

# Pengujian Materi

G. Groenendijk  
J. van der Linde  
Ir. Sobandi Sachri



USTAKAAN  
WA TIMUR

*Materiaalbeproeving*

*G. Groenendijk en J. van der Linde*

*Copyright © 1980 Wolters-Noordhoff Bv. Groningen, The Netherlands.*

# PENGUJIAN MATERI

G. Groenendijk  
J. van der Linde  
Ir. Sobandi Sachri

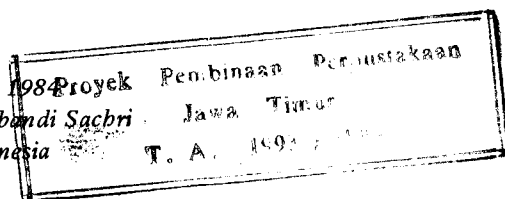


Telah disahkan penggunaannya di Sekolah dengan  
Keputusan Direktur Jenderal Pendidikan Dasar dan Menengah,  
Departemen Pendidikan dan Kebudayaan  
Nomor : 123/C/Kep/R 85  
Tanggal : 2 Juli 1985

Item Id. 100000 2885



Cetakan pertama Februari 1984  
Diterjemahkan oleh Ir. Sobandi Sachri  
Hak penerbitan edisi Indonesia  
pada Binacipta  
Anggota IKAPI  
Gambar kulit oleh A. Bardin



## DAFTAR ISI

### Kata Pengantar vii

1. Diagram Besi-karbon 1
2. Pendahuluan 12
3. Kekuatan tarik 14
4. Hukum Hooke 16
5. Uji tarik 18
6. Hounsfield-tensometer 31
7. Penegaran 33
8. Siar ulang 39
9. Rekristalisasi 40
10. Uji Rekristalisasi 42
11. Uji Redam 44
12. Uji tekan 45
13. Uji Longsor 47
14. Uji cangga lengkung 49
15. Menampilkan Struktur materi 51
16. Mempersiapkan preparat 55
17. Pembetokan 58
18. Pemeriksaan mikroskopik 61
19. Baja, garapan panas, dan lain-lain 64
20. Sipuh nyala api dan sipuh frekuensi tinggi 80
21. Gangguan udara dan gas lain terhadap baja selama garapan panas 82
22. Karbonasi 84
23. Menyipuh baja yang dikarbonasikan 87
24. Nitrase 89
25. Nitrase lunak 91
26. Karbonitrasi 92
27. Besi tuang 93
28. Besi tuang siap tempa 98
29. Uji makas 103
30. Uji pukul-takik 119

- 31. Gejala perentaaan pada baja 127
- 32. Uji pukul-tarik 129
- 33. Kepenatan logam 131
- 34. Diagram penat menurut Smith 135
- 35. Gejala lata 138
- 36. Uji lekuk 143
- 37. Uji renyai 144
- 38. Tugas-tugas pengujian 146

## KATA PENGANTAR

Buku ini bukan untuk pelajaran teori, melainkan disusun semata-mata guna membantu murid-murid pada pelajaran praktek pengujian materi dan untuk memberikan pedoman apa dan bagaimananya tentang penelitian. Untuk itu diusahakan supaya gejala-gejala yang timbul pada berbagai pengujian dapat diterangkan sebanyak mungkin. Itulah sebabnya mengapa buku ini diawali dengan pembahasan diagram besi-karbon.

Sebagai penutup dimasukkan dua puluh tugas pengujian.

Buku aslinya berjudul *Materiaalbeproeving* yang disusun oleh G. Groenendijk dan Ir. J.v.d. Linde, penerbit: Wolters-Noordhoff, Groningen.

BINACIPTA

# 1. DIAGRAM BESI-KARBON

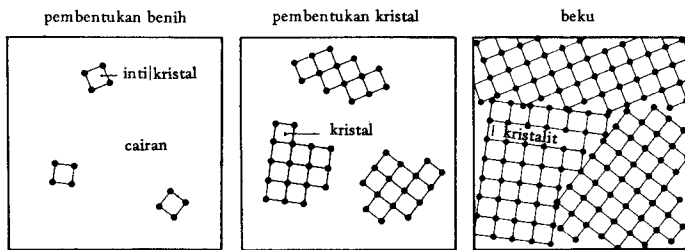
Proses pembekuan besi murni dapat kita bayangkan berlangsung menurut gambar 1-1. Pada awal pembekuan, sebagian atom besi itu menempati kedudukan menurut pola ruang yang tertentu (inti kristal  $\delta$  gambar 1-2). Benih kristal ini dapat dianggap sebagai batu bangunan kristal yang tumbuh terus menjadi besar (gambar 1-1). Pada pertumbuhan selanjutnya, kristal-kristal ini akan saling menyekat karena arah pertumbuhan berbagai benih kristal itu berlain-lainan. Jadi, materi tersebut tidak membeku menjadi kesatuan yang utuh. Di antara kristal, yang sekalipun tumbuh jalin-menjalin, terdapat bidang perbatasan antarkristal (gambar 1-1).

Kristal yang pada pertumbuhannya menderita hambatan, disebut kristalit.

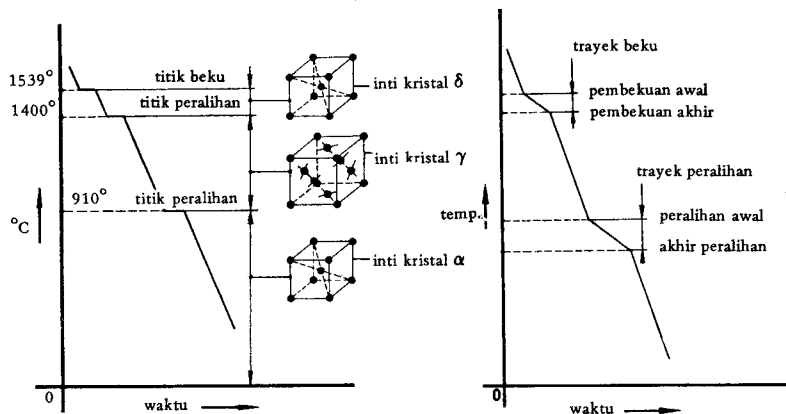
Kalau besi murni dalam keadaan lebur didinginkan, mula-mula pada suhu yang konstan, yaitu  $1539^{\circ}\text{C}$ , akan terbentuk kristalit-kristalit dengan tata ruang besi- $\delta$  (gambar 1-2). Kalau besi yang telah beku ini didinginkan terus, maka pada suhu yang juga konstan, yaitu  $1400^{\circ}\text{C}$ , akan terjadi perubahan bentuk kristal, besi- $\delta$  berubah menjadi besi- $\gamma$  dengan tata ruang yang *bidang-sentrik* (gambar 1-2). Jadi, batu bangunan kristalit mengalami perubahan. Bilamana didinginkan terus, terjadi lagi perubahan pada temperatur konstan, yaitu  $910^{\circ}\text{C}$ , yang merupakan perubahan dalam keadaan padat. Besi- $\gamma$  sekarang diubah menjadi besi- $\alpha$ , dengan struktur *ruangsentrik* (gambar 1-2). Jadi, batu bangunan kristalit itu sekali lagi mengalami perubahan. *Struktur kristal besi- $\alpha$  dan besi- $\delta$  adalah sama.*

Apabila pada besi murni terjadi perubahan wujud atau perubahan fasa, maka selama itu suhunya akan konstan (gambar 1-2). Titik temperatur  $1539^{\circ}\text{C}$  disebut *titik beku*, dan kedua titik temperatur  $1400^{\circ}\text{C}$  dan  $910^{\circ}\text{C}$  disebut *titik alih* atau *titik transformasi*.

*Baja merupakan sobekan besi dengan karbon.* Apabila baja dengan susunan tertentu didinginkan mulai dari keadaan lebur, akan diperoleh diagram yang sama dengan gambar 1-3. Pada temperatur yang tertentu baja itu mulai membeku dan proses pembekuan ini baru berakhir pada suhu yang jauh lebih rendah. Jadi, dalam hal ini tidak terdapat satu titik beku, melainkan ada suatu *trayek pembekuan* (gambar 1-3). Apabila didinginkan terus, maka

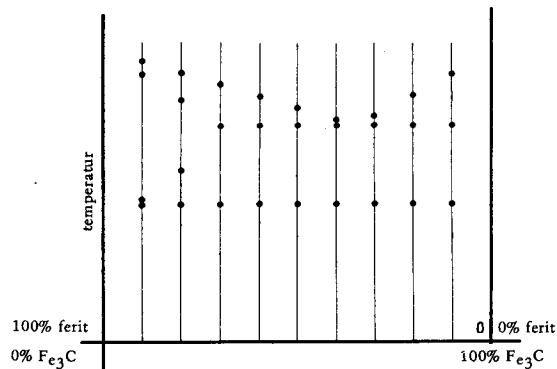


Gambar 1-1. Benih kristal dan pertumbuhannya



Gambar 1-2. Proses pembekuan besi murni

Gambar 1-3. Proses pembekuan baja

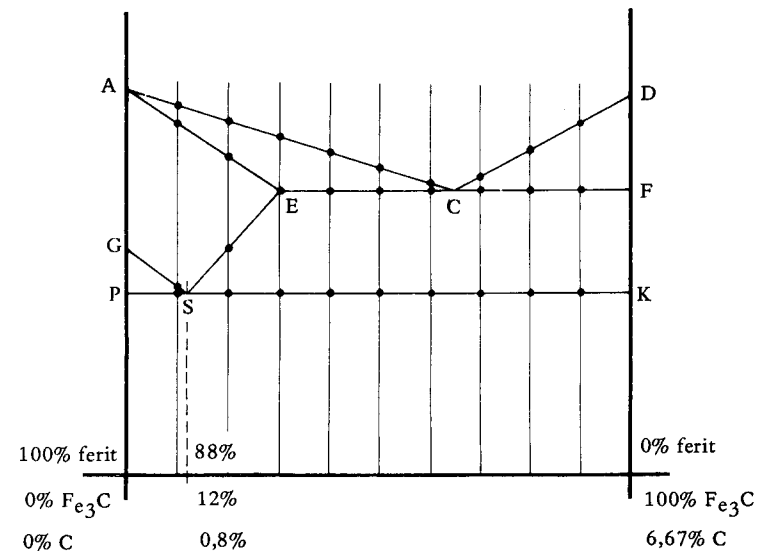


Gambar 1-4. Hasil percobaan dicatat dalam satu diagram

pada temperatur tertentu akan terjadi peralihan wujud padat yang akan berakhir pada temperatur yang jauh lebih rendah. Jadi, sekarang tidak terdapat titik alih, melainkan ada *trayek peralihan* atau *trayek transformasi* (gambar 1-1-3).

Kalau dari sejumlah besar campuran yang susunannya diketahui (dari 0% sampai  $6\frac{2}{3}\%$  C), titik awal dan titik akhir trayek beku serta trayek peralihan struktur kristal itu diukur dan dicatat pada satu diagram, (gambar 1-4), maka setelah titik-titiknya dihubungkan dengan garis yang kontinyu, akan diperoleh sebuah diagram yang disebut *diagram fasa* (gambar 1-5).

Karena pada temperatur rendah, karbon yang dicampurkan dengan besi membentuk senyawa kimia dengan sebagian besi, maka baja itu sesungguhnya merupakan sobokan daripada besi dan sementit ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ). Jadi, diagram besi seharusnya disebut *diagram besi-sementit*. Tapi umumnya diagram ini tetap disebut diagram besi-karbon karena berbagai jenis baja dan besi tuang dinyatakan dengan prosenan karbon. Dalam diagram pada gambar 1-4 dan gambar 1-5 prosenan sementit dibentangkan dari kiri ke kanan dan prosenan besi dibentangkan dari kanan ke kiri. Jadi semua komposisi antara 100% besi dan 100% sementit akan terletak dalam diagram.



Gambar 1-5. Diagram fasa

$3 \text{ Fe} + \text{C} \longrightarrow \text{Fe}_3\text{C}$  berarti bahwa:

3 gramatom Fe dan 1 gramatom C bersenyawa menjadi 1 grammolekul

$\text{Fe}_3\text{C}$ , dan karena berat atom: Fe = 56; C = 12, maka:

168 gr Fe + 12 gr C membentuk 180 gr  $\text{Fe}_3\text{C}$ . Jadi:

180 gr sementit itu terdiri atas 168 gr Fe dan 12 gr C.

Kadar C dalam sementit =  $\frac{12}{180} \times 100\% = 6\frac{2}{3}\%$ .

Atau  $\frac{1}{15}$  bagian dari sementit itu terdiri atas karbon.

Jadi, di tempat 100%  $\text{Fe}_3\text{C}$  dapat pula dituliskan  $6\frac{2}{3}\% \text{C}$  (gambar 1-6).

Diagram besi-karbon dilukis kembali dalam gambar 1-6. Sebagaimana telah diutarakan di atas diagram ini disebut diagram fasa.

Hendaknya diperhatikan betul-betul bahwa dalam diagram ini dapat dibaca wujudnya benda pada temperatur yang tertentu bagi setiap komposisi materi.

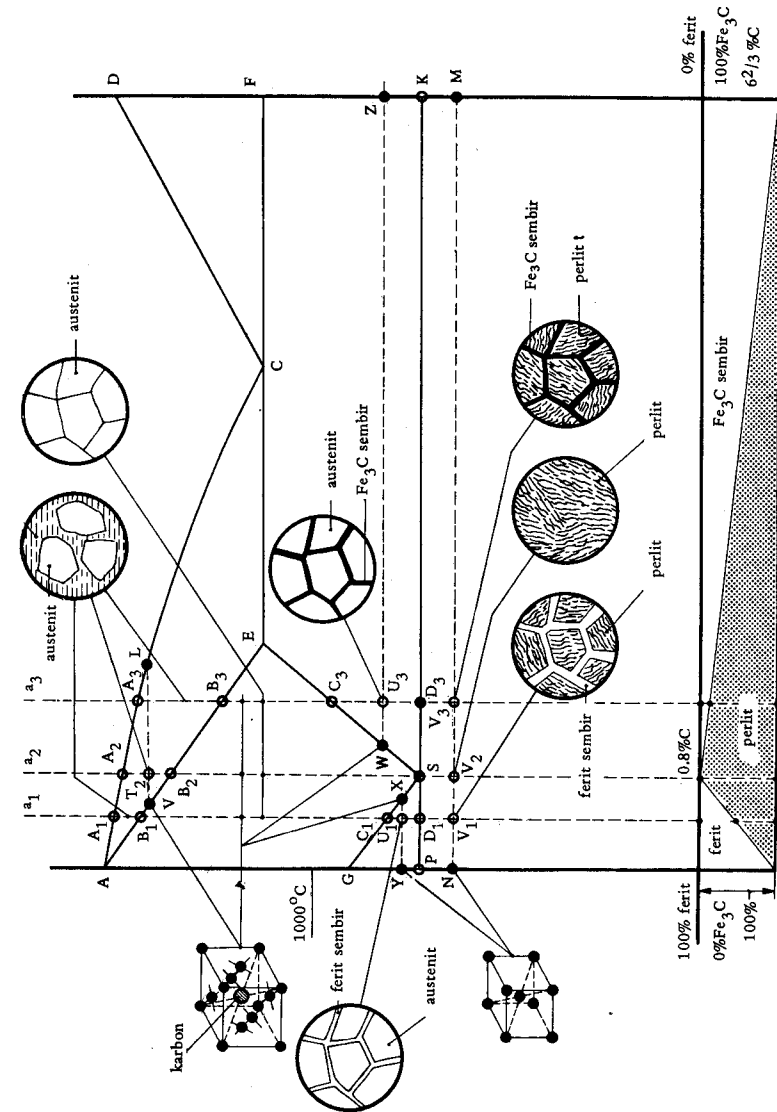
Dalam yang berikut ini, akan diteliti wujud benda bagi berbagai komposisi baja pada beberapa temperatur yang tertentu.

Kita mulai dengan komposisi baja yang ditunjukkan dengan garis  $a_2$  pada gambar 1-6. Apabila suhunya turun sampai di bawah  $A_2$ , materi ini mulai membeku dan membentuk inti kristal yang bidangsentrik dengan karbon yang larut di dalamnya (gambar 1-6). Mulai dari inti inilah terbentuk kristal. Struktur yang demikian disebut *austenit*.

Kalau suhunya turun sampai  $T_2$ , maka dengan mempergunakan diagram dapat ditetapkan dengan mudah bagaimana wujud materi itu. Pada suhu ini sebagian materi yang masih berwujud cair sudah berada pada ambang pembekuan. Hanya ada satu komposisi yang sesuai dengan ini, yaitu komposisi yang ditunjukkan oleh titik L. Titik ini merupakan titik potong garis horizontal melalui  $T_2$  dan garis cairan AC. Selain itu, pada suhu ini terdapat materi yang baru membeku. Hanya ada satu komposisi yang sesuai dengan materi ini, yaitu yang ditunjukkan oleh titik V. Titik ini merupakan titik potong garis horizontal melalui  $T_2$  dengan garis fasa padat AE. Dari yang diutarakan di atas ternyata bahwa, selain dapat diketahui fasa-fasa apa yang dijumpai pada suhu ini, dengan diagram itu juga dapat ditentukan komposisi bagi masing-masing fasa tersebut. Kalau suhu sudah sampai di bawah  $B_2$ , seluruh materi sudah membeku. Strukturnya ialah *austenitik* (gambar 1-6).

Apabila temperatur sudah sampai di titik S, maka pada suhu ini bisa dijumpai tiga macam fasa, yaitu: austenit (titik S), ferit (besi- $\alpha$ , titik P), dan sementit ( $\text{Fe}_3\text{C}$ , titik K).

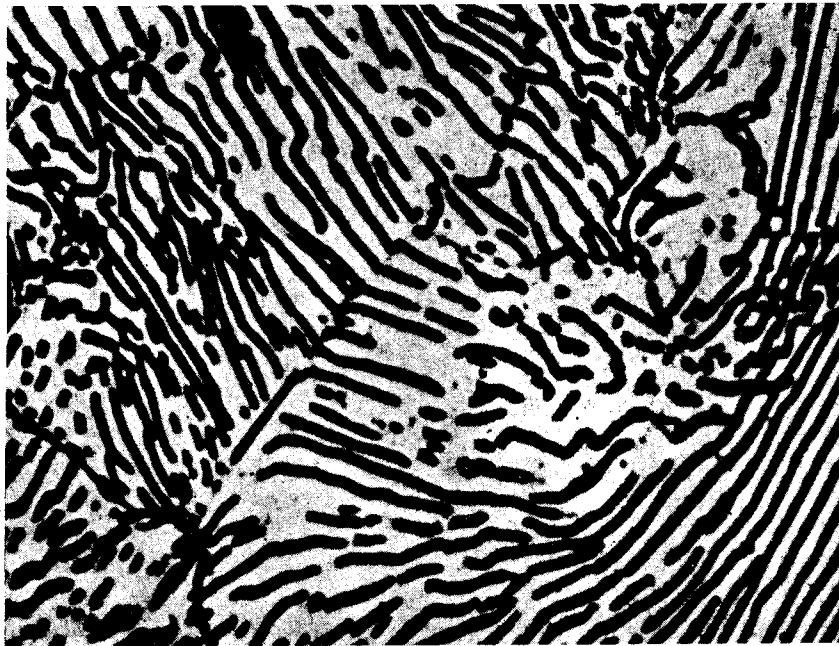
Titik S ialah yang disebut *titik eutektoid*. Ciri khas suatu titik eutektoid ialah bahwa ketiga fasa yang dijumpai secara berdampingan itu merupakan fasa padat. Titik eutektoid lain daripada titik eutektik.



Gambar 1-6. Diagram fasa besi-karbon yang terperinci

Pada suatu titik eutektik (titik C), wujud salah satu fasa ialah cair dan dua fasa lagi berwujud padat. Pada temperatur yang ditunjukkan oleh titik S akan terbentuk pada temperatur yang konstan secara berselang-seling lapisan-lapisan yang terdiri atas ferit dan sementit. Juga hal ini dapat dibaca dari diagram. Jadi, seandainya temperatur turun sampai di bawah S, maka menurut diagram fasa besi-karbon hanya dapat dijumpai secara berdampingan kristalit yang terdiri atas ferit (titik N) dan kristalit yang terdiri atas sementit (titik M). Endapan daripada ferit dan sementit ini berstruktur renik karena waktu peralihannya biasanya pendek. Pembauran yang erat daripada ferit dan sementit ini merupakan eutektoida yang disebut perlit (gambar 1-7). Pada suhu yang normal, baja dengan kadar karbon 0,8% untuk 100% akan terdiri atas perlit. Perlit sendiri terdiri atas:

$$\frac{0,8}{6 \frac{2}{3}} \times 100\% = 12\% \text{ Fe}_3\text{C} \text{ dan } 100\% - 12\% = 88\% \text{ ferit}$$



Gambar 1.7. Perlit diperbesar 1000X

Apabila baja dengan komposisi yang ditunjukkan oleh garis  $a_1$  didinginkan, maka materi tersebut akan mulai membeku pada suhu yang ditunjukkan oleh  $A_1$ . Di bawah suhu yang ditunjukkan oleh  $B_1$ , seluruh materi sudah membeku. Jadi, di antara  $A_1$  dan  $B_1$  akan dijumpai secara berdampingan fasa cair dan fasa austenit (gambar 1-6). Struktur antara  $B_1$  dan  $C_1$  ialah struktur austenitik (gambar 1-6). Di bawah  $C_1$  mulai terjadi peralihan dari austenit yang bidangsentrisk menjadi besi- $\alpha$  yang ruangsentrisk (ferit). Peralihan ini dimulai pada perbatasan kristal austenit. Kalau sebagian austenit diubah menjadi besi- $\alpha$ , maka karbon yang larut di dalamnya akan menjadi bebas. Selama peralihan, karbon ini akan berdifusi ke dalam austenit yang masih tertinggal. Jadi selama peralihan, kadar karbon dalam austenit yang masih tertinggal akan bertambah (hal ini bisa terjadi karena hanya ada beberapa kubus yang ditempati oleh karbon). Yang diutarakan di atas itu dapat pula dijabarkan dengan diagram fasa pada gambar 1-6. Pada suhu yang ditunjukkan oleh  $U_1$ , austenit yang masih tertinggal berada di ambang peralihan. Hanya ada satu komposisi austenit yang sesuai dengan ini yaitu yang ditunjukkan oleh X. Sebagaimana telah dikemukakan, kadar karbon dalam austenit ini ternyata bertambah tinggi. Komposisi fasa yang lainnya ditunjukkan oleh titik Y, yaitu kristal ferit.

Jadi pada suhu  $U_1$ , jenis baja tersebut terdiri atas sembaran ferit murni (titik Y) dan di antaranya tersimpul austenit yang komposisinya ditunjukkan oleh titik X (gambar 1-6).

Apabila suhu turun sampai  $D_1$ , akan dijumpai secara berdampingan sembaran ferit (titik P) dan austenit dengan komposisi eutektoidik (titik S) yang tersimpul oleh ferit tadi.

Kalau suhu terus turun sampai  $V_1$ , maka berdasarkan diagram hanya akan dijumpai kristalit yang terdiri atas ferit (titik N) dan sementit (titik M). Austenit eutektoidik yang masih tertinggal dalam waktu singkat harus berubah menjadi perlit (gambar 1-6). Pada suhu yang normal, komposisi yang ditunjukkan oleh  $a_1$  itu terdiri atas perlit yang tersimpul oleh sembaran ferit (gambar 1-8).

Komposisi materi yang ditunjukkan oleh garis  $a_3$  akan mulai membeku pada temperatur yang ditunjukkan oleh  $A_3$ . Pada suhu yang ditunjukkan oleh  $B_3$ , materi tersebut sudah membeku seluruhnya. Antara suhu  $A_3$  dan suhu  $B_3$  dijumpai dua fasa, yaitu fasa cair dan fasa padat (lihat gambar 1-6).

Di bawah suhu  $B_3$  sampai suhu yang ditunjukkan oleh  $C_3$ , struktur materi ialah austenitik (gambar 1-6). Di bawah suhu  $C_3$  terjadi difusi karbon ke sisi luar daripada kristalit austenit. Hal ini disebabkan oleh karena austenit pada garis jenuh ES sudah dijenuhkan samasekali dengan karbon. Karbon yang menjadi bebas akan bersenyawa dengan besi membentuk  $\text{Fe}_3\text{C}$  pada perbatasan kristalnya.



Gambar 1-8. Baja hipoperlitik diperbesar 1000 X



Gambar 1-9. Baja hiperperlitik diperbesar 1000 X

Kalau suhu sudah turun sampai titik  $U_3$ , maka komposisi austenit yang jenuh dengan karbon dapat diketahui dari titik W (gambar 1-6).

Di samping itu, hanya dapat dijumpai 100% sementit (titik Z). Jadi, pada suhu yang ditunjukkan oleh  $U_3$ , materi tersebut akan terdiri atas austenit dengan komposisi menurut titik W yang dikelilingi oleh bahan yang disebut sementit sembir (titik Z).

