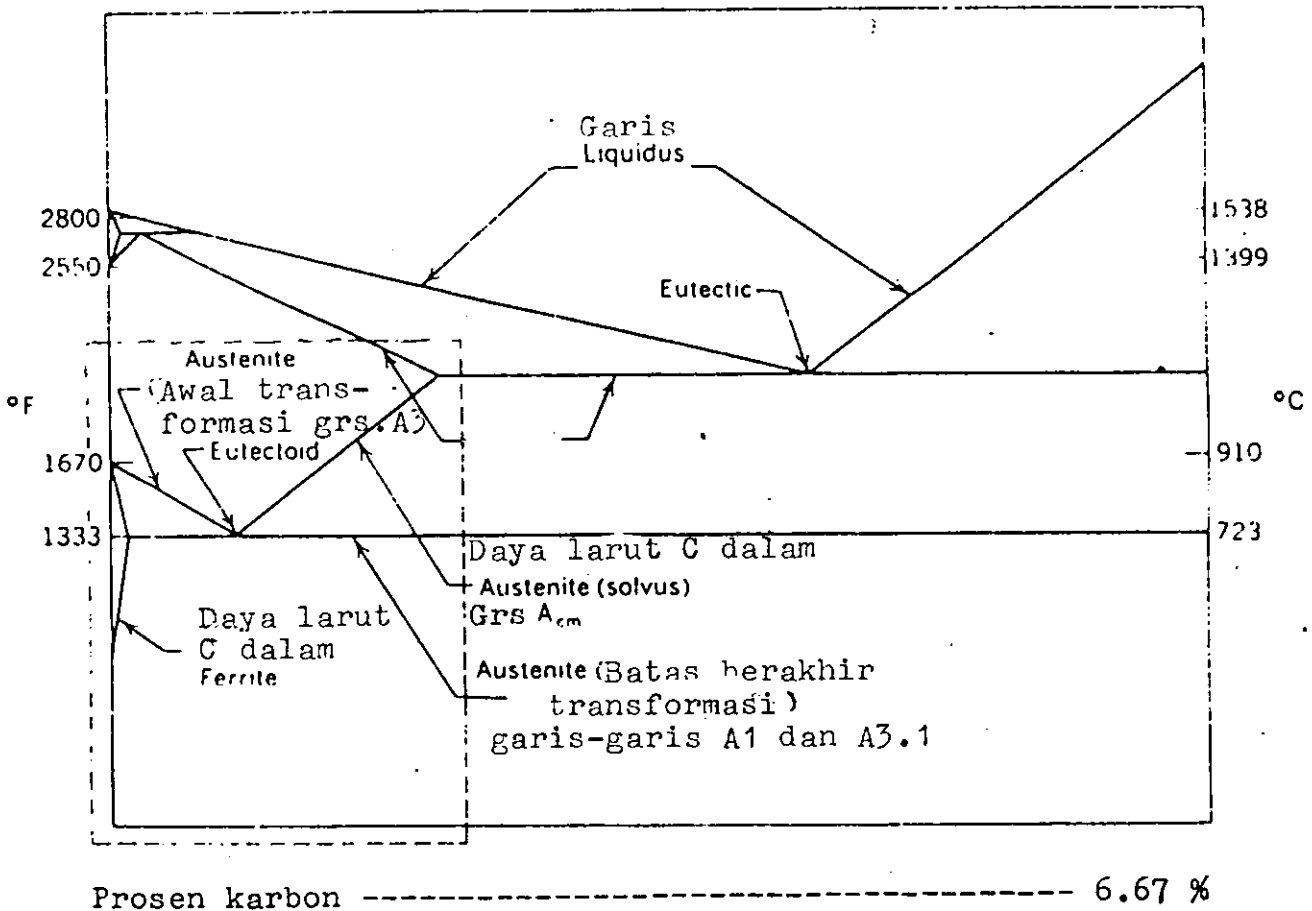
bukan perubahan fase, tetapi perubahan yang benar-benar melepaskan panas. Perubahan ini ialah dari ferit nonmagnetic menjadi ferit magnetic.



Gambar 4.4 Kurva kelengkungan besi murni.

4. Diagram Besi Karbon

Sistem paduan diagram fase pada sebelumnya tak satu pun logam mengalami perubahan fase keadaan padat. Ada beberapa garis baru yang perlu diterangkan pada transformasi fase padat ini (gambar 4.5)



Gambar 4.5 Diagram besi karbon dalam keseimbangan atau pendinginan sangat lambat.

Pada diagram yang sama ada beberapa garis, liquidus, solidus dan titik eutectic. Diagram ini lain dengan yang dulu, karena baris ujung diagram bagian kanan 6,67 % karbon pengganti 100 % karbon. Letak diagram dari 6,67 % sampai dengan 100 % karbon tidak akan memberikan informasi yang berguna bagi baja dan besi cor. Tetapi alasan yang lebih penting bagi penambahan diagram yang ada pada titik ini ialah 6,67 % yaitu prosen Carbon padat dalam persenyawaan besi karbida.

5. Daerah Besi Delta

Daerah pada sebelah kiri diagram antara 2800°F (1538°C) dan 2554°F (1410°C) dalam gambar 5

menerangkan pembekuan dan transformasi besi delta. Pada daerah ini tidak ada nilai tambah bagi perlakuan panas, oleh karena itu hanya memberi pelintas perubahan keadaan saja.

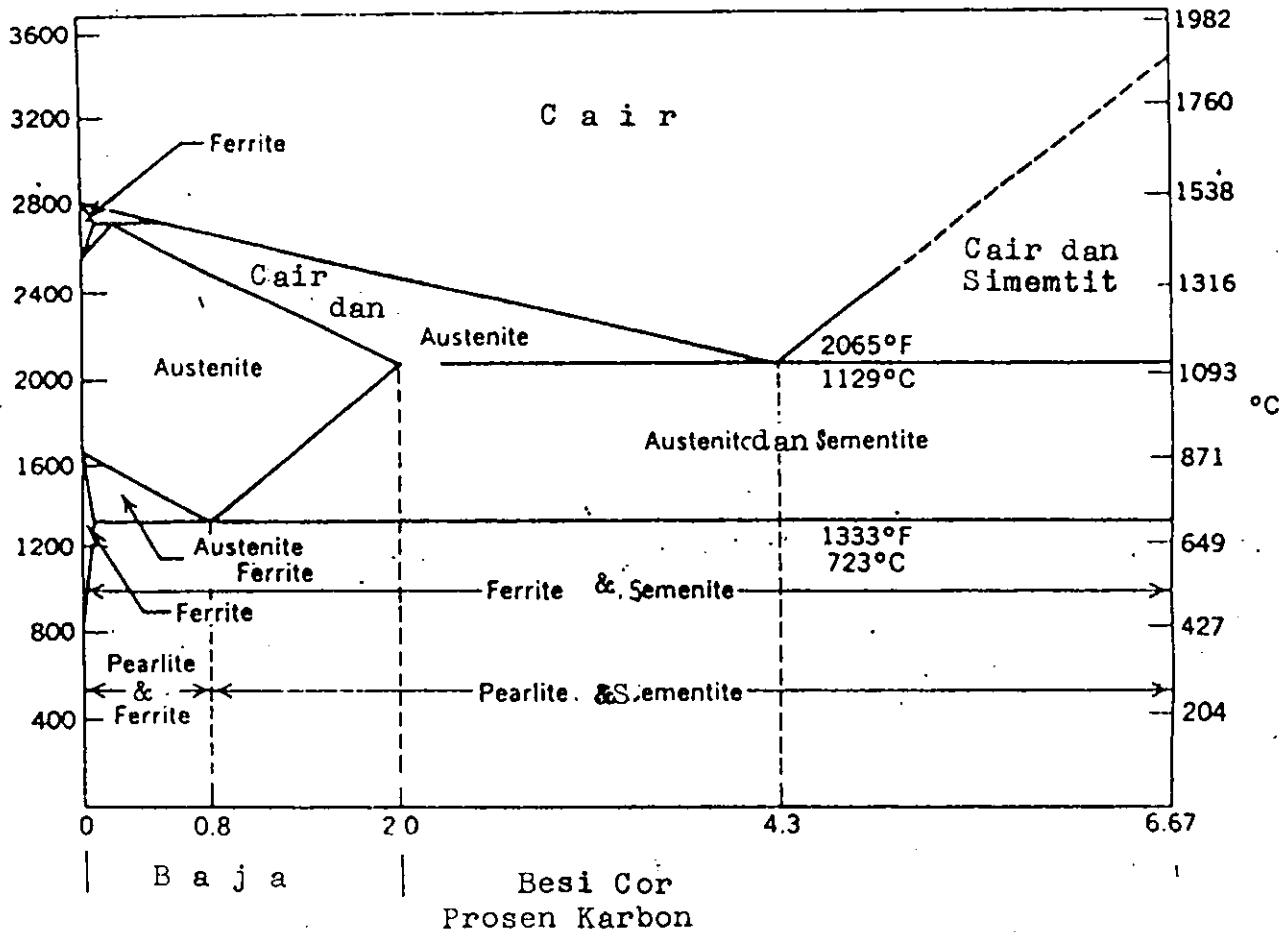
6. Pembagian Baja

Pengajian pembagian diagram yang dijelaskan dengan tanda-tanda garis pada gbr.4.5 dan anda mengetahui bagaimana memahami diagram-diagram fase yang sudah dibahas dalam bagian terdahulu. Sebenarnya garis-garis yang dipakai dalam istilah itu minim. Oleh karena itu sekarang istilah liquidus dan solidus tidak dipakai, karena logam adalah benda padat. Eutectic adalah titik cair rendah, tetapi istilah ini juga tidak tepat. Penambahan akhiran kata -oid berarti sesuai/mirip dengan eutectic pada diagram, tetapi temperatur transformasi fase-fase padatnya itu terendah, sedangkan eutectic adalah titik pembekuan fase cair terendah. Letak garis liquidus berarti garis arah transformasi dari austenit ke ferit, disebut garis A₃, dan garis ini berarti jumlah karbon yang larut dalam austenit, disebut garis A_{cm}. Letak garis solidus merupakan garis arah austenit dalam penyelesaian transformasi ke ferit, dimana perlit terbentuk. Garis ini disebut A₁, sebelah kiri titik eutectoid dan A_{3.1} sebelah kanan titik eutectoid.

7. M i k r o s t r u k t u r

Bila baja uji diampelas, dipolis, dan dietsa dengan Nital (larutan 5 % asam nitrat yang terlarut dalam metanol) ini bisa dilihat melalui mikroskop metallurgi. Asam itu mengetsa besi karbida menjadi warna hitam dan ferit dietsa menjadi warna terang (putih) dalam perlit. Tiap-tiap baja mempunyai jenis mikrostruktur sendiri-sendiri dan timbulnya macam-macam ini, tergantung pada perlakuan panas.

Simentit atau besi karbon (Fe_3C) pada diagram besi karbon itu adalah struktur terkeras. Simentit ini, dalam berat mengandung karbon 6,67 %. Diagram besi karbon (gbr. 4.6) pada bagian sebelah kanan adalah menunjukkan komposisi besi karbida atau simentit.



Gambar 4.6. Diagram Besi - Karbon

Simentit yang sangat keras pada batas butir dan besi cor itu, dietsa berwarna putih. Austenit adalah besi kubik pemusatan sisi. Ini mampu melarutkan karbon secara interstisi maximum 2 % pada 2065°F (1129°C). Lihat gambar 4.6. Diagram besi-karbon menunjukkan batas daya larut karbon dalam austenit. Austenit tidak stabil pada suhu

kamar, kecuali beberapa baja paduan, tetapi dapat terurai menjadi mikrostruktur-mikrostruktur lain.

Ferit adalah besi kubik pemusatan ruang. Ini akan larut hanya 0,008 % karbon pada temperatur kamar dan maksimum 0,025 % karbon pada 1330⁰F (721⁰C). Tempatnya ada pada sebelah kiri diagram ukuran ruang larutan padat kecil dan sempit (lihat gambar 6). Besarnya ferit membentuk larutan padat interstisi dengan karbon, terbatas pada ruang itu. Ferit yang tampak pada diagram adalah ferit dengan struktur terlunak. Melalui mikroskop akan kelihatan warna kelabu keputih-putihan atau putih.

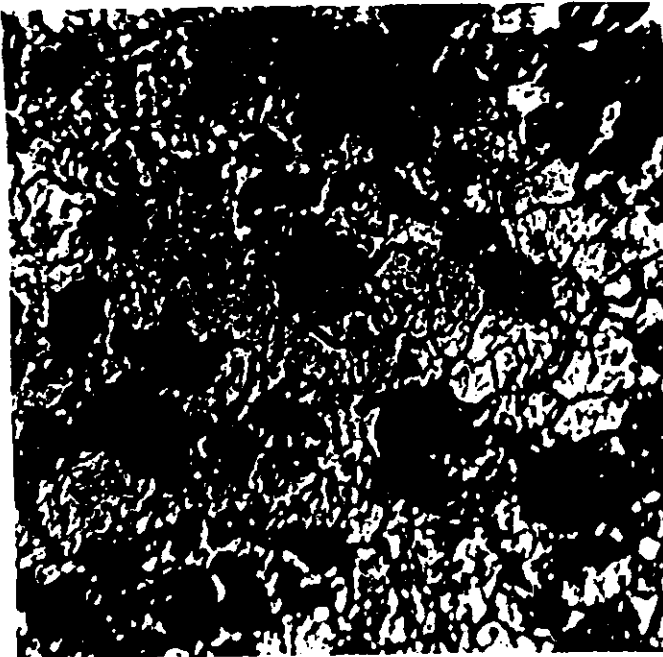
Perlit adalah campuran eutektoid 0,8 % karbon (gambar 4.8 dan 4.9). Bentuknya mirip dengan sidik jari.



Gambar 4.7 Wajah batas-batas butir baja karbon rendah yang sebagian besar butir ferit terisolasi oleh butir perlit halus.



Gambar 4.8 Pendinginan lambat baja SAE 1090
(100 % perlit) (500 X).

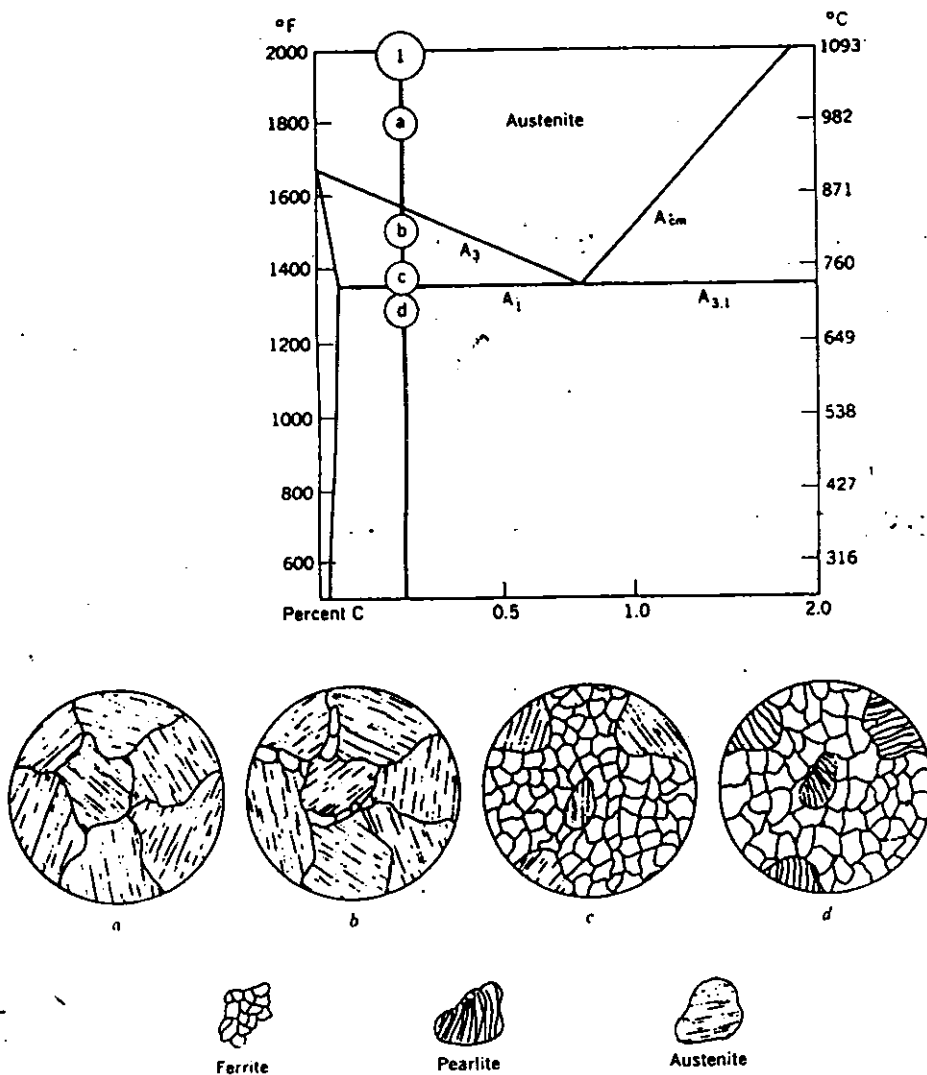


Gambar 4.9 Baja SAE 1030 (Perlit dan
Ferit) (500 X).

Pada gbr.4.7, 4.8 & 4.9 terlihat adanya tumpang tindih antara ferit dan sementit lapisannya berlapis-lapis tipis. Sementit ini berwarna hitam dan ferit berwarna putih (terang). Perlit terbentuk pada 1330°F (721°C) pada saat pendinginan.

8. Pendinginan Lambat Baja Karbon 1020

Pada waktu berlangsung pendinginan bajanya kurang dari eutectoid, contoh 1020 atau baja karbon 0,2 % (lihat gbr. 4.10 garis 1).



Gambar 4.10 Microstruktur pada sebaran temperatur dari pendinginan sangat lambat baja SAE1020.

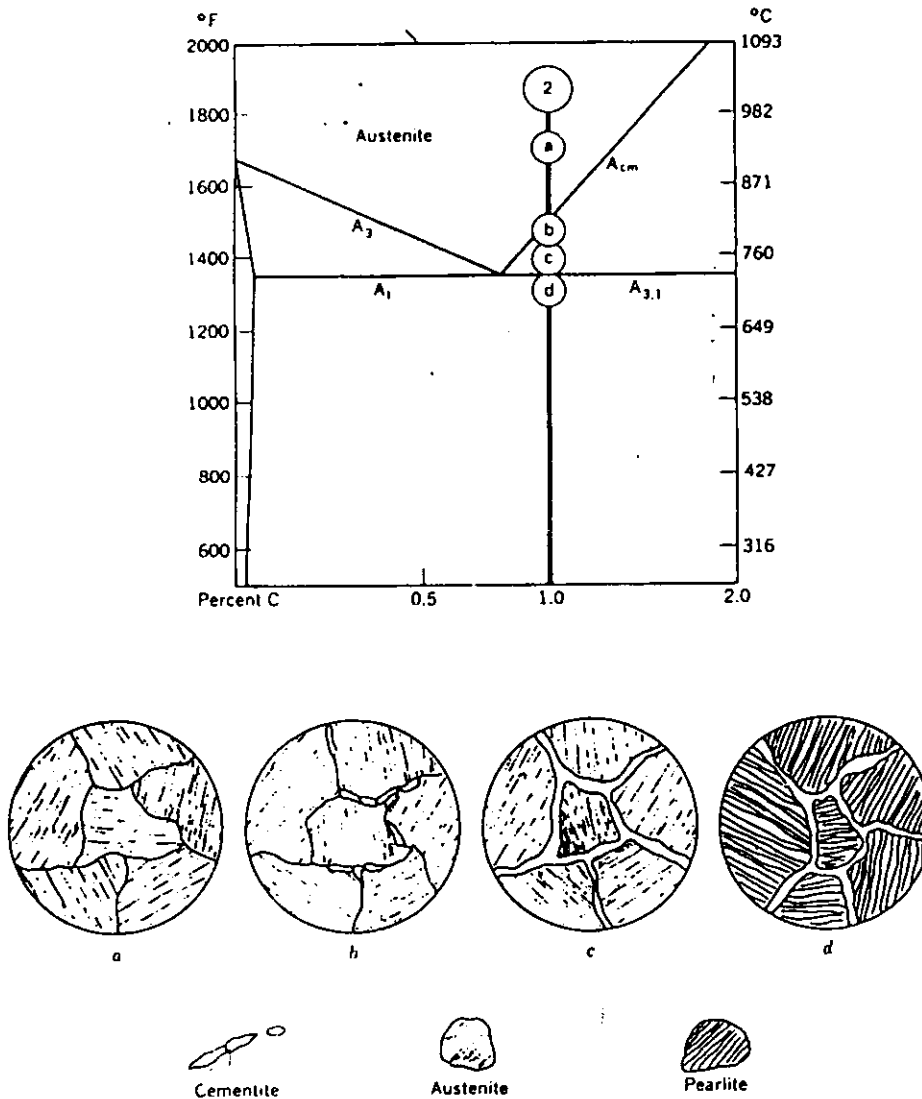
Perhatikan titik a, seluruh mikrostrukturnya adalah Austenit. Setelah melalui garis A 3 (titik b) Ferit mulai membentuk sesuai menurut batas butir Austenit. Pendinginan berikutnya menyebabkan Ferit banyak terbentuk. Karena daya larut karbon dan ferit sangat lambat, kelebihan karbon yang larut tinggal dalam Austenit. Pada titik c, sebagian besar Austenit berubah menjadi ferit. Austenit yang tinggal tetap mempunyai kandungan karbon 0,8 %. Karena baja melintas melalui garis A1, sisa kekayaan karbon yang ada pada Austenit berubah menjadi Eutectoid atau perlit pada titik d; 0,8 % karbon menghasilkan 100 % Perlit-besi karbon Eutectoid.

9. Pendinginan Lambat Baja Karbon 1095

Pada titik a (gbr. 4.11), baja karbon 1095 atau kira-kira 1 % baja karbon semua austenit melarutkan karbon secara interstisi apabila baja didinginkan sampai pada titik b, dan melintas pada garis Acm. Garis Acm berarti batas batas daya larut karbon dalam austenit. Karena seluruh karbon pada austenit tidak boleh dibiarkan lama dalam larutan, maka mulailah muncul sementit pada batas-batas butir itu. Pada titik c, daya larut dari pada austenit menurun lebih lanjut, sehingga penambahan sementit terbentuk "persis pada jaringan lanjut" (a fairly continuous network) antara batas-batas butir austenit. Kandungan karbon austenit yang tinggal sekarang, berkomposisi eutectoid 0,8 % karbon. Pada titik d, baja melintas pada garis A 3.1 dan sisa austenit berubah menjadi Perlit.

10. Pemanasan Baja 1020

Ada beberapa perubahan yang sangat penting dalam perubahan baja selama pendinginan dan pemanasan.



Gambar 4.11 Aneka ragam temperatur mikrostruktur pada saat pendinginan baja SAE 1095.

Jika pada gambar 10 baja 1020 dinaikkan suhu kamarnya sampai 1800°F (982°C) perubahan-perubahan selanjutnya terjadi. Pada temperatur kamar, mikrostrukturnya ferit dan perlit; tidak ada perubahan yang dicapai sampai garis A_1 . Sekarang butir-butir perlit berubah menjadi austenit, tetapi butir-butir ferit yang tinggal tidak mempengaruhi garis A_3 ini, sisa butir-butir ferit mengkristal sampai struktur butir austenit menjadi halus.

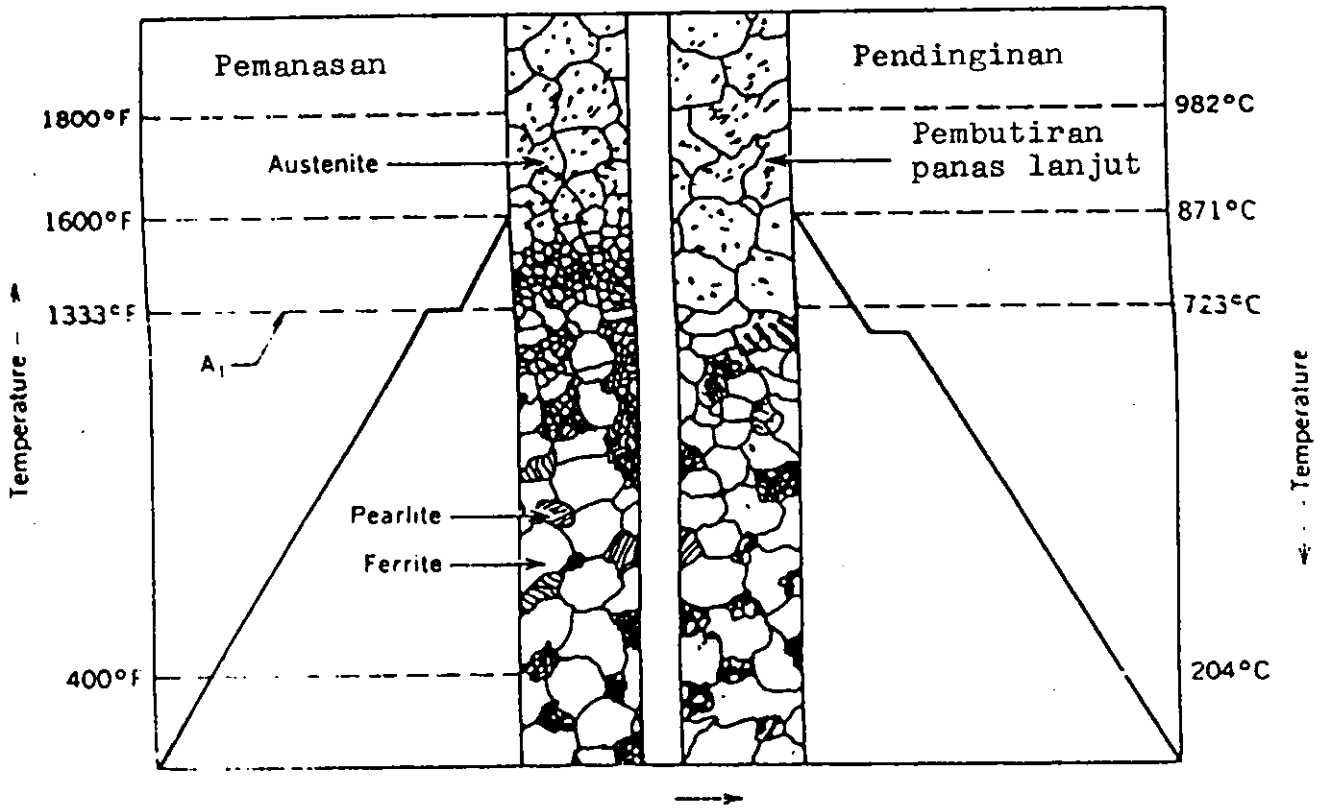
Mengapa dapat demikian ?. Hal ini terjadi karena pertumbuhan butir terganggu oleh difusi karbon. Austenit yang terbentuk pada temperatur yang lebih rendah dari perlit menjadi austenit baru yang banyak karbon, akibatnya karbon yang menyusup ke austenit baru, kandungan dari karbon merata seluruhnya. Karena temperatur naik di luar garis A3, ukuran butir juga naik secara drastis.

Ukuran butir yang membekas berpengaruh pada kekuatan, keuletan, dan keplastisan baja pada temperatur kamar. Baja yang butirnya besar mempunyai kekuatan dan keuletan yang lebih rendah. Tentunya hal ini dihindari bila menginginkan sifat-sifat penting. Jika baja dibentuk dingin, kenaikan plastisitas ukuran butir dapat timbul besar, tetapi tidak selamanya demikian; Dalam beberapa aplikasi untuk proses pembentukan dingin tentunya la panasnya berwarna "kuning sekali" (orange peel). Kekuningan itu mempengaruhi pengembangan pada butir-butir besar. Apabila baja dipanaskan lanjut sampai ke daerah pertumbuhan butir besar, dan besarnya butir ini permanen, maka akan menyebabkan adanya transformasi sebagaimana terlihat pada gambar 4.12.

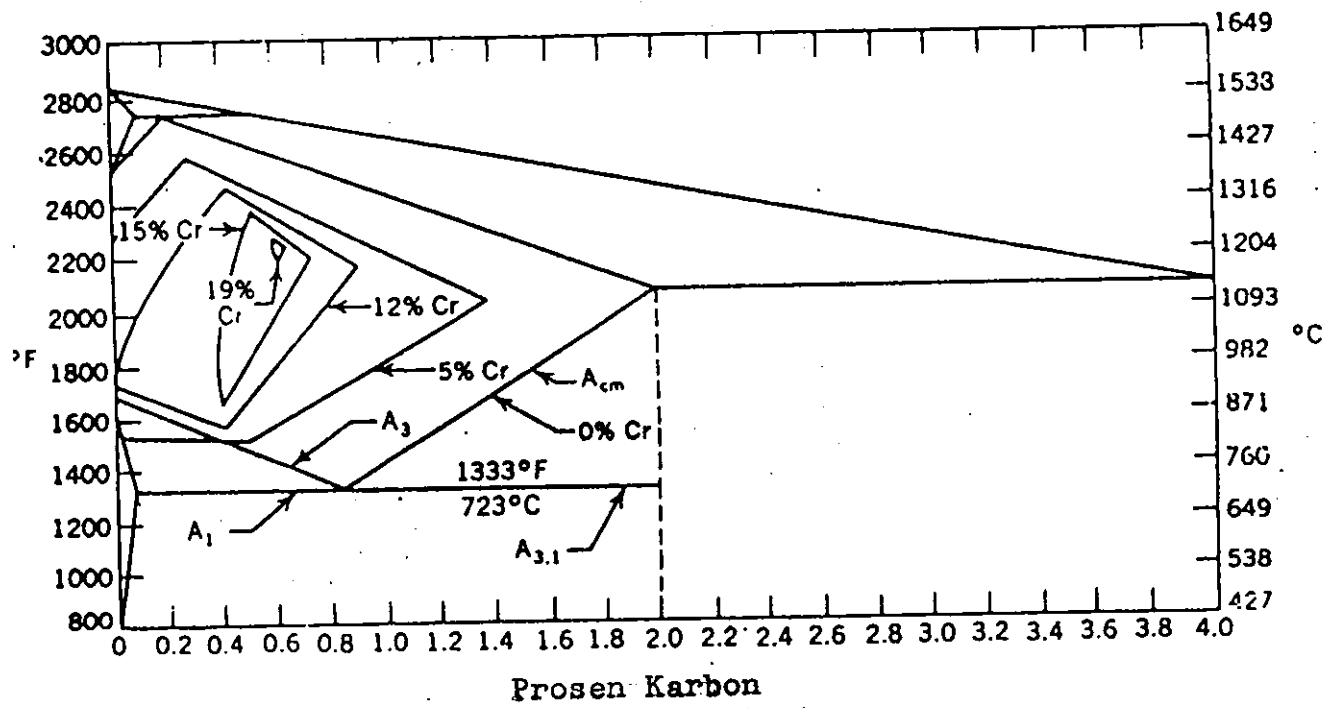
Pendinginan baja pada perlakuan panas yang telah dilanjutkan panasnya tidak akan menyimpan ukuran butir kecil. Pemanasan kembali pada temperatur normal penting dan sering kali diperlukan normalizing semacam ini.

11. Unsur-unsur Paduan dan Diagram Besi Karbon

Unsur-unsur paduan berpengaruh pada pemindahan garis-garis transformasi pada diagram besi karbon. Unsur unsur padu umumnya adalah krom. Perhatian daerah austenit pada diagram besi karbon, terlihat pengaruh kenaikan krom menurunkan batas austenit (gambar 4.13)



Gambar 4.12 Pengaruh panas lanjut pada baja karbon dan pertumbuhan butir.



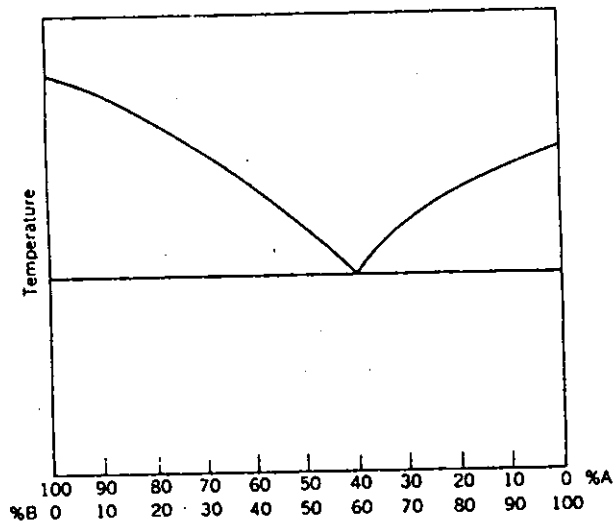
Gambar 4.13 Pengaruh krom pada batas austenit baja.

Adanya unsur krom ini juga menaikkan batas ferit. Banyak unsur pemadu lain seperti molybdenum, silikon, dan titanium juga memperluas daerah perlit.

Nikel dan mangan cenderung memperluas batas austenit dan merendahkan temperatur transformasi (austenit ke ferit). Besarnya prosentase logam-logam ini menyebabkan baja tetap austenit pada temperatur kamar. Contoh baja tahan karat 18 - 8 dan baja 14 % mangan. Pemindahan meningkatkan paduan, mempengaruhi titik eutectoid ke sebelah kiri atau dengan kata lain menurunkan kandungan karbon komposisi eutectoid.

12. Pertanyaan Formatif

- 1) Letakkan pada diagram fasa (gbr. 4.14 sebagai berikut
 - A. Titik Eutektoid.
 - B. Garis Liquidus.
 - C. Garis Solidus.
 - D. Daerah larutan 100 %.



Gambar 4.14

- 2) Apabila suatu zat fasanya berubah, maka ada panas yang hilang. Bagaimana bentuk grafik kurva pendinginannya ?

- 3) Apa artinya eutectoid ?, Bagaimana cara membedakannya pada eutectic ?

- 4) Menunjukkan apakah garis A3 itu ?, garis A1 ?, dan garis Ac_m ?.

- 5) Struktur terkeras apa yang terdapat dalam sistim paduan besi-karbon ?. Bagaimana bentuknya perlit yang terlihat pada mikroskop ?.

- 6) Berikan definisi austenit.

- 7) Struktur ter lunak apa yang terdapat dalam sistim paduan besi-karbon ?, Bagaimana bentuknya pada mikroskop ?, Berapa banyaknya struktur karbon ini yang larut pada temperatur normal dan pada temperatur 1330 derajat F (721°C) ?.

- 8) Apakah nama komposisi eutektoid baja-karbon pada suhu kamar ?, bagaimana bentuknya pada mikroskop ?, tersusun dari apa ?.

- 9) Fasa apakah apabila baja-karbon kurang dari 0,8 % mulai membentuk pada garis A3 setelah pendinginan lambat ?.

Pada temperatur berapa transformasi akan selesai ?.

- 10) Apabila baja dipanaskan, garis yang mana perlit mem bentuk austenit, dan garis yang mana ferit memben -
tuk austenit ?.
-
-

- 11) Ukuran butir membesar jika temperatur bergarak di a
tas garis A₃. Berkurangkah ukuran butir-butir ini
apabila baja didinginkan pada garis A₃.
-
-

- 12) Pengaruh-pengaruh apakah yang ditimbulkan akibat pe
nambahan unsur-unsur pepadu pada komposisi eutekto-
id ?.
-
-

- 13) Sebutkanlah promotor ferit.
-
-

- 14) Sebutkan unsur pepadu yang memungkinkan membuat aus
tenit pada baja dalam temperatur kamar.
-
-

- 15) Bagaimana caranya agar dapat memahami diagram besi-
karbon jika seseorang melakukan perlakuan panas be-
si dan baja ?.
-
-

13. Petunjuk Praktikum

Dengan adanya mikroskop metalurgi, etsa nital (5 % asam nitrat dalam alkohol), botol alkohol pencuci, mesin pemolis, amplas, dan penyekat benda kerja, maka anda akan dapat:

1. Mengenal kandungan karbon beberapa benda kerja yang tak jelas melalui penyelidikan mikroskop.
2. Belajar memolis dan mengetsa benda kerja untuk tinjauan mikroskop.
3. Belajar menggunakan mikroskop metalurgi.

Prosedur Kerja

- 1) Balutkanlah benda kerja ke mesin pres pembalut dan gerinda atau amplaslah permukaan-permukaan yang kasar sampai menjadi licin.
- 2) Benda kerja dipegang dengan tangan, kemudian diamplas dengan menggunakan tiga sampai empat kertas amplas mulai dari yang kasar sampai pada kertas amplas dengan ukuran butir 600 yang diletakan pada permukaan rata.
- 3) Jika semua garis sudah searah, ganti amplas yang lebih halus dan putar benda kerja sampai menunjukkan garis-garis baru. Jagalah agar supaya benda kerja tetap bersih pada setiap antara pergantian amplas dan hindari benar-benar pengotoran yang terasa pada mesin polis.
- 4) Ambil balutan benda kerja pada mesin polis. Hidupkan mesin itu dan makankan sedikit lagi (mesin polis dan air) pada permukaan yang terasa. Tekan dengan hati-hati benda kerja pada permukaan polisher dan gerakan benda itu berlawanan arah dengan putaran roda. Gerakkan benda kerja itu disekeliling

roda beberapa kali, lalu cek permukaannya. Apabila bendanya sudah mengkilat seperti cermin, siap untuk dietsa.

- 5) Celupkan nital di atas permukaan benda kerja dan hitung waktu selama 2 atau 3 detik. Cucilah dengan air dan segera berikutnya dicuci dengan alkohol pada botol pencuci. Benda ini akan terhapus oleh air dan hindari korosi itu. Biarkan benda itu pada alkohol sampai kering.
- 6) Tempatkan benda kerja itu di bawah obyektif mikroskop yang berdiri (gambar 4.15) Hati-hatilah menurunkan obyektif ke permukaan benda kerja, jangan sampai benda kerja bersinggungan. Gunakan landasan pengatur yang halus untuk mengangkat mikroskop sampai benda kerja bisa terfokus.
- 7) Jika pada mikroskop tak tampak, lakukan nital lagi selama beberapa detik, cuci dengan air, berikutnya dengan alkohol.
- 8) Amati masing-masing benda kerja. Tafsir prosentase perlit dan ferit, bandingkan pengamatanmu pada berikut ini:

100 % perlit = 0,8 % C.

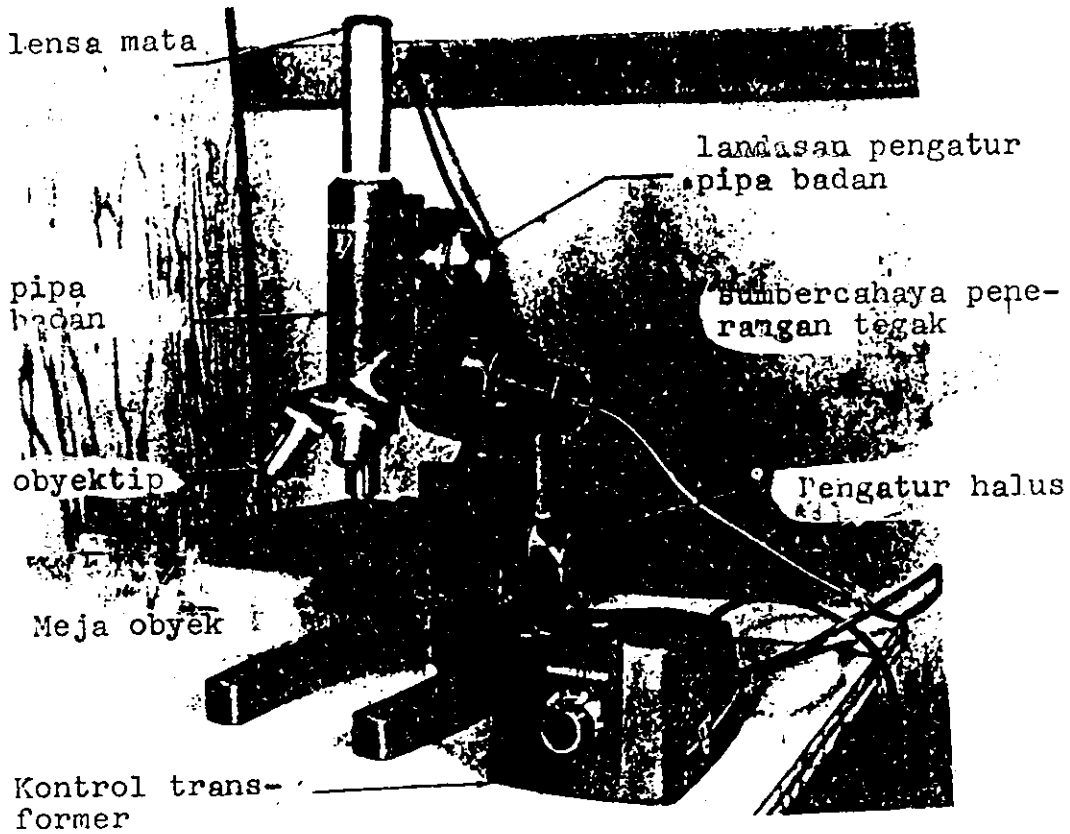
75 % perlit = 0,6 % C.

50 % perlit = 0,4 % C.

25 % perlit = 0,2 % C.

Kesimpulan

Susun daftar hasil-hasil anda.



Gambar 4.15

BAB V

DIAGRAM I-T DAN KURVA PENDINGINAN

Apabila baja dibiarkan dalam fase austenit pada suhu konstan dibawah suhu kestabilan minim, akan bertransformasi ke dalam berbagai hasil kerja transformasi. Grafik yang dipakai untuk menunjukkan hasil ini, disebut diagram I-T. Langkah-langkah pengerasan, laju pendinginan, dan berbagai hasil kerja transformasi maupun bagaimana caranya memperoleh semuanya, dijelaskan oleh pelajaran pada diagram ini. Pengetahuan hasil kerja transformasi, sangat penting pada perlakuan panas.

1. T u j u a n

Setelah memahami topik ini anda dapat:

- 1) Menentukan mampu keras (hardenability) baja dan laju pendinginan dengan bantuan informasi yang diperoleh dari diagram I-T.
- 2) Mengenal mikrostruktur tertentu dari hasil kerja transformasi yang dihasilkan pada berbagai temperatur dengan alat bantu mikroskop metalurgi.
- 3) Menghitung kekerasan baja yang didinginkan dengan bantuan diagram I-T dan mikroskop.

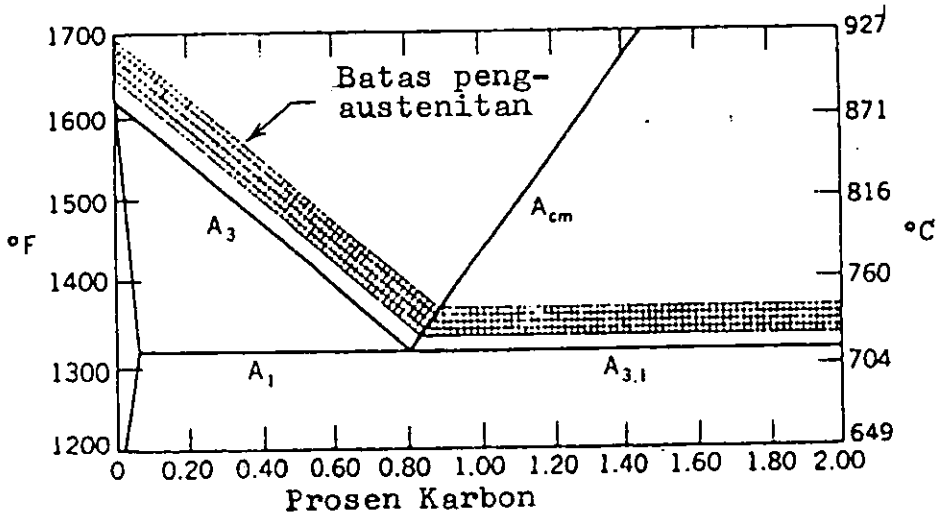
2. I n f o r m a s i

Proses Pengerasan

Proses pengerasan baja dilaksanakan dengan aturan dua cara. Cara pertama, baja dipanaskan sampai batas austenit diatas temperatur transformasi atau yang disebut temperatur kritis perlakuan panas. Cara yang kedua, baja didinginkan cepat atau mendekati temperatur kamar.

Pengaustenitan menghasilkan larutan padat karbon dan besi austenit KPS.

Temperatur yang dipakai pengaustenitan biasanya kira-kira 50°F (10°C) diatas garis A_3 atau $A_{3.1}$ (gbr. 5.1).



Gambar 5.1 Diagram temperatur pengerasan (batas austenit).

Paduan karbon 0,8 % atau kurang pada temperatur ini, akan menjadikan 100 % austenit, sedangkan baja lebih dari 0,8 % karbon dengan beberapa sementit bebas.

Cara ke dua didinginkan dibawah austenit sampai membentuk struktur baru pada suhu lebih kurang 200°F ($93,3^{\circ}\text{C}$). Struktur ini disebut Martensit. Martensit ini acicular yang sangat keras, atau struktur berbentuk jarum yang umumnya menghasilkan amat getas untuk apapun gunanya dan tentunya dimudahkan kembali jika untuk operasi lain, agar ulet (liat).