Kalau suhu turun sampai  $D_3$ , maka materi akan terdiri atas austenit eutektoidik (titik S) dan sementit sembir (titik K). Di bawah  $D_3$ , peralihan ini sudah usai. Pada suhu yang ditunjukkan oleh  $V_3$ , materi itu hanya dapat terdiri atas ferit (titik N) dan sementit (titik M).

Tampaknya austenit eutektoidik itu dalam waktu singkat berubah menjadi ferit dan sementit, atau yang disebut perlit. Jadi, baja yang komposisinya ditunjukkan oleh  $a_3$ , pada temperatur normal akan terdiri atas perlit yang diliput oleh sementit sembir (gambar 1-9).

#### CONTOH 1:

Diminta untuk menentukan prosenan ferit dan perlit dalam baja dengan kadar zat karbon 0,4%, dengan memakai diagram fasa pada gambar 1-10.

#### Jawaban:

Seperti diketahui di atas garis GS terdapat kristalit austenit. Kalau materi ini didinginkan sampai suhu di bawah garis GS, maka sebagian daripada austenit akan berubah menjadi ferit.

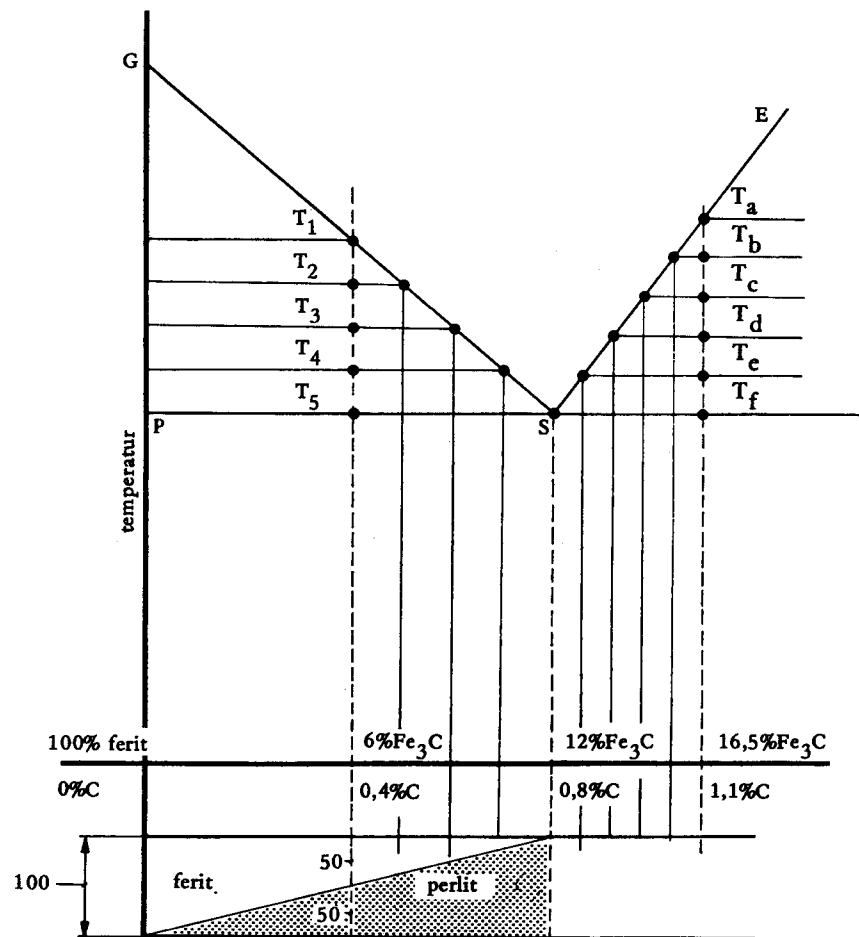
Prosenan karbon yang ada dalam austenit yang masih tertinggal akan bertambah besar mengikuti garis GS. Untuk suhu  $T_1$  sampai  $T_5$ , prosenan ini ditunjukkan pada gambar 1-10.

Kalau temperatur sudah turun sampai  $T_5$ , maka austenit yang masih tertinggal mempunyai kadar karbon sebesar 0,8% (titik S). Austenit ini pada suhu yang konstan akan berubah menjadi perlit. Oleh karena hingga suhu  $T_5$  tidak pernah ada endapan karbon, maka seluruh karbon akan terdapat dalam perlit. Kesimpulannya ialah bahwa 0,4% karbon dalam baja itu adalah sama dengan 0,8% karbon dalam perlit. Atau:

$$\begin{aligned} 0,008 \times 100\% \text{ perlit} &= 0,004 \times 100\% \text{ baja} \\ 100\% \text{ perlit} &= \frac{0,004}{0,008} \times 100\% \text{ baja} \end{aligned}$$

Jadi, baja dengan prosenan karbon sebesar 0,4% itu terdiri untuk 50% atas perlit dan untuk 50% atas ferit sembir.

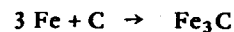
Harga-harga ini, juga dapat dicari dengan pengukuran (di bagian bawah gambar 1-6 dan gambar 1-10).



Gambar 1-10. Diagram fasa parsial besi-karbon

Dapat pula dipertanyakan, berapa %-kah banyaknya sementit ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) yang terkandung dalam baja ini?

*Jawaban:*



atau: 3 gramatom Fe + 1 gramatom C  $\rightarrow$  1 gram molekul  $\text{Fe}_3\text{C}$

atau:  $3 \times 56 \text{ gr Fe} + 12 \text{ gr C} \rightarrow 180 \text{ gr Fe}_3\text{C}$

Jadi, untuk membentuk 180 gr  $\text{Fe}_3\text{C}$  diperlukan 12 gr C.

Dari yang di atas dapat ditarik kesimpulan bahwa bilamana besi dengan karbon bersenyawa secara sempurna, maka akan terjadi massa sementit yang  $\frac{180}{12} = 15$  kali lebih banyak daripada massa karbon yang tersedia. Jadi, baja dengan prosenan karbon sebesar 0,4% itu terdiri atas  $15 \times 0,4\% = 6\%$  sementit ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) dan  $100\% - 6\% = 94\%$  ferit (ferit sembir + ferit dalam perlit).

CONTOH 2:

Diminta untuk menentukan prosenan perlit dan sementit sembir dalam baja dengan prosenan karbon 1,1%, dengan memakai diagram fasa pada gambar 1-10.

*Jawaban:*

Sebagaimana diketahui, di bawah suhu  $T_a$  karbon akan mengendap sebagai sementit ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ). Prosenan karbon dalam austenit yang tertinggal akan turun menurut garis ES. Pada gambar 1-10 hal ini ditunjukkan oleh titik  $T_a$  sampai  $T_f$  ( $T_f = T_5$ ). Kalau suhu sudah turun sampai  $T_f$ , maka austenit akan beralih pada suhu yang konstan menjadi perlit (ferit renik dan sementit renik). Prosenan karbon dalam perlit ialah 0,8%.

Prosenan total sementit dalam baja ialah  $1,1 \times 15 = 16,5\%$ . Di bawah suhu  $T_f$  itu prosenan ferit ialah  $100 - 16,5 = 83,5\%$  (hanya terdapat dalam perlit).

Prosenan sementit dalam perlit ialah:  $0,8 \times 15 = 12\%$ .

Prosenan ferit dalam perlit ialah:  $100 - 12 = 88\%$ .

Dari yang di atas itu ternyata bahwa 88% perlit sama dengan 83,5% baja, atau:  $0,88 \times 100\% \text{ perlit} = 0,835 \times 100\% \text{ baja}$ .

$$\begin{aligned} \text{Atau: } 100\% \text{ perlit} &= \frac{0,835}{0,88} \times 100\% \text{ baja} \\ &= 95\% \text{ baja.} \end{aligned}$$

Jadi, baja dengan prosenan karbon 1,1% itu terdiri atas 95% perlit dan 5% sementit sembir.

## 2. PENDAHULUAN

Pada perakitan mesin, seorang konstruktor mesin harus benar-benar dapat mempertanggungjawabkan segala sesuatu yang ia cantumkan pada gambar, dan di samping bermacam-macam faktor penting, ia harus memperhitungkan apakah semua suku bagian mesin dapat bertahan terhadap berbagai beban yang bekerja pada mesin yang berjalan, baik yang merupakan beban statik maupun yang merupakan beban dinamik. Untuk dapat menilai yang terakhir ini, ia harus mengetahui kemampuan bertahan materi yang dipilihnya terhadap beban, dan berapa besar beban yang secara maximal dapat tahanankan oleh materi tersebut.

*Dari materi yang akan dipakai harus diketahui:*

a. KEKUATAN

Dengan kekuatan diartikan ketahanan materi terhadap pengaruh yang memutuskan keutuhannya. Kebalikan kuat ialah lemah.

b. KEKENYALAN

Dengan kekenyalan diartikan ketahanan materi terhadap perubahan bentuk hingga saat sebelum terjadi patah. Kebalikan kenyal ialah getas.

c. KETEGARAN

Dengan ketegaran diartikan ketahanan materi terhadap perubahan bentuk hingga terjadi deformasi permanen. Kebalikan tegar ialah lembek.

d. KEKAKUAN

Dengan kekakuan diartikan ketahanan materi terhadap perubahan bentuk yang elastis (gaya yang besar yang mengakibatkan hanya sedikit deformasi elastis berarti materi kaku). Kebalikan kaku ialah lembik.

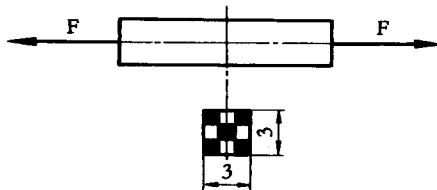
e. KEMAKASAN

Dengan kemakasan diartikan ketahanan materi terhadap deformasi permanen akibat penikasan. Kebalikan makas ialah lunak.

Kiranya tidak perlu dijelaskan lagi bahwa nilai-nilai tersebut di atas hanya mempunyai manfaat apabila dapat dinyatakan dalam nilai/bilangan yang dapat diperbandingkan. Lihatlah untuk a sampai d gambar 5-20 di halaman 30.

### 3. KEKUATAN TARIK

Beban tarikan ialah beban yang timbul apabila pada bagian benda bekerja beberapa gaya yang arah garis kerjanya bertolak belakang, lihat misalnya, gambar 3-1. Betapa besar gaya tarik maximal yang dapat ditahan suatu batang dari materi tertentu dengan penampang yang tertentu pula, dapat diketahui dengan mudah. Kita dapat menentukannya dengan membebani batang tersebut dengan tarikan yang semakin tinggi dan mengukur gaya maximal yang dapat ditahan sebelum batang tersebut menjadi putus. Putus atau patah berarti bahwa susur galur materi tersebut menjadi terlepas pada tempat yang tertentu.



Gambar 3-1. Kekuatan tarik.

Misalkan, bahwa menurut percobaan, sebatang materi tertentu dengan penampang  $3 \times 3 \text{ mm}^2$  dapat menahan beban maximum sebesar 3600 N sebelum terputus. Apabila dengan *titian (data)* ini, kita ingin menghitung gaya tarik maximum batang yang lain dari materi yang sama tetapi mempunyai penampang yang berlainan, maka *titian* yang diperoleh tadi, yaitu beban maximum sebesar 3600 N, tidak dapat dipergunakan dengan begitu saja.

Tetapi apabila diandaikan bahwa setiap  $\text{mm}^2$  penampang batang itu menahan bagian beban yang sama besar, maka kita dapat mengatakan bahwa sebelumnya menjadi putus, materi yang tersebut di atas dapat menahan tegangan maximum sebesar:

$$\frac{3600 \text{ N}}{3 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}} = 400 \text{ N/mm}^2$$

Harga ini disebut *kekuatan tarik* atau *tegangan putus* materi, yang diberi lambang  $\sigma_p$ . Apabila gaya tarik maximum dimisalkan F dan penampang terkecil pada batang yang asal dimisalkan  $A_0$ , maka menurut ketentuan yang di atas itu:

$$\sigma_p = \frac{F}{A_0}$$

atau: gaya maximum per  $\text{mm}^2 = \frac{\text{gaya tarik maximum dalam Newton}}{\text{penampang asal dalam mm persegi}}$

Sebuah batang daripada materi ini dengan penampang bundar berdiameter 2 mm sebelum terputus dapat menahan gaya tarik maximal sebesar:

$$\frac{\pi}{4} \times (2 \text{ mm})^2 \times 400 \text{ N/mm}^2 = 1256 \text{ N}$$

Sudah dengan sendirinya bahwa pada suatu konstruksi samasekali tidak boleh timbul tegangan materi yang sama dengan  $\sigma_p$ . Juga tegangan yang sedikit lebih rendah daripada  $\sigma_p$  tidak terizinkan. Alasannya ialah bahwa jauh sebelum mencapai kekuatan tarik akan terjadi *deformasi permanen tak terizinkan*. Gaya pada batang per  $\text{mm}^2$  penampang yang masih belum menimbulkan deformasi permanen yang tak tertenggang itu disebut *batas regangan*, yang merupakan salah satu *titian* terpenting yang harus diketahui oleh perakit mesin dalam membuat perhitungan kekuatan. Selama tegangan yang bekerja pada materi sebagai beban statis pada salah satu suku bagian terletak di bawah batas regangan, tidak akan terjadi deformasi yang permanen tetapi yang memang terjadi ialah deformasi yang elastis. Setelah beban itu dilipurkan, ukuran-ukuran suku bagian ini akan kembali kepada yang asal. Sebenarnya bagi perhitungan kekuatan, harga  $\sigma_p$  itu tidaklah seberapa penting. Tetapi bagi penyudipan materi dengan, misalnya, perkakas yang mengerat dan yang menyerpihkan, harga itu memang penting. Istilah lain untuk deformasi ialah *cangga*.

## 4. HUKUM HOOKE

Hooke menyusun suatu rumus yang dapat dipakai untuk menghitung deformasi yang elastis bagi sebuah batang dengan penampang  $A_0$  dan dengan panjang  $L_0$ , apabila dibebani dengan gaya tarik atau gaya tekan sebesar  $F$ . Dalam penyusunan itu ialah bertolak dari beberapa aci-acian yang berikut :

a. *Deformasi elastis itu berbanding lurus dengan beban,  $F$ .*

Dengan lain perkataan, apabila  $F$  menjadi dua kali lipat, maka besarnya deformasi elastis pun akan menjadi dua kali lipat. Rumusnya ialah:

$$\Delta l = \text{faktor} \times F$$

b. *Deformasi elastis itu berbanding lurus dengan panjangnya batang yang asal,  $L_0$ .*

Dengan lain perkataan, apabila panjangnya batang menjadi dua kali lipat, maka deformasi elastis pun akan menjadi dua kali lipat. Rumusnya ialah:

$$\Delta l = \text{faktor} \times F \times L_0$$

c. *Deformasi elastis itu berbanding songsang dengan luas penampang,  $A_0$ .* Dengan lain perkataan, apabila beban dan panjang batang itu sama, tetapi penampangnya menjadi dua kali lipat, maka deformasi elastis akan menjadi separuhnya. Rumusnya ialah:

$$\Delta l = \text{faktor} \times \frac{F \times L_0}{A_0}$$

Aci-aci faktor tersebut sama dengan  $\frac{1}{E}$ , maka rumus yang terakhir ini akan menjadi sebagai berikut:

$$\Delta l = \frac{1}{E} \times \frac{F \times L_0}{A_0} \quad \text{atau} \quad \Delta l = \frac{F \times L_0}{E \times A_0}$$

Rumus ini yang terkenal dengan hukum Hooke hanya berlaku bagi defor-

masi yang elastis. Faktor  $E$ , yang harus dimasukkan ke rumus ini supaya memperoleh hasil yang tepat, bergantung pada jenis materi dan disebut *modulus elastisitas*. Jika, dalam hukum Hooke ini, harga  $\Delta l$  itu diaci-acikan  $L_0$  (yang pada kenyataannya bagi semua logam merupakan hal yang mustahil), maka akan diperoleh persamaan:

$$L_0 = \frac{F \times L_0}{A_0 \times E}; \quad \text{atau:} \quad 1 = \frac{F}{A_0} \times \frac{1}{E}; \quad \text{atau:} \quad E = \frac{F}{A_0}$$

Karena:  $\frac{F}{A_0} = \sigma$  (tegangan material yang berlaku), maka dalam hal ini berlaku:  $E = \sigma$ .

Jadi, per definisi dapat dikatakan bahwa modulus elastisitas  $E$  itu merupakan tegangan material yang sedianya akan berlaku (yang dalam praktek bagi semua logam merupakan barang mustahil), kalau sebuah batang logam mengalami deformasi yang elastis yang sama panjang dengan ukuran batang asal  $L_0$ .

Di bawah ini terdapat daftar modulus elastisitas bagi beberapa jenis logam yang terkenal.

Tabel 4-1. Modulus elastisitas

Jenis materi	E dalam $\text{N/mm}^2$
baja	$20 - 21,5 \times 10^4$
tembaga	$12,5 \times 10^4$
aluminium	$7,5 \times 10^4$
besi tuang	$3 - 14 \times 10^4$

## 5. UJI TARIK

Kekuatan tarik suatu materi diukur dengan *uji tarik*. Pengujian ini ialah peregangannya sebuah batang uji yang secara kontinyu bertambah kuat sampai putus. Beban yang bekerja pada batang uji serta perubahan panjang yang terjadi akibat beban itu semuanya dicatat pada suatu diagram. Semua ukuran batang uji ini dinormalisasikan. Jarak ukur  $L_0$ , yaitu jarak yang diukur pada pengujian ini, bagi batang uji *proporsional* ini diukur dengan mempergunakan rumus:

$$L_0 = k \cdot \sqrt{A_0} \quad (\text{lihat gambar 5-1}).$$

Dalam rumus ini,  $A_0$  itu ialah penampang batang yang asal, sedangkan  $k$  dapat dicarikan harganya dalam tabel yang berikut ini.

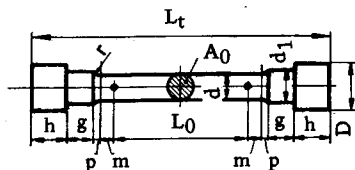
Tabel 5-1. Harga  $k$  bagi batang proporsional

Nama batang uji	Harga $k$	Nama batang uji	Harga $k$
dp 10	11,3	dp 5	5,65
dp 8	9,05	dp 4	4,5
dp 7,24	8,16	dp 3,54	4,0

Bagi baja dan baja tuang biasanya dipergunakan batang uji dp 5.

Bagi nonferometal umumnya dipergunakan dp 5 atau dp 10.

Ukuran-ukuran bagi batang uji tarik yang bundar dengan dp 5 dan dp 10 yang dinormalisasikan, terdaftar dalam tabel pelengkap gambar 5-1, yaitu dalam tabel 5-2.



Gambar 5-1. Batang uji penampang bundar

Tabel 5-2. Normalisasi batang uji penampang bundar  
(ukuran dalam mm)

$d$	$d_1$	$D$ min.	$g$ min.	$h$ min.	$m$	$p$	$r$	batang uji dp 5			batang uji dp 10		
								$L_0$	$L_0+2m$	$L_t$ min.	$L_0$	$L_0+2m$	$L_t$ min.
6	7,5	11	6	11	3	2	3	30	36	74	60	66	104
8	10	14	8	13	4	3	4	40	48	96	80	88	136
10	12	18	10	15	5	3	5	50	60	116	100	110	166
12	14,5	21	12	17	6	4	6	60	72	138	120	132	198
14	17	25	14	19	7	4,5	7	70	84	159	140	154	229
16	19	28	16	21	8	5	8	80	96	180	160	176	260
18	22	31	18	23	9	6	9	90	108	202	180	198	292
20	24	35	20	25	10	6	10	100	120	222	200	220	322
25	30	44	25	30	12,5	7,5	12,5	125	150	275	250	275	400

Kalau kita ambil sebagai contoh, misalnya, batang uji tarik dp 5 dengan diameter  $d = 10$  mm, maka sebagai jarak ukurnya akan diperoleh:

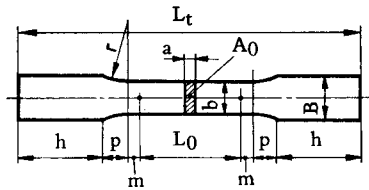
$$L_0 = k \sqrt{A_0} = 5,65 \sqrt{\frac{\pi}{4} \times (10 \text{ mm})^2} = 50 \text{ mm}$$

Jadi, jarak ukur batang uji dp 5 dengan penampang yang bundar ialah sama dengan  $5 \times d$  ( $d$  = diameter batang).

Tabel 5-3. Normalisasi batang uji penampang segi panjang  
(ukuran dalam mm)

$a$	$b$	$A_0$ mm <sup>2</sup>	$B^1)$	$h^2)$ min.	$m$	$p$	$r$	batang uji dp 5			batang uji dp 10		
								$L_0$	$L_0+2m$	$L_t$ min.	$L_0$	$L_0+2m$	$L_t$ min.
5	10	50	16M 15	30	4	6,5	8	40	48	121	80	88	161
5	16	80	22M 22	30	5	7	10	50,5	60,5	139,5	101	111	185
6	20	120	27M 27	40	6,5	8,5	12	62	75	172	124	137	234
7	22	154	27M 27	45	7	8	14	70	84	190	140	154	260
8	25	200	33M 33	50	8	10	16	80	96	216	160	176	296
10	25	250	33M 33	60	9	11,5	18	89,5	107,5	250	180	197	330
10	31	310	40	70	10	12,5	20	100	119,5	284,5	199	219	384
12	26	312	33M 33	70	10	11,5	20	100	120	283	200	220	383
15	30	450	40	70	12	14,5	24	120	144	313	240	264	435
18	30	540	40	70	13,5	16	27	131,5	158,5	330,5	263	290	462
22	30	660	40	80	14,5	16,5	29	145	174	367	290	319	512
24	30	720	40	80	15,5	17	31	150,5	180,5	374,5	301	331	525

- 1) Guna mencunam materi yang sangat lunak mungkin diperlukan kepala batang yang lebih lebar.
- 2) Guna mencunam materi yang sangat makas mungkin diperlukan kepala batang yang lebih panjang.



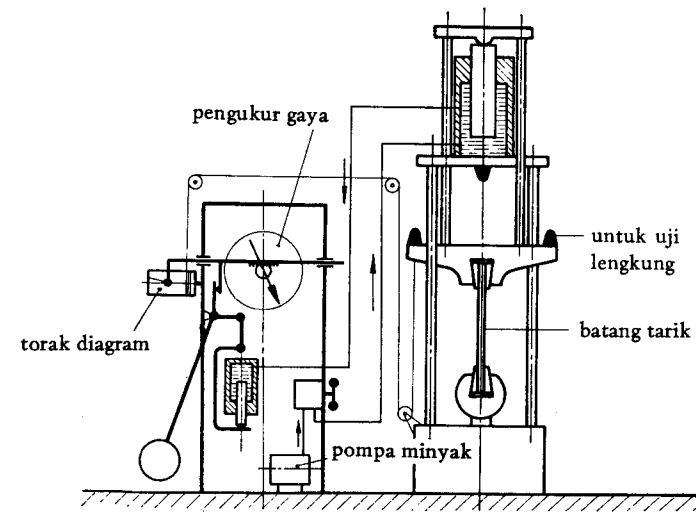
Gambar 5-2. Batang uji penampang segi panjang

Bagi batang uji dp 10 dengan penampang yang bundar, dengan cara yang sama dapat dihitung bahwa, jarak ukur  $L_0$  adalah sama dengan  $10 \times d$ . Ukuran-ukuran batang uji dp 5 dan dp 10 yang dinormalisasikan dengan penampang segi panjang terdaftar dalam tabel 5-3, yaitu tabel lengkapan gambar 5-2. Terkecuali bagi batang uji tarik yang dibuat dari bagian-bagian pipa, materi batangan, profil yang ringan, lempengan, dan lain-lain, permukaan batang uji tarik harus digarap hingga licin sepanjang jarak torak atau jarak prismatik, yaitu  $L_0 + 2 m$ .

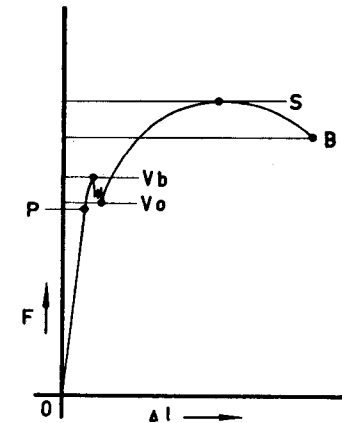
Selain itu, permukaan yang serupa pada batang uji tarik dari nonferrometal harus pula diampelas dengan kain ampelas yang halus menurut arah yang memanjang sampai licin. Di kedua sisi batang uji yang pipih, yang berasal dari benda lempengan, sedapat mungkin harus tetap ada kulit canai yang masih asli. Apabila hal ini tidak dimungkinkan, maka kedua permukaannya harus digarap sampai menjadi licin.