3. Hasil Kerja Transformasi

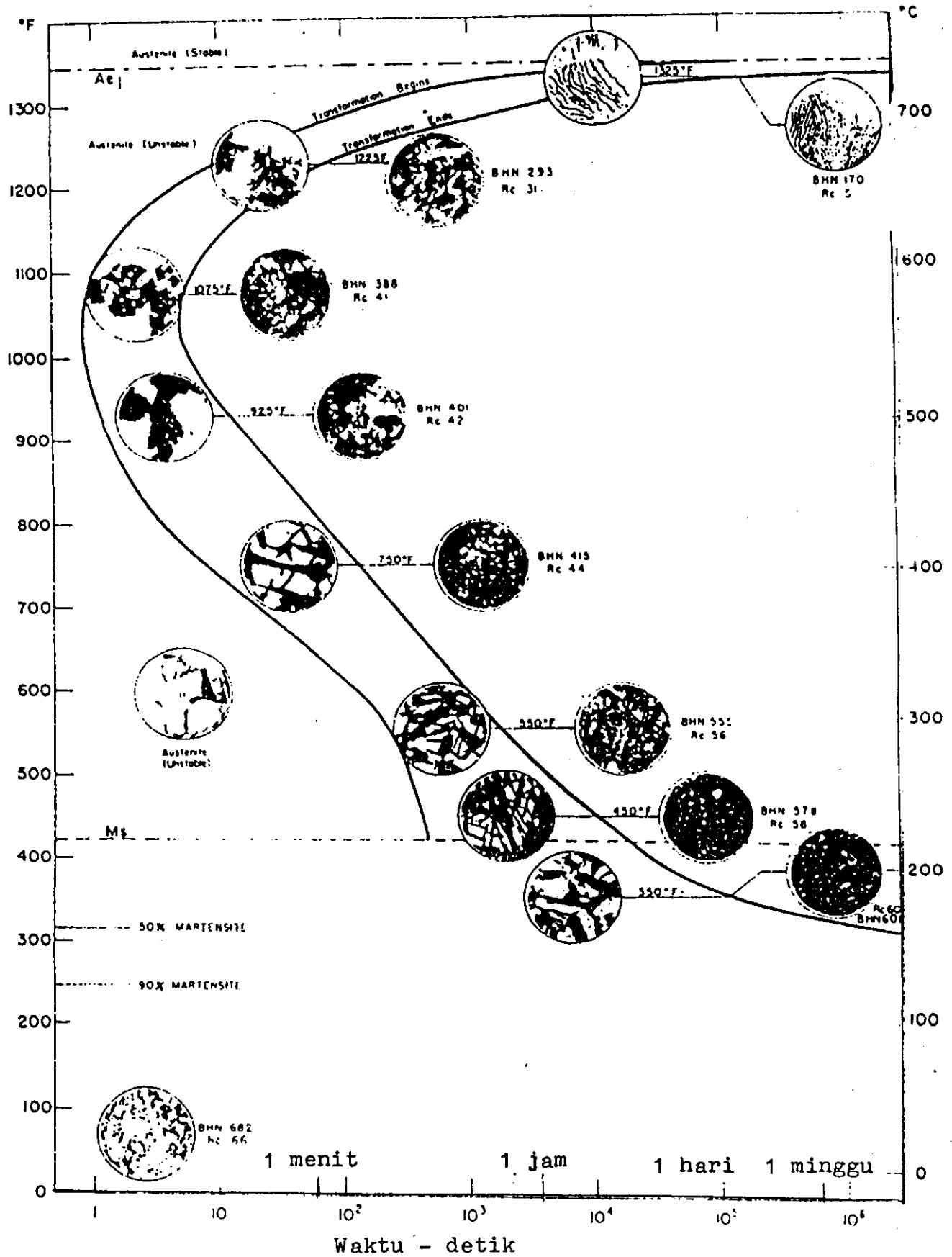
Austenit apabila didinginkan dibawah temperatur austenit terurai menjadi berbagai hasil kerja transformasi yaitu perlit, bainit atau martensit. Austenit mengandung 0,8 % karbon bila didinginkan cepat dan dibiarkan pada 1300°F (704°C) tidak akan terurai atau

tertransformasi, baru sesudah 15 menit tidak berubah dan tidak terurai sama sekali sampai sesudah 5 jam pada temperatur itu (gbr. 5.2). Struktur perlit yang sangat kasar berubah bentuknya menjadi sangat lunak. Jika Austenit didinginkan cepat dan dibiarkan pada temperatur dibawah 1200°F (649°C), maka penguraian terjadi kira-kira 5 detik kemudian berakhir setelah 30 detik. Hasil perlit yang diperoleh berbutir lebih halus dan lebih keras dibanding hasil yang dibentuk pada temperatur 1300°F (704°C). Pada temperatur kira-kira 1000°F atau 538°C austenit terurai sangat cepat. Itu hanya kira-kira satu detik sebelum terjadi transformasi dan berakhir 5 (lima) detik kemudian. Hasil perlit yang didapat sangat halus dan kekerasannya relatif tinggi. Daerah kurva S Yang peruraian austenitnya terjadi disebut "hidung kurva diagram isothermal transformasi (I-T)", isothermal berarti temperaturnya sama atau konstan.

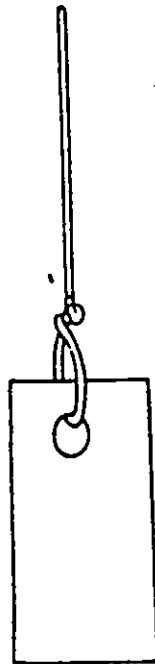
4. Diagram Transformasi Isothermal

Diagram isothermal dibagan dengan perantaraan benda kerja baja tertentu, seterusnya dipanaskan sampai suhu austenit (lihat pada gbr. 5.3). Selanjutnya didinginkan dalam bak garam cair dan dibiarkan pada temperatur konstan yaitu 1200°F (649°C). Pada selang waktu keterturan benda kerja dipindahkan dan didinginkan cepat, lalu penelitian mikroskop menunjukkan martensit jika transformasi belum terjadi. Bila transformasi berjalan sebenarnya, menunjukkan martensit dan perlit. Bila transformasi berakhir sempurna hanya perlitlah yang ada. Prosedur ini diulang pada temperatur lain sampai grafik semuanya terbagan oleh keterangan itu (gambar 5.4).

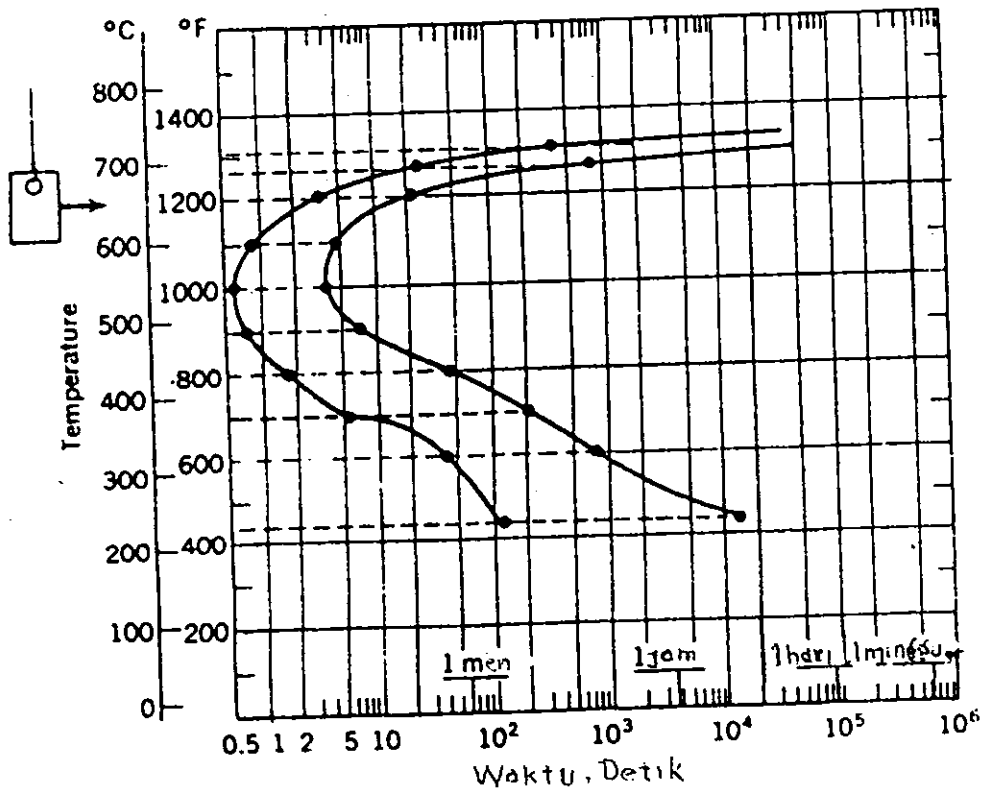
Garis tegak sebelah kiri berarti temperatur dan garis alas mendatar berarti waktu. Bagan itu dengan skala logaritma sesuai dengan keterangan: 1 menit, 1 jam, 1 hari, dan 1 minggu.



Gambar 5.2 Diagram I-T dengan baja berisi 0,89 % karbon (copyright (C) 1951 by United States Steel Corporation).



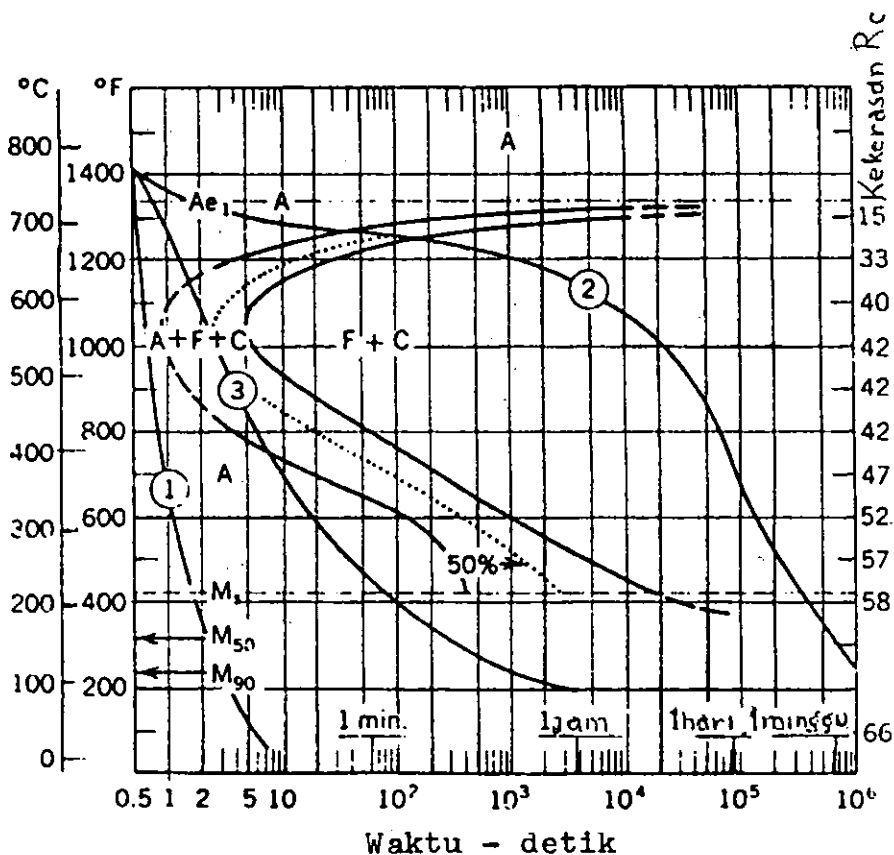
Gambar 5.3 Benda uji isothermal.



Gambar 5.4 Cara melukis diagram isothermal (Copyright (C) 1951 by United States Steel Corporation)

5. Kurva Lengkung

Jika kurva lengkung (gbr. 5.5) pada diagram I-T, lengkung ini terlihat bahwa harus melalui sebelah kiri (1) hidung diagram untuk menghindari peristiwa transformasi yang tidak diinginkan. Jika laju pendinginan terlalu lambat, itu sebenarnya kurva lengkung akan mempersingkat jarak waktu hidung diagram, yang berarti transformasinya itu sebagian atau keseluruhan transformasi, terjadi pada titik (2) dan perlit yang halus beserta martensit tetap berubah menjadi martensit yang dikehendaki. Oleh karena itu, laju pendinginan terhadap pengerasan pendinginan tentu agar hidung diagram jauh dari kurva pendinginan.



Gambar 5.5 Penjelasan dua kurva pendingin SAE 1095 diagram I-T (copyright (c) 1951 by United States Steel Corporation).

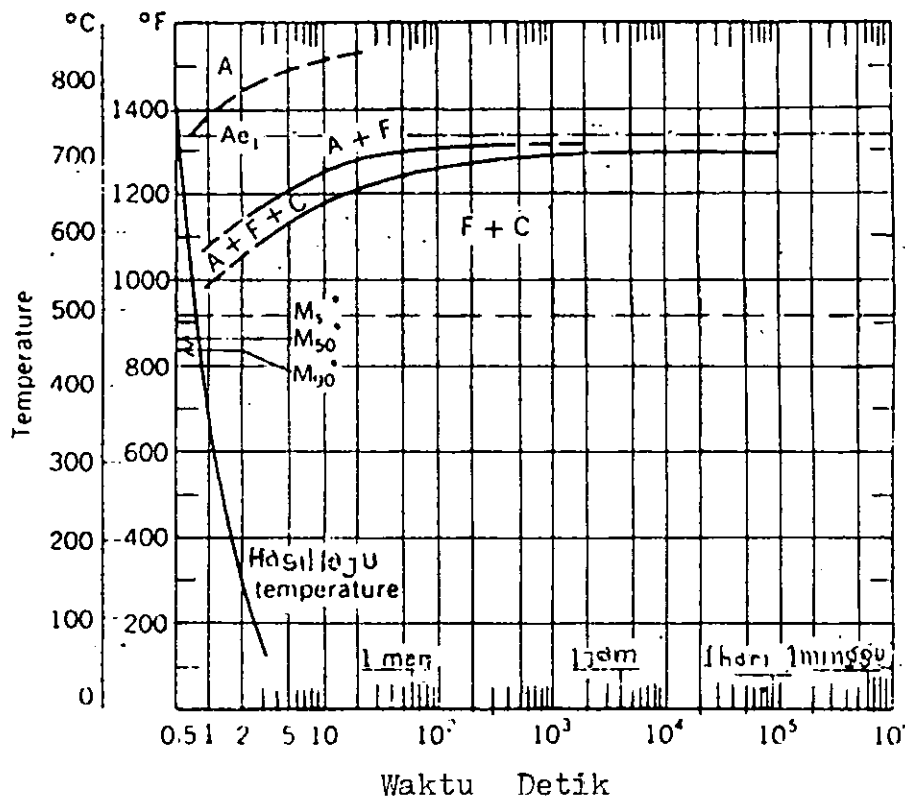
Jika austenit didinginkan sampai temperatur berada di bawah hidung kurva dan dibiarkan pada temperatur dengan cukup waktu, transformasi akan menghasilkan yang disebut bainit. Jika austenit didinginkan cepat sampai di bawah garis temperatur MS maka hasil itu disebut martensit.

Temperatur martensit yang memulai membentuk disebut temperatur MS. Transformasi ke martensit ini selesai setelah sampai pada temperatur Mf. Temperatur-temperatur ini sangat penting dalam baja dan memfungsikan kandungan karbon. Temperatur-temperatur Ms dan Mf pada baja karbon tinggi, jauh lebih rendah dibandingkan pada baja karbon rendah.

6. Laju Pendinginan Kritis

Beberapa baja mempunyai kemampuan laju pendinginan yang berbeda-beda. Bertambahnya kandungan karbon, menggerakkan kurva S ke kanan atau meningkatkan waktu sebelum transformasi terjadi. Ukuran butir berpengaruh terhadap mampu keras. Baja-baja karbon yang mempunyai ukuran butir lebih besar, maka transformasinya akan lebih lambat. Kelambatan ini juga menggerakkan kurva S ke kanan. Penambahan paduan terhadap baja juga menggerakkan kurva S ke kanan.

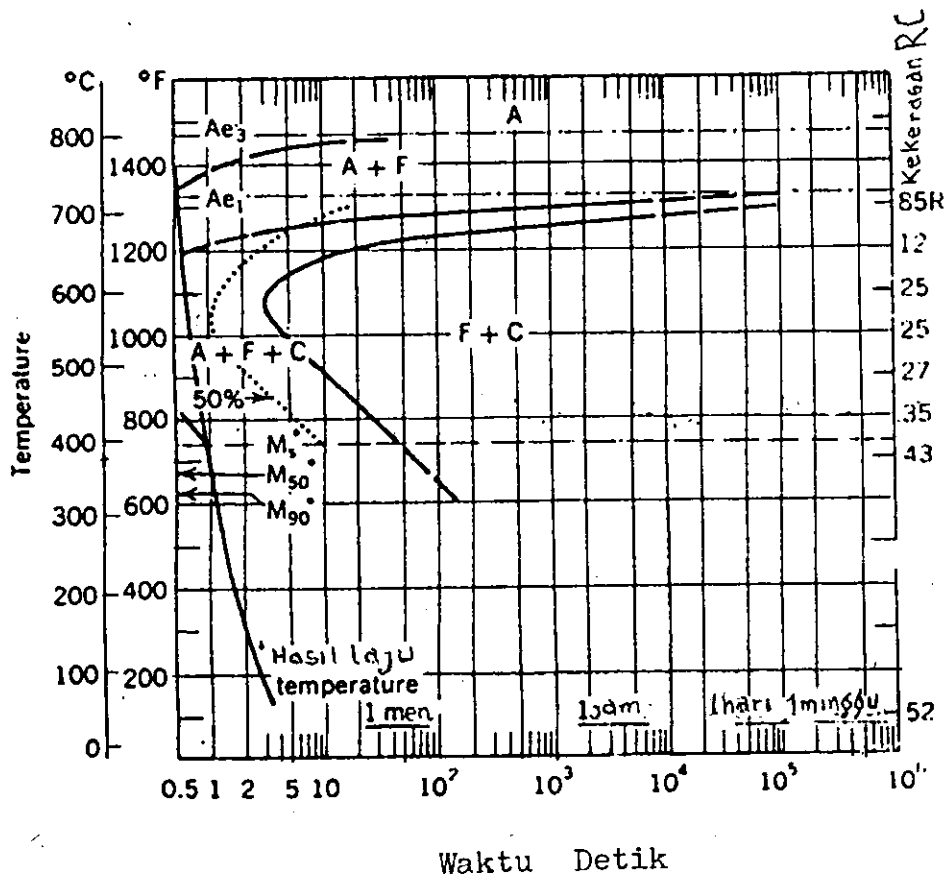
Baja karbon rendah tidak dapat dikeraskan untuk tujuan-tujuan praktis karena, hidung diagram berada atau menurun sekali pada "garis waktu 0 (nol)" dan memang tidak bisa dihindari terhadap pengaruh quenching atau kurva pendinginan (gbr. 5.6). Akan tetapi bila kandungan karbon diatas 0,3 %, bisa diquench sangat cepat, sehingga terhindar dari transformasi yang sangat banyak (dapat dilihat pada gambar 5.7.



Gambar 5.6 Kurva pendinginan baja karbon SAE 1008
(Copyright (c) 1951 by United States
Steel Corporation).

Baja karbon dengan 0,83 %, harus diquench dalam air agar diperoleh quench cukup cepat sehingga akan terjadi penjaruman dalam batas 1 (satu) atau 2 (dua) detik, sehingga menjadikan pemendekan selang waktu ke dalam hidung diagram.

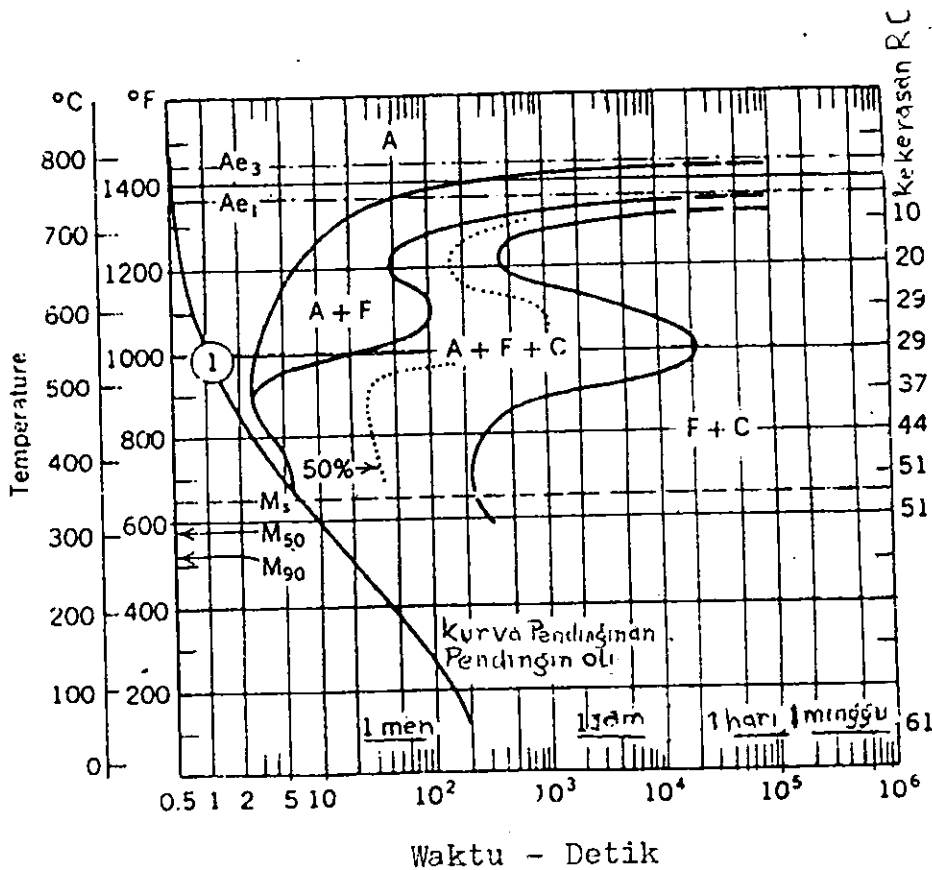
Pengerasan baja dengan minyak (oli) menggunakan campuran unsur chrom dan molibdenum, menyebabkan ujung kurva diagram bergerak ke kanan, dengan demikian penambahan waktu pada pengerasan dapat terjadi. Juga bentuk hidung sering berubah pada diagram itu. Perubahan sering memungkinkan banyak sekali terjadi pada pendinginan. Pada kenyataan ini, pengerasan dengan minyak dan pengerasan dengan udara (kedalaman pengerasan) baja dapat ditunjukkan pada diagram I-T (gambar 5.8).



Gambar 5.7 Kurva pendinginan pembentukan baja mangan 1034 (Copyright (c) 1951 by United States Steel Corporation).

Luas permukaan pada bagian dan ketebalan itu mempunyai pengaruh besar pada laju pendinginan. Pada bagian yang sangat tipis, seperti pisau silet, dengan luas permukaan yang besar, laju pendinginan itu menjadi beberapa kali lebih besar dari pada volume yang berukuran 2 (dua) atau 3 (tiga) inchi². Karena itu biasanya yang dikeraskan dengan air bila mana bajanya sangat kecil lagi tipis, harus dicelupkan dalam minyak untuk mendapatkan laju pendinginan yang tepat. Sedangkan blok baja material yang benar-benar masih tidak akan mencapai pendinginan kritis walaupun dengan air garam.

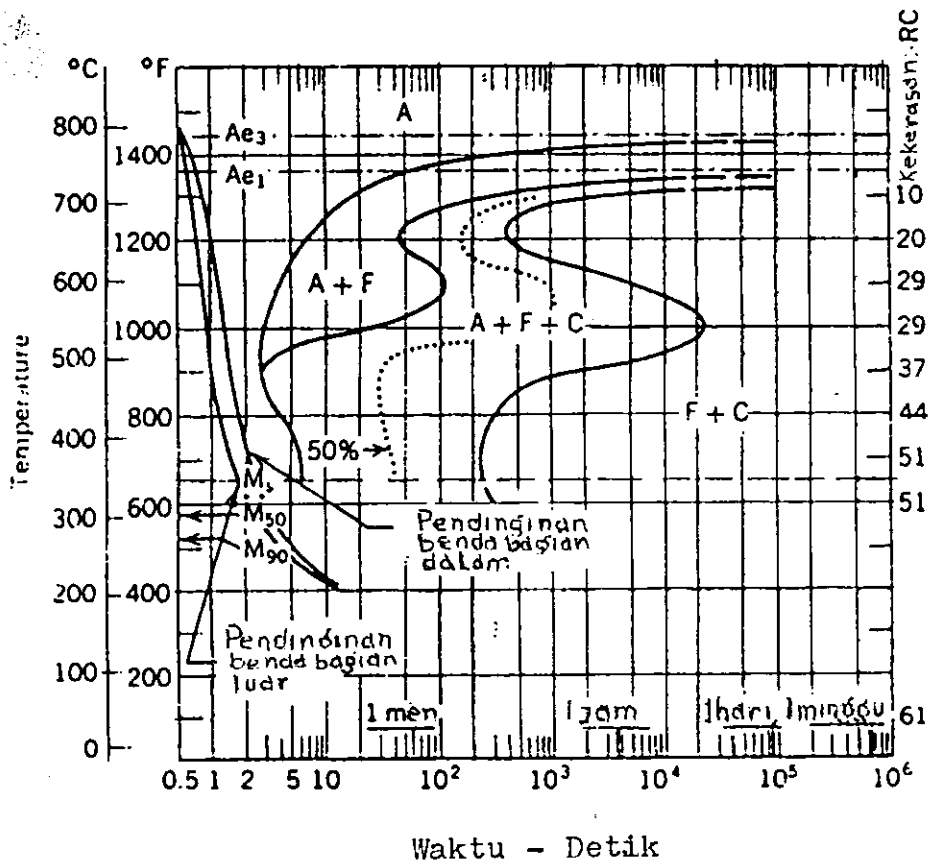
Baja yang didinginkan dengan air normal, kekerasannya hanya akan mencapai ketebalan kira-kira 1/8 inchi, sedangkan intinya tetap sangat lunak.



Gambar 5.8 Gambar 8. Kurva pendinginan baja SAE 4140 (Copyright (c) 1951 by United States Steel Corporation).

Baja ini dikatakan pengerasan baja-baja yang tidak dalam. Baja yang didinginkan dengan udara yang mempunyai tebal kira-kira 1 (satu) sampai 2 (dua) inchi, bisa mengeras sempurna sampai ke intinya. Ini yang disebut dengan baja pengerasan dalam. Jika waktu pendinginan kritis naik, kedalaman pengerasanpun meningkat.

Bila mana laju pendinginan turun secara tiba-tiba, seperti pendinginan dalam garam atau air, maka tegangan-tegangan akan mempengaruhi pada bagian itu sesuai dengan rata-rata laju pendinginan dari baja bagian dalam dan luar dapat menyebabkan bengkok dan retak (seperti pada gambar 5.9. Baja yang didinginkan dalam air, terutama condong ke masalah tersebut.



Gambar 5.9 Kurva-kurva pendinginan bagian dalam dan luar pada benda kerja yang sama pada diagram I-T ini menerangkan bagaimana dua laju pendinginan yang berbeda dapat menyebabkan tegangan-tegangan tinggi menambah kekuatan yang kadang-kadang menghasilkan keretakan-keretakan dalam dingin (Copyright (c) 1951 by United States Steel Corporation).

Laju pendinginan yang lebih lambat pada minyak dan udara memungkinkan pendinginan lebih sempurna dan oleh sebab itu, baja-baja ini tidak menyebabkan bengkok dan retak-retak. Maka dengan alasan ini, jika bagian-bagian besar atau berat harus diberi perlakuan panas, pilihannya baja-baja tentu didinginkan dengan minyak atau udara (gambar 5.10)



Gambar 5.10 Perencanaan pembentukan cetakan ini dibuat dari baja perkakas bentuk W1 adalah penyajian masalah yang hampir tidak mungkin dikerjakan perlakuan panas, karena rongga yang tersembunyi dari penampang yang tipis diantara ke duanya, maka timbul ke-ratakan cetakan selama perlakuan panas, kecuali cetakannya dapat diran-cang kembali secara total, maka bantuan baja pengerasan udara minyak sangat penting (Photograph Courtesy of Bethlehem Steel Corporation).

7. Pertanyaan Formatif

1) Berapakah temperatur austenisasi pada baja-karbon ?.

2) Bagaimana caranya menghasikan struktur martensit yang keras ?, apa pertimbangan utama dari martensit yang dihasilkan ?.

3) Berapakah laju pendinginan kritis ?.

4) Berapakah temperatur M_s dan M_t ?.

5) Jika kurva pendinginan baja-karbon 0,8 % sebagian menembus hidung diagram I-T, apa jadinya mikrostruktur resultan logam itu ?.

6) Bagaimanakah pengaruh kandungan karbon terhadap posisi kurva "S" ?.

7) Dua langkah apakah yang diperlukan dalam pengerasan baja untuk menghasilkan benda-benda yang berguna ? .

- 8) Bagaimana baja W1 yang tebal retak waktu dikeraskan dengan pendinginan. Apa penyebabnya menurut anda ?, Apa langkah-langkah yang diambil untuk membetulkan problem itu ?.

- 9) Bagaimana cara anda menentukan pelajaran diagram I-T pada baja-karbon yang sangat rendah, mengapa sedikit atau tidak adanya martensit bisa ditimbulkan saat baja didinginkan dari temperatur austenisasi.

- 10) Bagaimanakah cara anda menceriterakan pelajaran mengenai diagram I-T itu ?, apakah baja paduan mampu mempunyai pengerasan dalam ?.

8. Petunjuk Praktikum 1

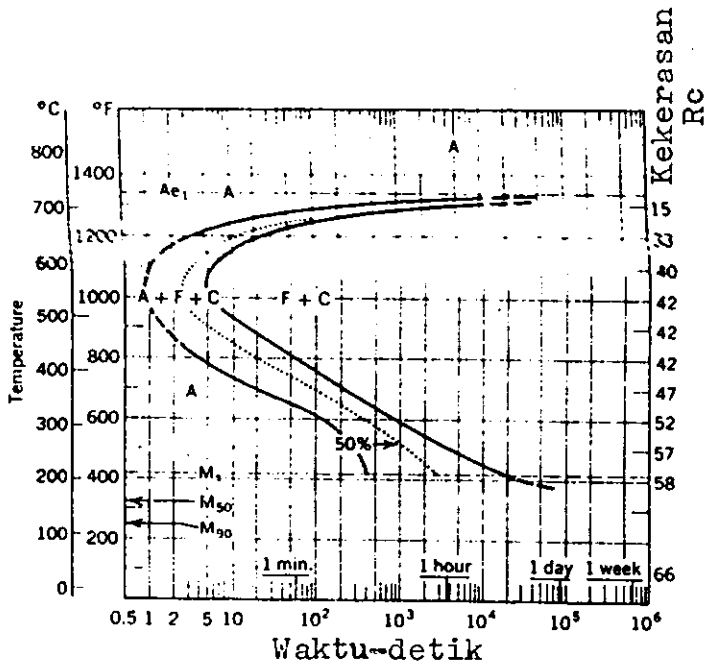
Dengan adanya perlengkapan seperti mesin pres pembalut benda kerja, kelengkapan pemolis, gergaji pemotong, mikroskop, dan dua potong baja SAE 1095 dengan diameter 3/8 inchi, panjang 3 inchi yang dikeraskan dengan pengerasan air, maka anda akan dapat:

- 1) Mengeraskan dua benda kerja dengan pendinginan dari temperatur austenisasi, satu benda kerja didinginkan dalam air, dan satu lagi didinginkan dalam minyak.
- 2) Menentukan masing-masing struktur butir dengan pengamatan mikroskop.
- 3) Menjelaskan dengan tepat kurva-kurva pendinginan pada setiap mendinginkan (benda kerja).

Prosedur Kerja

- 1) Panaskan kedua benda kerja sampai temperatur austenit, kemudian didinginkan, yang satu dengan minyak, dan yang satu lagi didinginkan dengan air. Usahakan segera untuk mengamati ciri-ciri pada masing-masing benda kerja.
- 2) Gunakan gergaji pemotong kasar dengan kolan, untuk memotong masing-masing benda kerja menjadi kecil.
- 3) Balut dengan plastik dan tandai bendanya dengan tanda permanen.
- 4) Polis dan etsa selama $\frac{1}{2}$ sampai 2 detik dengan menggunakan nital.
- 5) Aturlah mikroskop metalurgi dan amati benda kerja yang didinginkan dalam air. Bagaimanakah mikrostrukturnya ?.

- 6) Amatilah benda kerja yang didinginkan dengan minyak. Bagaimanakah mikrostrukturnya ?
- 7) Jelaskanlah kurva pendinginan isothermal (gbr. 5.11) masing-masing benda berdasarkan mikrostruktur-mikrostruktur yang anda lihat dan bandingkan dengan yang ada pada gambar 2.



Gambar 5.11 (Copyright (c) 1951 by United States Steel Corporation).

BAB VI
MAMPU KERAS BAJA DAN MARTENSIT
YANG DITEMPER.

Pada umumnya untuk tujuan-tujuan mampu keras hanya dapat dilakukan pada benda kerja dengan ketebalan $\frac{1}{2}$ inchi.

Kenyataannya ialah perbandingan pengerasan baja yang terbuat menurut luas penampang alat-alat dan baja pengerasan dalam, menghendaki teknik-teknik yang lebih khusus. Unit ini diselesaikan dengan beberapa prosedur.

1. Tujuan

Setelah selesai unit ini anda diharapkan mampu :

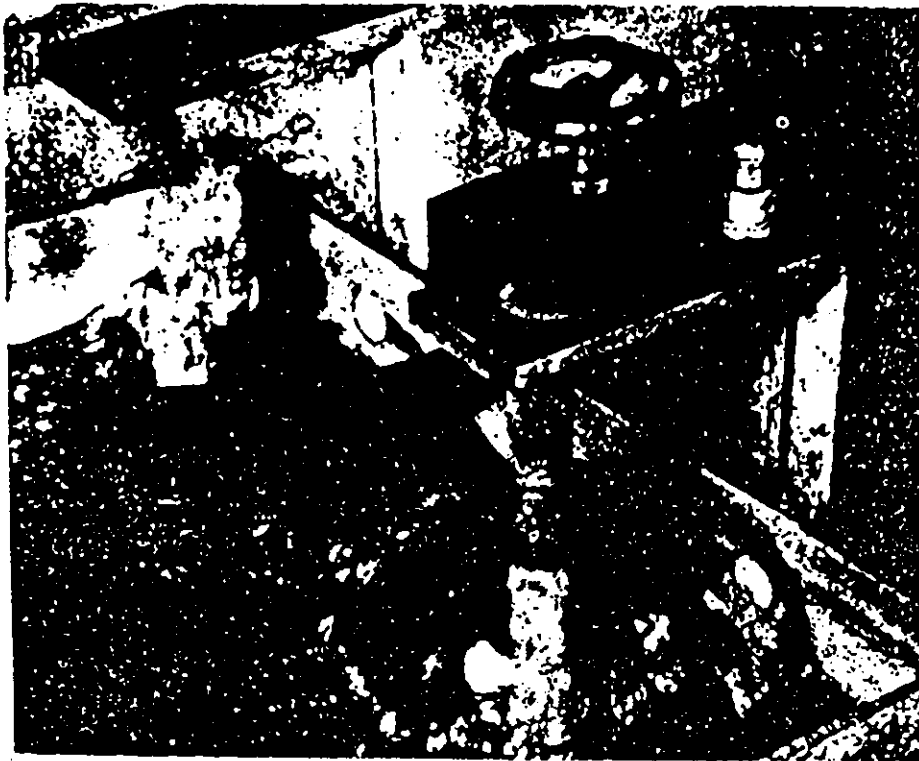
- 1) Menerangkan cara-cara menentukan dan mengevaluasi da lamnya pengerasan dari berbagai baja perkakas.
- 2) Mendemonstrasikan dan mengukur mampu keras pengerasan baja yang tidak dalam (shallow).
- 3) Mendemonstrasikan gunanya keterangan sifat-sifat mekanik untuk meramalkan kekerasan dari benda kerja yang dikeraskan dan ditemper.

2. I n f o r m a s i

Ujung Jominy-Uji Mampu Keras Pendingin

Test ini dilakukan untuk mengetahui kedalaman sepuh berbagai tipe alat baja. Daya hantar test ini adalah 1 (satu) inchi disekitar benda uji yang mempunyai panjang 4 inchi dan dipanaskan secara merata pada temperatur pendingin. Benda uji dipasang pada braket sedemikian rupa sehingga semburan air pada temperatur kamar sampai mengenai bagian dasar benda uji terendam tanpa..

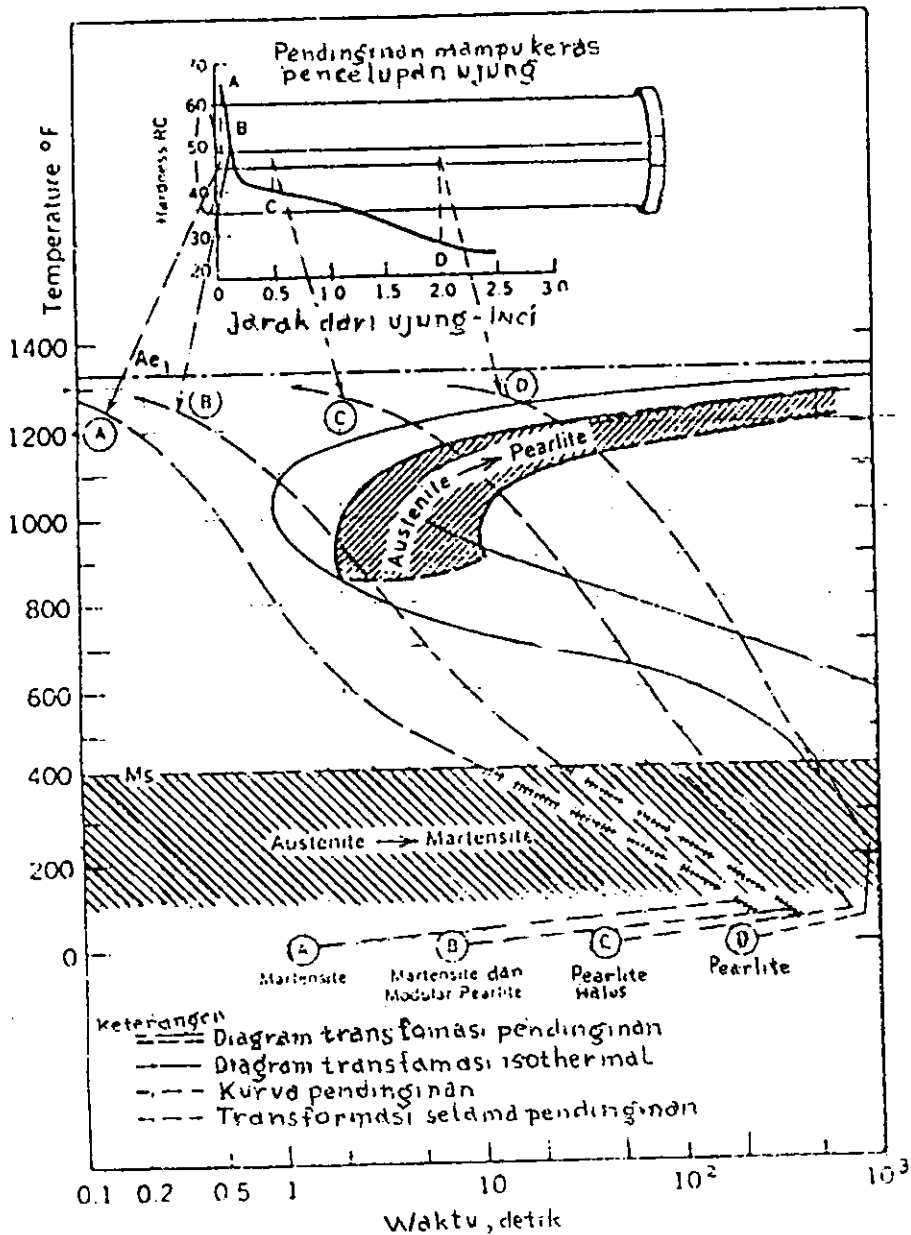
membasahi bagian sisinya (gbr. 6.1). Pancaran air terus dilakukan sampai benda uji menjadi dingin. Selanjutnya permukaan-permukaan bagian yang panjang digeserkan ke bagian sisi untuk mengurangi pengarbonan yang melekat. Pembacaan skala Rocweel C dilakukan dengan interval $1/16$ inchi dari akhir pendinginan. Karena efek pendinginan dipusatkan pada permukaan ujung dan dikurangi dengan jarak dari ujung ke ujung. Pengukuran penyepuhan dari ujung dihubungkan dengan pengukuran ke dalam sepuh pada potongan logam dari tipe yang khusus. Data yang diperoleh dinyatakan dalam bentuk grafik.



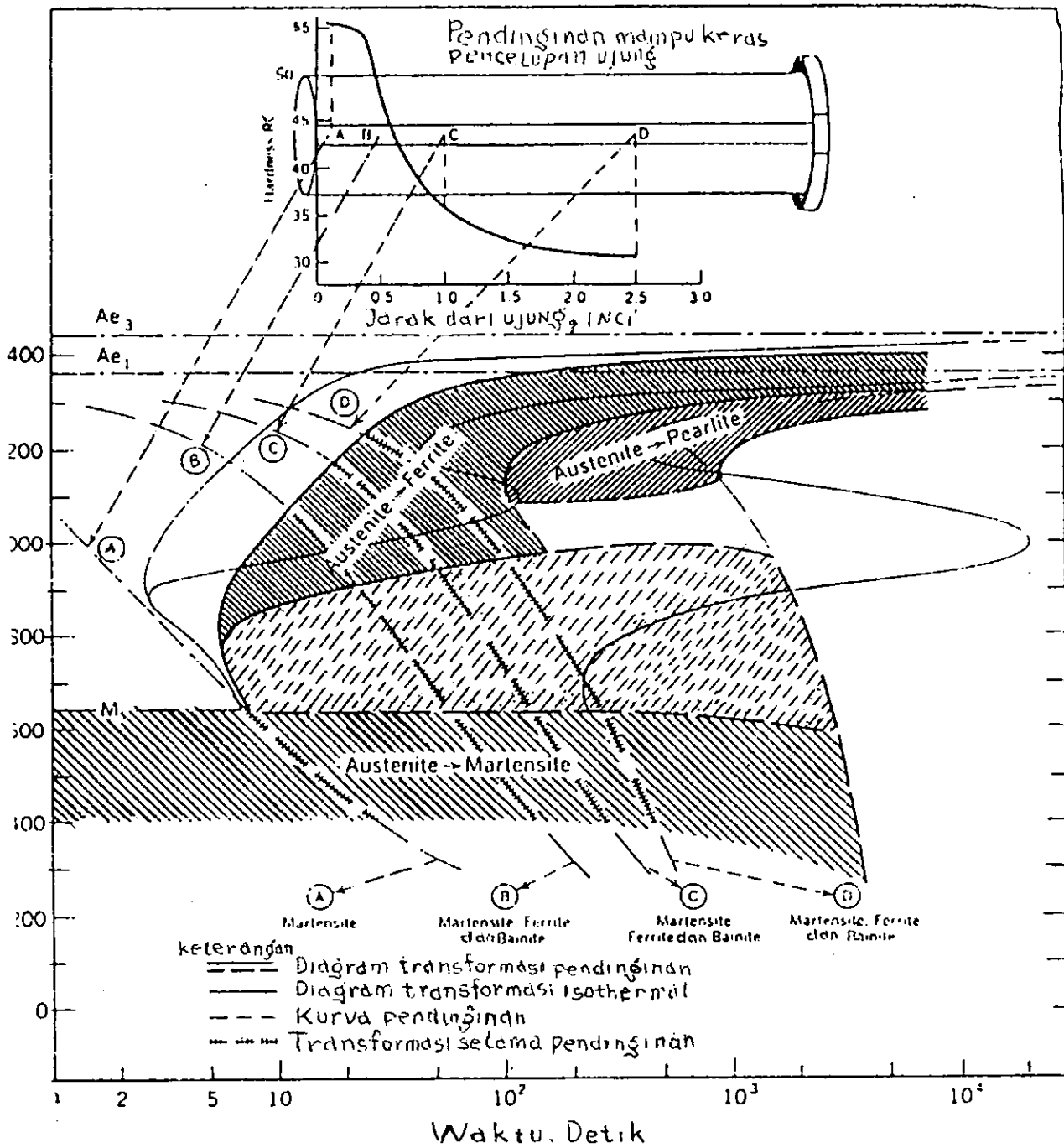
Gambar 6.1 Berlangsungnya pekerjaan ujung Jominy-
uji pendinginan mampu keras (Courtesy
of Pacific Machinery & Tool Steel Co).

Dari studi tentang kurva, maka dapatlah diketahui bahwa pengerasan permukaan awal adalah fungsi

kandungan karbon dan kedalaman penyepuhan tergantung dengan jumlah karbon yang ada, Kandungan paduan dan ukuran butir. Mangan, Cronium, dan Molibdenum adalah elemen pokok yang mempengaruhi kedalam sepuh. Sedangkan nikel dan silikon membantu drajat kenaikan yang lebih kecil.