Tanda-tanda bagi jarak uji biasanya dibuat dengan tinta atau dengan cat. Pada batang uji daripada baja, tanda bagi jarak uji ini kadang-kadang dibuat dengan titik senter yang halus atau dengan goresan yang halus. Suhu kamar bagi uji tarik harus terletak antara 15 sampai 25°C. Uji tarik biasanya dilakukan dengan bangku tarik hidrolik (gambar 5-3). Umumnya bangku ini diperlengkapi dengan piranti yang dapat mencatatkan pada diagram seluruh beban tarik yang berlaku dengan pertambahan panjang turutannya. Tegangan tarik pada materi harus berangsur-angsur dinaikkan dan setiap detik tidak boleh lebih dari 10 N/mm<sup>2</sup> (dihitung menurut penampang asal). Dengan mempergunakan diagram gambar 5-4, kita bisa meneliti apa yang akan terjadi apabila kita regangkan secara berangsur-angsur satu batang uji tarik daripada baja. Sumbu yang horizontal ialah sumbu perpanjangan batang akibat gaya yang meregangkan dan sumbu yang vertikal ialah sumbu gaya peregangnya.

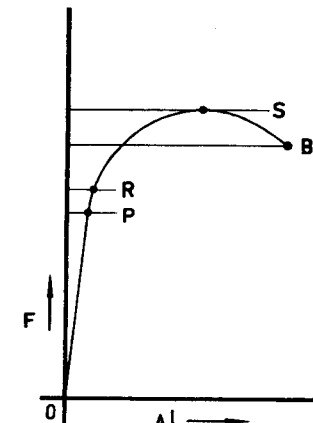
Pada awalnya hanya terjadi perubahan bentuk (perpanjangan) yang elastis, yaitu perpanjangan yang berbanding lurus dengan beban. Apabila, misalnya, beban batang menjadi dua kali lebih besar, maka dalam daerah elastis perpanjangannya akan menjadi dua kali pula (hukum Hooke). Nisbah antara gaya dan perpanjangan dalam daerah elastis dalam diagramnya tampak sebagai garis yang lurus melalui titik pusat 0.



Gambar 5-3. Bangku regang hidrolik



5-4. Diagram beban-regangan untuk baja

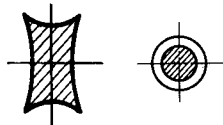


5-5. Diagram yang serupa tanpa gejala ulur

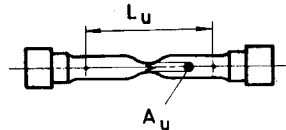
Pada pembebanan yang tertentu (lihat titik P pada gambar 5-4) garis itu akan mulai melengkung, yang berarti bahwa *hukum Hooke tidak berlaku lagi*. Kendatipun demikian deformasinya masih elastis. Apabila beban dinaikkan lagi (lihat Vb) akan terjadi *deformasi permanen* yang cukup kuat. Gejala ini yang disertai oleh ayunan beban yang disebut *mengulur*. Kerap kali gejala ulur ini tidak tampak. Karena itu, diagram akan berbentuk seperti pada gambar 5-5. Dan deformasi permanen akan terjadi kalau beban dinaikkan sampai di atas R.

Beban yang terendah yang timbul selama mengulur ditunjukkan dengan  $V_0$  pada gambar 5-4. Setelah melampaui fasa penguluran, beban akan naik lagi sampai harga maximum S disertai oleh deformasi yang permanen (perpanjangan yang permanen). Jadi, mulai dari titik  $V_b$  pada gambar 5-4, *di samping deformasi yang elastis terdapat pula deformasi yang permanen atau perpanjangan yang nonelastis*. Walaupun volume total daripada batang dalam hal ini sedikit bertambah besar, pertambahan panjang yang di atas itu mengakibatkan penciutan penampang yang untuk sebagian bersifat elastis dan untuk sebagian lagi bersifat nonelastis atau permanen.

Bagi batang uji yang penampangnya bundar, hal ini berarti penciutan diameter dan bagi batang dengan penampang segi panjang, hal ini berarti deformasi seperti tampak pada gambar 5-6. Penciutan penampang ini, yang melalui seluruh panjang batang tidak sama banyaknya, disebut kontraksi. Setelah tercapai beban yang maximal (lihat titik S pada gambar 5-4 dan gambar 5-5), batang itu akan mulai putus. Di tempat putus terjadi banyak kontraksi yang disebut genting (gambar 5-7).



Gambar 5-6. Kontraksi penampang batang



Gambar 5-7. Genting

Diagram beban-perpanjangan pada gambar 5-4 dan gambar 5-5 mempunyai kekurangan karena bentuk dan ukurannya bergantung pada penampang batang yang asal dan jarak ukur yang asal. Tanpa membuat suatu perhitungan, hasil pengujian yang dilakukan dengan uji tarik pada berbagai batang dan yang bertalian dengan ukuran tidak dapat diperbandingkan. Sebuah batang dari materi yang sama dengan batang yang lain, tetapi misalnya, dengan penampang yang dua kali lebih besar akan menghasilkan diagram yang dua kali lebih tinggi. Kekurangan ini tidak akan terdapat pada diagram yang disebut *diagram tegangan-regangan*.

Hasil pengujian pada diagram yang demikian tidak bergantung pada penampang, walaupun memang sedikit bergantung pada jarak ukur. Hasil-hasil yang diperoleh dalam diagram dapat langsung diperbandingkan sepanjang mengenai tegangan material yang terdapat pada batang-batang yang ukurannya berlainan.

Pada gambar 5-8, tegangan material yang dinyatakan dalam  $N/mm^2$  dibentangkan pada sumbu yang vertikal.

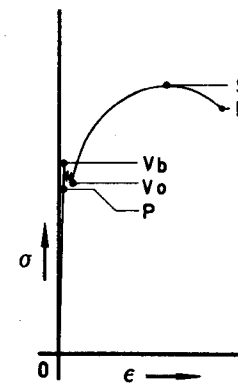
$$\sigma = \frac{\text{beban dalam N}}{\text{penampang batang asal dalam mm persegi}} = \frac{F}{A_0} N/mm^2$$

Pada sumbu yang horizontal dibentangkan regangan yang dinyatakan dengan prosenan dari jarak ukur asal  $L_0$ .

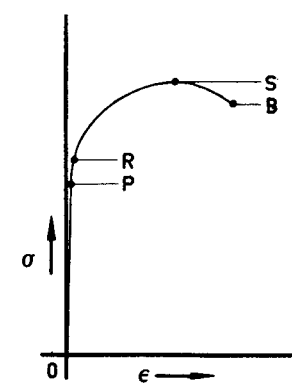
$$\text{regangan} = \frac{\text{perpanjangan}}{\text{panjang asal}} \times 100\% = \frac{\Delta l}{L_0} \times 100\%$$

$$\frac{\Delta l}{L_0} \text{ disebut perpanjangan spesifik atau } \epsilon \text{ (epsilon)}$$

Sampai titik P (gambar 5-8) berlaku hukum Hooke, yang berarti bahwa sampai tegangan tarik ini perpanjangan elastisnya akan berbanding lurus dengan tegangan tarik. Titik P merupakan batas bagi perbandingan lurus. Di atas P sampai  $V_b$  masih berlaku perpanjangan yang elastis, tetapi hanya elastis saja, karena *tidak lagi mengikuti hukum Hooke*. Di titik  $V_b$  yang tegangan tariknya sama dengan:  $\sigma_{vb} = \frac{F_{vb}}{A_0} N/mm^2$ , materi itu mulai mengulur. Karena selama mengulur, di titik ini terdapat tegangan yang tertinggi, maka titik ini disebut batas ulur tertinggi. Pada kebanyakan logam (aluminium, sobokan tembaga, besi tuang), sebagaimana telah diutarakan tidak terdapat penguluran. Oleh karena itu, diagram regangan-tegangannya akan tampak seperti pada gambar 5-9.

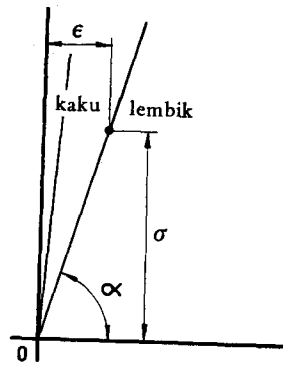


Gambar 5-8. Diagram tegangan-regangan dengan gejala ulur

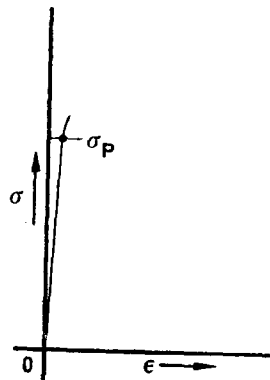


Gambar 5-9. Diagram tegangan-regangan tanpa gejala ulur

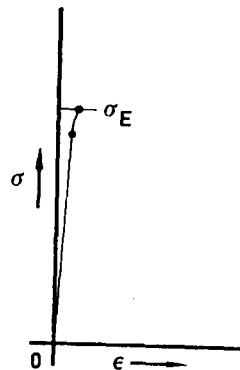
Tangens sudut  $\alpha$  ( $\alpha$  adalah sudut antara garis deformasi elastis dengan garis horizontal), adalah sama dengan modulus elastisitas. Pada baja sudut  $\alpha$  ini besar. Jadi, baja merupakan materi yang kaku.



Gambar 5-10.  
Pengertian modulus elastisitas



Gambar 5-11.  
Batas proporsionalitas



Gambar 5-12.  
Batas elastisitas

#### Batas proporsionalitas atau batas perbandingan lurus

Dengan ini diartikan tegangan tarik tertinggi yang masih tunduk kepada hukum Hooke. Di atas titik ini garis lurus dalam diagram akan mulai melengkung (gambar 5-11).

Batas proporsionalitas,  $\sigma_{pr} = \frac{F_{pr}}{A_0}$  N/mm<sup>2</sup>, sangat sukar untuk diukur.

Tegangan tarik paling rendah yang terdapat selama penguluran disebut *batas ulur terendah*. Pada gambar 5-8, titik ini ditunjukkan oleh  $V_0$ , dan

$$\sigma_{V_0} = \frac{F_{V_0}}{A_0} \text{ N/mm}^2.$$

Sebagaimana diketahui setelah penguluran, tegangan pada penampang batang akan bertambah dan selalu disertai oleh deformasi yang elastis dan yang tidak elastis atau plastis. Kalau tegangan sudah mencapai harga yang pada gambar 5-8 dan gambar 5-9 ditunjukkan oleh titik S, batang itu sudah sampai ke keadaan untuk segera menjadi putus. Tegangan tarik pada penampang batang yang terdapat pada titik ini disebut kekuatan tarik ( $\sigma_p$ ).

$$\sigma_p = \frac{F_S}{A_0} \text{ N/mm}^2$$

Setelah itu, kekuatan tarik pada penampang batang akan turun sampai susur galur materi samasekali terputus di titik B. Kedudukan titik B terhadap sumbu horizontal sangat bergantung pada konstruksi bangku tarik. Tetapi terhadap sumbu yang vertikal, kedudukan titik B it hanya bergantung pada kekenyalan materi dan bukan pada konstruksi bangku tarik.

#### Modulus elastisitas

Modulus elastisitas merupakan ukuran bagi kekakuan materi. Dengan kekakuan materi diartikan ketahanan materi itu terhadap deformasi elastis. Sebagaimana telah diketahui, kebalikan daripada kaku ialah lembik. Semakin besar ketahanan materi terhadap deformasi elastis, semakin terjal arah garis yang dalam diagram regangan-tegangan menggambarkan deformasi ini (gambar 5-10).

Modulus elastisitas E dapat dihitung dengan membagi tegangan yang sembarang dalam daerah yang elastis oleh perpanjangan spesifik yang merupakan lengkapannya. Hal ini merupakan penjabaran daripada hukum Hooke:

$$\Delta l = \frac{F \times L_0}{E \times A_0} \quad \text{atau} \quad \frac{\Delta l}{L_0} = \frac{F}{A_0} \times \frac{1}{E}$$

$$\frac{\Delta l}{L_0} = \epsilon, \text{ disebut perpanjangan spesifik, dan}$$

$$\frac{F}{A_0} = \sigma, \text{ disebut tegangan tarik yang berlaku}$$

$$\text{Jadi: } \epsilon = \sigma \times \frac{1}{E} \quad \text{atau} \quad E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{\text{tegangan tarik}}{\text{perpanjangan spesifik}}$$

Menurut gambar 5-10,  $\text{tg } \alpha = \frac{\sigma}{\epsilon}$ ; jadi:  $\text{tg } \alpha = E$

### Batas elastisitas

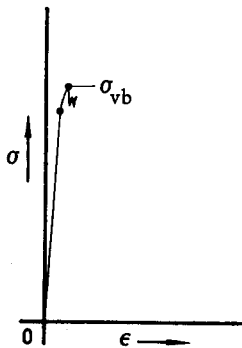
Dengan ini diartikan tegangan materi tertinggi,  $\sigma_E = \frac{\sigma}{A_0}$  N/mm<sup>2</sup>, yang bilamana beban materinya dilipurkan, materi tersebut akan kembali ke bentuk asal tanpa ada perubahan yang menunggak (gambar 5-12). Sama halnya dengan batas proporsionalitas, batas elastisitas pun sukar diukur. Harga batas ini ditentukan dengan cara pendekatan, yaitu dengan mengadakan pengukuran dengan perpanjangan permanen yang tidak melebihi 0,001%.

### Batas ulur tertinggi

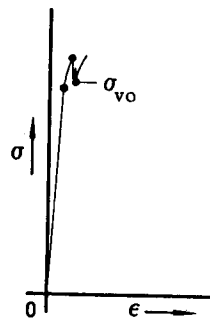
Dengan ini diartikan tegangan materi yang untuk pertama kali menunjukkan deformasi permanen pada tegangan yang menurun (mengulur). Selama penguluran biasanya timbul beban yang berayun-ayun (gambar 5-13). Batas ulur tertinggi  $\sigma_{vb} = \frac{F_{vb}}{A_0}$  N/mm<sup>2</sup> merupakan ukuran bagi ketegaran materi, tetapi kurang cermat karena bergantung banyak pada kecepatan regangan. Kebalikan daripada tegar ialah lembek.

### Batas ulur terendah

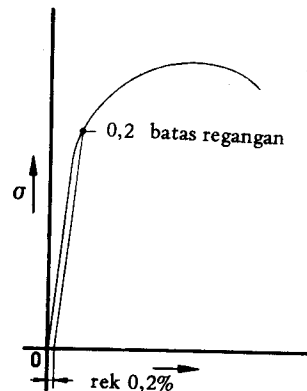
Harga ini merupakan harga terendah tegangan materi yang terdapat selama penguluran:  $\sigma_{vo} = \frac{F_{vo}}{A_0}$  N/mm<sup>2</sup> (gambar 5-14). Batas ulur terendah merupakan ukuran yang lebih cermat bagi ketegaran materi daripada batas ulur tertinggi.



Gambar 5-13.  
Batas ulur tertinggi



Gambar 5-14.  
Batas ulur terendah



Gambar 5-15.  
Batas regangan

### Batas regangan 0,2

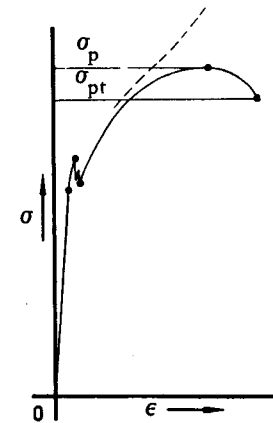
Batas regangan 0,2 ( $\sigma_{0,2}$ ) ialah tegangan material yang bila bebannya dilipurkan, pada batang akan tampak perpanjangan permanen yang sama dengan 0,2% dari jarak ukur asal:  $\sigma_{0,2} = \frac{F_{0,2}}{A_0}$  N/mm<sup>2</sup>.

Bagi materi yang tidak mengulur  $\sigma_{0,2}$  itu merupakan ukuran ketegaran, yang secara pendekatan dapat diukur sebagaimana ditunjukkan oleh gambar 5-15.

### Batas regangan

Dengan batas regangan  $\sigma_R$  dapat dimaksudkan batas regangan 0,2 (bagi materi yang tidak mengulur), atau dapat pula dimaksudkan batas ulur terendah (bagi materi yang mengulur).

Jadi, batas regangan merupakan ukuran bagi ketegaran materi.



Gambar 5-16.  
Kekuatan tarik dan kekuatan patah

### Kekuatan tarik

Kekuatan tarik  $\sigma_p = \frac{F}{A_0}$  N/mm<sup>2</sup> ialah tegangan tarik maximum (diperhitungkan kepada penampang asal) yang timbul dalam materi selama pengujian (gambar 5-16).

### Kekuatan patah

Kekuatan patah ialah tegangan material  $\sigma_{pt} = \frac{F_{pt}}{A_0}$  N/mm<sup>2</sup> yang berlaku pada saat terputusnya batang uji di tempat genting (gambar 5-16). Semua tegangan tarik yang hingga sekarang telah dibicarakan merupakan tegangan

yang khayal, yaitu tegangan yang tidak nyata. Tegangan-tegangan tersebut ialah yang selalu didapat dengan membagi tegangan yang berlaku dengan penampang asal, padahal peregangannya itu mengakibatkan penciutan penampang batang. Gaya per mm<sup>2</sup> yang berlaku sebenarnya jauh lebih tinggi daripada tegangan yang khayal yang hingga sekarang diperhitungkan. Garis putus-putus pada gambar 5-16 menggambarkan perubahan tegangan yang nyata selama pengujian. Namun demikian, tegangan yang nyata itu tidaklah penting karena dalam praktek tidak ada gunanya.

#### Regangan setelah putus

Harga ini yang biasanya cukup disebut regangan ialah pertambahan panjang yang diukur setelah batang menjadi putus, dan dinyatakan dalam prosenan dari jarak ukur yang asal.

$$\text{regangan} = \frac{L_u - L_0}{L_0} \times 100\%$$

$L_0$  = jarak ukur asal, dan  $L_u$  = jarak ukur sesudah putus

Regangan merupakan ukuran bagi kekenyalan materi. Kebalikan daripada kenyal ialah getas. Regangan itu juga bergantung pada jarak ukur. Semakin kecil jarak ukur, semakin besar regangannya. Oleh karena itu, kepada titian regangan untuk suatu materi harus selalu dicantumkan nomor dp batang uji yang telah dipakai. Jadi, regangan yang didapat bagi batang uji tarik dengan dp 10, tidak dapat diperbandingkan begitu saja dengan regangan yang didapat dengan pengujian batang uji tarik dengan dp 5. Akan tetapi dengan mempergunakan faktor-faktor yang terdaftar dalam tabel yang berikut, kita dapat menghitung harga regangan bagi sebuah batang dengan dp 5 yang normal dari harga regangan yang didapat dengan batang yang bukan dp 5. Perbedaannya merupakan akibat daripada pengaruh bagian yang genting terhadap penampang rata-rata (gambar 5-18).

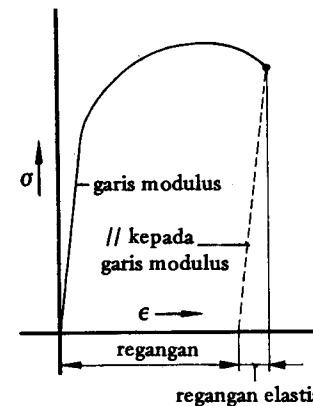
Tabel 5-4. Faktor penyamarataan

Nama batang uji	Bilangan pendarab regangan logam kenyal untuk persamaan dengan dp 5
dp 10	1,2
dp 8	1,1
dp 7,24	1,1
dp 5	1
dp 4	0,9
dp 3,54	0,85

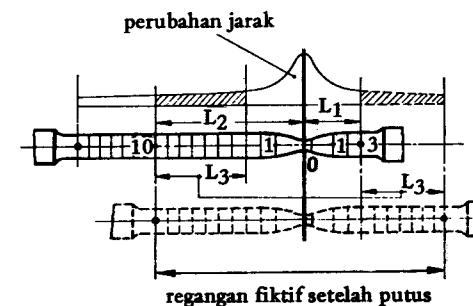
Karena diaci-acikan bahwa di atas batas proporsionalitas, di samping deformasi plastis, juga terjadi perpanjangan elastis yang boleh dikatakan berbanding lurus dengan beban, maka regangannya menjadi seperti yang ditunjukkan oleh gambar 5-17.

Sebelum dilakukan percobaan, orang tak mungkin menduga di tempat mana batang uji itu akan terputus. Apabila tempat putusnya terdapat di sepertiga bagian yang ada di tengah-tengah jarak ukur, maka jarak ukur setelah putus dapat langsung diukur dengan merapatkan kembali kedua potongan batang. Tetapi kalau tempat putusnya terletak di luar sepertiga bagian yang terletak di tengah-tengah, maka jarak ukur setelah putus harus ditentukan sebagai mana ditunjukkan oleh gambar 5-18.

Batang uji dapat menjadi genting di dua tempat. Dalam hal ini, percobaannya harus dibatalkan. Peluang timbulnya genting ganda adalah besar, apabila beban tegangan dinaikkan terlampaui cepat.



Gambar 5-17. Regangan sebelum dan sesudah putus



Gambar 5-18. Mengukur regangan setelah putus

### Genting di tempat putus

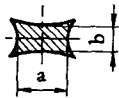
Genting ialah penciutan penampang di tempat putus (setelah batang putus) yang dinyatakan dalam prosenan penampang batang yang asal :

$$\text{kegentingan} = \frac{A_0 - A_u}{A_0} \times 100\%$$

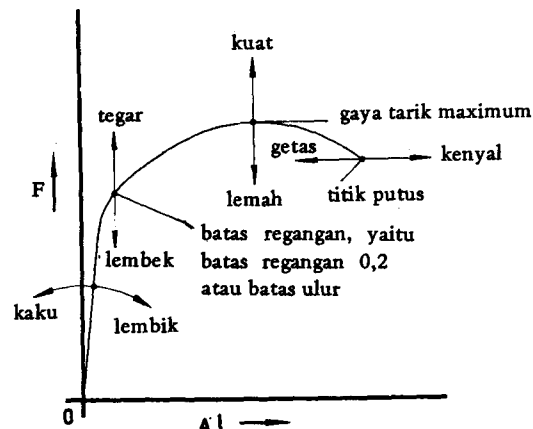
$A_0$  = penampang asal

$A_u$  = penampang di tempat putus

Bagi batang dengan penampang yang segi panjang, berlaku  $A_u = a \times b$  (gambar 5-19). Gambar 5-20 menjelaskan pengertian: kaku – lembik, tegar – lembek, kuat – lemah, dan kenyal – getas.



Gambar 5-19. Penampang di tempat genting



Gambar 5-20. Beberapa pengertian yang digambarkan

## 6. HOUNSFIELD-TENSOMETER

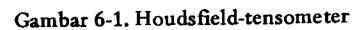
Bangku tarik mekanis yang banyak dipergunakan untuk pendidikan ialah Hounsfield-tensometer (gambar 6-1). Pada prinsipnya bangku tarik ini bekerja sebagai berikut: Salah satu kepala cunam batang uji dipasangkan pada pegas yang pipih dan kepala cunam yang lainnya dipasangkan pada suatu kekang yang berulir. Pada kekang ulir ini terdapat sebuah roda ulir dengan tabung ulir. Roda ulir ini bekerja sama dengan sebuah batang ulir. Kalau engkol yang dihubungkan dengan batang ulir ini diputar ke arah kanan, maka batang uji akan memperoleh beban tarik. Beban pada batang uji adalah sama dengan beban pada pegas yang pipih dan karena itu pegas ini akan melengkung. Semakin besar beban, semakin besar pula lengkungannya. Dengan perkataan lain, lengkungan pegas itu merupakan ukuran bagi beban tarik kepada batang. Melalui sebuah gandar, lengkungan ini dipindahkan kepada sebuah pengisap kecil yang dapat bergerak dalam torak yang berisi raksa. Semakin besar beban torak, jadi semakin banyak pegas melengkung, semakin banyak raksa yang ditekan ke luar dari torak, dan kolom raksa dalam tabung gelas yang dihubungkan dengan torak tadi akan semakin naik. Ketinggian kolom raksa pada pembagian skala yang terdapat di samping tabung merupakan ukuran bagi gaya tarik yang bekerja pada batang uji.

Pada keadaan awabeban sebelum pengujian dimulai, kolom raksa harus dilaraskan terlebih dahulu kepada garis nol pembagian skala. Posisi ini dapat disetelkan dengan ulir pelaras yang tampak pada gambar. Seusai pemakaian bangku tarik, dianjurkan agar kolom raksa diturunkan dari dalam tabung gelas dengan memutar ulir pelaras.