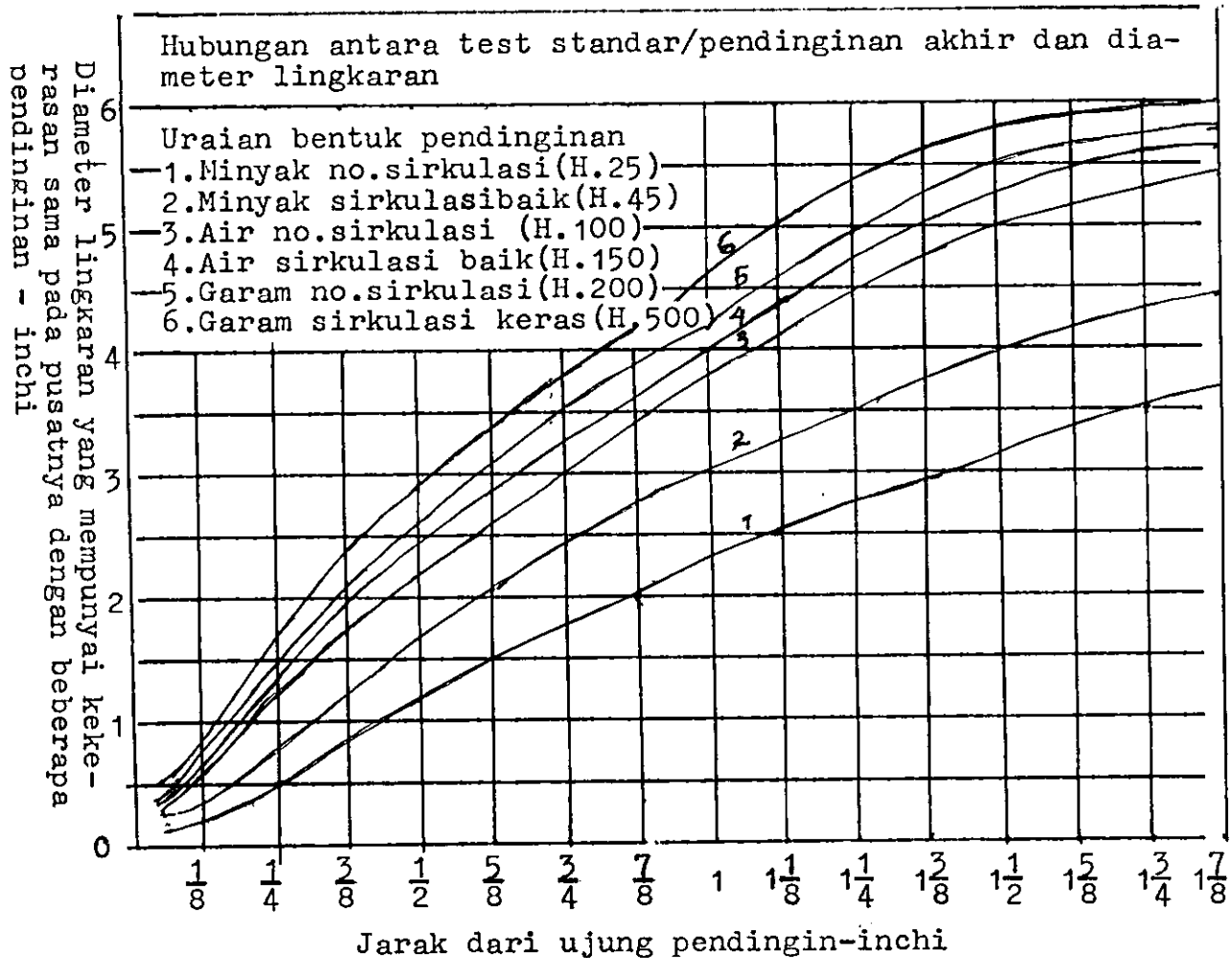
Gambar 6.2 Korelasi pendinginan lanjut dandiagram transformasi isothermal dengan data uji pengerasan dengan pendinginan akhir untuk baja karbon eutektoid (Copyright (c) 1951 by United States Steel Corporation).



Gambar 6.3 Korelasi pendinginan lanjut dan diagram transformasi isothermal terhadap data ujung-uji pendinginan mampu keras baja 4140 (Copyright (c) 1951 United States Steel Corporation).

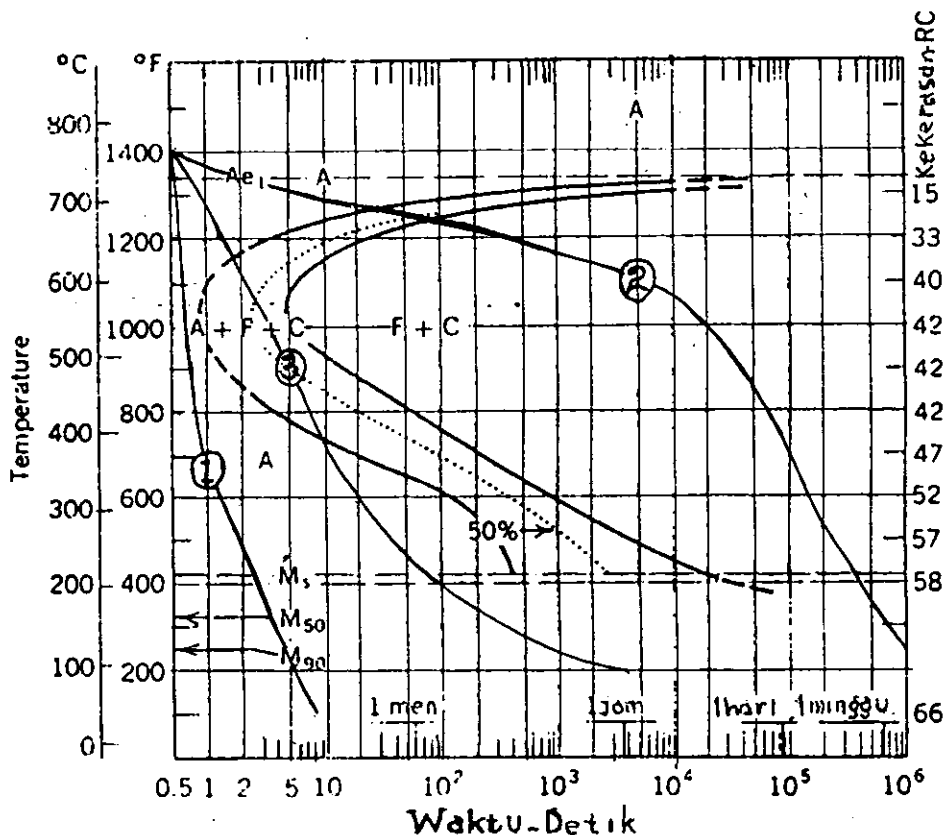
Gambar 6.2 dan 6.3, membandingkan kedalaman dari pengerasan antara baja karbon eutectoid (83 % karbon

dan baja SAE 4140. Perlu dicatat bahwa kecepatan pendinginan menjadi lebih rendah sesuai dengan pertambahan jarak dari ujung pencelupan (quenched end). Perbedaan kecepatan dari pendinginan ini menghasilkan kurva pendinginan dalam kurva S, dapat dilihat bahwa hasil transformasi yang lain dari martensit akan dibentuk pada jarak tertentu dari ujung (dekat pusat dari suatu bagian tebal yang sama). Akibat dari tipe media pendinginan yang bermacam-macam pada kemampuan pengerasan atau kedalaman dari pengerasan dapat dilihat pada gambar 6.4.



Gambar 6.4 Kurva pendinginan untuk bermacam-macam media pendingin (Courtesy of Pacific Machinery & Tool Steel Co).

Temperatur yang mana martensit mulai terbentuk disebut dengan temperatur MS. Temperatur ini dapat banyak diturunkan dengan menambahkan isi karbon. Apabila 83 % baja karbon dicelupkan ke bawah temperatur MS kira-kira 400°F (204°C), kira-kira 50 % perubahan menjadi martensit (gbr. 6.5, garis 1) telah diketahui dan pada temperatur MF atau kira-kira 200°F (93°C), kira-kira 100 % perubahan telah terjadi. Pada titik eutektoid ini atau pada setiap baja karbon yang lebih tinggi adalah kira-kira sekeras yang didapat pada kekerasan C 67 Rock Well.



Gambar 6.5 Kurva pendinginan baja eutektoid pada diagram I-T garis 1 menerangkan pendinginan dibawah batas tertentu (under-cooling) sehingga menghasilkan martensit, garis 2 menerangkan kurva annealing, garis 3 adalah kurva normalizing (copyright (c) 1951 by United States Steel Corporation).

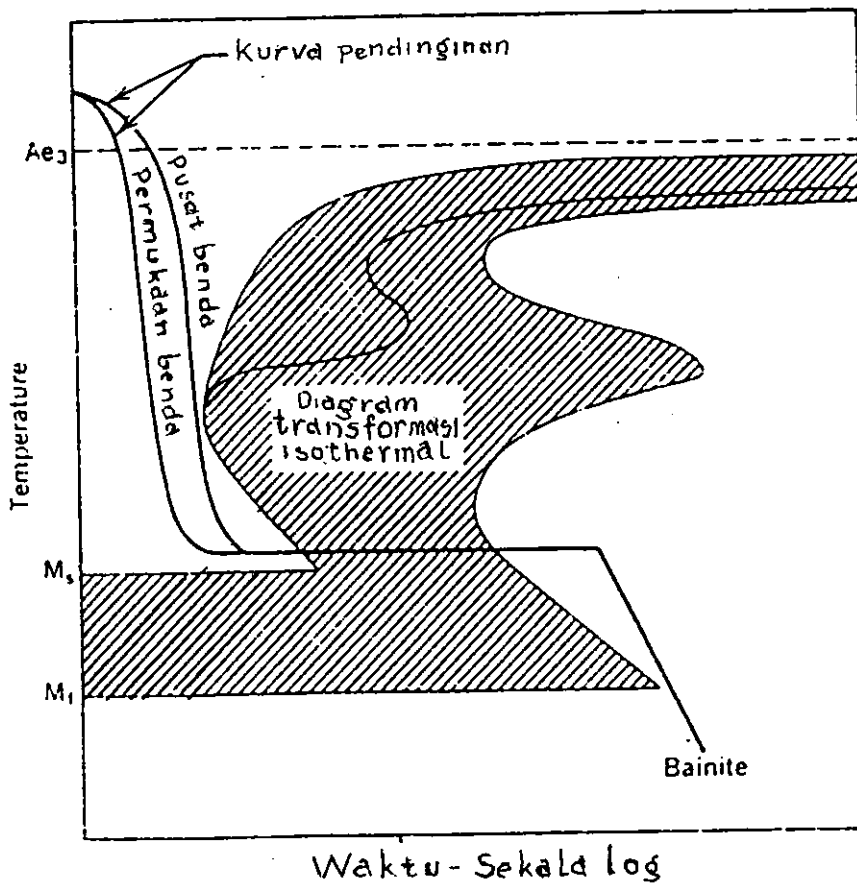
3. Hasil Transformasi

Apabila kurva pendingin seperti potongan kurva S , pada diagram I-T dalam berbagai tempat, mikrostruktur tertentu terbentuk. Pada bagian lunak, perlit kasar akan terbentuk apabila pendingin yang sangat lambat terjadi 1300°F (704°C). Hal ini akan terjadi apabila benda dalam tungku ditanamkan (gbr. 6.5, garis 2). Apabila benda didinginkan di udara setelah pemanasan, ditunggu sampai 100°F (38°C) di atas temperatur kritis atas, proses ini dikenal dengan normalizing. Kurva pendingin untuk normalizing akan melalui perlit sedang atau di atas bagian bainit (gbr. 6.5, garis 3). Pada kurva S dalam baja eutektoid, meninggalkan struktur lebih kuat dibandingkan dengan yang dihasilkan anneal penuh.

Pada metoda hardening dan temring lainnya adalah bentuk pendingin isothermal yang disebut austempering pada (gbr. 6.6). Dalam benda yang di dam austenitis didinginkan pada cairan timah atau di bak garam ditahan dengan temperatur lebih kurang 600°F (316°C) untuk mendapatkan mikrostruktur yang lebih rendah dari bainit. Keadaan ini dibiarkan selama beberapa jam sampai terjadi transformasi lengkap. Tipe hardening merupakan proses ke dua yang biasa digunakan yaitu tempring. Austempering menghasilkan benda kerja yang lebih kenyal dibandingkan dengan hasil dari proses hardening konvensional. Cara ini digunakan untuk benda kerja yang tipis atau kecil, dimana untuk benda kerja yang besar dan berat tak dapat digunakan proses austempering.

Bentuk lain dari pendinginan isothermal adalah martempering (gbr. 6.7). Pada bagian austenitas dinaikkan 400°F (204°C) dan kemudian dibiarkan dalam beberapa menit untuk mendapatkan temperatur luar dan dalam yang sama untuk menghindari tekanan.

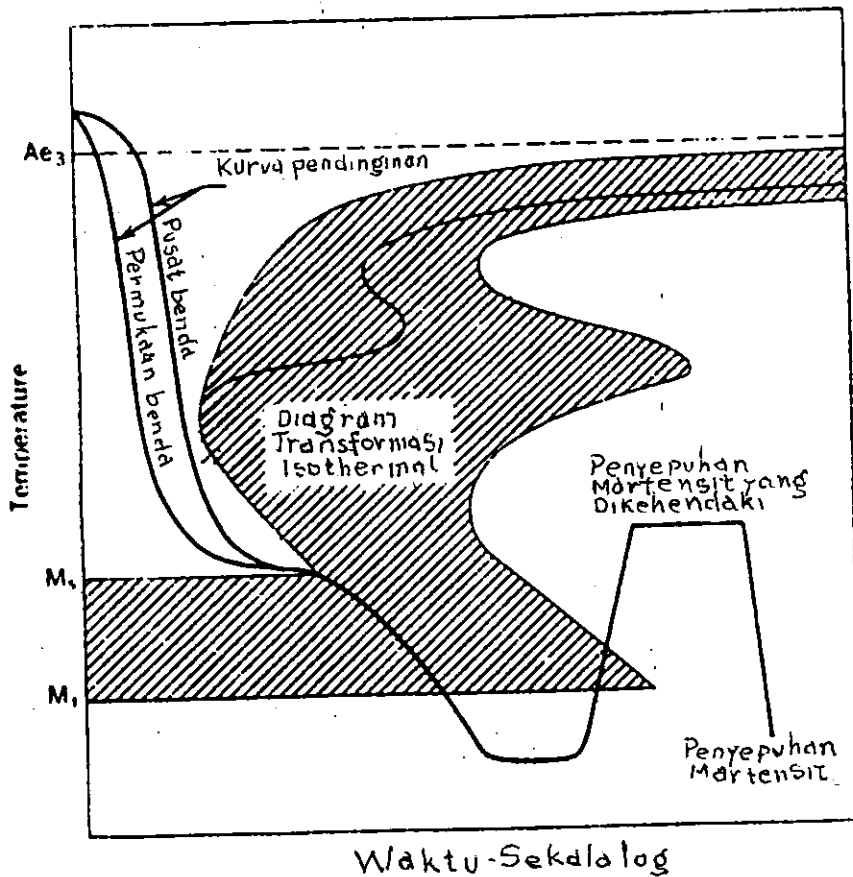
Kemudian pendinginan diturunkan pada temperatur lebih kurang 200°F (93°C) dan penyepuhan konvensional telah selesai dilakukan. Anil isothermal dilakukan dengan pendinginan untuk mendapatkan temperatur anil dari temperatur austenitas dan dibiarkan pada temperatur anil dalam waktu yang lama pada (gambar 6.8).



Gambar 6.6 Austempring (Courtesy of Bethlehem Steel Corporation).

4. Langkah-langkah Penyepuhan/Pemudaan

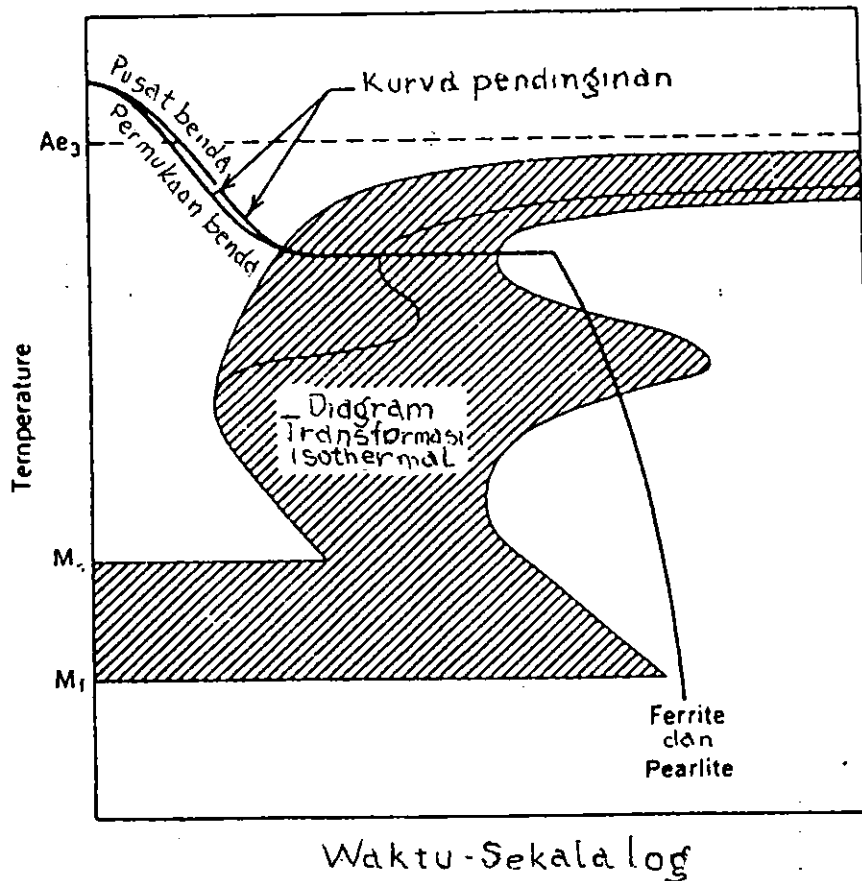
Penyepuhan kadang-kadang disebut menurunkan kekerasan (memudakan) atau menurunkan sepuhan, dengan proses pemanasan kembali baja martensit keras pada temperatur dibawah kritis bawah atau $A_c 1$.



Gambar 6.7 Martempering (Courtesy of Bethlehem Steel Corporation).

Penyepuhan murni dari baja keras membutuhkan waktu yang lama. Dengan memilih temperatur penyepuhan, pengerasan akan terjadi dengan cepat pada mulanya dan berkurang secara teratur pada selang beberapa waktu. Sebagai contoh $\frac{1}{2}$ jam proses penyepuhan dengan suhu 600°F (316°C), satu bagian yang disepuh akan mencapai kira-kira 5 (lima) atau 6 (enam) titik pada skala Rockwell.

Beberapa benda kerja yang dipanaskan akan berubah warna dan proses ini harus dihentikan dengan mendinginkan dalam air, jadi proses penyepuhan berlangsung singkat. Ini bukan merupakan cara yang terbaik.

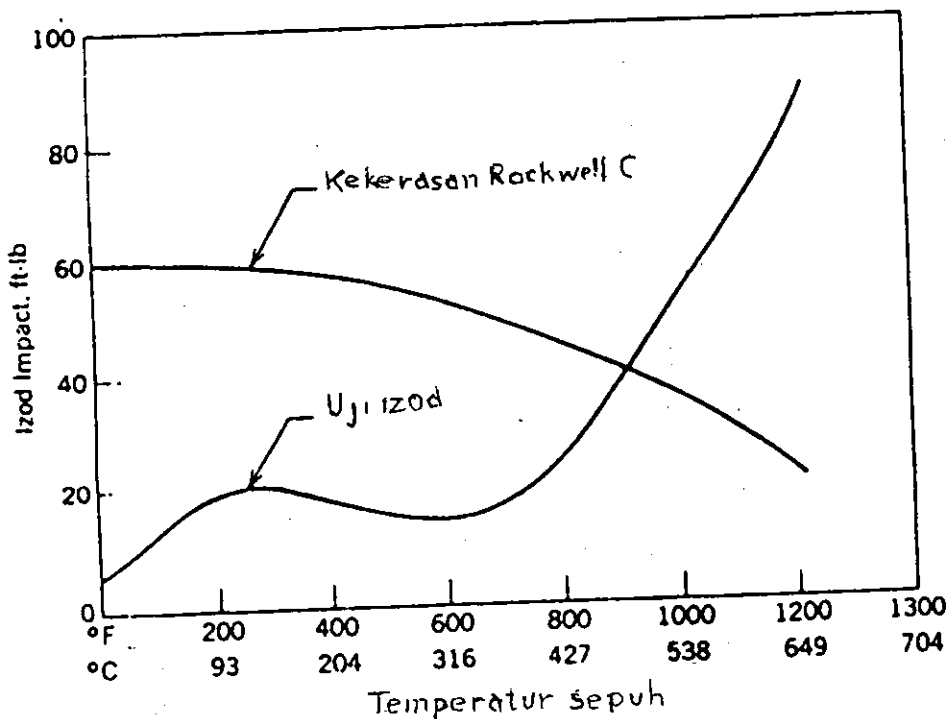


Gambar 6.8 Annealing isothermal (Courtesy Bethlehem Steel Corporation).

Baja karbon dan sebagian besar baja paduan rendah, dapat disepuh dengan cepat apabila tidak dingin dan dapat dipegang. Baja karbon jangan disepuh apabila belum dingin, karena temperatur rata-ratanya pada beberapa jenis baja mempunyai MF yang rendah dan akan terjadi austenitas yang tidak ditransformasikan.

Semua atau sebagian residu dari austenit akan berubah menjadi martensit pada pendinginan dari temperatur penyepuhan. Jadi struktur akhirnya akan terdiri dari martensit sepuh dan bukan sepuh.

Dalam banyak hal, kekenyalan bertambah apabila kekerasan dikurangi, jadi temperatur penyepuhan harus ditambah, tapi dalam test batang Izod-Charpy digunakan pengukuran kekenyalan, temperatur sepuhnya antara 400°F (204°C) dan 800°F (427°C) telah menghasilkan tarikan kenyal (gambar 6.9).



Gambar 6.9 Grafik menunjukkan batas penyepuhan yang getas sekali.

Hal ini benar bahwa kekenyalan bertambah dalam skala penyepuhan ini, apabila dimasukan bagian tegangan, range penyepuhannya dihindarkan. Hal ini kadang-kadang disebut range sepuh kenyal biru.

Beberapa baja paduan mengalami penghilangan tarik kenyal apabila disepuh 1000°F (538°C) dan 1250°F (677°C) diikuti dengan pendinginan yang lamban. Hal ini disebut

sepuh tidak kenyal dan dapat dihindari dari pendinginan dengan temperatur penyepuhan. Baja yang banyak mengandung mangan, pospor, dan chromium dihasilkan dari penyepuhan tak kenyal, sedangkan untuk mengatasinya dapat ditambahkan molybdenum.