Pengujian dapat dicatat menjadi diagram gaya-regangan melalui piranti yang terpasang pada mesin. Untuk itu terdapat sebuah roda ulir yang memutar sebuah roda gigi yang selanjutnya dengan alat penerus gerakan akan diputar sebuah torak diagram. Pada torak ini dibentangkan kertas diagram.

Dengan menggeserkan roda ulir tersebut, torak diagram dapat disetelkan kepada tiga kecepatan. Jadi dengan terdapatnya beban tarik pada batang uji, torak diagram itu akan berputar. Kalau kolom raksa diikuti dengan

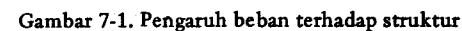
- Deformasi pegas yang pipih
- Deformasi kekang ulir dan kedua kepala cunam
- Deformasi mesin.



Engkol pesawat hendaknya diputar perlahan-lahan dan dengan cara yang sangat teratur. Betapa cepat memutarnya secara maximal, ada disediakan petunjuk yang menyatakan bahwa beban per  $\text{mm}^2$  penampang asal, tidak boleh dinaikkan melampaui kecepatan 10 N per detik. Semakin perlahan engkol diputar semakin jelas, misalnya, gejala penguluran dapat kita cerap.

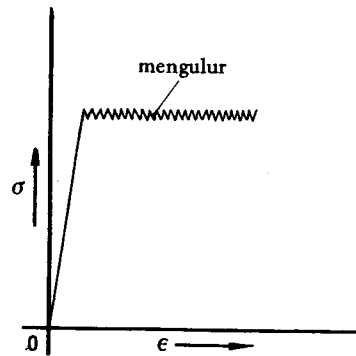
Apabila suatu kristal yang terdiri atas satu elemen dan yang bangunannya sempurna dibebani hingga batas regangan, maka yang akan terjadi hanyalah deformasi elastis (gambar 7-1). Apabila beban kristal dilipurkan, kristal tersebut akan kembali ke bentuk dan ukuran semula. Tetapi apabila beban kristal diperbesar hingga melampaui batas regangan, maka pada kisi kristal akan timbul apa yang disebut *bidang lurcur*, yaitu pergeseran bidang kisi melalui satu atau beberapa jarak atom terhadap sesamanya (gambar 7-1). Pergeseran ini akan berlangsung berkejut-kejut (dapat dipersamakan dengan berkejut-kejutnya dinamo sepeda apabila rotornya diputar di antara dua sepatu magnet).

Bagi materi yang berwujud padat, pada suhu yang tertentu, jarak rata-rata antaratom memiliki harga yang tetap (gambar 7-1a). Kalau kita mencoba mengubah posisi atom terhadap sesamanya, maka atom-atom itu akan menentang percobaan itu. Apabila jarak antaratom diperkecil, atom-atom itu akan saling tolak-menolak. Sebaliknya percobaan untuk memperbesar jarak antaratom akan menimbulkan gaya tarik-menarik antaratom. Apabila sebagaimana tampak pada gambar 7-1c, gaya antaratom itu dapat dikalahkan, maka akan terjadi *pergeseran-pergeseran kisi* (mengulur,

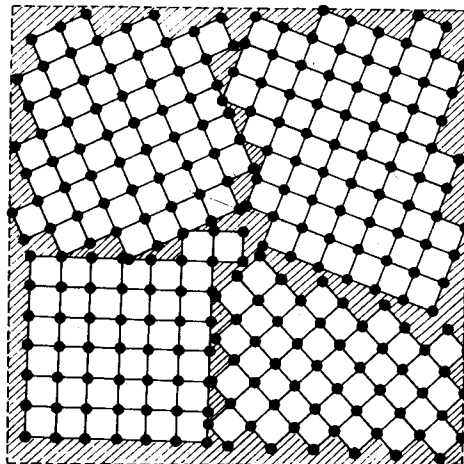


gambar 7-2). Kalau pergeseran-pergeseran itu tengah berlangsung, beban yang berlaku akan berangsur-angsur menyusut karena ada perubahan tersebut. Akibat itu ialah bahwa atom-atom harus dapat menyesuaikan diri kepada keseimbangan yang baru dan memang akan terjadi demikian (gambar 7-1c). Penyesuaian ini berarti bahwa apabila materi tersebut harus dideformasikan terus, maka bebannya harus ditambah begitu banyak sehingga gaya antar atom pada posisi yang baru kembali dapat dikalahkan. Kemudian beban akan berkurang lagi, dan begitulah seterusnya. Deformasi permanen berlangsung berkejut-kejut dengan diagram regangan-tegangan yang tampak seperti pada gambar 7-2. Sampai materi terputus, tegangan material tidak akan melampaui batas ulur maximum.

Sebagaimana diketahui, logam itu bukan terdiri atas satu butir kristal, melainkan terdiri atas sejumlah besar kristalit yang saling menyobok (gambar 7-3). Apabila materi ini dibebani melampaui batas tegangan, deformasi



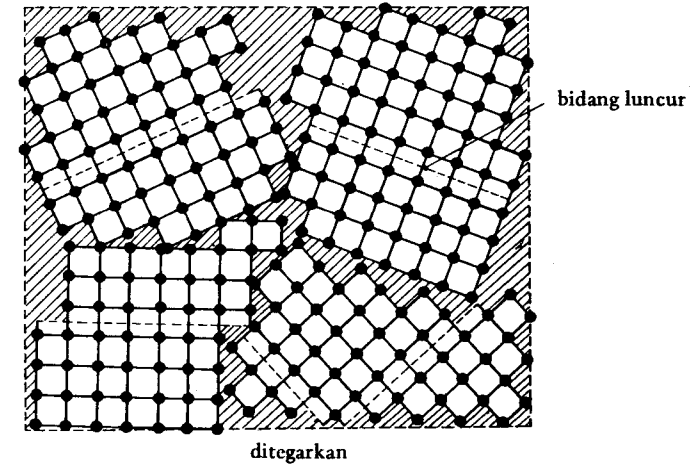
Gambar 7-2. Deformasi berkejut-kejut



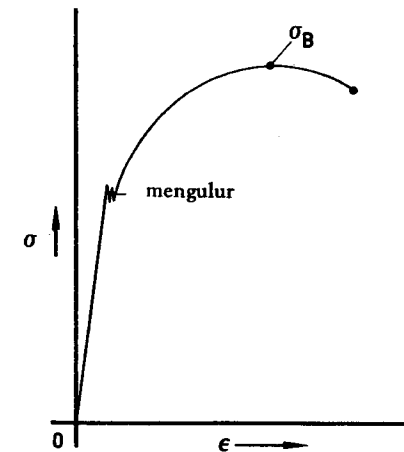
Gambar 7-3. Kristalit yang saling menyobok

permanen akan mulai terjadi. Deformasi permanen ini dapat diberikan dengan gambar 7-4.

Kristalit yang akan dideformasikan paling dahulu ialah kristalit yang memiliki posisi timbun yang paling menguntungkan. Pada beberapa jenis baja, hal ini mula-mula mengakibatkan gejala mengulur yang dapat terlihat pada diagram (gambar 7-5). Tetapi karena semua kristalit praktis akan terkurung oleh kristalit yang lainnya, maka kristalit-kristalit itu tidak dapat mengubah bentuk secara bebas, melainkan akan terjadi saling hambat (gambar 7-4).



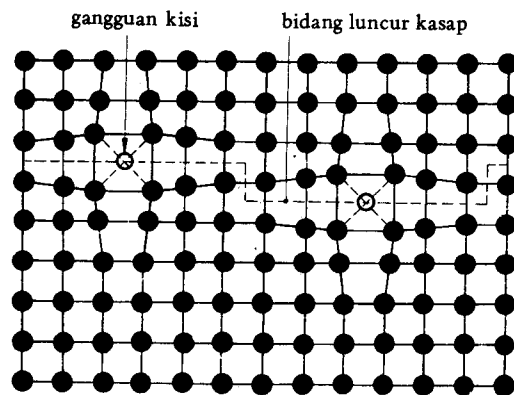
Gambar 7-4. Deformasi permanen



Gambar 7-5. Diagram tegangan-regangan baja

Akibat ini ialah, kalau deformasi permanen tersebut hendak diteruskan, maka beban harus dinaikkan lagi (gambar 7-5). Jadi, deformasi permanen akan semakin sukar untuk diteruskan (materi menjadi semakin tegar). Semakin besar jumlah kristalit per satuan volum, semakin sukar untuk melakukan deformasi dalam keadaan dingin secara permanen karena kristalit-kristalit akan saling menghambat. Bagi materi dengan struktur kristal yang lebih halus batas regangan, kekuatan tarik, dan kemakasan, akan menjadi lebih tinggi daripada materi dengan struktur kristal yang kasar, walaupun bentuk kristalnya sama. Sebab lain mengapa deformasi permanen itu bertambah sukar ialah sebagai berikut:

Meskipun materi hanya terdiri atas satu komponen, diaci-acikan bahwa dalam tiap kristal terdapat cinangga tertentu. Ketidaksempurnaan pada kisi kristal ini merupakan gangguan (gambar 7-6).



Gambar 7-6. Cinangga kristal

Apabila kisi kristal yang demikian dideformasikan permanen dalam keadaan dingin, akan timbul bidang-bidang luncur di tempat-tempat yang ada cinangga tersebut (gambar 7-6).

Hal ini bukan menimbulkan bidang luncur yang datar, melainkan bidang luncur yang lengkung yang mempersukar deformasi permanen. Karena cinangga yang ditimbulkan unsur penyobok, sobokan logam mempunyai sifat mekanik yang lebih unggul, misalnya: batas regangan lebih tinggi, kekuatan tarik lebih tinggi, dan kemakasan lebih tinggi. Apabila materi pada suhu normal dibebani sampai ke suatu titik sedikit di bawah kekuatan tarik, maka mulai dari batas regangan sampai di titik ini akan selalu terjadi deformasi permanen dingin tanpa terputusnya susur galur daripada materi. Materi tersebut memang menjadi semakin tegar dan proses itu disebut

penegaran. Kalau misalnya beban materi itu dilipurkan, akan terjadi pelentangan yang elastis sebagaimana tampak pada gambar 7-7a. Diaci-acikan bahwa garis lenting ini berjalan sejajar dengan garis modulus.

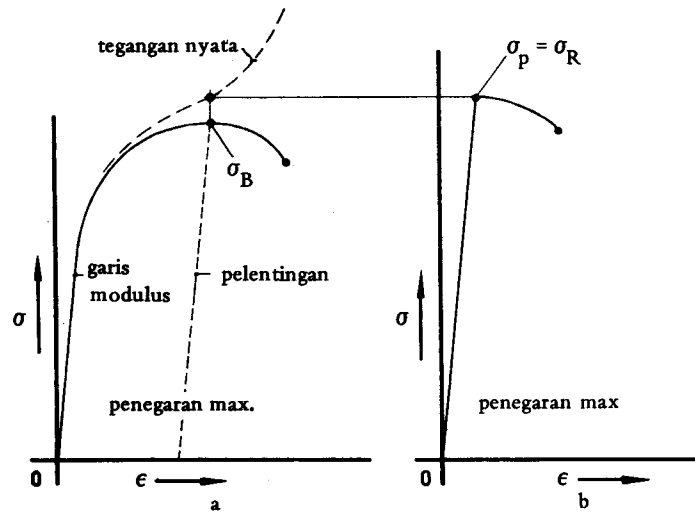
Kalau dari materi yang sudah ditegarkan itu dibuatkan batang dan dengan batang ini dilakukan uji tarik, maka diagram tegangan-regangan tampak seperti pada gambar 7-7b. Kita lihat pada diagram ini bahwa penambahan beban material mulai nol hingga batas regangan, yang dalam hal ini sama dengan  $\sigma_p$ , hanya akan menimbulkan deformasi yang elastis saja. Jadi, dibandingkan dengan materi yang tidak ditegarkan, batas regangan itu menjadi jauh lebih tinggi. Walaupun lebih rendah, yang terakhir ini berlaku pula bagi kekuatan tarik.

Tetapi apabila beban dinaikkan sehingga melampaui batas regangan materi yang sudah ditegarkan, maka materi ini akan mulai retak.

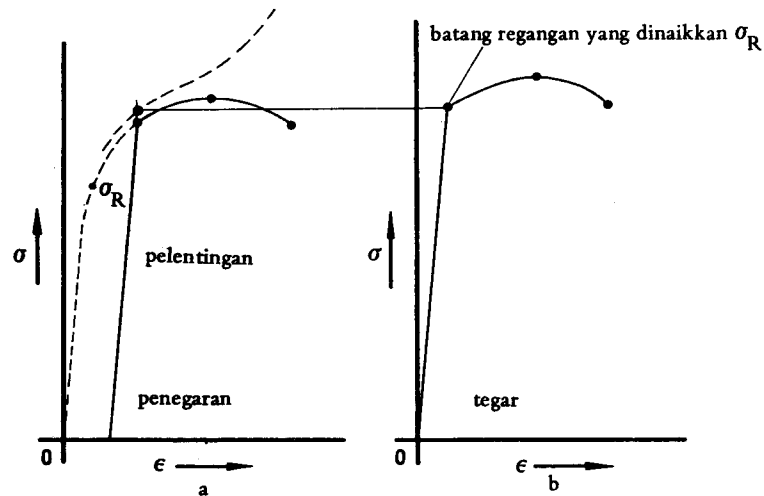
Karena itu, materi hanya boleh ditegarkan sampai batas regangan yang sama dengan kekuatan tarik. Tetapi dalam praktek, sudah terang bahwa penegaran itu tidak boleh dilakukan sampai mencapai  $\sigma_p$ , melainkan hanya boleh sampai harga tertentu yang ada di bawahnya (gambar 7-8a). Pada deformasi dingin, kita terapkan selalu proses tekan, misalnya pencanaian, karena dalam hal ini tidak terjadi penggentingan sehingga bisa mencapai tingkat peregangannya yang lebih besar daripada dengan tarikan. Kesimpulan dari yang di atas ialah bahwa tegangan yang dapat diizinkan pada konstruksi dengan materi yang ditegarkan adalah lebih besar daripada dengan materi yang tidak ditegarkan, padahal komposisi materinya sama. Suatu konstruksi dengan materi yang ditegarkan akan lebih ringan daripada dengan materi yang tidak ditegarkan dengan komposisi yang sama. Selain itu, akan jelas pula betapa pentingnya pengetahuan tentang batas regangan suatu materi.

Dengan mengetahui batas regangan, kita dapat menentukan beban mana saja yang boleh dipikulkan secara statik kepada materi. Tegangan-tegangan yang terizinkan atau yang dapat ditenggangkan harus selalu terletak di bawah batas regangan. Tetapi kita harus memperhitungkan bahwa materi yang ditegarkan selain lebih tegar, juga menjadi lebih keras dan lebih rangup atau getas.

Penegaran bukan hanya terjadi pada peregangannya permanen, tetapi juga terjadi pada setiap deformasi dingin. Materi yang ditegarkan hanya boleh dipergunakan pada bagian konstruksi yang tidak akan terbugilkan terhadap suhu yang tinggi. Pada suhu yang tinggi akan terjadi kemunduran batas regangan (akibat rekristalisasi) sampai ke harga asal bagi materi yang belum ditegarkan.



Gambar 7-7. Pengaruh penegaran pada materi



Gambar 7-8. Batas-batas penegaran

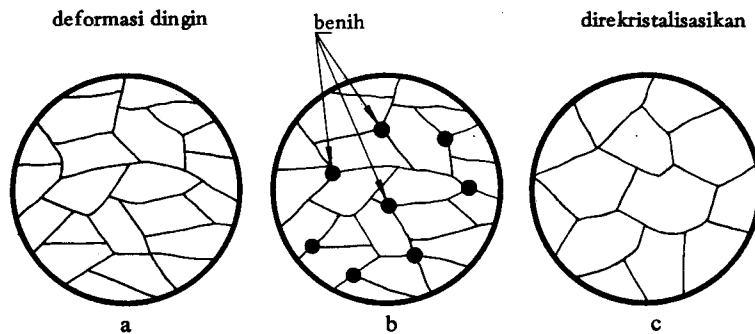
## 8. SIAR ULANG

Baja siar ialah baja yang dipanaskan sampai berpijar. Atom-atom logam yang dideformasikan dingin berada dalam posisi yang dipaksakan sehingga timbul tegangan-tegangan intern terutama pada perbatasan kristal. Keleluasaan gerak atom-atom akan bertambah kalau dipanaskan dan karena itu atom-atom tersebut memperoleh kesempatan membenahi lagi posisinya yang mengurangi tegangan-tegangan intern. Penggarapan panas ini diberi sebutan yang kurang tepat yaitu *pemijaran bebas tegangan*. Sebetulnya apa yang terjadi pada penggarapan panas ini ialah pemulihan sebagian daripada keadaan seperti sebelum terjadi deformasi dingin. Batas regangan yang ditinggikan pada waktu penegaran, dengan garapan panas ini untuk sebagian akan turun kembali. Jadi sebutan yang lebih tepat bagi pengolahan ini ialah *siar ulang* atau *siar susut tegangan*. Alasannya ialah karena yang terjadi itu memang pengurangan atau penyusutan daripada tegangan dan bukan pembebasan tegangan samasekali.

Siar ulang harus dilakukan pada temperatur yang begitu tinggi sehingga tidak mungkin terjadi perubahan dengan ukuran kristalit-kristalit materi. Penerapan daripada siar ulang ialah: menghilangkan sebanyak mungkin tegangan deformasi atau tegangan karena penciutan, misalnya, pada bagian bagian yang terdeformasikan dingin atau pada benda tuang, dan lain sebagainya.

## 9. REKRISTALISASI

Pada siar ulang materi yang ditegarkan, akan diperoleh kedudukan antar-atom yang lebih baik pada perbatasan kristal karena atom-atom mendapat kesempatan bergerak lebih leluasa pada waktu pemanasan. Akan tetapi yang terjadi pada penggarapan panas ini bukanlah perubahan struktur secara besar-besaran, kecuali kalau temperatur dinaikkan melampaui harga yang tertentu yang memang akan menimbulkan kristalisasi ulang atau *rekristalisasi* di tempat-tempat pada perbatasan kristal yang terdapat tegangan-tegangan yang tertinggi. Tempat-tempat di mana kristalisasi ulang ini dimulai disebut *benih rekristalisasi* (gambar 9-1b). Benih-benih tersebut tumbuh menjadi kristalit-kristalit yang baru samasekali dengan meniadakan kristalit-kristalit yang lama (gambar 9-1c).

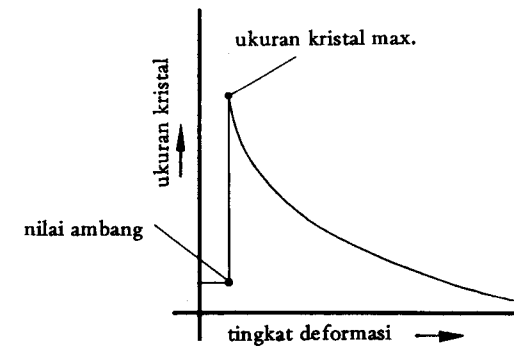


Gambar 9-1. Struktur materi

Berlainan dengan siar ulang, tegangan-tegangan intern yang diakibatkan deformasi dingin (penegaran) dapat samasekali dihilangkan dengan rekristalisasi. Semakin jauh deformasi dingin itu dilaksanakan, semakin besar jumlah benih rekristalisasi yang akan timbul, dan semakin besar pula jumlah kristalit baru yang akan muncul sedangkan ukuran kristalit ini menjadi semakin kecil. Apabila suatu logam tidak atau kurang dideformasikan secara permanen, maka proses rekristalisasi tidak akan berlangsung betapapun

temperatur itu ditinggikan. Yang mungkin terjadi dalam hal ini hanyalah membesarnya sejumlah kristalit yang telah ada atas biaya kristalit yang lain.

Deformasi minimum yang masih memungkinkan rekristalisasi pada temperatur tertentu disebut *nilai ambang deformasi* (gambar 9-2).



Gambar 9.2 Nilai ambang deformasi

Dengan deformasi permanen yang tepat sampai ke nilai ambang, pada temperatur tertentu, maka pada garapan panas yang berikutnya akan terbentuk kristalit-kristalit yang sangat besar.

Semakin tinggi tingkat deformasi dibanding dengan nilai ambang, semakin halus struktur yang diperoleh dengan rekristalisasi (gambar 9-2). Hendaknya diperhatikan betul-betul bahwa nilai ambang yang ditampilkan pada gambar 9-2 itu hanyalah berlaku untuk satu materi yang tertentu. Selain itu, temperatur rekristalisasi akan semakin rendah apabila tingkat deformasinya semakin tinggi.

Logam yang dideformasikan panas akan diikuti segera dengan rekristalisasi apabila temperaturnya cukup tinggi sehingga dalam hal ini tidak terjadi penegaran. Tetapi kalau temperatur diturunkan terlampaui banyak, maka setelahnya deformasi permanen, tidak akan terjadi atau hanya akan terjadi rekristalisasi yang tidak sepenuhnya. Dalam hal ini deformasi tersebut akan dapat menegarkan materi. Yang memang terjadi dalam hal ini ialah siar ulang.

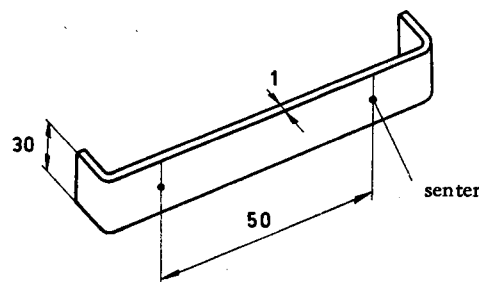
Penggarapan panas yang bertujuan untuk memperoleh rekristalisasi, juga disebut *siar tuntas*.

## 10. UJI REKRISTALISASI

Buatlah tiga papasan (jalur) aluminium sesuai dengan gambar 10-1. Bubuhkan nomor-nomor pada masing-masing jalur, mulai dari 1 sampai 3, sesudah itu siarkan semuanya selama setengah jam pada  $600^{\circ}\text{C}$  guna menghilangkan mintakat (zona) deformasi akibat pengguntingan.

Jalur nomor 2 dan nomor 3 dideformasikan (diperpanjang) secara permanen dengan sebuah catok yang dipersiapkan khusus untuk itu (gambar 10-2a), sampai berturut-turut 3% dan 5% dari jarak ukur awalnya. Perpanjangan ini dapat dilakukan dengan peregang jalur pada catok tersebut menurut cara kerja yang ditunjukkan oleh gambar 10-2b, dengan memutar poros ulir catok ke arah kiri hingga tercapai prosentase regang yang telah ditetapkan, dimulai dengan jalur nomor 3. Guna mencegah menggelingsirnya jalur, dianjurkan agar pada tiap ujung jalur dipasangkan sepotong kertas ampelas.

Perpanjangan jalur dapat diukur dengan mistar sorong, yakni dengan memakai paruh mistar untuk pengukuran dakhil. Kalau ternyata bahwa perpanjangan yang dikehendaki sudah tercapai, poros ulir catok harus diputar ke arah kanan (jagalah agar tidak terputar balik terlalu banyak). Periksa pula apakah perpanjangan yang dikehendaki itu betul-betul tercapai. Bila demikian, maka ketiga jalur itu dipanaskan selama satu jam pada  $600^{\circ}\text{C}$ . Jalur harus ditaruh dalam tanur menurut posisi yang digambarkan pada gambar 10-1. Setelah selesai, ambillah jalur dari tanur dan letakkan



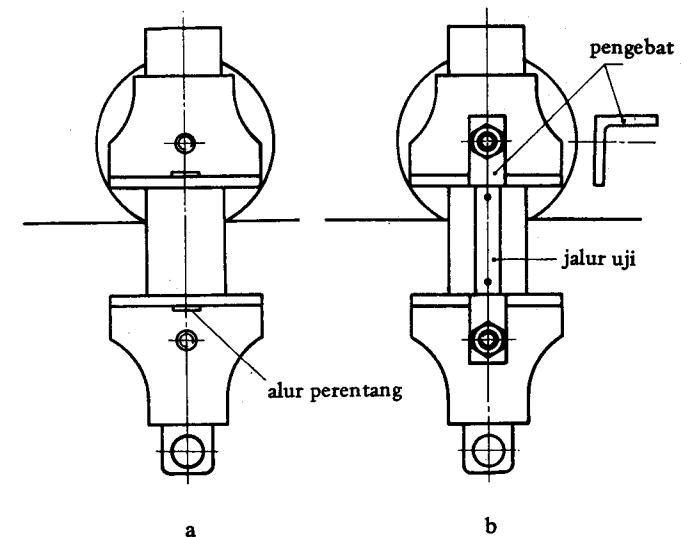
Gambar 10-1. Bentuk dan ukuran jalur uji

dengan posisi yang sama di atas, misalnya, lempengan eternit guna pendinginan.

Setelah dingin, jalur dimasukkan ke larutan fluorida 10% selama beberapa detik guna melarutkan kulit oksidanya dan kemudian dimasukkan ke air raja (pakailah sarung tangan dari karet dan lakukanlah pekerjaan ini di udara terbuka). Biarkan jalur itu dalam air raja sampai kristalinitasnya dapat dilihat dengan mata bugil. Penggarapan ini disebut *membetok* (etching).

Berhati-hatilah terbadap asam fluorida, karena zat ini memudahkan organ pernapasan dan dapat membetok gelas, jadi, juga gelas kaca mata. Air raja (campuran asam nitrat pekat dan asam klorida pekat) bahkan dapat mengikis platina dan emas, jadi, berjaga-jagalah kalau kebetulan mengenakan cincin. Seusai dibetok, jalur uji harus dibilas baik-baik dan kemudian dikeringkan memakai kain.

Memasukkan jalur uji ke larutan pembetok dan mengambilnya kembali harus dikerjakan dengan cunam. Kalau jalur nomor 2 dan nomor 3 dibandingkan dengan jalur nomor 1 yang tidak dideformasikan, akan tampak jelas bagaimana pengaruhnya rekristalisasi dan tingkat deformasi itu.



Gambar 10-2. Catok peregang yang khusus

## 11. UJI REDAM

Pengujian ini dipergunakan untuk meneliti perpendekan, yang dinyatakan dalam prosen dari jarak ukur yang asal, yang dapat dipikul oleh suatu materi sampai mulai terjadi retak atau patah (gambar 11-1).

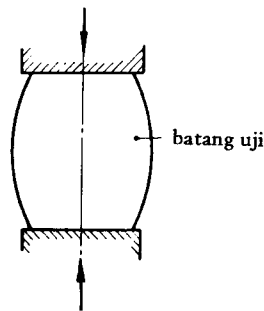
$$\delta_r = \frac{L_0 - L_u}{L_0} \times 100\% \text{ (redaman pada awal retak atau patah)}$$

$L_0$  = jarak ukur batang yang asal

$L_u$  = jarak ukur batang pada permulaan retak atau patah

Pengujian ini dilakukan dengan batang berbentuk torak yang mempunyai jarak ukur yang sama dengan dua kali diameter batang (dengan batang yang tipis terjadi tekukan).

Jarak ukur sama dengan panjang batang. Peredaman dapat dilakukan pada suhu yang rendah (temperatur  $15 - 24^\circ\text{C}$ ), atau pada temperatur yang telah ditentukan. Dalam hal yang terakhir, temperaturnya harus dicantumkan pada hasil pengujian. Hasil-hasil berbagai pengujian hanya bisa diperbandingkan satu sama lain apabila batang ujinya serupa. Permukaan yang berbentuk torak tidak memerlukan penggarapan. Tetapi kedua bidang ujung harus rata sekali dan dilicinkan sebaik mungkin dengan kain ampelas. Uji redam diterapkan pada pengujian materi untuk paku kantung (klinknagel).



Gambar 11-1. Uji redam

## 12. UJI TEKAN

Pengujian ini terutama dilakukan terhadap besi tuang, yang fiilnya menjadi lain samasekali apabila diberi beban tekanan atau apabila diberi beban tarikan. Uji tekan ialah mengukur kekuatan tekan  $\sigma_{pt}$  :

$$\sigma_{pt} = \frac{F}{A_0} \text{ N/mm}^2$$

$F$  = beban maximum dalam N pada saat timbul retak atau patah

$A_0$  = penampang batang yang asal dalam  $\text{mm}^2$

Kekuatan tekan daripada materi yang liat umumnya tidak dapat diukur karena alasan yang sederhana, yaitu bahwa materi tersebut tidak bisa retak atau pecah. Pada logam yang lain daripada besi tuang, pengujian ini dapat dilakukan untuk mengukur batas redamannya. Batas redaman ( $\sigma_{t0,2}$ ) ialah tegangan tekan yang menimbulkan perpendekan permanen sebesar 0,2% daripada jarak ukur yang asal:

$$\sigma_{t0,2} = \frac{F}{A_0} \text{ N/mm}^2$$

$F$  = beban pada batas redaman dalam N

$A_0$  = penampang batang yang asal dalam  $\text{mm}^2$

Batas redaman suatu logam yang homogen umumnya sama tinggi dengan batas regangan yang diperoleh dengan uji tarik. Oleh karena itu, bagi kebanyakan materi, umumnya dianggap bahwa tegangan tekan yang bisa ditenggang adalah sama dengan tegangan tarik yang dapat ditenggang. Bagi logam yang tidak homogen, misalnya, besi tuang yang kelabu, perunggu grafit, dan lain sebagainya, batas redamannya adalah lebih tinggi. Jarak ukur batang uji untuk mengukur kekuatan tekan dibuat sama dengan diameter batang. Dan jarak ukur itu adalah sama dengan panjangnya batang. Secara normal uji tekan itu dilakukan pada temperatur antara  $15 - 25^\circ\text{C}$ . Kalau tidak begitu, maka pada hasil pengukurannya harus tercantum

temperatur yang berlaku pada waktu pengujian. Hasil-hasil pengujian hanya bisa dipersamakan apabila batang uji mempunyai bentuk yang sama dan cara penggarapan permukaan torak serta kedua ujungnya juga sama. Permukaan bagian torak harus dibubut hingga licin atau diasah. Kedua ujungnya harus digarap sehingga rata dan dilicinkan sebaik mungkin memakai kain ampelas.

### 13. UJI LONGSOR

Pengujian ini dilakukan dengan pesawat pelongsor (gambar 13-1). Kegunaannya ialah untuk mengukur kekuatan longsor ( $\tau_p$ ) suatu materi:

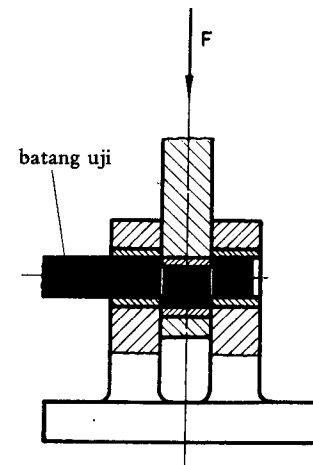
$$\tau_p = \frac{F}{2 \times A_0} \text{ N/mm}^2 \text{ (atau kN/cm}^2\text{)}$$

$F$  = beban maximum dalam N

$A_0$  = penampang batang yang asal dalam  $\text{mm}^2$

Uji longsor biasanya dipergunakan untuk menguji paku kantung. Kekuatan longsor suatu materi kira-kira sama dengan 0,7 kali kekuatan tariknya.

$$\tau_p = 0,7 \sigma_p$$

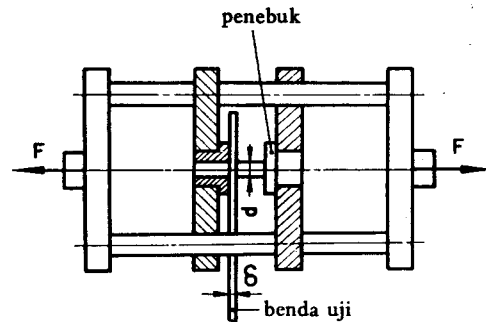


Gambar 13-1. Pesawat Uji Longsor.

lazimnya, pengujian ini dilakukan pada temperatur 15 – 20°C. Kalau tidak begitu, maka pada hasil pengujian harus tercantum temperatur pengujian. Uji longsor, kendatipun bukan cara yang biasa, juga dapat dilakukan dengan mempergunakan Houndsfield-tensometer. Kepada bangku tarik ini dirakitkan suatu piranti yang ditunjukkan oleh gambar 13-2. Dengan mempergunakan penebuk yang merupakan lengkapan piranti itu, dapat dibuat lubang-lubang kecil pada benda uji. Dengan membagi beban maximal yang timbul pada pengujian dengan penampang materi yang ditebuk, kekuatan longsor dapat dihitung (beban dinyatakan dalam N dan penampang dinyatakan dalam mm<sup>2</sup>).

$$\sigma_p = \frac{F}{A_0} = \frac{F}{\pi \times d \times \delta} \text{ N/mm}^2$$

Tebal benda uji tidak boleh lebih daripada diameter (d) penebuk. Hal ini berkaitan dengan tekanan mendatar antara bidang iris penebuk dengan benda uji.



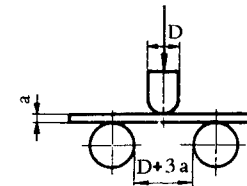
Gambar 13.2. Uji Longsor dengan Houndsfield tensometer.

## 14. UJI CANGGA LENGKUNG

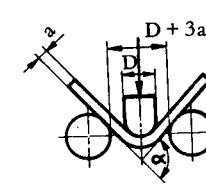
Pengujian ini dipergunakan untuk meneliti apakah batang uji suatu materi dengan penampang tertentu dan pada temperatur tertentu dapat dilengkungkan menurut jari-jari yang telah ditetapkan tanpa ada retak di sisi luar lengkungan.

Pengujian ini dapat dilakukan dengan cara yang ditunjukkan oleh gambar 14-1. Sudut lengkung setelah beban dilipurkan dinyatakan pada gambar dengan  $\alpha$  (gambar 14-2). Pelengkungan antara dua torak dapat diteruskan sampai sudut lengkung 140°. Agar diperoleh sudut lengkung antara 140° dan 180°, harus dilakukan cara kerja yang ditunjukkan oleh gambar 14-3. Selain yang berbentuk prisma, penampang batang uji dapat pula berbentuk bundar, segi panjang, dan lain-lain. Pada bentuk yang terakhir, kedua sisi penampang yang berhadap-hadapan harus sejajar. Lebar minimum penampang sekurang-kurangnya harus sama dengan tebalnya batang, sedangkan lebar maximum penampang tidak boleh lebih daripada 4 kali tebalnya batang. Panjangnya batang uji sekurang-kurangnya harus sama dengan:  $D + 3 \times a + 40 \text{ mm}$  + diameter torak penyangga (gambar 14-1).

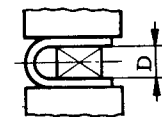
Selain pembulatan sudut-sudutnya dengan radius paling banyak 1/10 daripada tebalnya batang, batang-batang uji itu tidak memerlukan penggarapan lain secara khusus. Uji lengkung dengan Hounsfield-tensometer dapat dilakukan dengan cara seperti ditampilkan pada gambar 14-4. Ukuran bagi batang uji yang dipakai di sini dapat dilihat pada gambar 14-5.



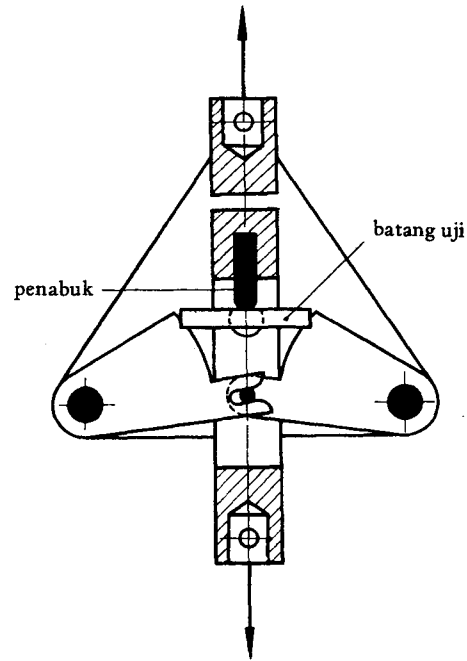
Gambar 14-1.  
Ukuran-ukuran pada  
pesawat uji lengkung



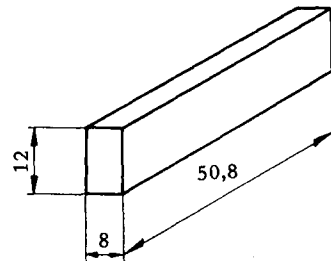
Gambar 14-2.  
Pengertian sudut lengkung



Gambar 14-3.  
Mencapai sudut lengkung  
antara 140° – 180°



Gambar 14-4. Uji lengkung dengan Hounsfield-tensometer

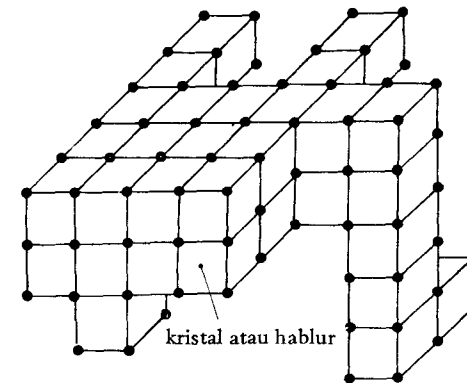


Gambar 14-5. Ukuran standar uji cangga lengkung

## 15. MENAMPILKAN STRUKTUR MATERI

Sebagaimana diketahui, logam itu terdiri atas kristalit yang pada gilirannya tersusun lagi oleh atom (gambar 15-1).

Kristalit dapat ditampilkan, meskipun untuk itu diperlukan magnifikasi yang sangat kuat. Namun atom tidak mungkin dilihat. Oleh karena perbatasan antarkristalit dapat ditampilkan, maka semua ukuran kristalit dapat tercerap.



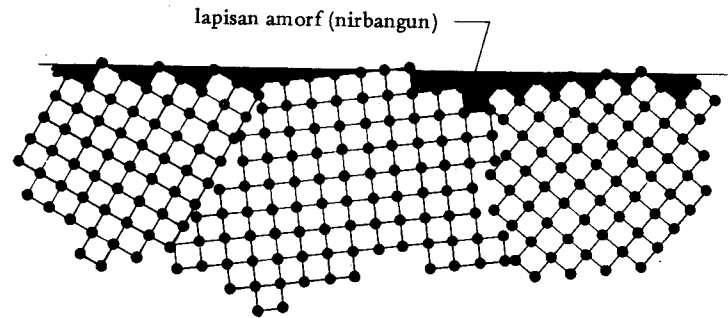
Gambar 15-1. Struktur kristal

Kadang-kadang kristalit itu begitu besar sehingga dapat dilihat dengan mata bugil. Dalam hal ini, tempat yang akan diperiksa cukup digarap dengan kain empelas. Pemeriksaan kristalit yang harus diperbesar beberapa kali supaya dapat terlihat (maximum 40 kali) disebut *pemeriksaan makroskopik*.

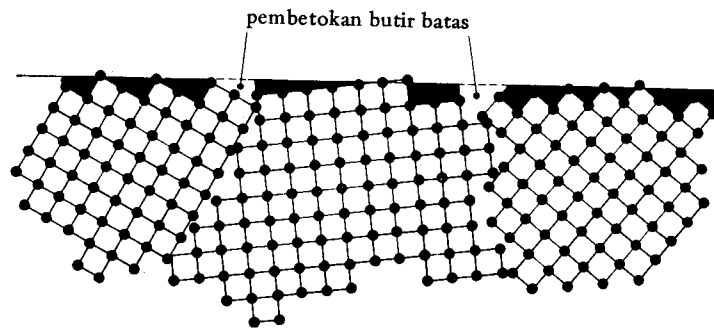
Umumnya kristalit itu begitu kecil sehingga untuk dapat melihatnya harus diperbesar beberapa ratus kali. Pemeriksaan yang demikian disebut *pemeriksaan mikroskopik*. Baik pada pemeriksaan makroskopik maupun pada

pemeriksaan mikroskopik, tidaklah mungkin melakukan pemeriksaan struktur apabila permukaan logam tidak cukup dilicinkan. Permukaan logam yang hendak diperiksa harus diupam (dilecok). Sekerat logam, yang strukturnya hendak kita periksa disebut *preparat*.

Agar bentuk dan ukuran kristalit dapat dicerap, biasanya yang perlu ditampilkan ialah perbatasan kristalit itu. Hal ini mudah dilakukan dengan menggarap



Gambar 15-2. Permukaan yang diupam (dilecok)

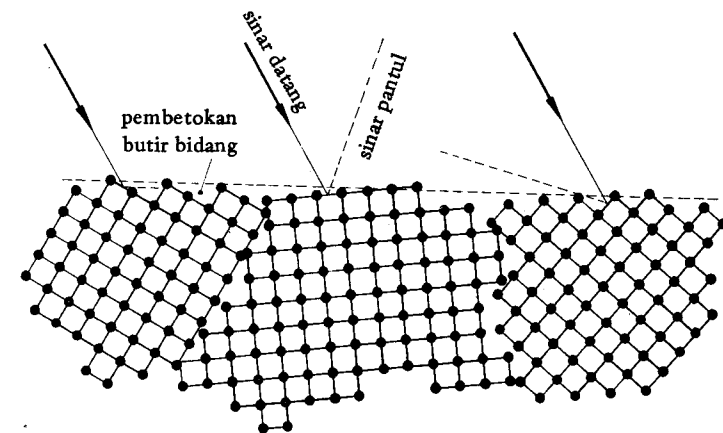


Gambar 15-3. Betok batas kristal

bidang yang sudah diupam dengan obat betok. Di perbatasan antarkristalit terjadi pembetokan paling banyak terhadap lapisan yang nirbangun (amorf) yang terbentuk waktu pengupaman, akibat tegangan yang paling tinggi yang terdapat di tempat-tempat pada perbatasan itu (gambar 15-3). Dengan

menerapkan apa yang disebut *betok batas kristal* ini, kita dapat meneliti bentuk dan ukuran kristalit (gambar 15-5).

Apabila pemeriksaan ditujukan untuk penelitian bangunan kristal dan sebagainya, maka lapisan amorf yang timbul akibat lecokan harus dihilangkan samasekali (gambar 15-4). Pembetokan yang terakhir ini disebut *betok bidang kristal* yang kalau perlu dapat saja merupakan garapan lanjut daripada preparat betok batas kristal. Kiblat atau orientasi daripada bidang-bidang kisi kristalit yang letaknya berdekatan sangat berbeda-beda. Akibat perbedaan ini dan bergantung pada arah cahaya pantulan yang tertangkap oleh mata,

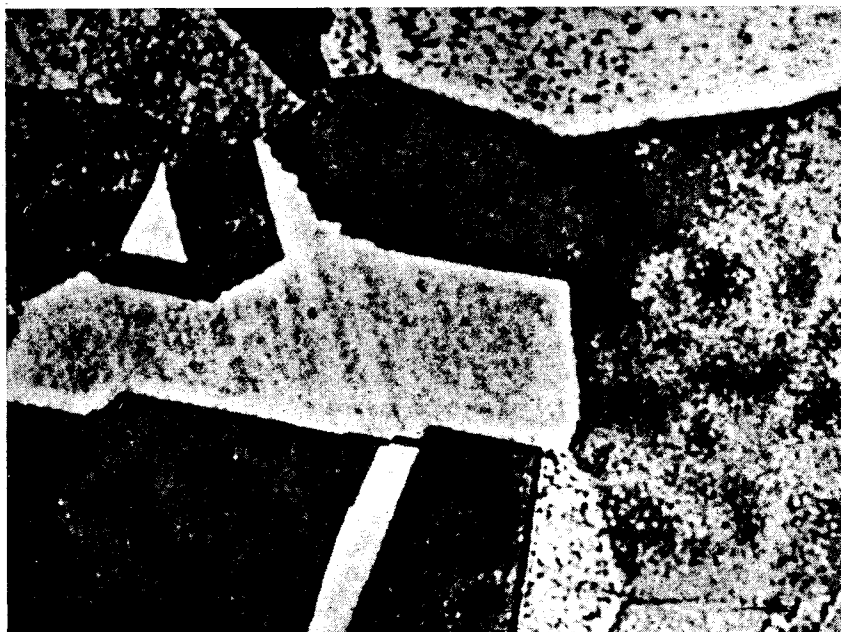


Gambar 15-4. Betok bidang kristal

maka akan tampak bahwa kristalit yang satu seakan-akan lebih gelap daripada yang lainnya (gambar 15-6). Berbagai komponen yang terdapat dalam logam sobokan dapat ditampilkan dengan mempergunakan bermacam-macam obat betok, ada yang dapat membetok komponen tertentu paling kuat, ada yang dapat memberi warna tertentu, dan seterusnya.



Gambar 15-5. Betok batas kristal diperbesar 1000 X

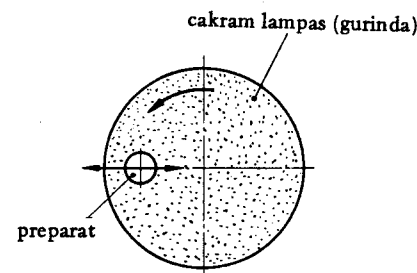


Gambar 15-6. Betok batas kristal + betok bidang kristal (diperbesar 1000 X)

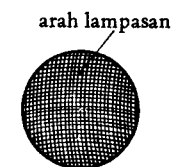
## 16. MEMPERSIAPKAN PREPARAT

Apabila tempat pada preparat yang strukturnya akan diperiksa sudah ditetapkan, maka terhadap tempat ini dilakukan garapan pendahuluan berupa pengikiran dan pelecokan. Pada pelecokan harus diperhatikan supaya temperaturnya tidak naik terlalu tinggi sehingga terjadi perubahan struktur setempat. Hal ini berlaku terutama bagi materi yang ditegarkan. Setelah garapan pendahuluan ini, garapan selanjutnya ialah garapan dengan kertas empelas amaryl (secara berurutan dipakai nomor 3, 1, 00, dan 000). Kalau tersedia mesin lampas ligat, kita dapat mempergunakan cakram lampas yang kepada sisi-sisinya direkatkan kertas empelas dengan nomor yang dikehendaki (ukuran butir pada kertas empelas). Dianjurkan agar selama pelampasan, preparatnya digerakkan bolak-balik terhadap cakram menurut arah yang ditunjukkan pada gambar 16-1. Maksudnya ialah mencegah goresan yang terlalu dalam pada preparat dan keausan yang tidak merata pada kertas empelas. Pelampasannya dilakukan sampai goresan-goresan dari garapan yang sebelumnya menjadi lipur samasekali. Pada pelampasan memakai kertas dengan nomor butir yang berikutnya, arah pelampasannya harus tegak lurus terhadap arah pelampasan yang sebelumnya. (lihat gambar 16-2).

Yang diutamakan ialah memperoleh permukaan yang selicin mungkin, karena hal ini akan memperpendek waktu garapan yang berikutnya, yaitu pengupaman. Selain itu, yang selama pelampasan harus dijaga ialah kenaikan



Gambar 16-1. Cara melampas preparat

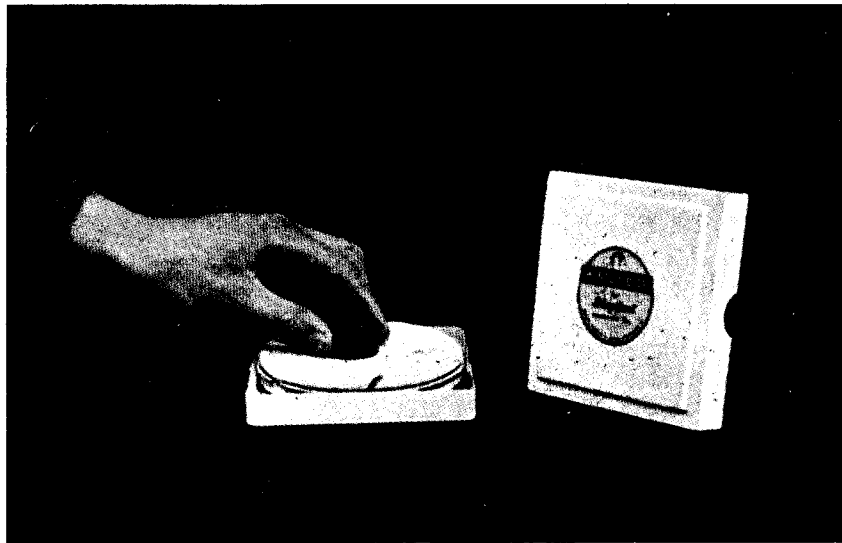


Gambar 16-2. Arah lampasan

temperatur yang begitu tinggi sehingga timbul perubahan struktur. Juga preparat yang ditekan terlalu kuat kepada cakram lampas akan mengakibatkan perubahan struktur. Setelah usai pelampasan, preparat harus dibilas untuk menghilangkan butir-butir lampasan. Selanjutnya preparat harus dilecok atau diupam.

Bagi pemeriksaan makroskopik, preparat biasanya tidak perlu dilecok. Untuk itu, pelampasan halus seperti diutarakan di atas sudah cukup memadai. Pelecokan biasanya dilakukan dengan cakram ligat yang dibungkus erat dengan kain flanel. Kain ini dibasahi dengan air yang dicampur dengan obat lecok yang berupa tepung, misalnya, khromoxida.