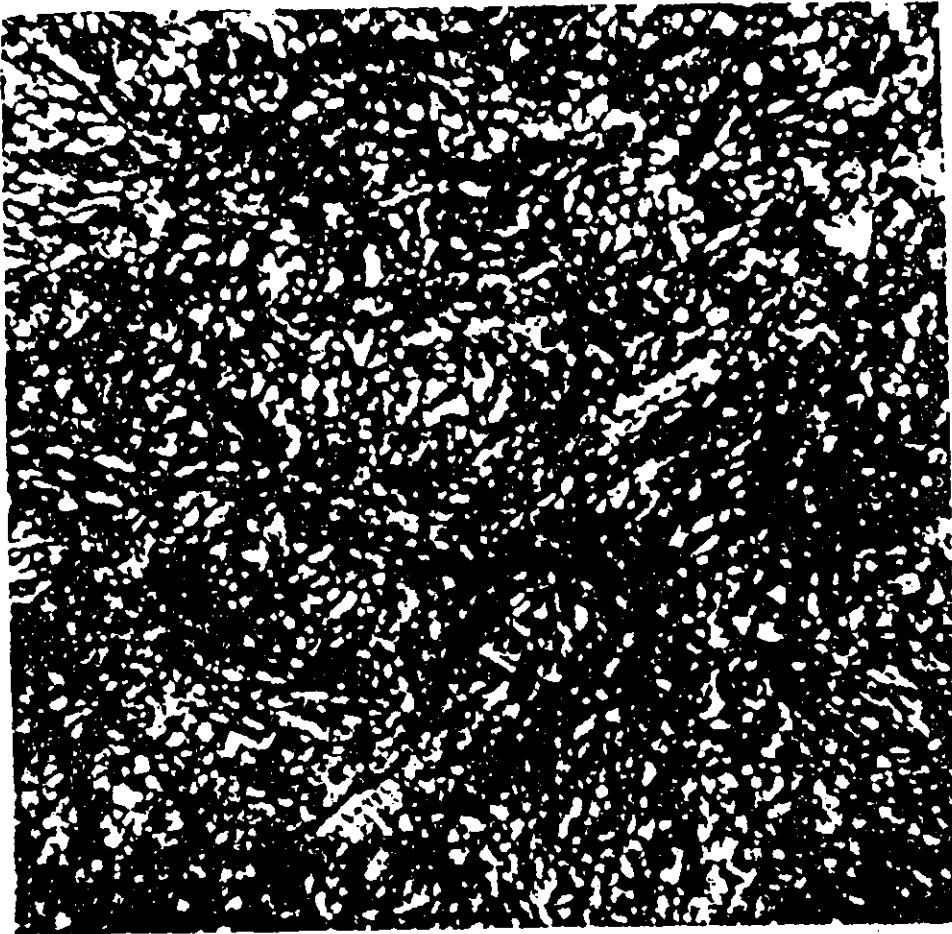
5. Pemudaan Martensit

Martensit di atas normal dengan temperatur tertentu diliputi oleh larutan karbon dan besi. Karena tenaga panas bertambah, karbon mempengaruhi mobilitas, membebaskan struktur kisi besi dan membentuk besi karbida. Tempering dari 100°F (38°C) sampai 400°F (284°C) tetap karbonnya rendah, martensit dan partikel bagian mikroskop besi karbida. Martensit yang dietsa ini, hitam, tetapi formasinya masih tetap bentuk jarum. Kadang-kadang disebut martensit hitam (gambar 6.10).

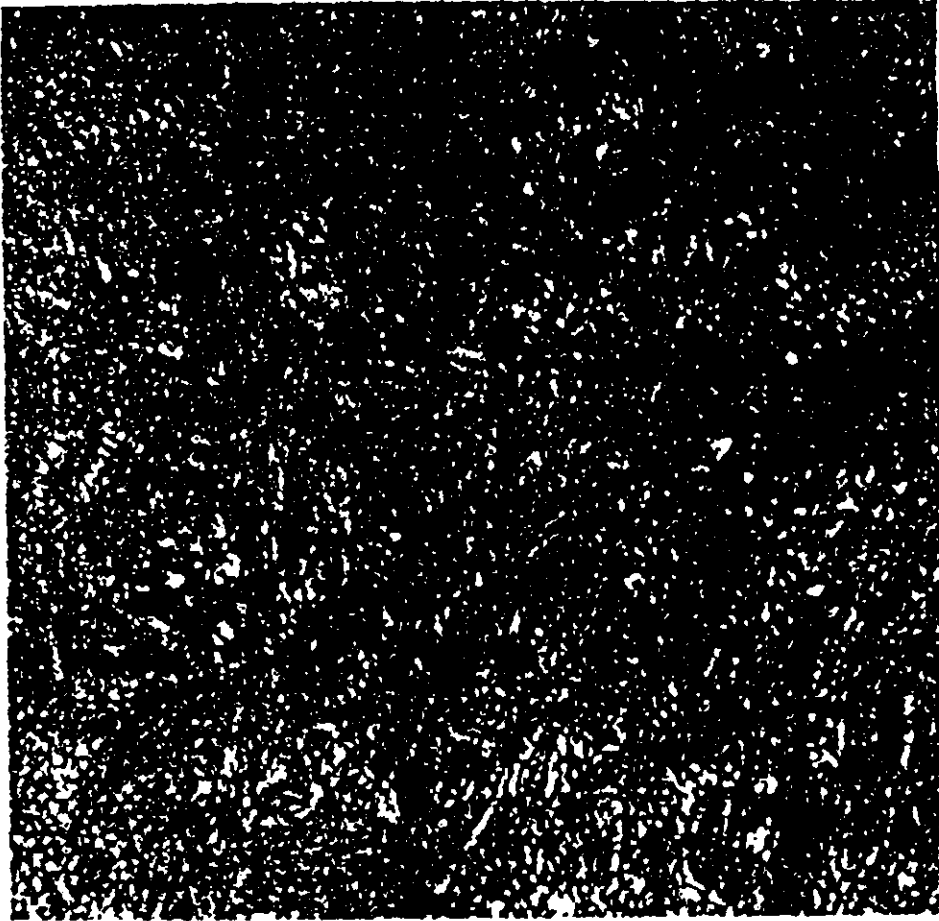
Temperatur-temperatur tempering yang lebih tinggi menyebabkan transformasi martensit karbon rendah 450°F (232°C) sampai 700°F (371°C)

Bainit yang lebih rendah ditambah ferit dan menaikkan ukuran partikel partikel karbida pengetsaan. Masa yang hitam ini sekaligus dikenal sebagai Troostite. Pada suhu antara 700°F (371°C) dan 1200°F (649°C) partikel karbida menjadi tampak dan ferit tetap menjadi lebih bersih (network). Perubahan ini dapat menimbulkan peningkatan jelas dalam keuletan dan keliatan penemperan martensit dalam batas ini menjadikan etsanya terang/jelas. (gambar 6.11). Struktur ini disebut sebagai Sorbit. Banyak ahli metalurgi biasanya hanya mengistilahkan "Tempered Martensite" bagi segala kondisi. Martensit dan partikel karbida (juga perlit) apabila dibiarkan dalam batas-batas temperatur 1200°F (649°C) sampai 1300°F (704°C) cenderung membentuk spheroidite (gambar 6.12).

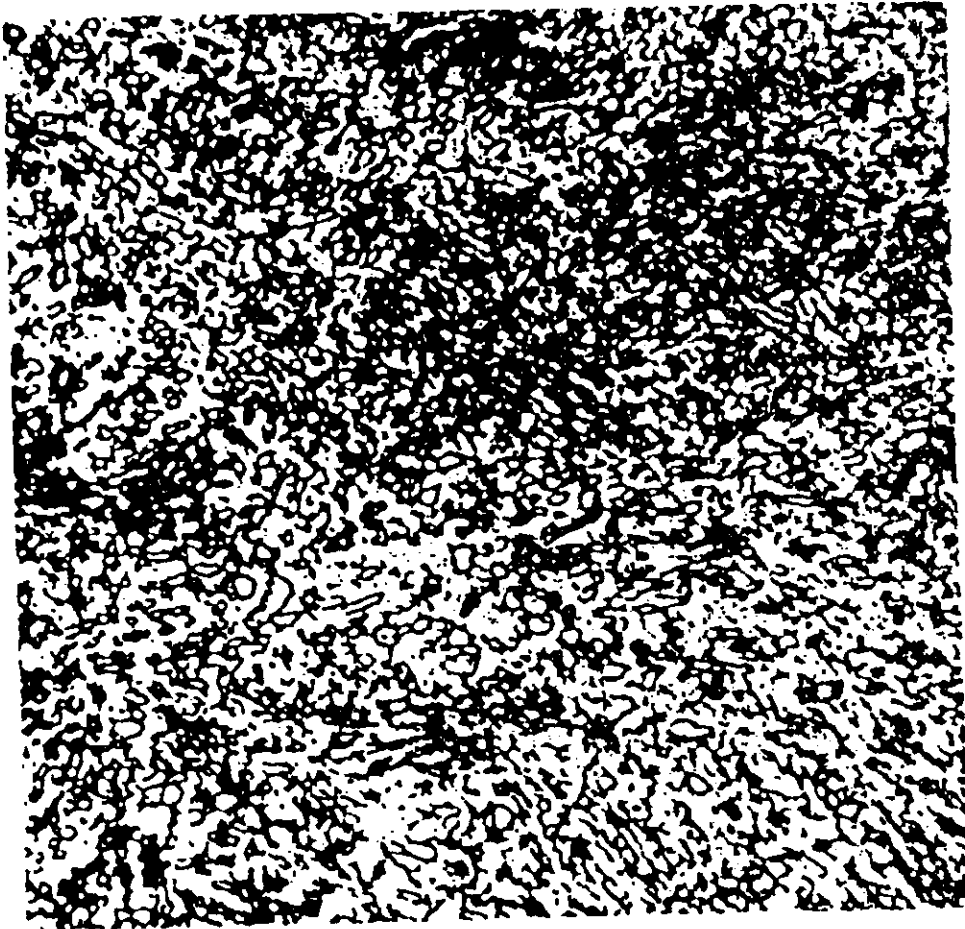
Beberapa baja paduan banyak sekali austenitnya setelah pendinginan, dan akibatnya tidak dapat dikeraskan penuh. Baja-baja yang didinginkan dengan udara dan oli mempunyai karakteristik tertentu, setelah tempering ketetapan austenit berubah menjadi martensit, sehingga menyebabkan peningkatan kekerasan. Kecenderungan penempuran yang demikian itu pada baja paduan tinggi, kadang-kadang temper ganda perlu untuk memenuhi kekerasan penuh.



Gambar 6.10 Mikrostruktur martensit hitam
(500 X).



Gambar 6.11 Mikrostruktur martensit terang
(500 X).



Gambar 6.12 Mikrostruktur bulat-bulat pipih (spheroidite) (500 X).

6. Pertanyaan Formatif

1) Pengujian apa yang digunakan untuk menentukan mampu keras (kemampuan kekerasan) ?.

2) Terangkan secara singkat bagaimana pengujian pertanyaan no. 1 dilakukan ?.

3) Bagaimanakah hubungan pengujian yang ditanyakan dalam pertanyaan 1 dan 2 pada kurva "S" di dalam diagram I-T.

4) Perhatikanlah grafik pada gambar 4. Pengaruh apakah yang nampak pada sirkulasi pendingin yang digunakan dalam kemampuan kekerasan ?.

5) Berapakah kekerasan maximum yang tepat pada pengaus tenitan baja dengan karbon 1,5 % bila didinginkan sampai batas temperatur ?.

6) Jenis mikrostruktur apakah yang terjadi bila baja eutektoid didinginkan/dianil pada tungku ?.

7) Apakah "celup putus" (austempering) itu ?, sebutkan

sebutkan keuntungannya ?.

8) Kapan waktu terbaik untuk menemper ?, terangkan.

9) Terangkan perbedaan antara batas temper kerapuhan warna biru dengan kerapuhan temper dari beberapa jenis baja.

10) Bagaimana cara meramal (predict) kekerasan final pada pengerasan baja-karbon yang akan dipersiapkan untuk temper ?.

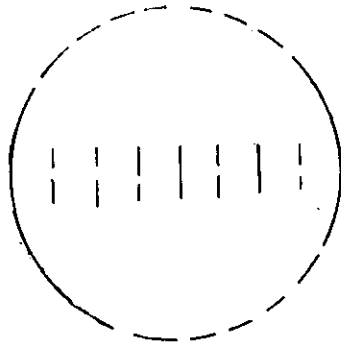
7. Petunjuk Praktikum

Dengan adanya sepotong baja SAE 1040 (0,4 %) karbon, dengan diameter $\frac{1}{2}$ inchi dan panjangnya 3 inchi, pengujian kekerasan Rockwell, tungku, smittang, dan pendinginan tong yang berisi air, maka anda akan dapat:

- 1) Memerlihatkan perbedaan kekerasan dan laju pendinginan antara permukaan benda dan pusat benda dari benda kerja baja dengan diameter $\frac{1}{2}$ inchi.
- 2) Mendemonstrasikan kedalaman kemampuan kekerasan pada baja pengerasan dangkal (shallow).

Prosedur Kerja

- 1) Tempatkan benda kerja dalam tungku dan atur suhu sebesar 1550°F (845°C). Biarkan benda kerja mencapai warna yang sama dengan tungku tahan api. Panaskan ujung Smittang, sehingga tidak akan terjadi pendinginan benda kerja pada waktu anda mengambilnya dari tungku.
- 2) Ambil benda kerja itu dan dinginkan dalam lingkungan air.
- 3) Potong separo dari benda kerja itu dengan menggunakan gergaji pemotong metalurgi. Hati-hatilah jangan sampai kelebihan panas itu dibiarkan pada benda kerja. Potonglah benda kerja itu sepanjang $\frac{3}{8}$ inchi.
- 4) Selanjutnya tandai naiknya $\frac{1}{16}$ inchi pada penampang diameter yang baru saja dipotong permukaannya itu.
- 5) Tes dengan Rockwell naiknya batas ukur $\frac{1}{16}$ inchi sampai ke pusat bendanya (gambar 13).
- 6) Catat hasil-hasilnya.



Gambar 6.13 Jarak spasi 1/16 inchi.

Perhatikan

Apabila pada lab anda ada pengetesan "ujung celup Jominy pendinginan". Susunlah sampel standar dan ujilah seperti yang diterangkan dalam unit ini.

Kesimpulan

Mengapa ada perbedaan kekerasan antara permukaan dengan pusat bendanya ?.

8. Petunjuk Praktikum

Dengan adanya 3 (tiga) benda kerja baja SAE 1095, dengan diameter $\frac{1}{2}$ inchi dan panjang 1 inchi, pengetes kekerasan Rockwell, tungku perlakuan panas, bak pendingin air, dan Smit tang, maka anda dapat:

- 1) Mempelajari pengaruh penemperan baja karbon SAE 1095.
- 2) Mempelajari manfaat lembaran keterangan sifat-sifat mekanik yang dipakai untuk menafsir sifat-sifat fisik yang dihasilkan dari penemperan.

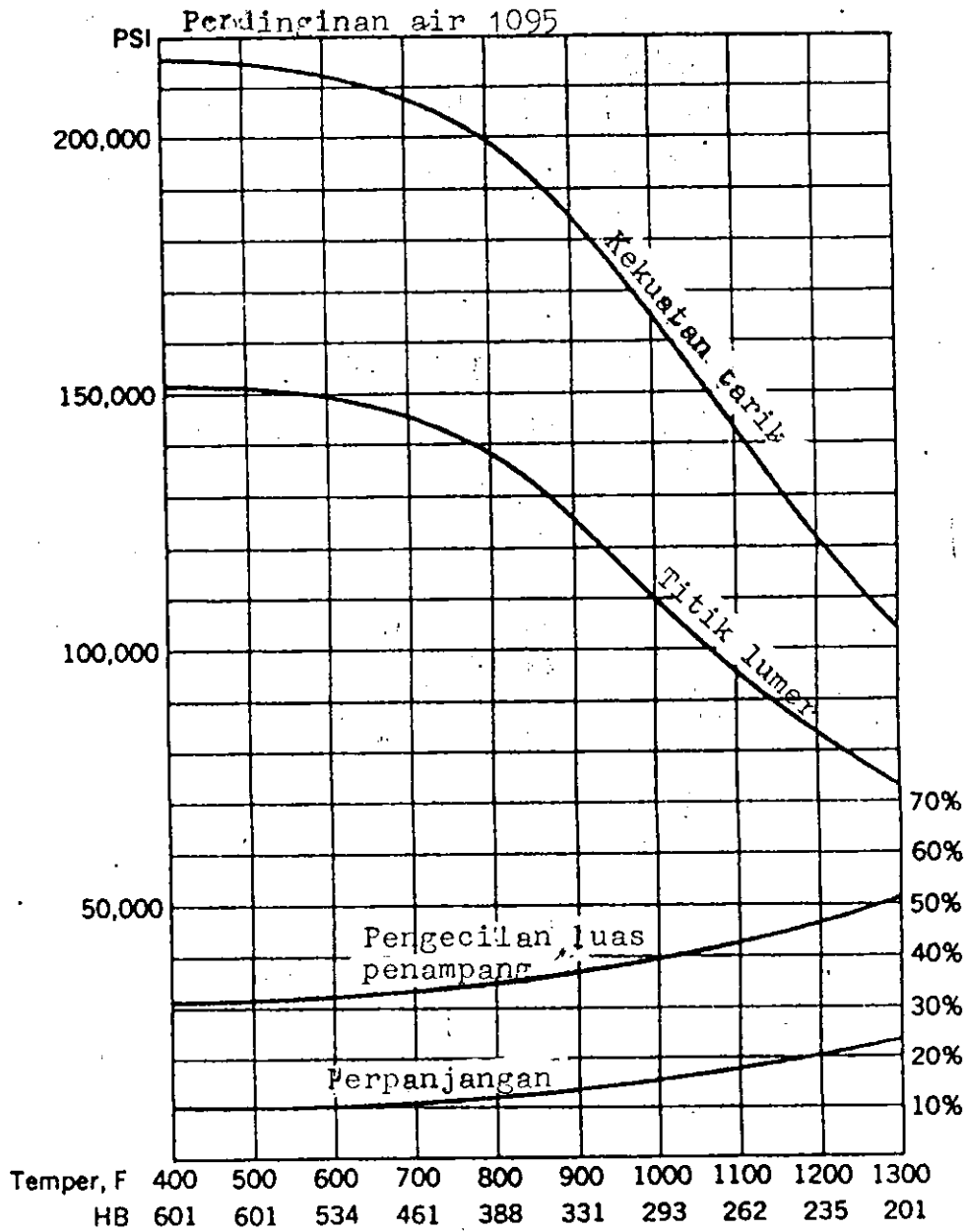
Prosedur Kerja

- 1) Uji kekerasan benda kerja yang dirol itu serta bandingkan dengan lembaran keterangan (gambar 6.14).
- 2) Kemudian tempatkan benda-benda kerja itu pada tungku yang dipanasi sampai 1550°F (843°C). Biarkan benda kerja itu mencapai warna yang sama dengan tungku yang terbuat dari bata tahan api. Baja-baja dibiarkan pada temperatur austenit selama beberapa menit sebelum pendinginan.
- 3) Panaskan ujung Smit tang yang akan disinggungkan pada benda kerja itu. Hindari pendinginan benda kerja ini sebelum didinginkan.
- 4) Ambil benda kerja yang diaustenitkan dan didinginkan dalam air. Gerak-gerakan benda itu demi pendinginan yang lebih baik.
- 5) Cek kekerasan baja yang didinginkan itu. Keterangan lembaran sifat-sifat mekanik menjelaskan bahwa baja SAE 1095 telah dikeraskan dengan pendinginan sampai pada Brinel 601. Gunakan tabel konversi jika pengesanan-pengettesan kekerasan anda adalah Rockwell.

- 6) Tempatkan benda yang dikeraskan pada tungku dengan temperatur 400°F (204°C) selama 20 menit.
- 7) Ambil dan dinginkan serta uji kekerasannya. Ulangi prosedur ini pada benda kerja, tetap pada temperatur 800°F (427°C) dan pada 1000°F (538°C).
- 8) Bandingkan hasil-hasil anda dengan lembaran keterangan sifat-sifat mekanik yang telah disediakan.

Kesimpulan

Adakah hasil-hasil yang anda capai berhubungan dengan lembaran keterangan tersebut diatas ?. Jika tidak, bagaimanakah cara menafsir perbedaan itu ?.



Gambar 6.14 Lembaran keterangan sifat-sifat mekanik (Courtesy of Bethlehem Steel Corporation).

BAB VII

PERLAKUAN PANAS BAJA

Perlakuan panas baja perkakas adalah proses susunan beberapa tungku yang bekerja sangat kritis. Ketepatan cara-cara menempuh proses tingkat baja atau kegagalan cara melakukan hampir dapat diatasi. Untuk bisa mengeraskan dan menemper pekerjaan anda secara memuaskan, maka pelajari dan ikuti prosedur yang ada.

1. T u j u a n

Setelah selesai unit ini, diharapkan anda akan dapat:

- 1) Menjelaskan prosedur perlakuan panas yang tepat pada baja-baja perkakas.
- 2) Mengeraskan VEE blok SAE 4140 atau jenis lain yang setara dengan tepat.
- 3) Menerangkan penemperan blok SAE 4140 dengan tepat sampai kekerasannya dapat ditentukan.

2. I n f o r m a s i

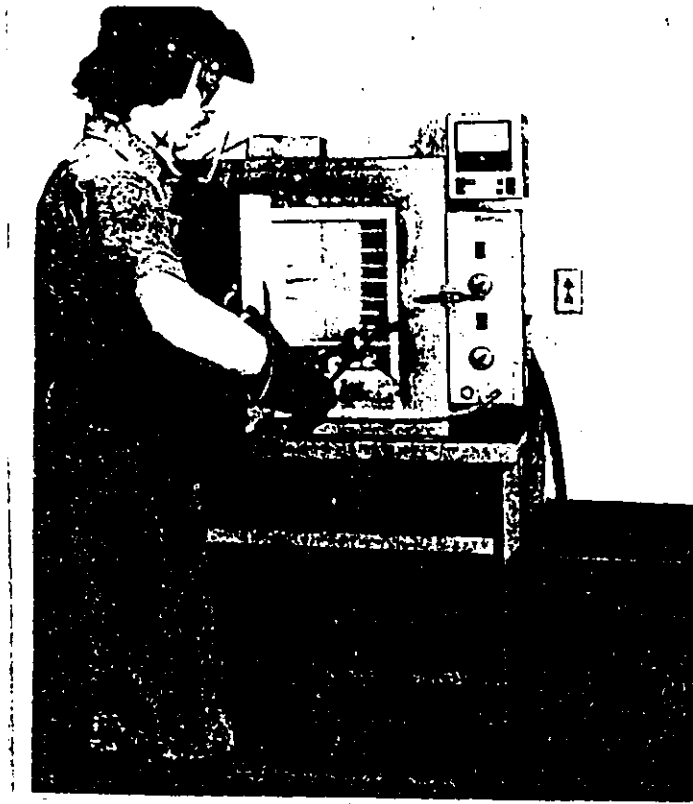
Tungku-tungku

Tungku-tungku listrik, gas atau minyak digunakan untuk perlakuan panas baja (gbr. 7.1). Mereka menggunakan beberapa cara teknik pemeriksa pengaturan temperatur. Pemeriksaan-pemeriksaan ini menggunakan prinsip termokopel (gbr 7.2.). Umumnya temperaturnya dibatasi sampai 2500° F (1371° C). Temperatur bak-bak garam yang tinggi juga digunakan untuk memanaskan logam, untuk mengeraskan atau melunakkan (annealing). Salah satu kerugian tungku-tungku listrik umumnya ialah mereka membiarkan atmosfer memsuki tungku, dan oksigennya menyebabkan oksid-oksida

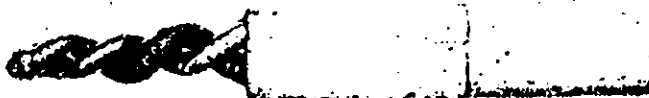
terbentuk pada logam panas itu. Akibatnya ini menjadi kerak dan memperkecil pengarbonan pada permukaan logam. Pengecilan pengarbonan permukaan mengakibatkan logam tidak akan keras. Salah satu cara untuk mengontrol hilangnya karbon pada permukaan ini ialah dengan menahan pengaruh atmosfir sekecil mungkin atau gas-gas yang ada dalam tungku.