Yang harus dijaga baik-baik ialah agar tepung pelecok dan kain pelecok tidak terkena pengotoran. Hal ini perlu diperhatikan supaya preparat tidak terkena goresan-goresan. Seandainya preparat itu terjatuh, maka preparat itu harus dibilas dengan air yang bersih. Dan kalau hendak melihat sudah sejauh mana pelecokan itu berhasil, preparat itu harus dibilas dan kemudian digosok hingga kering dengan kain flanel yang kering. Apabila melalui mikroskop tampak sudah tidak ada goresan-goresan lagi, maka pelecokan telah selesai. Baik pada pelampasan maupun pada pelecokan, preparat harus ditekan kepada cakram begitu rupa sehingga kalau terlepas dari pegangan, preparat itu akan terlempar langsung ke tanah (gambar 16-1).



Gambar 16-3. Melecok preparat

Kalau tidak tersedia mesin lecok yang meligat, kita dapat melecok preparat itu dengan tangan menurut cara yang ditunjukkan oleh gambar 16-3. Cakram-cakram lecok dengan lengkapannya seperti kain lecok dan kemasan pasta lecok dapat dibeli di toko. Preparat yang kecil paling mudah dapat digarap dengan membenamkannya terlebih dahulu ke dalam bahan sintetik. Preparat dibenamkan dalam tabung kecil dari bahan sintetik bersama-sama dengan poliester tak jenuh, stirena, aselerator, dan obat pemakas.

# 17. PEMBETOKAN

Sebagaimana telah dijelaskan, pembedokan ialah pengikisan secara kimia terhadap lapisan amorf yang terbentuk waktu pelecokan. Untuk itu, preparat dibenamkan ke dalam obat betok dengan permukaan yang dilecok di sebelah atas. Kalau obat betok itu bening, dengan cara ini kita dapat mencerap jalannya proses pembedokan. Membenamkan ke dalam obat betok maupun mengambil dari obat betok harus dikerjakan memakai cunam kecil yang paling tahan terhadap pengikisan. Selama proses pembedokan, obat betok di sekitar preparat akan mengalami perubahan sehingga kegiatannya akan berkurang. Oleh karena itu, obat betok atau preparat itu penting untuk digerak-gerak (memakai cunam) sehingga preparat senantiasa disentuh oleh obat betok yang masih giat. Pembedokan harus dihentikan apabila permukaan yang dilecok mulai menjadi pudar. Lebih baik pembedok terlalu sedikit daripada kebanyakan. Apabila kemudian ternyata bahwa pembedokan itu terlalu sedikit, maka penggarapannya mudah sekali untuk diteruskan lagi. Tetapi apabila ternyata bahwa pembedokannya itu terlalu keras, kita harus melecok kembali preparatnya.

Seusai pembedokan, preparat harus dibilas dengan air yang mengalir terus dari pancur air. Terkecuali permukaan yang dilecok, preparat harus dikeringkan memakai sehelai kain. Permukaan yang dilecok dibilas kemudian dengan alkohol. Setelah itu, preparat dikipas-kipaskan supaya alkohol menguap sebanyak mungkin, dan pengeringan seterusnya dapat dilakukan dengan baik kalau memakai aliran udara yang panas. Membilas dengan alkohol mempercepat pengeringan bidang yang dibetok.

## Macam-macam obat betok dengan penerapannya

### PEMERIKSAAN MAKROSKOPIK TERHADAP BAJA

PENERAPAN	OBAT BETOK	CATATAN
menampilkan retak, dll	larutan HCl (asam khlorida) perbandingan volum 1 : 1	

## PENERAPAN

## OBAT BETOK

## CATATAN

memeriksa kumuhan (elasan)	obat betok Adler, 3 gr tembaga-amoniumkhlorida dilarutkan dalam 25 cm <sup>3</sup> air, ditambah dengan 50 cm <sup>3</sup> HCl dan 15 gr FeCl	
segregasi fosfor	tembaga-amoniumkhlorida	
PEMERIKSAAN MIKROSKOPIK TERHADAP BAJA		
pemeriksaan struktur yang umum	3 cm <sup>3</sup> HNO <sub>3</sub> (asam nitrat) + 97 cm <sup>3</sup> alkohol	baja hipoperlitik
membedakan sementit sembir daripada ferit sembir	natriumpikrat: 2 gr asam pikrat + 25 gr NaOH + 75 cm <sup>3</sup> air	Fe tidak terkikis dibetok pada 70°C
pemeriksaan struktur yang umum dan khusus untuk perlit	4 gr asam pikrat dalam 100 cm <sup>3</sup> alkohol	baja hiperperlitik
martensit (baja sipuh)	obat betok cepat Kourbatoff 1 bagian terdiri atas: 4% asam pikrat dan 96% alkohol + 10 bagian terdiri atas: 4% asam nitrat dan 96% alkohol	
baja nirkarat (austenitik)	obat betok Villela: 3 bagian gliserol + 2 bagian HCl pekat + 1 bagian asam nitrat	harus diikuti urutannya dan jangan sekali-kali memakai asam khlorida encer*
PEMERIKSAAN MIKROSKOPIK TERHADAP TEMBAGA DAN SOBOKANNYA		
pemeriksaan struktur umum	amonias: 1 bagian NH <sub>3</sub> dalam 3 bagian air	cara pembedok: permukaan digosok dengan kapas yang dicelupkan dalam amonia, kapas harus sering diangkat
perunggu dan kuningan	5 gr FeCl <sub>3</sub> + 30 cm <sup>3</sup> HCl + 100 cm <sup>3</sup> alkohol	

\* apabila urutannya salah atau memakai asam khlorida encer, gliserina akan bertemu dengan asam nitrat dan terjadi nitogliserina yang berbahaya karena eksplosif.

**PEMERIKSAAN MIKROSKOPIK ALUMINIUM DAN SOBOKANNYA**  
Al dan sobokan Al  $0,5 \text{ cm}^3$  HF +  $99,5 \text{ cm}^3$  air

PENERAPAN	OBAT BETOK	CATATAN
rekristalisasi (lihat 10)	HF (asam fluorida) dan air saja	mula-mula dalam HF kemudian (setelah di-bilas) dalam air raja

**PEMERIKSAAN MAKROSKOPIK TIMAH DAN SOBOKANNYA**

pemeriksaan struktur umum	$99,5 \text{ cm}^3$ HCl + $0,5 \text{ cm}^3$ HCl
---------------------------	--

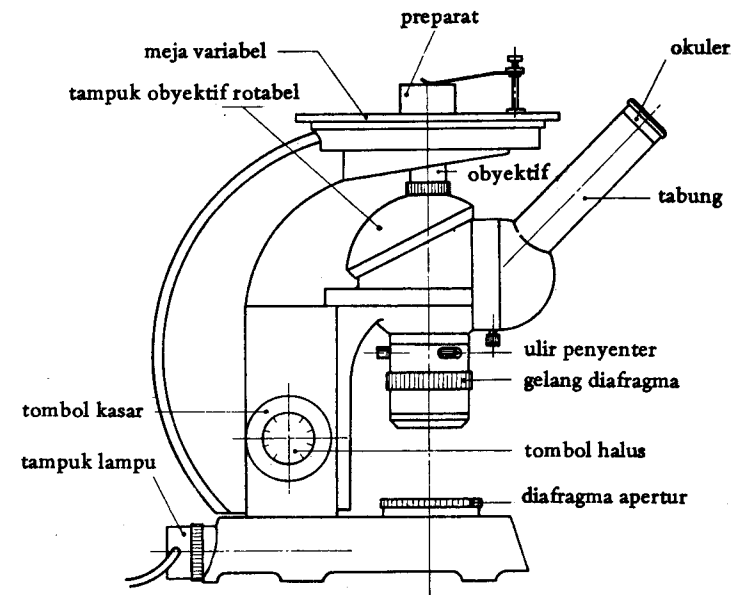
**PEMERIKSAAN MIKROSKOPIK TIMAH DAN SOBOKANNYA**

logam bantalan	$5 \text{ cm}^3$ HCl + $95 \text{ cm}^3$ alkohol
----------------	--

## 18. PEMERIKSAAN MIKROSKOPIK

Suatu preparat dapat diperiksa menurut cara-cara yang berikut (sebagian sudah diuraikan):

- Dengan mata bugil.
- Makroskopik (memakai suryakanta)
- Mikroskopik



Gambar 18-1. Mikroskop standar Zeiss untuk logam

Dalam yang berikut ini akan diuraikan prosedur pemakaian mikroskop logam standar Zeiss (gambar 18-1). Cara menyetelkan gambar dengan mikroskop ini ialah:

- menyalakan lampu (kontaktor pada transformator).

2. preparat yang harus diperiksa ditaruh dengan permukaan yang dilecok pada meja mikroskop yang dapat bergerak dan dijepit dengan pegas.
3. memasang obyektif yang akan dipakai.
4. sambil diamati melalui okuler, gambar kasar disetelkan dengan tombol kasar, dan setelah itu, gambar jelas disetelkan dengan tombol halus.
5. bundaran gambar dalam tabung mikroskop diperkecil dengan memutar-kan gelang diafragma, sehingga seluruh bundaran gambar tampak pada okuler.
6. bundaran gambar digeserkan memakai ulir penyenter ke tengah-tengah okuler.
7. diafragma tabung cahaya dibuka begitu lebar dengan gelang diafragma, sehingga batas bundaran gambar tidak tampak lagi pada okuler.
8. lampu penerang disetelkan begitu rupa dengan menggeser-geser tampuk sehingga bundaran gambar memperoleh cahaya yang merata, dan setelah itu, tampuk tersebut dicunam di tempatnya yang baru.
9. diafragma apertur disetelkan begitu rupa sehingga separuhnya sampai tiga perempatnya diameter lubang obyektif mendapat cahaya, dan setelah okuler dilepaskan, diameter penerang ini akan tampak dalam tabung.
10. setelah okuler dipasangkan kembali, pemeriksaan struktur dapat di-mulai.

Apabila obyektif atau okuler diganti, gambar benda harus disetelkan kembali melalui prosedur yang diutarakan di atas.

#### MAGNIFASI TOTAL DIHITUNG SEBAGAI BERIKUT:

bilangan pertama pada bingkai obyektif  $\times$  magnifikasi okuler  $\times 1,25$  (bilangan yang terakhir ini ialah faktor yang merupakan konstanta tabung pada *Zeiss Standaard-Metall-Mikroskop*).

Kalau kita hendak meneliti dengan seksama suatu tempat tertentu pada preparat yang, misalnya, mempunyai kelainan yang dapat diamati dengan mata bugil, maka tempat tersebut harus ditempatkan pada bundaran gambar. Karena hal itu harus dilakukan dengan menggeser-geserkan preparat (berhati-hatilah terhadap kemungkinan goresan), maka hal tersebut paling cepat dapat dikerjakan dengan memperkecil magnifikasi mikroskop, karena dengan magnifikasi yang kecil, bagian permukaan preparat yang cukup luas akan tampak pada bundaran gambar.

Kalau tempat yang dikehendaki itu sudah terletak di tengah-tengah bundaran gambar, kita dapat memperbesar kembali magnifikasi mikroskop dan setelah gambar disetelkan kembali supaya menjadi jelas, maka penelitian yang seksama dapat dimulai.

Setelah dilecok, preparat harus diamat-amati dahulu dengan mata bugil, dan setelah itu diteliti dengan mikroskop. Kadang-kadang diperoleh beberapa kesan mengenai ukuran butir, dan kemungkinan diketemukannya liang kecil-kecil, kendala, retak-retak, dan lain sebagainya.

Kalau dengan demikian, tidak atau kurang diperoleh gambaran yang jelas, kita terapkan metoda betok batas kristal. Setelah dibetok, preparat harus diperiksa lagi, baik dengan mata bugil maupun dengan mikroskop. Yang terutama akan diperoleh ialah gambaran tentang bentuk dan ukuran butir kristal. Kalau betok batas kristal diikuti dengan betok bidang kristal, akan diperoleh pula gambaran tentang komposisi materi, karena sekarang, berbagai komponen akan tampak akibat pengikisan yang tidak merata.

## 19. BAJA, GARAPAN PANAS DAN LAIN-LAIN

Dalam yang berikut sekarang ini akan diuraikan beberapa macam garapan panas terhadap baja yang hasilnya dapat dicera dengan penelitian struktur. Sebagaimana diketahui, baja itu ialah bahan sobokan daripada besi dengan senyawa karbon sementit,  $\text{Fe}_3\text{C}$ . Sementit meninggikan kekuatan tarik  $\sigma_p$ , batas regangan  $\sigma_R$ , kemakasan, dan kepekaan takik. Sementit mengurangi regangan, kesiapsudipan, kesiaptampaan, dan kesiaphantaran bagi elektrik dan kalor.

Selain karbon yang terikat, baja juga mengandung: *belerang, fosfor, mangan, nitrogen, oksigen, silisium, dan aluminium*. Sebagian besar unsur-unsur ini mempunyai pengaruh buruk terhadap mutu baja dan karena itu harus dianggap sebagai kelancangan. Unsur-unsur tersebut berasal dari bijih atau terserap dari bahan bakar atau dari udara waktu pembuatan dalam tanur dan proses pembajaan.

**BELERANG** memperbaiki kesiapsudipan baja (memudahkan penyerpihan atau penatalan), namun mengakibatkan kegetasan (sukar ditempa) pada keadaan panas.

**FOSFOR** mempertinggi batas regangan dan ketahanan korosi, namun mengakibatkan kegetasan pada keadaan dingin (nilai pukul takik yang rendah).

**MANGAN** berkhasiat untuk mencegah oksidasi, menawarkan belerang, dan mendorong pembentukan sementit.

**NITROGEN** membuat baja menjadi peka rentan (setelah lama menjadi getas).

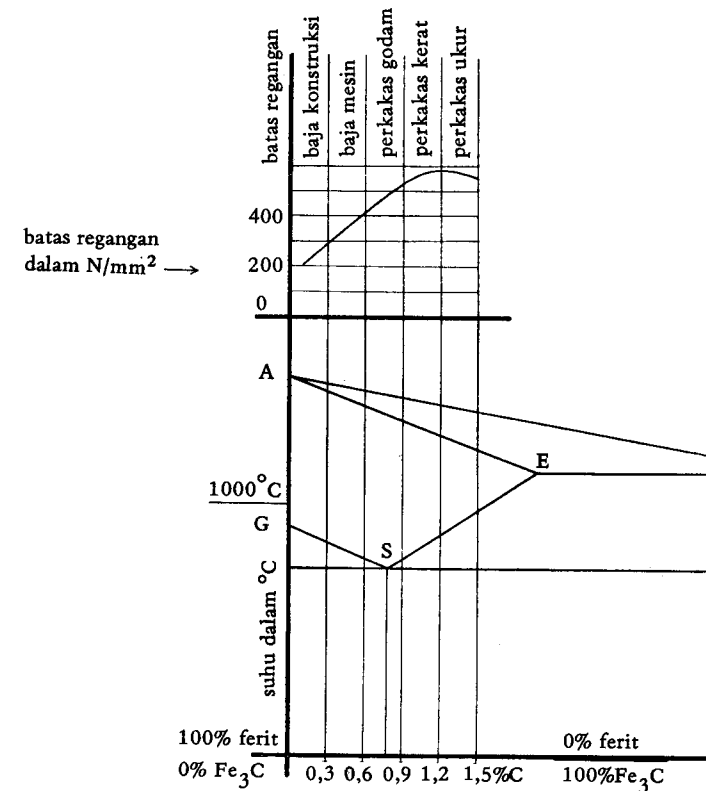
**OKSIGEN** tidak dikehendaki karena pengaruh oksidasinya.

**SILISIUM** mengikat oksigen dan menghambat pembentukan sementit, dengan perkataan lain mendorong pembentukan karbon bebas (penting bagi besi tuang).

**ALUMINIUM** mengikat oksigen dan belerang.

Apabila dengan maksud yang khusus kepada baja ditambahkan satu atau beberapa unsur yang tertentu, maka baja yang diperoleh itu disebut baja sobokan. Dalam diagram besi-karbon yang disederhanakan (lebih tepat

kalau dijuluki diagram besi-sementit) pada gambar 19-1, diperlihatkan daerah penerapan bagi berbagai jenis baja.



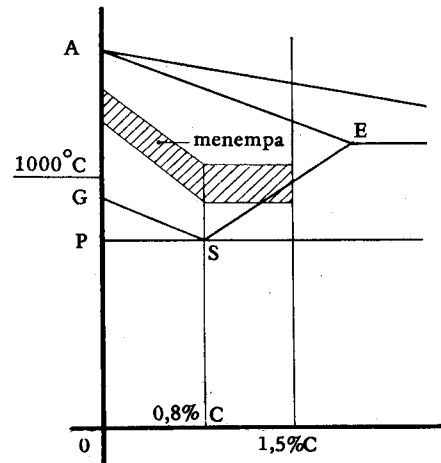
Gambar 19-1. Diagram besi-karbon yang disederhanakan

### Canggaan (deformasi) dingin dan canggaan panas terhadap baja

Sebagaimana diketahui, kita memisahkan canggaan panas dan canggaan dingin terhadap logam. Pada canggaan dingin terjadi penegaran, yang berarti perubahan struktur yang permanen (gambar 7-4, halaman 25).

Pada canggaan panas juga terjadi perubahan struktur yang permanen, tetapi segera diikuti oleh rekristalisasi. Canggaan panas terhadap baja dengan kadar karbon yang kurang dari 1,5% harus dilakukan dalam daerah temperatur yang ditunjukkan oleh gambar 19-2, dan perlu untuk dikemukakan bahwa canggaan yang paling mudah harus dilakukan pada temperatur paling tinggi.

Canggaan pada temperatur paling rendah menyebabkan tegangan pada perbatasan kristal menjadi tinggi sekali. Oleh karena itu, jumlah benih rekristalisasi menjadi besar dan pada rekristalisasi timbul struktur yang renik.



Gambar 19-2. Deformasi baja dengan kadar karbon kurang dari 1,5%

Deformasi dingin terhadap baja, yaitu pada suhu yang terletak di bawah garis PS (gambar 19-2) akan semakin sukar, apabila prosenan karbon menjadi semakin tinggi. Hal ini disebabkan oleh kadar sementit yang semakin tinggi (dalam perlit).

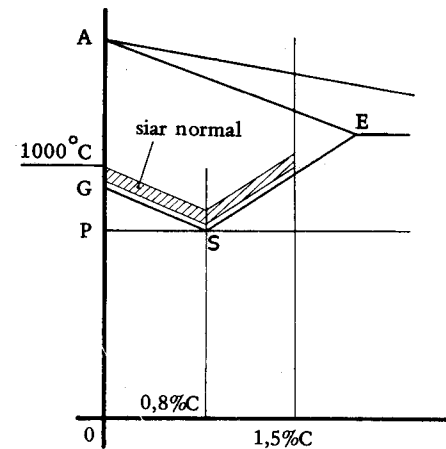
Baja dengan prosenan karbon lebih tinggi daripada 0,5% tidak boleh lagi dideformasikan dingin.

#### Siar normal atau normalisasi

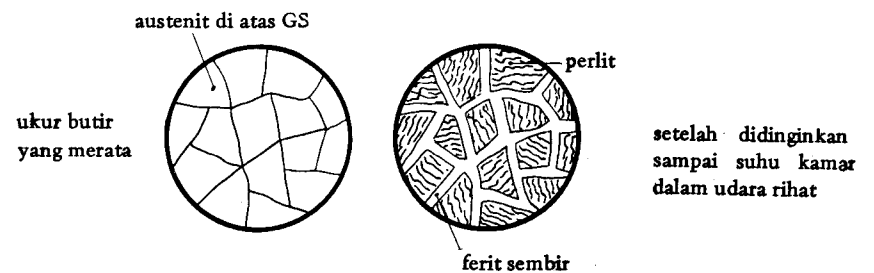
Meskipun pada kenyataannya baja konstruksi dan baja mesin dideformasikan (misalnya dicanai atau ditempa) dalam keadaan panas, dan komposisi materi pun sama, namun pada sifat-sifatnya sering terdapat perbedaan. Hal ini disebabkan oleh temperatur canai sosok yang satu bisa lebih rendah daripada temperatur canai sosok yang lain. Karena itu, sosok yang pertama akan memiliki struktur yang lebih renik dan di samping itu, mengalami sedikit penegaran. Hal ini mengakibatkan perbedaan dalam: kekuatan tarik, batas regangan, dan kemakasan. Apabila ingin memperoleh, misalnya, baja sosok dengan komposisi tertentu yang tiap sosoknya memiliki sifat yang sama, maka harus diusahakan agar tiap sosok memiliki struktur yang sama. Hal ini dapat dicapai dengan siar normal. Siar normal ialah pemanasan baja sampai

daerah temperatur austenitik sebagaimana ditunjukkan oleh gambar 19-3, dan diikuti oleh pendinginan dalam udara rihat.

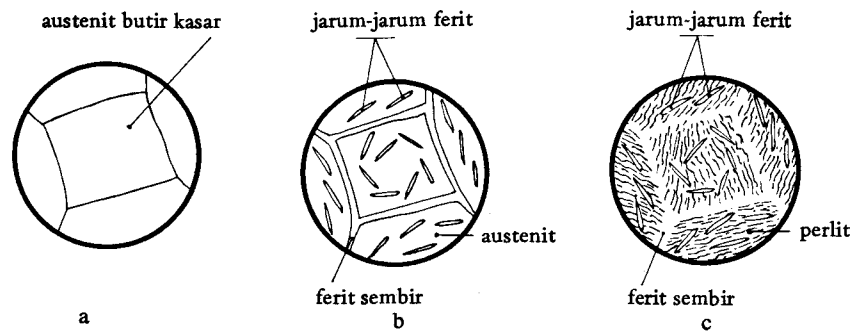
Kalau garapan panas ini dilaksanakan dengan baik, pada baja dengan prosenan karbon yang lebih rendah daripada 0,8% akan terjadi struktur yang renik yang terdiri atas ferit sembir dan perlit papasan (gambar 19-4). Suhu siar yang terlalu tinggi atau masa siar yang terlalu lama mengakibatkan pembentukan *kristalit austenit berbutir kasar* (gambar 19-5a). Bilamana dalam hal itu, pada waktu pendinginan, garis peralihan GS dilalui, maka sebagaimana diketahui, akan mulai terjadi peralihan dari austenit kepada ferit. Karena hal ini paling mudah terjadi pada perbatasan kristal, maka karbon yang menjadi bebas di sini harus berdifusi dari luar ke dalam kristal.



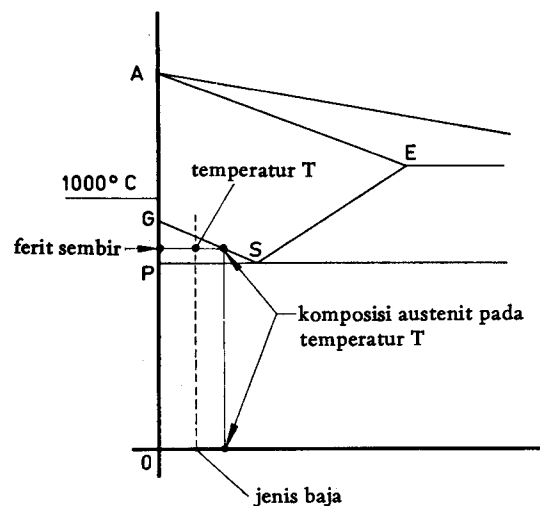
Gambar 19-3. Siar normal



Gambar 19-4. Struktur setelah siar normal



Gambar 19-5. Suhu siar terlalu tinggi masa siar terlalu lama



Gambar 19-6. Penyiaran salah dalam diagram

Pada temperatur yang tertentu (titik T pada gambar 19-6), hadir berdampingan dalam keseimbangan: austenit dengan komposisi yang ditunjukkan oleh gambar 19-6) dengan ferit. Karena difusi pada kristalit austenit yang besar harus menempuh jarak yang jauh, maka difusi itu akan memakan tempo terlalu lama. Dan akibatnya ialah bahwa dalam kristalit austenit mulai terbentuk ferit berbentuk jarum (sudut yang sering dijumpai pada ujungnya ialah  $60^\circ$ ).

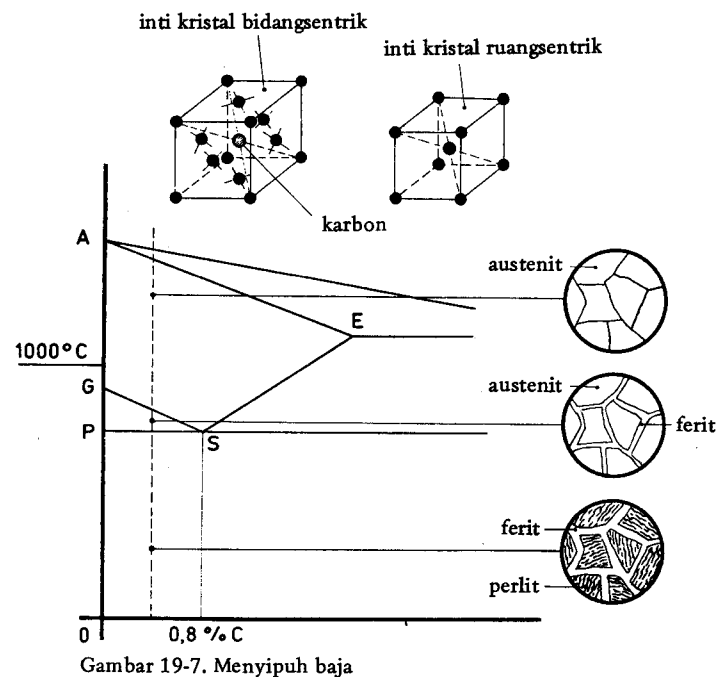
Pengendapan ferit secara dakhil ini perlu terjadi supaya prosenan karbon dalam austenit pada temperatur yang tertentu memperoleh harga yang merupakan lengkapannya pada temperatur tersebut (lihat komposisi yang

ditunjukkan pada gambar 19-6). Struktur yang akhirnya diperoleh ialah struktur yang getas yang tidak dikehendaki dan terkenal dengan julukan struktur Widmannstatten (gambar 19-5c). Struktur demikian sering dijumpai pada baja tuang. Struktur yang normal dapat diperoleh kembali apabila baja ini disiar dengan baik.

### Menyipuh baja

Yang sangat penting pada sipuh baja ialah kecepatan pendinginannya. Hanya jikalau didinginkan cukup perlahan-lahan, maka pada suhu kamar akan diperoleh struktur yang terdiri atas perlit dan ferit. Sebabnya ialah karena untuk berbagai peralihan struktur diperlukan waktu tertentu. Secara normal, pada temperatur di bawah garis GS (gambar 19-7), struktur austenit yang memiliki inti kristal bidangsentrisk untuk sebagian akan beralih menjadi struktur ferit yang memiliki inti kristal ruang sentrik. Pada temperatur di bawah garis PS, sisa austenit beralih menjadi perlit (sementit berlamelkan ferit).

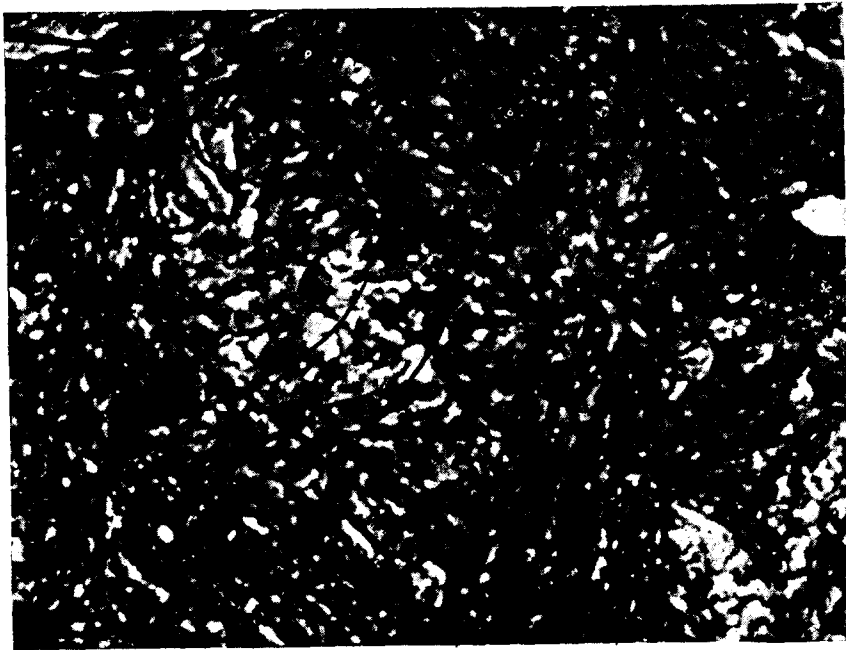
Peralihan ini didahului oleh pembentukan benih kristal. Dengan kecepatan pendinginan yang normal akan terbentuk papasan sementit yang cukup besar karena secara relatif jumlah benihnya tidak banyak. Tetapi apabila didinginkan lebih cepat daripada normal, maka akibat sempitnya waktu,



Gambar 19-7. Menyipuh baja

peralihan-peralihan yang tersebut di atas tidak akan segera terjadi dekat di bawah garis GS dan garis PS, melainkan pada temperatur yang jauh lebih rendah. Akibat peralihan yang berlangsung pada temperatur yang jauh lebih rendah ini, jumlah benih pada awal peralihan akan jauh lebih banyak daripada normal. Yang terakhir ini menyebabkan terbentuknya banyak papasan sementit yang kecil-kecil. Apabila baja dari daerah austenitik didinginkan sangat cepat, misalnya dalam air, maka pada  $200^{\circ}\text{C}$  masih terdapat struktur austenit. Tetapi di bawah temperatur ini, austenit itu dalam waktu singkat akan berubah menjadi ferit yang berbentuk jarum. Sekarang, karbon yang pada keadaan normal sedianya harus mengendap sebagai sementit akan tetap larut dalam jarum-jarum ferit yang terbentuk itu, karena karbon pada temperatur ini hanya memiliki keleluasaan gerak yang terbatas. Karena itu timbullah gangguan yang sangat kuat terhadap kisi kristal (bidang kisi yang melengkung seperti pada deformasi dingin), yang menyebabkan kemakasan tinggi pada baja.

Struktur yang terbentuk pada garapan panas yang tersebut di atas disebut *martensit* (gambar 19-8). Garapannya sendiri disebut *penyipuhan baja* atau *pemakasan baja*.



Gambar 19-8. Struktur martensit dengan magnifikasi  $1000\times$

Struktur martensit hanya terbentuk apabila kecepatan pendinginannya cukup tinggi. Dalam pada itu harus diperhatikan bahwa kecepatannya harus semakin tinggi apabila prosenan karbon semakin rendah. Kalau kecepatan difusi karbon lebih rendah daripada kecepatan pembentukan ferit, maka karbon itu akan tetap dalam larutan.

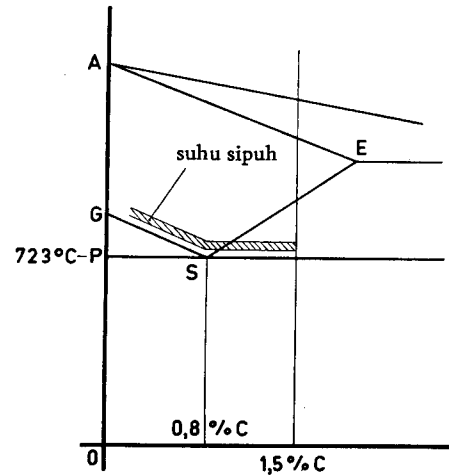
Dengan bertambahnya kadar karbon, kecepatan difusi akan berkurang sehingga pendinginan dapat berlangsung lebih lambat tetapi karbon dapat tetap tersimpul dalam kisi kristal.

Umumnya peralihan ke struktur martensit itu tidak menyeluruh, dan ada sebagian struktur austenit yang tetap utuh. Austenit yang masih utuh ini disebut austenit sisa. Jadi, semakin tinggi prosenan karbon, akan semakin tinggi pula kemakasan baja yang disipuh (juga berlaku bagi baja yang tidak disipuh). Baja yang mempunyai kadar karbon yang lebih daripada 0,3% disebut baja *siapsipuh* karena dapat disipuh dengan pendingin yang normal seperti air. Baja yang mengandung karbon kurang daripada 0,3% hanya bisa disipuh dengan mempergunakan pendingin yang khusus. Bilamana dikehendaki agar temperatur sipuh bisa masuk sampai ke inti baja yang mengandung karbon kurang daripada 0,8%, maka baja tersebut harus dipanaskan terlebih dahulu sampai 30 atau  $60^{\circ}\text{C}$  di atas temperatur garis GS (gambar 19-9). Pemanasan pada temperatur ini harus dipertahankan begitu lama sehingga terjadi peralihan menyeluruh menjadi austenit. Lamanya pemanasan pada suhu tersebut bergantung pada ukuran benda yang akan disipuh. Semakin besar ukurannya, semakin lama waktu pemanasannya. Tetapi waktu pemanasan yang terlampaui lama di atas garis GS itu dan juga pemanasan pada temperatur yang terlampaui tinggi harus dicegah karena hal itu akan menimbulkan pertumbuhan yang cepat bagi kristalit austenit. Semakin renik kristalit austenit, semakin renik struktur martensit yang terbentuk, dan semakin kenyal baja yang akan diperoleh. Martensit yang sangat renik disebut *hardenit* atau *makasit* yang bisa diperoleh daripada baja karbon dengan pendinginan sangat cepat, setelah dipanaskan sampai titik yang terletak dekat di atas garis GS (kristalit austenit renik).

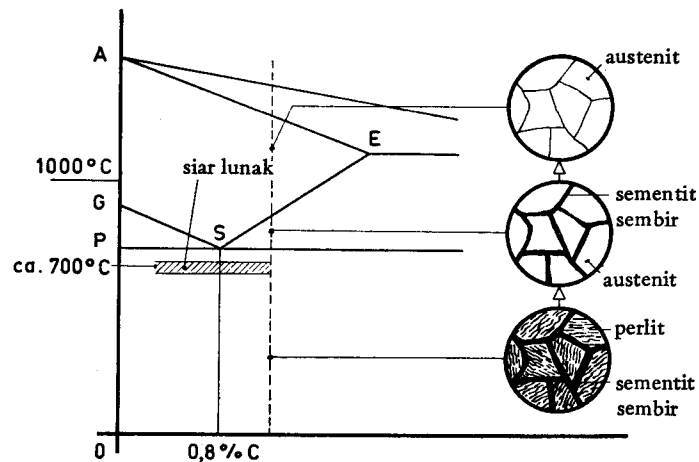
Baja dengan kadar karbon yang lebih daripada 0,8% harus dipanaskan sampai di atas garis ES (gambar 19-9) supaya struktur menjadi austenitik seluruhnya. Kerugian dalam hal ini ialah bahwa temperatur harus dinaikkan cukup tinggi yang mengakibatkan terbentuknya austenit berbutir kasar. Pada waktu penyipuhan austenit ini akan membentuk martensit berbutir kasar yang tidak kita kehendaki.

Karena itu, baja hiperperlitik (yang mengandung lebih daripada 0,8% C) tidak dipanaskan sampai di atas garis ES, tetapi hanya sampai 30 atau  $60^{\circ}\text{C}$  di atas garis PS (gambar 19-9). Dalam keadaan normal, untuk hal ini diperoleh struktur yang ditampilkan pada gambar 19-10 (austenit yang terkurung oleh

sementit sembir). Apabila baja dengan struktur yang demikian didinginkan dengan cepat, austenitnya memang akan beralih menjadi martensit. Tetapi sementit sembir yang keras dan getas itu tetap ada dan mencoba menahan pertambahan volum yang timbul pada peralihan dari austenit menjadi martensit. Akibat daripada itu ialah tegangan dakhil yang tinggi dan retak-retak pada sementit sembir. Oleh karena itu, jaringan sementit sembir itu perlu diubah menjadi bentuk yang lebih baik bagi penyipuhan. Dan ini bisa dicapai

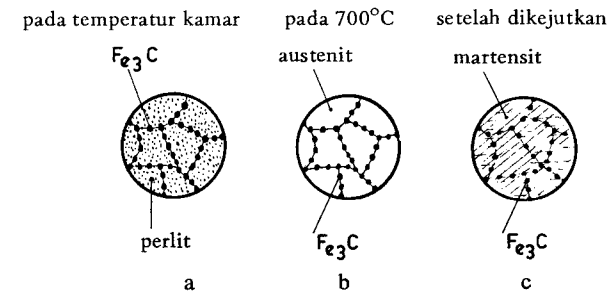


Gambar 19-9. Diagram pemakasan baja



Gambar 19-10. Diagram siar lunak

dengan garapan yang disebut *siar lunak* (gambar 19-11). Siar lunak ialah pemanasan baja untuk waktu yang lama pada kl 700°C. Selama siar lunak berlangsung, sementit sembir akan berubah mencari bentuk yang paling mantap, yaitu bentuk bola kecil-kecil (gambar 19-11a). Juga papasan sementit dalam perlit akan berubah menjadi bola kecil-kecil selama berlangsung siar lunak ini (19-11b). Apabila baja yang disiarlunakkan ini kemudian dipanaskan sampai suhu di atas garis PS, maka sebagian daripada bola-bola sementit ini akan melarut ke dalam austenit yang sedang terbentuk (gambar 19-11b).



Gambar 19-11. Perubahan struktur pada siar lunak

Dengan pendinginan yang cepat, austenit ini akan beralih lagi menjadi martensit (gambar 19-11c). Tetapi di antara martensit ini masih terdapat sementit sembir yang asal yang sekarang berbutir-butir. Namun dalam bentuk yang demikian, sementit ini tidak akan menimbulkan keretakan.

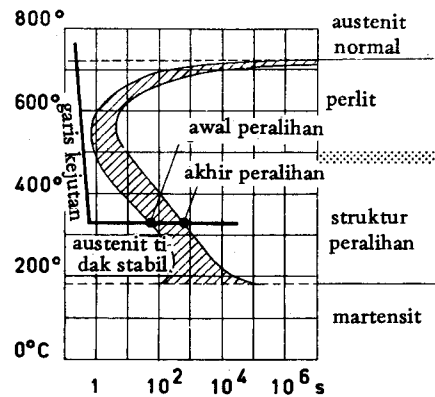
#### Sipuh bertahap dan sipuh isotherm

Kelemahan cara-cara penyipuhan yang telah dibicarakan sebelum ini ialah bahwa dengan dikejutkan dalam air lalu timbul tegangan-tegangan dakhil dalam materi yang bisa menimbulkan keretakan.

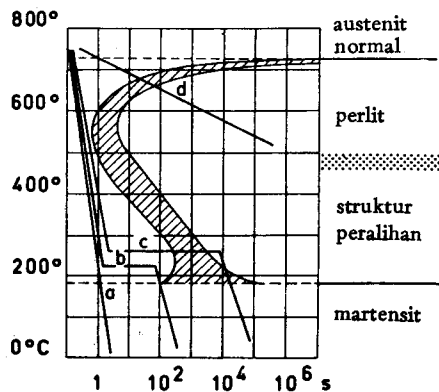
Berdasarkan penelitian van Bain dan Davenport ternyata bahwa kalau sepotong baja, dengan bertolak dari daerah temperatur yang austenitik, didinginkan dengan cepat sampai temperatur yang tertentu, dan seterusnya temperatur ini dijaga supaya konstan, maka setelah beberapa lama akan mulai terjadi peralihan austenit menjadi struktur yang lain dan bahwa setelah beberapa lama proses peralihan ini akan berhenti (gambar 19-12).

Kalau dengan cara yang demikian untuk baja dengan prosenan karbon yang tertentu dan pada beberapa temperatur kejutan, kita tentukan titik awal

dan titik akhir daripada peralihan tersebut, maka dengan menarik garis yang kontinyu melalui titik-titik yang diketemukan akan diperoleh suatu diagram yang tampak pada gambar 19-12. Garis lengkung di sebelah kiri menunjukkan titik awal peralihan struktur bagi semua temperatur kejutan. Garis lengkung di sebelah kanan menunjukkan titik akhir peralihan, dan pada saat itu kl 95% dari keseluruhan materi telah beralih. Dari gambar 19-13 ternyata bahwa austenit dengan komposisi yang berlaku bagi diagram ini, akan berubah paling



Gambar 19-12. Diagram TWT



Gambar 19-13. Diagram TWT dan penyipuhan

cepat menjadi perlit pada temperatur kl 550°C. Kalau struktur austenit harus diubah menjadi struktur martensit, pendinginan harus dilakukan secepat mungkin sehingga pada permulaan garis kejutannya tidak akan memotong lengkungan awal peralihan struktur (garis a pada gambar 19-13). Tetapi juga dapat dicapai hasil yang sama melalui garis b. Dalam hal ini pendinginan harus dilakukan dengan cepat sampai temperatur yang ditunjukkan oleh garis itu. Seterusnya temperatur harus dijaga agar konstan selama waktu yang ditunjukkan oleh bagian yang horizontal dari garis b itu. Tetapi sebelumnya garis horizontal ini memotong lengkungan awal peralihan struktur, yaitu sebelum ada peralihan austenit menjadi struktur yang lain, pendinginan harus diteruskan. Waktu temperatur dijaga supaya konstan, selisih temperatur antara bagian yang tebal dan bagian yang tipis (dan juga selisih antara lapisan luar dan inti) akan lenyap sehingga setelah terbentuk martensit, benda kerja tidak akan berubah bentuk atau menjadi bengkok. Dengan menerapkan apa yang disebut *sipuh bertahap* ini akan terbentuk struktur martensit yang normal. Tetapi tegangan dakhil dalam materi yang disipuh bertahap akan jauh lebih sedikit bila dibandingkan dengan baja yang disipuh dengan cara yang biasa.

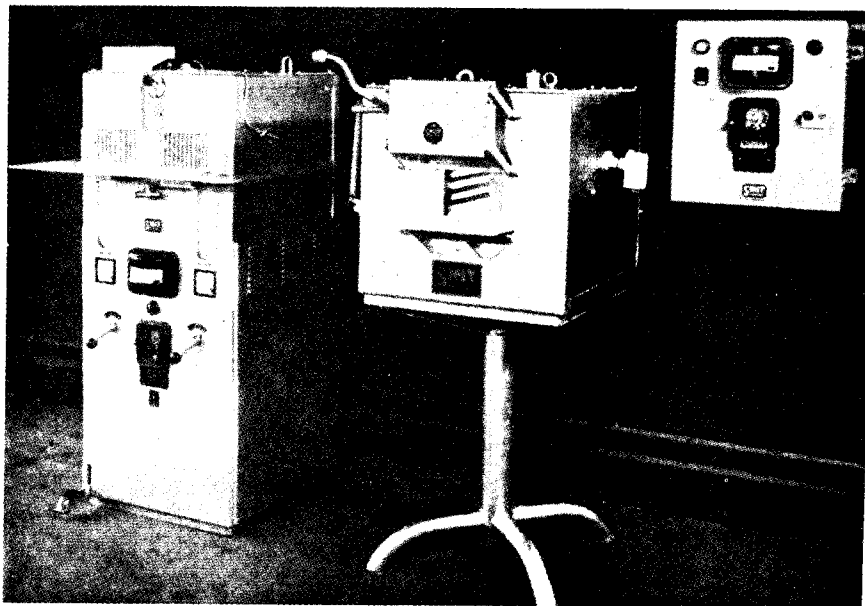
Cara yang lain lagi untuk menyipuh ialah yang disebut *sipuh isotherm*, lihat garis c pada gambar 19-13. Dalam hal ini, baja itu didinginkan dengan cepat dari daerah austenit sampai temperatur yang tertentu. Seterusnya temperatur itu dijaga supaya konstan dan begitu lama sehingga garis temperatur yang konstan itu dapat memotong lengkungan akhir peralihan struktur yang berarti bahwa struktur austenit telah diubah secara menyeluruh. Setelah itu pendinginan diteruskan lagi. Tetapi dengan cara itu tidak diperoleh martensit, melainkan materi yang disebut *bainit*. Bainit itu mempunyai struktur ferit dan di antaranya terdapat endapan sementit dalam bentuk butir-butir yang sangat renik. Bainit itu kurang makas bila dibandingkan dengan martensit, namun kegetasannya jauh lebih kurang (baja pegas). Sebagaimana telah dikemukakan, pada siar normal, baja itu didinginkan perlahan-lahan dari daerah austenit dalam udara rihat. Garis pendinginan akan memotong daerah transformasi dan sementara itu austenit akan beralih menjadi perlit papasan (garis d pada gambar 19-13). Diagram pada gambar 19-13 disebut diagram TWT (transformasi-waktu-temperatur). Sekali lagi, hendaknya diperhatikan baik-baik bahwa diagram pada gambar 19-13 itu hanya berlaku untuk baja dengan prosenan C yang tertentu (dalam hal ini yaitu baja dengan 0,8% C).

#### Garapan panas

Garapan panas yang telah dibicarakan di atas dan yang akan dibicarakan di bawah ini sebaiknya dilakukan dengan mempergunakan tanur elektrik

(gambar 19-14). Selain tanur elektrik, juga ada tanur bakar gas dan tanur bakar minyak. Kedua tanur yang terakhir ini harus dibuat begitu rupa sehingga benda kerja tidak dapat bersentuhan dengan bahan bakar atau dengan gas pembakaran. Kalau itu terjadi, benda kerja akan menyerap bahan-bahan tertentu yang mengubah komposisinya. Karena itu, baja yang dipanaskan dengan api pandai besi di udara terbuka tidak dapat dibenarkan bagi garapan panas.

Kelebihan tanur elektrik dibandingkan dengan tanur bakar memakai gas atau minyak ialah: rendaman yang tinggi, pengaturan temperatur yang mudah dan otomatis, pemasangan dan pemberhentian yang otomatis, pemerataan temperatur yang baik, cara kerja yang tenang dan bersih, tidak ada bahaya ledak, tidak ada gas buangan, dan memungkinkan garapan panas dalam udara gas khusus.



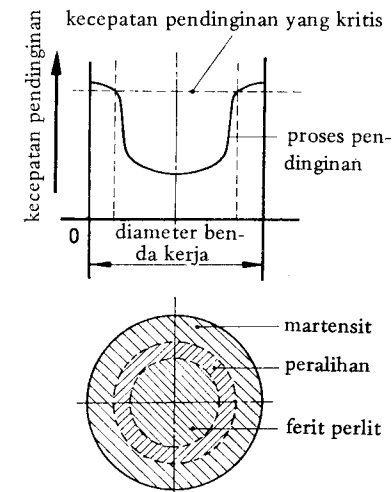
Gambar 19-14. Tanur elektrik

#### Sipuh baja yang sederhana (lazim)

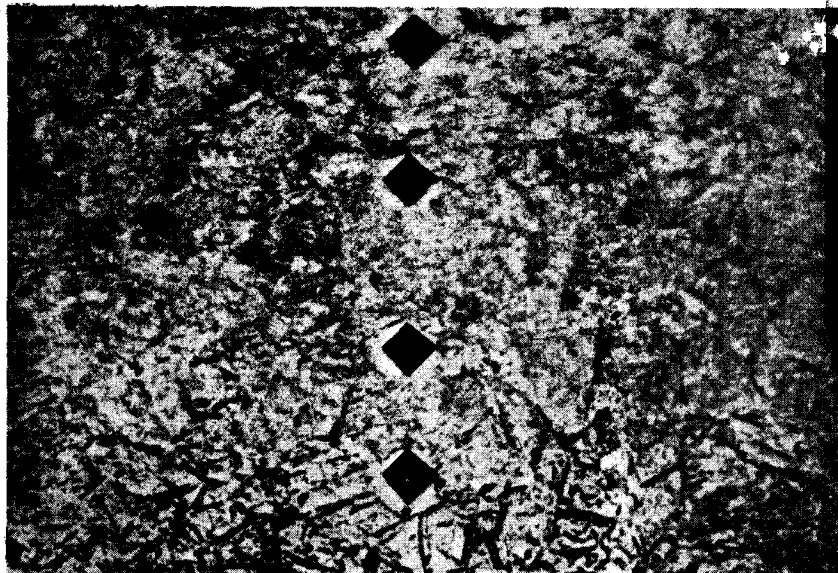
Pada penyipuhan baja yang sederhana, benda kerja yang akan disipuh ditaruh dalam tanur yang sebelumnya sudah dipanaskan. Pemanasan harus dilakukan begitu lama sehingga seluruh materi berubah menjadi austenit (benda kerja yang kecil kl 20 menit). Apabila perubahan yang dikehendaki sudah selesai, benda kerja harus secepat mungkin dikeluarkan dari tanur.

Hal ini dilakukan dengan sebuah cunam yang berahang pipih yang sebelumnya sudah dipanaskan sampai suhu tanur. Maksudnya ialah untuk mencegah pendinginan setempat akibat penyaluran kalor ke rahang cunam, karena hal ini akan mengakibatkan kemakasan yang tidak homogen. Dari tanur, benda kerja harus langsung dimasukkan ke air dingin. Selama pendinginan ini akan terbentuk uap air pada permukaan benda kerja yang menghambat pendinginan yang efektif. Pendinginan yang cepat akan berlangsung apabila pembentukan uap itu dicegah dengan menggerak-gerakkan benda kerja dalam air.

Penyipuhan yang harus dilakukan untuk sebagian benda kerja yang terbatas, misalnya, pada sebuah pahat, maka yang dikejutkan hanyalah bagian yang harus dimakaskan. Selama pendinginan pahat tersebut harus digerakkan bolak-balik untuk menghindarkan terjadinya uap dan untuk menghindarkan batas yang terlalu tajam antara martensit dan perlit. Kalau seluruh benda kerja harus disipuh, kita harus menjaganya agar tidak melengkung akibat pendinginan yang tidak merata. Dalam hal itu, benda kerja harus didinginkan secepat mungkin dan dibenamkan dengan posisi yang paling baik. Bagian luar benda kerja akan mendingin lebih cepat daripada bagian terasnya (gambar 19-15). Oleh karena itu, hanya bagian luar saja yang akan berubah menjadi mertensit. Lapisan yang ada di bawahnya akan membentuk lapisan peralihan, sedangkan terasnya akan memperoleh struktur perlit yang normal (gambar 19-15 dan 19-16).