Salah satu faktor yang terpenting pada waktu memanaskan baja ialah laju kecepatan panas yang dikerjakannya. Pertama apabila baja dipanaskan ia akan mengembang (memuai). Jika baja yang dingin ditempatkan pada tungku panas, maka bagian permukaannya akan lebih cepat memuai dibandingkan dengan bagian intinya yang masih dingin. Maka bagian permukaan akan cenderung menarik jauh ke dalam sampai ke pusat benda itu. Hal ini akan menyebabkan tersimpannya tenaga dalam dan dapat menyebabkan keretakan serta distorsi (penyimpangan) dalam bagian benda kerja. Umumnya pada tungku padat diatur sedemikian rupa untuk mendapatkan hasil laju panas yang tepat (gbr. 7.3). Bila benda sudah mencapai temperatur konstan (the soaking temperature) yang tetap (soaking) seperti pada gambar 4, berarti membiarkan benda pada temperatur yang telah ditetapkan pada waktu yang lama.

Faktor yang lain ialah waktu kekonstanan yang dicapai untuk ukuran tertentu dari benda kerja baja. Menurut cara lama, diperbolehkan baja dibiarkan (direndam) dalam tungku selama satu jam pada setiap ketebalan inchi, tetapi sedapat mungkin cara ini divariasikan, karena beberapa baja membutuhkan perendaman (pembiaran) yang lebih banyak dibandingkan dengan yang lain. Periode pembiaran yang tepat pada baja perkakas khusus dapat dipedomani dalam buku-buku pegangan baja perkakas.



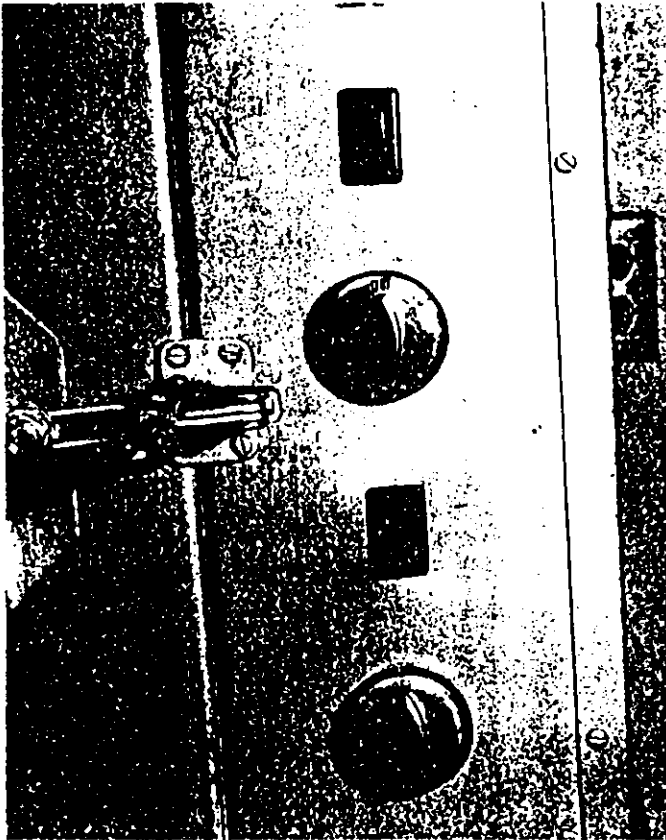
Gambar 7.1 Tungku perlakuan panas listrik. Bagian benda ditempatkan dalam tungku dengan memakai pakaian laku panas yang tepat dan menggunakan tang/jepitan (Lane Comu nity College).



Gambar 7.2 Thermokopel (Lane Comunity College).

3. Media Pendingin

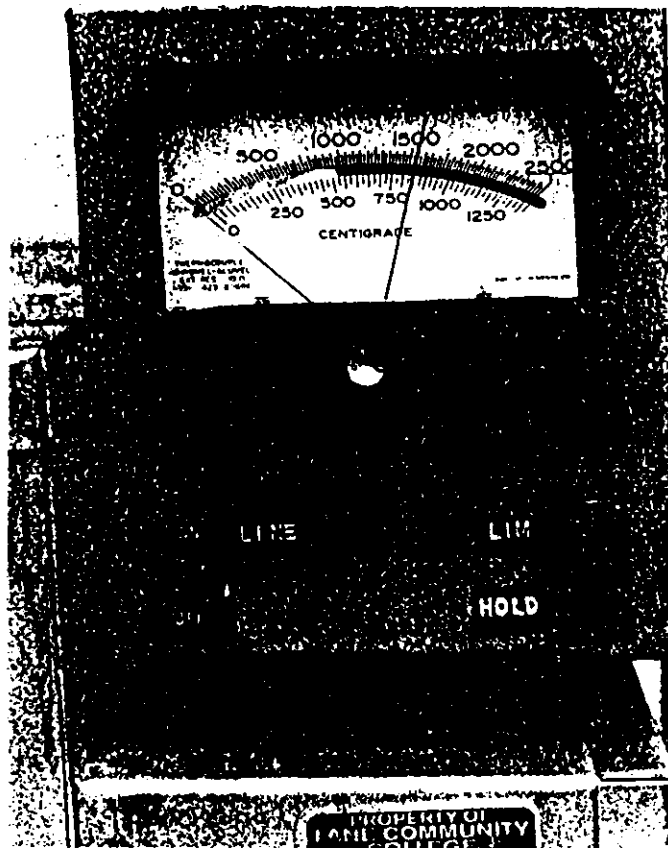
Pada umumnya ada 6 (enam) media yang digunakan un - tuk mendinginkan logam. Mereka disini disusun (didaftar) menurut tingkat kekerasannya atau cepatnya pendinginan :



Gambar 7.3 Hasil kontrol pada tungku
(Lane Comunity College).

- 1) Air dan garam; yaitu natrium klorida atau natrium hi
droksida. Ini disebut juga garam dapur.
- 2) Air kran.
- 3) Garam-garam lebur atau cair.
- 4) Larutan minyak dan air.
- 5) Minyak.
- 6) Udara.

Cara tindak lanjut pada media pendingin cair dilaku
kan dalam tiga tahap: (1) penyelimutan uap yang timbul
dipengaruhi oleh adanya logam yang sangat panas yang bi-
sa menguap pada media. Penyelimutan-penyelimutan logam



Gambar 7.4 Kontrol temperatur (Lane Community College).

oleh uap ini bersifat menyekati bak cairan yang dingin. Penyebab-penyebab ini karena laju pendinginan relatif rendah selama tahapan berlangsung. (2) pengangkut pendingin uap saat penyelimutan uap mulai pecah berderai, menjadikan adanya media cair bersinggungan dengan permukaan logam. Laju pendinginan itu jauh lebih tinggi selama proses berlangsung. (3) Pendinginan cair mulai bekerja waktu permukaan logam mencapai titik didih dari media pendingin. Disana tidak ada lagi pendidihan berlangsung, sehingga panas hilang (lepas) melalui konduksi dan konveksi. Disinilah tahap pendinginan itu menjadi terendah.

Bak pendingin cair berperanan penting sebagai media pendingin. Baja yang akan didinginkan harus dikocok-kocok (digerak-gerakkan) seperti pada gambar 7.5. Uap yang terbentuk di sekeliling benda kerja bersifat sebagai isolator yang melambatkan laju pendinginan. Hal ini akan mengakibatkan proses pengerasan benda kerja tidak sempurna, dimana hasil yang dicapai naik turun. Gerakan atau pemutar-balikan benda kerja bisa menghentikan rintangan uap (the vapor barrier). Gerakan benda kerja tersebut yang terbaik adalah lama, dan bagian-bagian benda yang lembut atau tipis dijaga tetap tegak lurus sewaktu pendinginan berlangsung. Hitungan gerakan sampai delapan kadang-kadang digunakan apabila melibatkan bagian-bagian benda yang lebih berat. Demi keamanan, sarung tangan dan alat pelindung muka harus digunakan pada saat bekerja



Gambar 7.5 Seorang pekerja perlakuan panas sedang menggerak-gerakkan benda kerja sewaktu mendinginkan (Lane Community College).

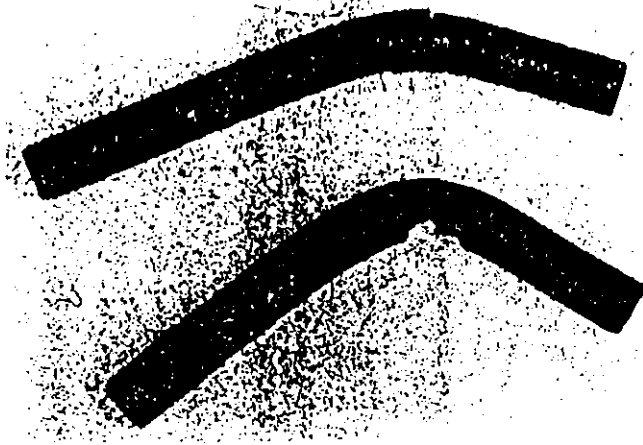
Minyak panas dapat menyembur dan melukai muka seorang yang sedang melakukan perlakuan panas jika ia tidak memakai alat pelindung muka.

Garam cair ataupun cairan timbel digunakan untuk pendinginan isothermal. Ini merupakan cara pendinginan "austemper" (penguraian austenit).



Gambar 7.6 Permulaan pendinginan. Pada tahap ini, sipelaku panas bisa terluka (terbakar) oleh minyak panas jika ia tidak terlindung oleh sarung tangan dan pelindung muka secukupnya (Lane Community College)

Bagian-bagian benda yang diaustemper (gbr. 7.7), kekuatannya dan kualitasnya lebih besar dari pada yang dihasilkan dua tahap proses pendinginan dan penemperan. Bagian-bagian akhir yang diaustemper pada dasarnya halus, mikrostruktur bainitnya lebih rendah (gbr 7.8). Biasanya, hanya bagian-bagian yang luas penampangnya tipis dapat diaustemper. Bentuk lain dari pendinginan isothermal ialah martemper (celup terputus); bagian benda yang didinginkan dalam timbel cair atau bak garam kira-kira



Gambar 7.7 Bagian-bagian benda yang diaustemper pada umumnya dibandingkan dengan bagian-bagian yang dikeraskan dan ditemper adalah sama (Lane Community College).



Gambar 7.8 Mikro struktur bainit rendah.

400°F (204°C), sampai bagian-bagian bahan diluar dan di dalam terbawa kerataan tempeatur yang sama. Selanjutnya bagian-bagian itu didinginkan dibawah 200°F (93°C), sampai semua austenit berubah menjadi martensit. Kemudian, penemperan dilakukan sebagaimana lazimnya orang.

Baja-baja sering digolongkan menurut bentuk media pendinginan yang digunakan untuk memenuhi harapan-harapan dari dari laju pendinginan kritis. Contoh baja yang didinginkan air, yaitu baja karbon biasa, tentu pendinginan itu cepat. Baja yang didinginkan minyak, yaitu baja paduan, tentunya baja tersebut menjadi keras karena minyak. Baja yang didinginkan dengan udara ialah baja paduan yang akan mengeras bila dibiarkan mendingin dari temperatur austenit dalam lingkungan udara. Udara adalah media pendingin yang paling lambat; sebenarnya, laju pendinginan bisa ditingkatkan dengan bantuan gerakan (contoh, dengan menggunakan kipas).

Cara atau kelipatan pendinginan kadang-kadang digunakan apabila bagian-bagian benda kerja itu terdiri dari bagian tebal ataupun tipis. Pendinginan yang bersahaja akan mengeraskan bagian-bagian yang tipis sebelum bagian yang tebal memungkinkan untuk dingin. Hasil penyusutan yang tak merata sering mengakibatkan keretakan. Karena, cara-cara benda kerja didinginkan selama beberapa detik dalam media pendingin cepat, yaitu air yang diikuti oleh pendingin lebih lambat dalam minyak. Yang pertama, permukaan benda kerja yang dikeraskan merata dalam pendingin air, yang kedua waktu yang tersedia adanya kelambatan pendingin dipakai untuk menghilangkan tegangan-tegangannya.

4. Penemperan

Tungku penemperan adalah salah satu cara mengontrol terbaik kondisi final martensit untuk menghasilkan maksud-maksud bagian-bagian matensit yang ditemper dengan keke-

rasan dan ketangguhan yang tepat. Penemperan harus diselesaikan segera setelah pengerasan bagian-bagian yang ketika masih panas segera dimasukkan ketungku. Jika seandainya dibiarkan pada suhu kamar selama beberapa menit, ini bisa menimbulkan retak dingin (gambar 7.9).

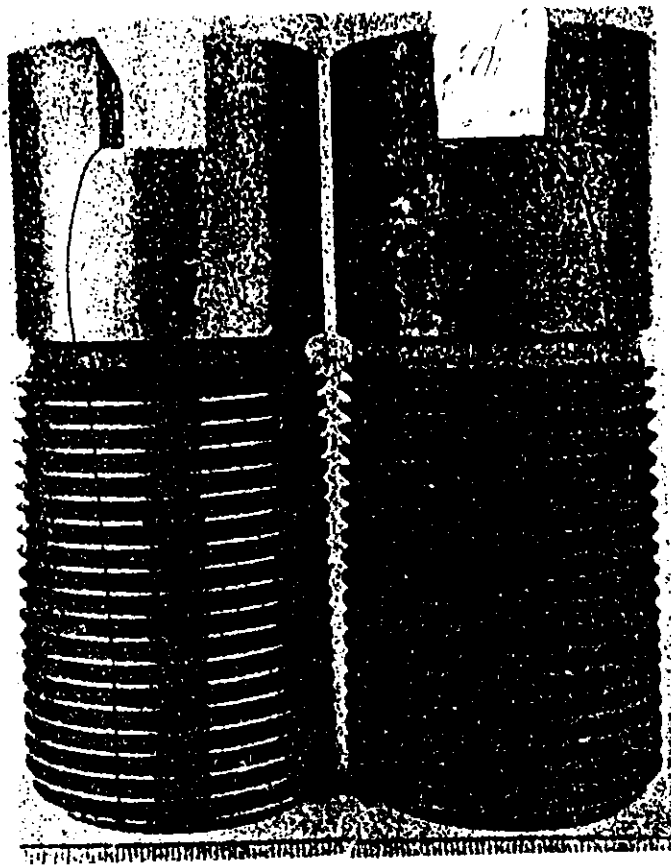
Pembiaran (A soaking time) harus juga digunakan pada waktu penemperan, maka prosedur dalam pengerasan dan lama waktu berhubungan dengan jenis baja perkakas yang digunakan. Tungku pendingin harus terarah pada temperatur yang tepat bagi penemperan. Panas sisa dalam bata tahan api pada tungku yang dipanasi sebelumnya bisa menjadikan panas lagi pada benda itu, walaupun tungku sudah dihentikan pendinginannya.

Sebenarnya, beberapa petugas pelaku panas seyogyanya menggunakan sistem warna dalam menentukan temperatur yang dikehendaki. Karena sistem proses penemperan ini harus berhenti pada waktu benda kerja sudah sampai temperatur yang tepat dan benda itu harus diturunkan dalam air, untuk menghentikan panas lanjut pada daerah-daerah kritis. Disana tidak ada lagi kemungkinan adanya "pembiaran" pada waktu cara-cara ini digunakan.

Penemperan ganda digunakan pada beberapa baja paduan sebagaimana seperti baja HSS mempunyai transformasi, austenit tidak sempurna ketika ditemper pada waktu pertama. Pada waktu ditemper yang kedua, austenit berubah dengan sempurna kedalam struktur martensit.

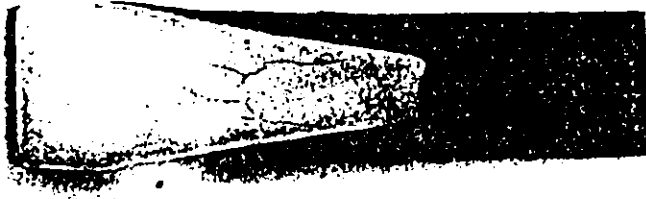
5. Masalah-masalah Perlakuan Panas.

Limpahan (kelebihan) panas pada baja harus selalu dihindari, dan anda mengetahui bahwa jika tungku terlalu tinggi penyetelan panasnya pada jenis baja khusus, butir kasar bisa berkembang. Hasilnya ialah kualitas perkakasnya itu sering jelek, retak karena pendingin, atau adanya cacat perkakas dalam pemakaian. Limpahan panas..



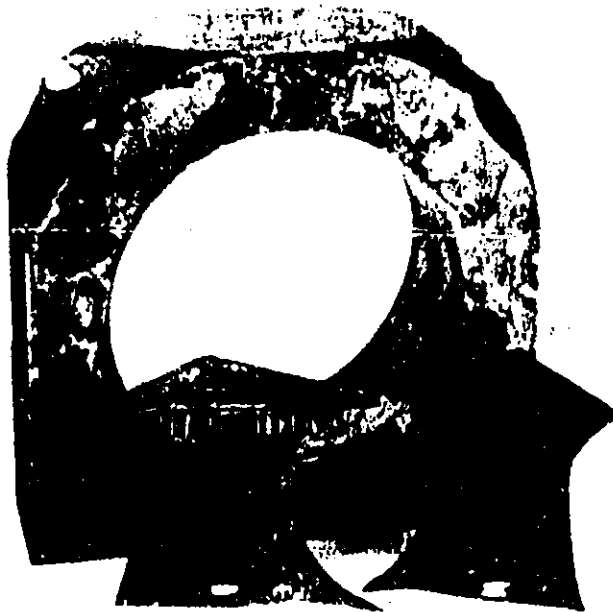
Gambar 7.9 Dua laras (lop) senapan terbuat dari jenis baja perkakas L6. Laras #1 bagian pojok yang tajam retak pendingin karena tidak ditemper. Laras #2 dirancang lagi, di satukan garis lengkung celah-celah tajam. Dan laras baja lunak yang terselip oleh garis celah-celah tersebut akhirnya bisa diatasi oleh adanya pendinginan minyak. Laras (lop) #2 didinginkan minyak dan di cek kekerasan (Rockwell C 62), setelah penemperan 900°F (482°C) terlihat retak. Ternyata kekerasan waktu pendinginan tetap membuktikan bahwa adanya kelambatan antara pendingin dan penemper menimbulkan retak. Memang sesegeranya ketepatan praktek penemperan dilakukan pada temper rendah cek kekerasan, dan ulang temper pada kekerasan yang dikehendaki (Photograph courtesy of Bethlehem Steel Corporation)

yang berlebihan macam ini menyebabkan hangusnya baja dan merusak batas-batas butir yang tidak dapat diperbaiki oleh perlakuan panas (gambar 7.10) benda perkakas itu harus disekrap.



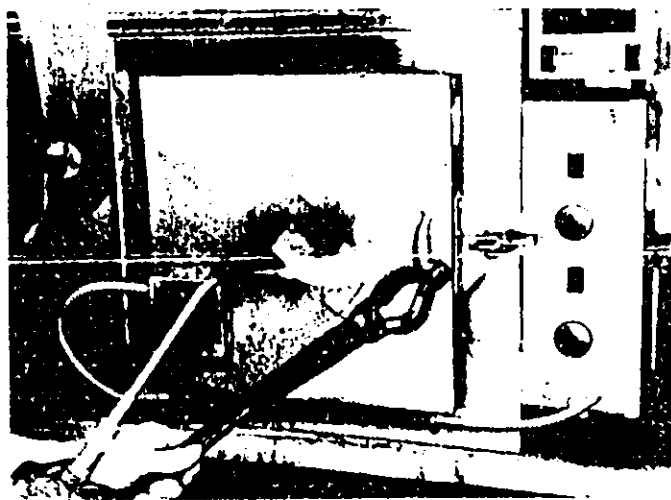
Gambar 7.10 Perkakas ini kelebihan panas dan permukaan itu jelas berbentuk ciri "cakar ayam"/chicken wire. Perkakas harus dibuang (Lane Community College).

Pembentukan benda itu sendiri dapat menjadikan faktor pemberi kegagalan pendinginan dan keretakan pendinginan. Jika disana ada lubang (celah-celah), tepian tajam, atau sedikit muai luas penampangnya yang lebih besar, keretakan bisa berkembang dalam daerah-daerah ini (gambar 7.11).



Gambar 7.11 Keterangan cetakan yang terbuat dari baja perkakas bentuk W1, menjelaskan ciri-ciri keretakan pada waktu pendinginan air dikerjakan, tanpa pengepakan lubang-lubang baut (Photograph Courtesy of Bethlehem Steel Corporation).

Bagian-bagian yang sedang dipegang oleh smit tang bisa didinginkan sampai ketempat yang tidak dikeraskan. Maka, smit tang harus dipanasi sebelumnya sampai pada bagian-bagian tempat genggaman yang terkena pendingin (gbr. 7.12). Seperti yang disebutkan diatas sebelumnya, penurunan karbon adalah masalah yang timbul pada tungku tungku yang tidak bisa memberikan mutu kontrol atmosfir (gambar 7.13).



Gambar 7.12 Untuk mendinginkan benda kerja panaskan smit tang sebelumnya.

Ini bisa dihindari dengan cara-cara yang lain, sebagaimana seperti pembungkusan kertas timah pada benda kerja baja tahan karat atau ditutuplah benda kerja itu dengan tatal-tatal besi cor.

Pemilihan yang tepat baja perkakas ialah perlunya menghindari kegagalan dalam pekerjaan lain. Jika ada beban kejut pada perkakas yang sedang digunakan, baja perkakas yang tahan kejut harus dipilih. Jika harus ada pemanasan yang dikerjakan dalam pemakaian perkakas, bentuk pengerjaan panas baja perkakas tentu harus dipilih.



Gambar 7.13 Mata anak panah (buritan kapal) yang terbuat baja potong cepat (HSS) 18-4-1 ini, gagal dalam layanan karena turunnya besarnya karbon pada gigi-gigi. (dibawah itu) struktur salah satu gigi dengan pembesaran 150X, menunjukkan struktur penurunan karbon disekitar gigi itu dan kestabilan struktur berada dibawah Zone tumpukan karbon bebas. (Photograph courtesy of Bethlehem steel Corporation).

Lihat tabel 7.1 jika penyimpangan harus ditetapkan seminim mungkin, baja pengerasan udara yang perlu digunakan.

Ada beberapa ciri yang mudah dikenal pada kereta-kan-keretakan pendingin.

- 1) Umumnya tembusnya keretakan-keretakan yang muncul dari permukaan kearah pusat menurut garis lurus relatif.
- 2) Ketika keretakan pendingin terjadi pada temperatur-temperatur rendah, keretakan tidak akan menunjukkan suatu penurunan karbon.
- 3) Permukaan-permukaan yang retak akan menunjukkan struktur kristal halus bila ditemper setelah pendinginan. Keretakan permukaan bisa dihitamkan dengan skala temper.

Sebab- sebab beberapa retak dingin pada umumnya ialah :

- 1) Kelebihan panas selama peredaran austenisasi menyebabkan baja butir halus, kasar.
- 2) Pemilihan yang kurang tepat pada media pendingin; contoh, menggunakan air atau garam dari pada minyak padahal yang diperlukan baja pengerasan minyak.
- 3) Kekurangtepatan pemilihan baja.
- 4) Kelambatan-kelambatan antara pendingin dan penemperan
- 5) Kekurangtepatan perencanaan. Perubahan-perubahan bagian benda yang keras (tajam) seperti celah-celah lubang dan sepi (pasak), (gambar 14).
- 6) Kekurangtepatan sudut benda kerja kedalam bak pendingin yang berhubungan dengan bentuk benda itu, menyebabkan pendinginan tidak merata.
- 7) Kegagalan menentukan/menetapkan ukuran bahan yang tepat, bisa membersihkan permukaan karbon bebas terluar pada batangan benda itu, sebelum bagian-bagian benda itu tersusun.

Tabel 7.1

Data pengaruh masa baja SAE 4140 (Source. Modern Steels and Their Properties Seventh Edition Handbook 2757, Bethlehem Steel Corporation, 1972)

HASIL-HASIL PANAS TUNGGAL.

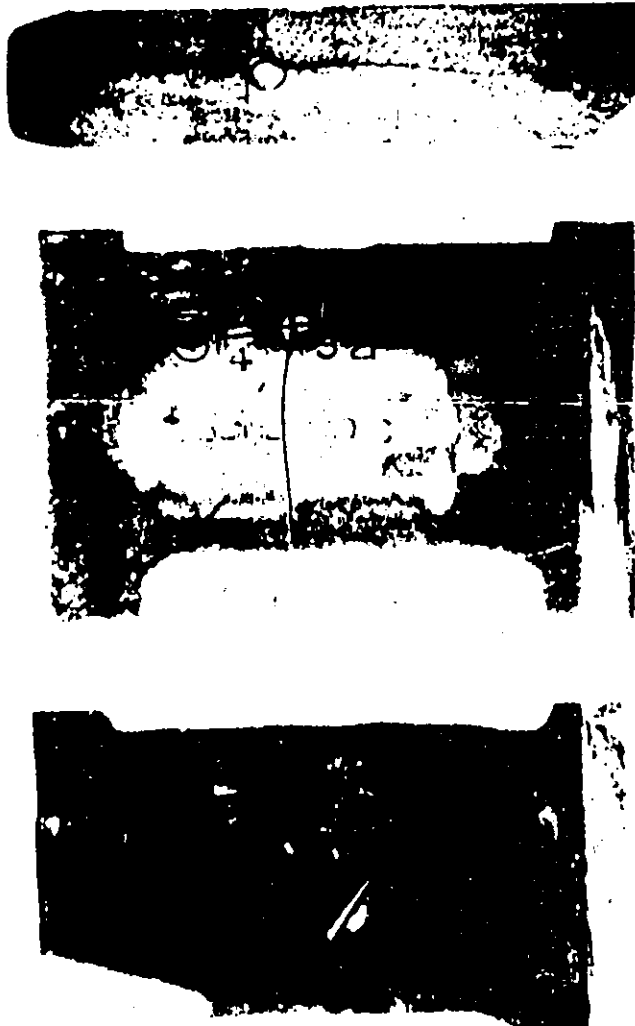
	C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Mo	Ukuran Butir.
Tingkat	0,83/0,43	0,75/1,00	-	-	0,20/0,35	-	0,80/1,10	0,15/0,25	
Lebel	0,40	0,83	0,012	0,09	0,26	0,11	0,94	0,21	7-8

PENGARUH MASA

	Ukuran lingkaran Inchi	Kekuatan tarik Psi	Titik leleh Psi	Perpanjangan % 2 Inchi	Pengecilan Leleh %	Kekerasan HB
Dipanil (dipanaskan sampai 1500°F, Pendinginan tungku 20°F per jam sampai 1230°F, didinginkan udara)						
	1	95,000	60,500	25.7	56.9	197
Dinormalkan (dipanasi sampai 1600°F, didinginkan dalam udara)						
	½	148,500	98,500	17.8	48.2	302
	1	148,000	95,000	17.7	46.8	302
	2	140,750	91,750	16.5	48.1	285
	4	117,500	69,500	22.2	57.4	241
Didinginkan di minyak dari 1550°F, ditemper pada 1000°F						
	½	171,500	161,000	15.4	55.7	341
	1	156,000	143,250	15.5	56.9	311
	2	139,750	116,750	17.5	59.8	285
	4	127,750	99,250	19.2	60.4	277
Didinginkan di minyak dari 1550°F, ditemper pada 1100°F						
	½	157,500	148,750	18.1	59.4	321
	1	140,250	135,000	19.5	62.3	285
	2	127,500	102,750	21.7	65.0	262
	4	116,750	87,000	21.5	62.1	235
Didinginkan di minyak dari 1550°F, ditemper pada 1200°F						
	½	136,500	128,750	19.9	62.3	277
	1	132,750	122,500	21.0	65.0	269
	2	121,500	98,250	23.2	65.8	241
	4	112,500	83,500	23.2	64.9	229

Jika kekerasan pendinginan minyak.

Ukuran lingkaran	Permukaan benda	½ Jari-jari	Pusat benda
½	HRC 57	HRC 56	HRC 55
1	HRC 55	HRC 55	HRC 50
2	HRC 49	HRC 43	HRC 38
4	HRC 36	HRC 34.5	HRC 34



Gambar 7.14 Cap huruf bagian atas yang terbuat dari baja perkakas bentuk S5, retak karena pengerasan setelah selesai pengecapan (huruf) O. Dua bentuk perkakas lain, yang terbuat dari baja potong cepat (HSS) bentuk T₁ retak, karena laku panas setelah bekas-bekas dan pengecapan yang tajam selesai. Sisa-sisa tegangan seperti bekas-bekas pengecapan yang tajam harus dihindari. Walaupun sifat-sifat pada garis-lurus umumnya memungkinkan retak, namun pada garis-garis disekitar itu amat mudah terpengaruh (Photograph courtesy of Bethlehem Steel Corporation).

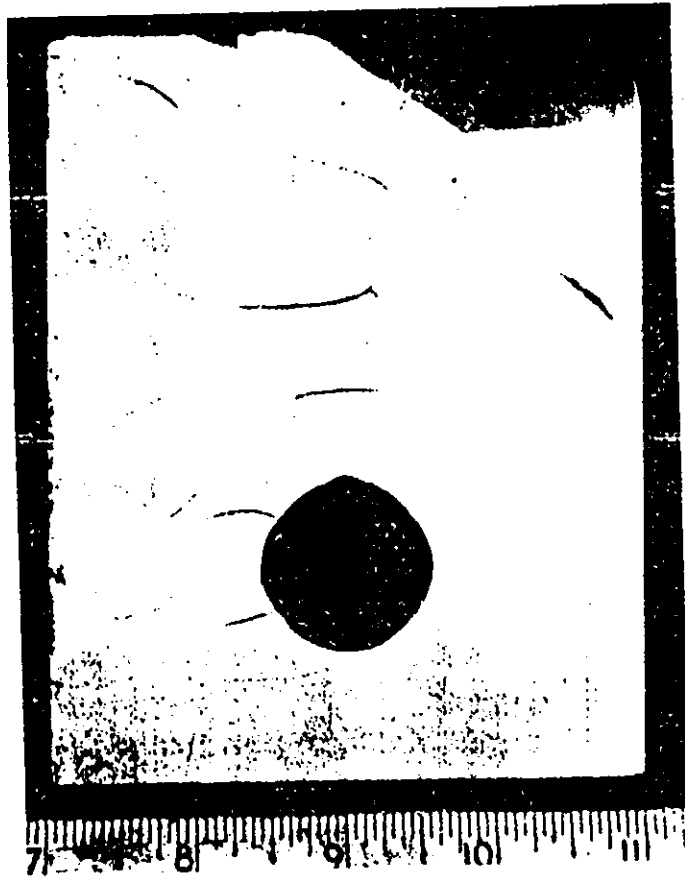
Kadang-kadang tegangan sisa diperlukan sekali pada bagian-bagian sebelum pengerasan itu. Terutama ketepatan pada bagian-bagaian dan perkakas-perkakas yang terkena

tekanan tinggi oleh mesin berat atau oleh perlakuan panas sebelumnya. Jika tekanan/tegangan tetap tidak hilang, tegangan-tegangan sisa pada pekerjaan semacam ini memungkinkan menambah tegangan panas yang dihasilkan oleh siklus panas, dan menyebabkan bagian-bagian itu retak sebelum mencapai temperatur pendinginan.

Antara asahan (grinding) dan perlakuan panas berhubungan erat. Jarak (batas) pengembangan temperatur permukaan dari 2000°F (1093°C) sampai 3000°F (1649°C), timbul selama adanya asahan. Ini dapat menyebabkan dua pengaruh yang tidak diperlukan sekali pada baja perkakas yang dikeraskan; pengembangan tegangan dalam yang tinggi menyebabkan keretakan-keretakan permukaan terbentuk, dan berubahnya kekerasan serta struktur metalurgi dari pada luas permukaan.

Salah satu pengaruh penggerindaan yang paling umum pada baja perkakas yang dikeraskan, dan ditemper, ialah berangsur-angsur turunnya kekerasan permukaan, karena penemperan kekerasan yang terendah pada tingkat permukaan tertinggi. Begitu pula kenaikan pada jarak dibawah permukaan. Dalamnya penemperan berubah menurut banyaknya atau dalamnya pemotongan, penggunaan kolan, dan jenis batu gerinda. Jika yang dihasilkan pada batu gerinda dan permukaan temperturnya tinggi kemudian disambut dengan pendinginan kolan, martensit dapat terbentuk dengan kekerasan Rockwell C65 s/d 70. "Tingkat beda" (gradient) kekerasan ini menjadi lebih besar jumlahnya dari pada yang dibawah permukaan benda kerja yang ditemper; kadang-kadang menyebabkan besarnya pembagian tegangan-tegangan yang sangat tinggi mempengaruhi keretakan-keretakan karena gerinda. Kadang-kadang retak gerinda tampak karena kemiringan atau sudut belok cahaya, tetapi ini segera bisa ditentukan (dideteksi) dengan menggunakan partikel magnetik dalam percobaan (pengujian) partikel "pijar" (fluorescent).

Apabila benda kerja dikeraskan tetapi tidak ditemper sebelum digerinda, kemungkinan besar ada keretakan karena tegangan (gambar 7.15).



Gambar 7.15 Kekuatan keretakan (karena) gerinda pada pisau gunting yang terbuat dari baja perkakas jenis A4 mengembang, karena bagian benda itu tidak ditemper sesudah pendinginan. Kekerasan Rockwell C nya ialah 64, dan keretakan yang tinggi itu diuji dengan partikel magnetik. Perhatikan susunan bentuk "cacat bakar" (scorch) pada permukaan dan keretakan, yang ditimbulkan itu membesar karena retak yang diperoleh dari gerinda (photograph courtesy of Bethlehem Steel Corporation)

Prosedur kesalahan gerinda juga dapat mengakibatkan keretakan. Ketidaktepatan kerja gerinda dapat mempengaruhi perkakas yang dikeraskan itu menjadi lemah. Benda...

kerja yang dilaku-panaskan, sisa kelebihan yang harus diizinkan cukup, sehingga permukaan yang akan digerinda masih ada sisa kekerasan kedalaman sebesar 0,010 sampai dengan 0,015 inchi.

6. Pertanyaan Formatif

- 1) Sebutkan tiga jenis tungku yang digunakan untuk perlakuan panas baja ?
 - a. _____
 - b. _____
 - c. _____
- 2) Apa yang terjadi pada baja karbon apabila dipanasi sampai tempera - tur tinggi didalam lingkungan udara (oksigen) ?

- 3) Mengapa penting sekali memberi waktu "pembiasaan" (perubahan-perubahan bermacam-macam jenis baja) sebelum pendinginan benda kerja baja ?

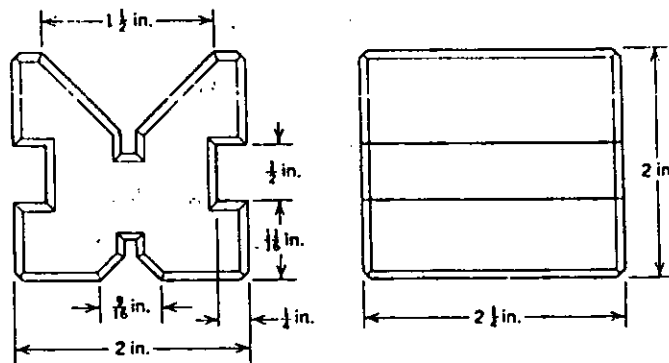
- 4) Mengapa benda kerja atau media pendingin harus digerak-gerakkan waktu anda mengeraskan ?

- 5) Penemperan cara yang mana memberikan perlakuan panas terkontrol pada hasil final, dengan warna atau tungku ?

- 6) Jelaskan dua ciri retak dingin yg memungkinkan anda mengenalnya ?
- a. _____
- b. _____
- 7) Sebutkan empat atau lebih, sebab-sebab retak dingin ?
- _____
- 8) Dengan cara apa benda kerja dapat terhindar "dekarburasi" (penurunan karbon) pada waktu benda itu dipanasi dalam tungku ?
- _____
- 9) Jelaskan dua bentuk kegagalan/kelemahan pengerasan permukaan baja pada waktu sedang digerinda ?
- a. _____
- b. _____
- 10) Kapan penyimpangan harus dijaga seminim mungkin, pada waktu jenis baja perkakas harus digunakan ?
- _____

Lembaran Kerja. Keterangan, dua tungku perlakuan panas, bak pendingin minyak, dan alat-alat plus pekerjaan sebelum pada seperangkat baja Vee Blok SAE 4140 anda akan :

- 1) Keraskan vee blok (gbr. 7.16) atau suatu proyek setaranya.
- 2) Temper vee blok pada RC 48 s/d 52 (HB 470 s/d 514)



Gambar 7.16 Vee blok. Pembiaran (soaking time) operasi pengerasan dan penemperan didasarkan pada luas penampang terkecil benda kerja, sekitar $\frac{3}{4}$ sampai dengan 1 inci dapat dipandang sebagai luas penampang vee blok terkecil.

- Prosedur.
- 1) Tentukan temperatur pengerasan yang tepat dari data pengaruh masa dalam tabel 7.1.
 - 2) Pasang kontrol thermokopel tungku pada temperatur yang tepat dan hidupkan itu.
 - 3) Dengan smit tang, tempatkan vee blok dalam tungku bata tahan api.
 - 4) Pasang tungku kedua dengan temperatur temper tepat dan hidupkan. Rundingkan keterangan sifat-sifat SAE 4140 (gbr. 7.17) dengan menentukan temperatur untuk mendapatkan penjelasan kekerasan temper 'RC' 48 s/d 52 (HB 470 s/d 514).
 - 5) Setelah vee blok warnanya sama dengan tungku, biarkan direndam selama

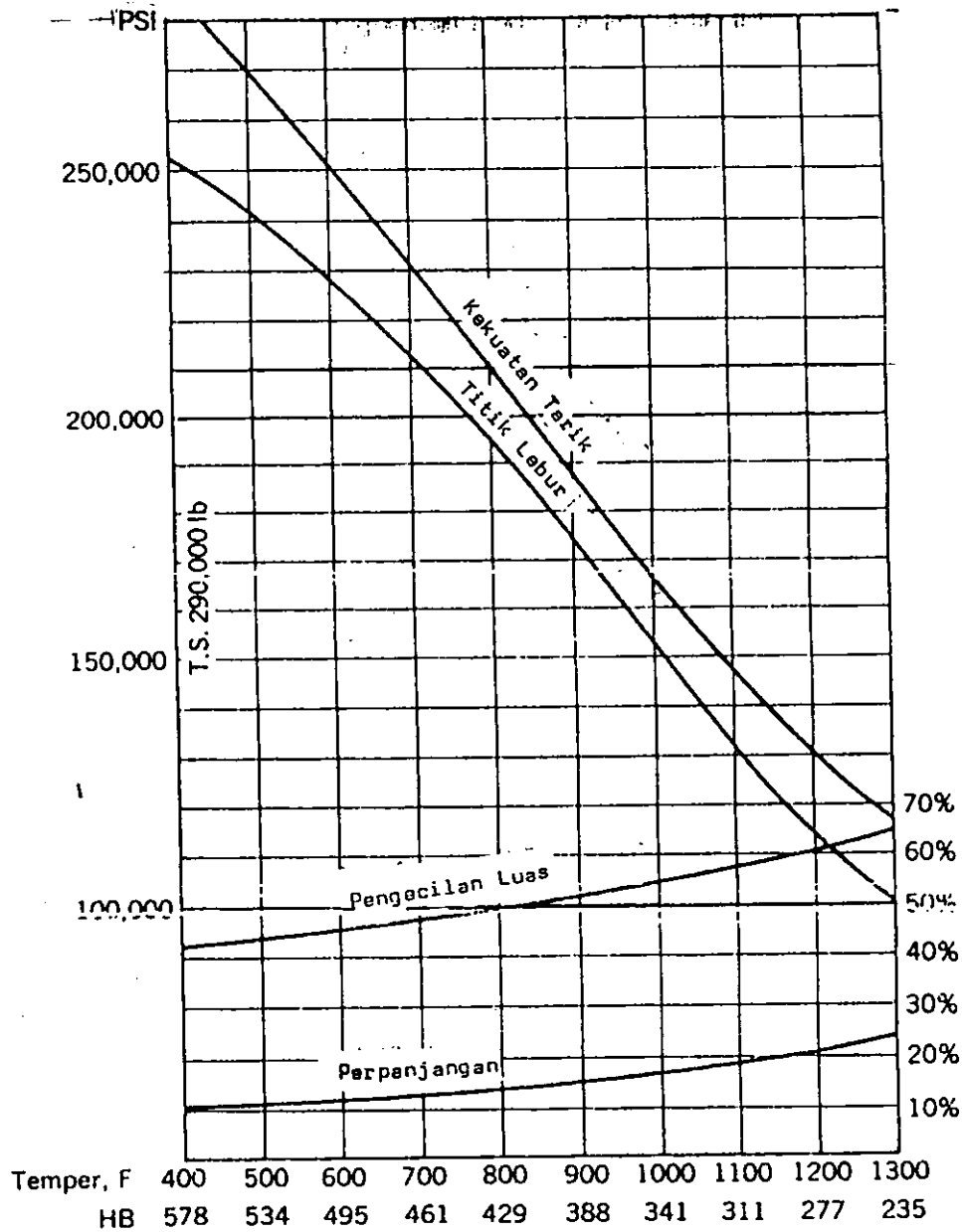
1 (satu) jam/inchi luas penampang terkecil (kira-kira $3/4$ s/d 1 inchi $3/4$ s/d 1 jam).

- 6) Gunakan pakaian dan pengaman muka, panaskan smit tang ujung penjepit. Ambil vee blok dari tungku, tutup pintu dan celupkan cepat blok itu kedalam bak minyak, gerak-gerakan blok sampai dingin. Jika disentuh masih panas ulangi benda itu yang kedua.
- 7) Tempatkan dua vee blok yang panas itu segera kedalam tungku penemperan dan tahan mereka pada temperatur itu selama $1/2$ jam.
- 8) Ambil blok itu dan biarkan mereka dingin diudara.
- 9) Periksa kekerasan. Kemungkinan dikarenakan dekarburasi/penurunan dekarbon. Bacaan/catatan mungkin bisa rendah. Periksa lagi penggerindaan permukaan.

7. Kesimpulan. Ditunjukkan vee blok anda yang keterangan sifat mekanik merupakan temperatur penemperan terpilih ? Jika tidak, apa alasan yang anda berikan jika tidak ada kecocokan.

Hasil-hasil Panas Tunggal

C Mn P S Si Ni Cr Mo Ukuran Butir.
 Ladai 41 .85 .024 .031 .20 .12 1.01 .24 6.8
 Titik-titik kritis, F: A_c, 1395 A_c, 1450 A_r, 1330 A_r, 1280
 Perlakuan panas; dinormalkan pada 1600°F; dipanaskan kembali sampai 1550°F; didinginkan dalam minyak; diameter 530 inchi diolah lanjut; diameter 505 inchi dites. Setelah didinginkan HB 601.



Gambar 7.17 Keterangan gambar sifat-sifat mekanik baja SAE 4140 (Courtesy of Bethlehem Steel Corporation).

DAFTAR KEPUSTAKAAN

- Carter, G.F. (1979), Principles Of Physical And Chemical Metallurgy, American Society For Metals.
- Djaprie, Sriati (1983), Ilmu Dan Teknologi Bahan, Jakarta, Erlangga.
- Gupta K.N., Kaushik J.P. (1980), Metals & Heat Treatment, New Heights Publisher & Distributor, Delhi India.
- Khaima O.P. (1983), Materials Science and Metallurgy, Dhumat Rai and Sonc.
- Lakhtin Yu.M. (1977), Engineering Phisical Metallurgy and Heat Treatment, Mir Publisher. Moscow.
- Narang B.S. (1983), Material Science, Publisher and Distributor, Delhi India.
- Novikov I. (1974), Theory of Heat Treatment of Metals, Mir Moscow.
- Pascoe K.J. (1978), An Introduction to the Properties of Engineering Material, Published by Van Nastrand Reinhold Company Ltd. England.
- Pollack W. Human (1973), Materials Science and Metallurgy, Orange Country College Midle Town, Nem York.
- Rollason E.C. (1973), Metallurgy for Engineers, The English Language Book Society and Edward Arnold (Publishers) Ltd.
- Wahyudin K.Ir., Wahjoe Hidayat, Drs (1979), Pengetahuan Logam 2, Departemen P&K, Jakarta.
- Warren T. White Cs. (1977), Machine Tools and Machining Practices, New York, John Wiley & Sonc, Inc.