Gambar 19-15. Pembentukan lapisan pada penyipuhan



Gambar 19-16. Lapisan martensit, magnifasi 1000 X bercak berbentuk belah ketupat ialah tikas Vicker (lihat halaman 108)



Gambar 19-17. Martensit dan butir sementit, magnifasi 1000 X, baja sipuh dilembutkan pada 200 – 300°C

Dengan *tebal sipuhan* diartikan tebalnya lapisan martensit hasil penyipuhan. Tebal sipuhan pada baja sobokan akan lebih besar daripada tebal sipuhan pada baja karbon yang normal (6 sampai 10 mm).

Volum baja yang disipuh akan bertambah. Martensit mempunyai volum yang kl 0,9% lebih besar daripada struktur baja yang normal. Struktur martensit tidak stabil karena merupakan struktur yang dipaksakan. Larutan karbon yang dipaksakan menimbulkan gangguan yang kuat terhadap kisi kristal. Oleh karena itu baja yang disipuh selain makas, juga getas. Kegetasan ini merupakan akibat daripada tegangan sipuh yang dakhil yang sering menimbulkan retak-retak.

Dengan metoda pelembutan sifat getas baja dapat banyak dikurangkan. *Pelembutan rendah* ialah garapan panas terhadap baja yang baru disipuh dengan pemanasan selama kl ½ jam pada suhu 150 – 200°C. Dengan kenaikan suhu ini, pergerakan atom-atom menjadi lebih bebas dan demikian pula dengan atom karbon yang merupakan penyebab ketidakstabilan struktur martensit, meskipun tidak keluar dari kisi kristal, mendapat kesempatan untuk memperbaiki posisi sehingga martensit akan bertambah kenyal. Atom karbon akan keluar dari kisi kristal pada suhu di atas 200°C dan membentuk butir-butir sementit (gambar 19-17).

Dengan perlembutan pada suhu 250°C, kemakasan baja akan sedikit turun tetapi kegetasannya akan banyak berkurang.

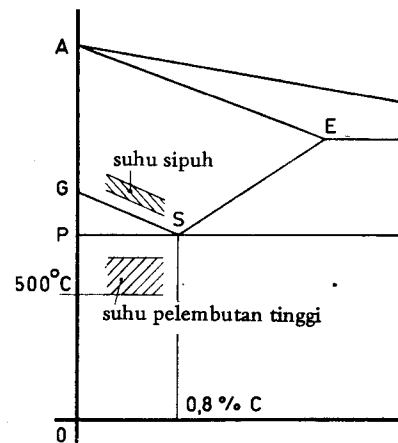
## 20. SIPUH NYALA API DAN SIPUH FREKUENSI TINGGI

Dengan metoda sipuh yang banyak diterapkan ini, diperoleh lapisan luar yang makas dan teras yang kenyal melalui pemanasan yang cepat daripada permukaan benda kerja yang diikuti dengan pendinginan yang cepat pula dalam air atau dalam minyak. Metoda sipuh ini hanya biasa diterapkan kepada baja dengan kadar karbon yang cukup tinggi.

Pemanasan permukaan dapat dilakukan dengan sebuah pembakar gas (*sipuh nyala api*) atau dengan induksi elektrik (*sipuh frekuensi tinggi*). Sipuh nyala api banyak diterapkan untuk: roda gigi, ujung poros, pasak perkakas, poros gandar mesin mobil, dan lain-lain.

### Meratnakan baja

Dengan peratnaan baja diartikan garapan panas terhadap baja, yang berupa penyipuhan yang sebaik mungkin dan setelah itu diikuti dengan pelembutan tinggi. Pelembutan tinggi ialah garapan panas terhadap baja sipuh berupa pemanasan selama setengah jam antara 500 dan 650°C (gambar 20-1).



Gambar 20-1. Peratnaan baja

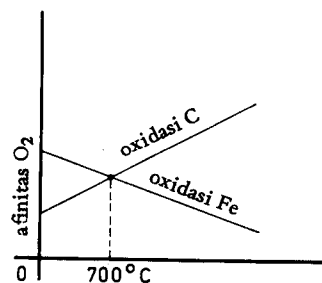
Apabila pada garapan panas ini temperaturnya semakin tinggi dan waktunya menjadi semakin lama, maka baja tersebut akan menjadi semakin rendah kemakasannya. Hal ini disebabkan oleh karena karbon yang tersampul dalam martensit akan bersenyawa menjadi sementit selama pelembutan itu berlangsung. Sementit itu mengendap dan membentuk butir kecil-kecil di antara ferit. Berkat struktur yang sangat renik daripada martensit-ferit-sementit yang terjadi selama peratnaan, maka batas regangan dan kekuatan tarik baja yang diratnakan akan lebih tinggi daripada baja dengan komposisi yang sama tetapi tidak diratnakan. Lagipula sifat baja ratna itu lebih kenyal. Dengan pilihan masa serta suhu pelembutan yang tepat, melalui peratnaan ini bisa diperoleh berbagai jenis baja dengan kemakasan antara baja siar lunak dan baja sipuh. Peratnaan diterapkan untuk memperoleh baja mesin (0,3 – 0,6% C).

## 21. GANGGUAN UDARA DAN GAS LAIN TERHADAP BAJA SELAMA GARAPAN PANAS

Faktor penting untuk garapan panas terhadap baja ialah pengaruh oksidasi oksigen udara. Selain pengaruh oksidasi terhadap besi, oksigen udara itu berpengaruh pula terhadap karbon yang terikat sebagai sementit atau yang larut dalam austenit. Oleh karena itu, pada benda kerja dapat terbentuk lapisan oksidasi sedangkan pada pinggirnya terjadi penyusutan kadar karbon akibat oksidasi selama garapan panas. Yang terakhir ini disebut pengawakarbonan dan bisa berakibat bahwa lapisan luar tidak memperoleh kemakasan yang dikehendaki. Oleh sebab itu, pencegahan kontak dengan udara selama garapan panas atau penjinakan oksigen dengan zat yang memiliki afinitas lebih kuat daripada baja terhadap oksigen merupakan hal yang penting.

Afinitas besi terhadap oksigen akan berkurang apabila temperatur bertambah tinggi. Sebaliknya, afinitas karbon yang terdapat dalam baja terhadap oksigen akan bertambah kuat.

Jadi, semakin tinggi temperatur, semakin mudah untuk melindungi besi terhadap oksidasi. Bagi karbon yang terdapat dalam baja berlaku hal yang sebaliknya. Gambar 21-1 memperlihatkan afinitas besi dan karbon terhadap oksigen pada berbagai temperatur. Hal itu antara lain dapat diartikan sebagai



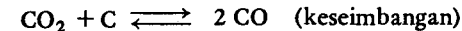
Gambar 21-1. Afinitas Fe dan C terhadap oksigen

berikut: sampai suhu  $700^{\circ}\text{C}$  afinitas besi yang tinggi terhadap oksigen akan mencegah oksidasi daripada karbon. Jadi di bawah temperatur  $700^{\circ}\text{C}$ , yang terutama harus dilindungi terhadap oksidasi ialah besi, lagipula karbon itu terikat sebagai  $\text{Fe}_3\text{C}$ . Di atas temperatur  $700^{\circ}\text{C}$ , peluang oksidasi bagi besi menjadi sedikit sehingga yang terutama harus mendapat perlindungan terhadap oksidasi ialah karbon (dalam austenit).

Dalam yang berikut ini akan dibicarakan beberapa metoda untuk melindungi baja, yang harus mendapat garapan panas, terhadap pengaruh oksigen dari udara.

### Pemanasan dalam lingkungan yang mengandung karbon

Benda kerja dalam hal ini dikelilingi dengan zat yang mengandung karbon, misalnya arang kayu, dan dipanaskan dalam tabung yang dapat tertutup bagi udara. Zat karbon bersenyawa dengan oksigen yang ada dalam bejana dan dengan yang meresap ke dalam bejana pada temperatur tinggi menjadi  $\text{CO}_2$  atau  $\text{CO}$ . Dengan demikian dapat dihindarkan pengaruh yang dikhawatirkan daripada oksigen udara terhadap baja. Bahkan ada kemungkinan terjadi *imbuh karbon*, yaitu penambahan kadar karbon kepada permukaan benda kerja.



Campuran  $\text{CO} + \text{CO}_2$  merupakan campuran yang netral.

### Pemanasan dalam rendaman garam

Dalam hal ini, benda kerja dipanaskan dalam rendaman garam yang lebur. Sebagai garam dipergunakan, misalnya, klorida daripada: barium, kalsium, atau natrium. Garam-garam yang tidak beroxigen itu, selain memberikan perlindungan kepada baja, juga memberikan keuntungan berupa pertukaran panas yang lebih cepat daripada pemanasan dalam tanur, dan di samping itu, rendaman garam memiliki kelebihan berupa temperatur yang merata.

### Pemanasan dalam atmosfer gas

Dalam hal ini, udara dalam ruang pemanasan benda kerja diganti dengan gas yang tidak mengoksidasi, misalnya: gas propana, gas butana, dan lain-lain. Gas tersebut semuanya terdiri atas senyawa karbon. Dengan membuat campuran gas yang baik, diperoleh atmosfer yang netral atau yang dapat menimbulkan imbuhan karbon (untuk karbonasi). Kendatipun harus menjalani garapan panas, permukaan benda kerja yang dipanaskan dalam rendaman garam atau dalam atmosfer gas akan tetap mengkilap.

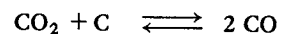
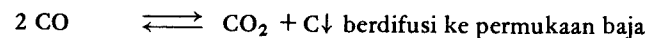
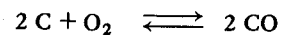
## 22. KARBONASI

Karbonasi, yang walaupun kurang tepat juga disebut sementasi, bertujuan untuk mempertinggi kadar karbon pada permukaan baja tanpa mengubah komposisi terasnya. Dengan bertolak dari baja yang kadar karbonnya rendah, setelah penyipuhan akan diperoleh benda kerja dengan permukaan yang makas tetapi dengan teras yang kenyal. Karbonasi dapat dilakukan dalam:

- a. serbuk karbonasi
- b. atmosfer gas
- c. rendaman garam

### a. Karbonasi dalam serbuk

Dalam hal ini, benda kerja yang ditempatkan dalam peti karbonasi terbuat daripada baja dan dikelilingi dengan, misalnya, campuran serbuk arang kayu dan bariumkarbonat. Peti tersebut ditutup dengan tudung yang dikedapudarkan dengan bahan tapal dari tanah liat. Keseluruhannya lantas dipanaskan pada  $950^{\circ}\text{C}$  selama waktu yang tertentu. Struktur baja pada suhu ialah austenitik yang dapat menyerap sebanyak kl 1,1% sampai 1,2% karbon. Penyerapan karbon ini berlangsung dengan cara *difusi*. Kita dapat menggambarkan penyerapan karbon itu sebagai berikut: Oksigen udara yang terdapat dalam peti karbonasi bereaksi dengan karbon yang hadir dalam serbuk karbonasi dan akan menghasilkan CO dan  $\text{CO}_2$ . Selama proses berlangsung, perbandingan kedua gas itu akan bergantung pada temperatur. Pada temperatur yang tinggi prosenan CO akan lebih besar. Zat karbon dari CO akan diserap oleh baja, dengan perkataan lain, karbon akan berdifusi dari fasa gas CO ke dalam baja. Persamaan reaksi yang berikut menuturkan peristiwa yang terjadi selama karbonasi:



dan seterusnya

Dari persamaan yang di atas, ternyata bahwa oksigen udara itu memang ikut bereaksi tetapi tidak terserap oleh baja.

Tebal lapisan permukaan yang dikarbonasikan bergantung pada lamanya karbonasi dan berbanding lurus dengan akar pangkat dua dari waktu. Waktu untuk karbonasi lapisan setebal 0,5 mm dengan prosentase karbon sebanyak kl 0,9% ialah kl 1,5 jam. Dalam 6 jam tebal lapisan yang diimbuhkarbonkan ialah:

$$\sqrt{\frac{t_2}{t_1}} \times S_1 \sqrt{\frac{6h}{1,6h}} \times 0,5 \text{ mm} = 1 \text{ mm}$$

dan dalam 24 jam tebal lapisan ini ialah:

$$\sqrt{\frac{24h}{1,5h}} \times 0,5 \text{ mm} = 2 \text{ mm}$$

Dipandang dari sudut ekonomi, hasil karbonasi setebal 1 mm itu haruslah dianggap sebagai hasil maximum. Kalau kepada benda kerja hendak diberikan permukaan yang makas tetapi terbatas, paling baik hal itu dilakukan dengan menanggukkan penyelesaian bagian-bagian yang harus tetap lunak yang penyelesaiannya baru dilanjutkan setelahnya karbonasi dan sebelumnya penyipuhan. Jadi, di beberapa tempat lapisan yang dikarbonasikan akan dibuang. Kemungkinan lain ialah dengan menutupi permukaan benda kerja di beberapa tempat dengan lapisan yang tak dapat ditembus oleh karbon (misalnya, dengan pertembagaan).

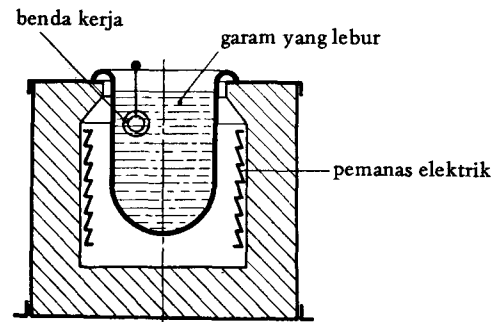
### b. Karbonasi dalam atmosfer gas

Dalam hal karbonasi dalam serbuk sebagaimana diutarakan di atas, baja itu menyerap karbon melalui atmosfer gas. Hal itu menunjukkan bahwa seharusnya mungkin pula untuk melakukan karbonasi dalam atmosfer gas yang mengandung karbon. Gas karbonasi yang layak ialah: gas kota, gas propana, gas butana, dan gas-gas lain yang mengandung karbon.

### c. Karbonasi dalam rendaman garam

Selain pemanasan dalam rendaman garam sebagaimana telah dibicarakan di atas, karbonasi itu juga bisa dilaksanakan dalam rendaman garam. Untuk itu, kepada garam ditambahkan 20 sampai 30% natriumsianida ( $\text{NaCN}$ ). Karbon dalam sianida ini akan diserap oleh permukaan baja. Karena natriumsianida merupakan racun keras, harus diusahakan supaya uap yang timbul dapat tersalurkan dengan baik. Proses ini biasanya dilakukan dalam tanur rendaman garam elektrik yang khusus (gambar 22-1). Sebelum benda kerja dibenamkan ke dalam rendaman garam, benda kerja itu harus sudah dipanaskan dalam atmosfer yang netral sampai suhu di atas  $100^{\circ}\text{C}$  (titik didih air), karena kalau benda kerja yang masih dingin dibenamkan ke dalam rendaman,

ada kemungkinan terdapat kondensat pada permukaannya, dan dalam rendaman garam, kondensat ini akan menjadi uap yang waktu keluar dari rendaman akan menyeret garam yang sedang lebur, sedangkan percikan garam yang lebur dapat menimbulkan bahaya yang gawat.

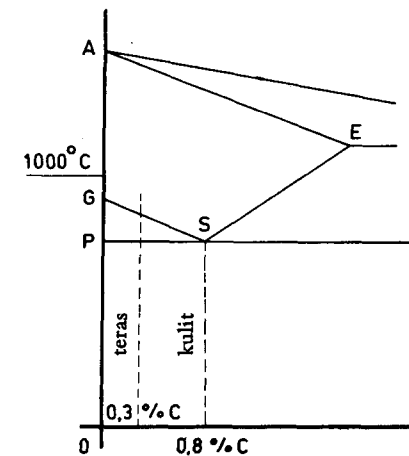


Gambar 22-1. Rendaman garam

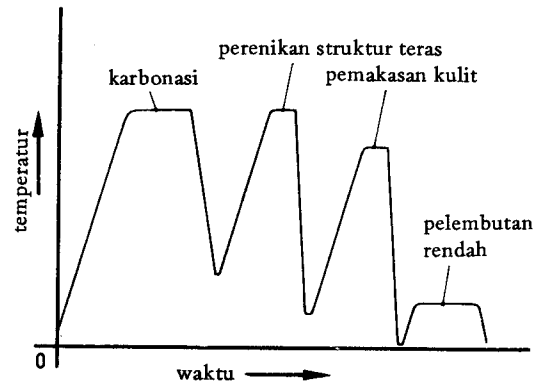
## 23. MENYIPUH BAJA YANG DIKARBONASIKAN

Tujuan daripada *makas muka* ialah untuk memperoleh lapisan luar yang makas dan tahan aus dengan teras yang kenyal. Selama karbonasi, baja mengalami pemanasan untuk waktu lama pada suhu yang tinggi, sehingga terjadi pertumbuhan kristal dengan cepat. Kalau benda kerja didinginkan langsung dari suhu karbonasi ke suhu dalam air, akan diperoleh struktur yang kasar. Guna meningkatkan mutu sebaik mungkin, dianjurkan agar struktur diperhalus dengan suatu garapan panas. Sebagai contoh kita ambil baja dengan prosenan karbon sebesar 1,5%. Dalam lapisan luar, prosenan karbon naik sampai 0,8% melalui karbonasi. Setelah dikarbonasikan baja itu didinginkan dalam udara.

Lantas baja itu dipanaskan sampai di atas titik peralihan materi teras (gambar 23-1 dan gambar 23-2). Setelah itu, baja didinginkan dalam air sejuk. Dengan demikian struktur kristal dalam teras menjadi lebih renik.



Gambar 23-1. Pemakasan baja yang dikarbonasikan



Gambar 23-2. Urutan garapan panas

Sekarang, benda kerja dipanaskan sampai di atas titik peralihan lapisan luar (gambar 23-1 dan gambar 23-2). Dan lantas baja itu didinginkan lagi dalam air sejuk. Pada garapan panas yang terakhir ini struktur teras akan tetap renik, sedangkan lapisan luarnya menjadi martensitik. Sebagai garapan panas yang penghabisan, benda kerja itu masih harus dilembutkan pada suhu rendah. Dengan cara demikian akhirnya diperoleh benda kerja dengan lapisan luar yang tahan aus dan yang ke arah teras berangsur-angsur beralih menjadi baja yang sifatnya kenyal. Apabila garapan panas dilantaskan berturut-turut seperti ditunjukkan oleh gambar 23-2, tidak akan terdapat banyak bahaya bagi pecahnya kulit yang dimakaskan apabila terkena beban yang menumbuk.

Karbonasi banyak diterapkan untuk roda gigi, baji torak, bubungan, dan lain-lain.

## 24. NITRASI

Pada nitrasi, kita biarkan permukaan sepotong baja sobokan untuk menyerap nitrogen. Nitrida yang terbentuk pada permukaan memiliki kemakasan dan ketahanan aus yang lebih besar daripada yang diperoleh melalui karbonasi. Ternyata bahwa hasil yang terbaik akan diperoleh apabila baja dibiarkan menyerap nitrogen pada suhu 500 sampai 540°C. Perlu diutarakan bahwa kemakasan tersebut hanya bisa dicapai apabila baja tersebut disobok dengan sedikit aluminium dan khromium. Diduga bahwa kemakasan yang tinggi pada baja yang dinitrasikan itu disebabkan oleh terbentuknya aluminiumnitrida dan khromiumnitrida.

Untuk dapat menyerap nitrogen, benda kerja biasanya dibugilkan terhadap arus gas amoniak ( $\text{NH}_3$ ). Gas ini akan mengurai menjadi nitrogen dan hidrogen. Nitrogen dari udara tidak dapat dipergunakan untuk nitrasi karena nitrogen ini mempunyai molekul yang berat ganda (gas  $\text{N}_2$  ialah gas yang indifferen).

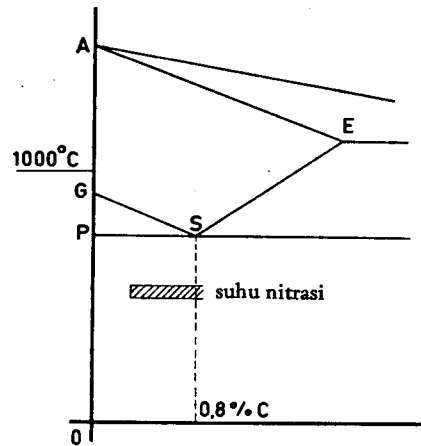
Nitrogen yang terjadi dari amoniak yang mengurai mempunyai molekul yang berat tunggal dan memiliki sifat kimia yang sangat aktif.

Lapisan nitrasi setelah 1 mm memerlukan waktu kira-kira 90 jam dan harus dianggap sebagai hasil maximum yang bisa dicapai. Untuk memperoleh teras yang kuat dan kenyal, benda kerja harus diratnakan terlebih dahulu. Jadi, kita harus bertolak dari baja ratna yang mempunyai kadar karbon sekurang-kurangnya 0,3%. Suatu hal yang menguntungkan pada nitrasi ialah bahwa temperatur proses ini terletak di bawah garis PS pada diagram besi-karbon (gambar 24-1). Jadi, selama proses nitrasi, struktur baja tidak akan berubah.

Lapisan tipis hasil nitrasi itu makas. Proses nitrasi tidak perlu diikuti dengan garapan panas (tidak perlu disipuh). Volum benda kerja akan bertambah akibat nitrasi. Tetapi pertambahan volum ini merata. Karena itu, untuk pembuatan barang seri atau barang massa, setelah menitrasi barang percobaan, harus ditentukan ukuran-ukuran benda kerja yang harus dipersiapkan sehingga nanti cukup dilakukan pengasahan tanpa harus menghilangkan lapisan hasil nitrasi.

Dengan nitrase, ketahanan baja terhadap korosi akan bertambah. Lapisan hasil nitrase itu getas sehingga, alur ulir yang bersosok segitiga tidak layak untuk dinitrasikan.

Nitrasi diterapkan pada pembuatan: paruh atau taji instrumen ukur, katup, ulir torak, poros gandar, jarum bantalan ligat, dan seterusnya.



Gambar 24-1. Nitrasi dalam diagram besi-karbon

## 25. NITRASI LUNAK

Sifat ketahanan aus logam biasanya bergantung dengan kemakasan yang tinggi. Tetapi ternyata bahwa kebiasaan tersebut tidak selalu berlaku. Kalau kita, misalnya, menitrasi baja yang tidak disobok, maka ketahanan aus baja ini akan naik banyak sekali tanpa kenaikan makas yang berarti. Selain itu, gejala korosi yang ditakutkan secara praktis tidak akan terjadi. Metoda nitrase ini disebut *nitrasi lunak* yang biasanya dilantaskan dalam rendaman garam yang mengandung nitrogen pada suhu antara 500 dan 600°C.

## 26.KARBONITRASI

Berpangkal dari karbonasi dalam atmosfer gas, berkembanglah suatu metoda yang disebut karbonitrasi. Pada metoda ini, kepada atmosfer gas ditambahkan sejumlah gas amoniak yang tertentu. Dengan demikian, baja dapat menyerap, selain karbon, juga gas nitrogen. Pada metoda ini sesungguhnya terjadi karbonasi dan nitrasi secara serempak.

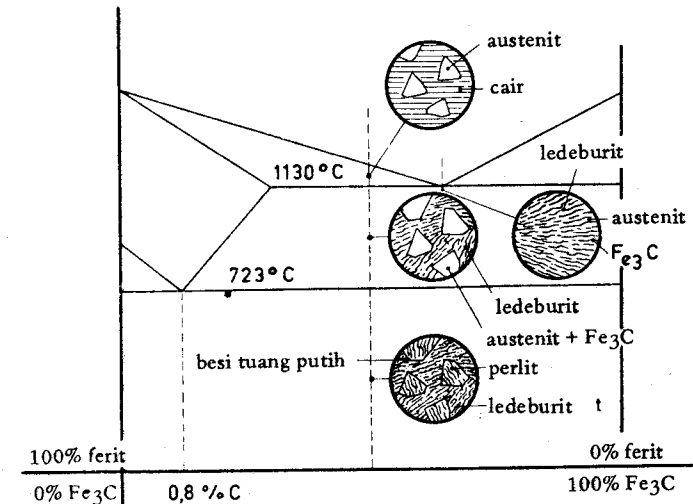
Dibandingkan dengan karbonasi, karbonitrasi itu memiliki kelebihan sebagai berikut:

- Penyerapan karbon yang lebih cepat sehingga masa karbonasi menjadi lebih singkat.
- Daerah austenit bertambah luas karena penurunan garis transformasi GSE (gambar 24-1). Akibat ini ialah bahwa karbonitrasi dapat dilantaskan pada suhu yang lebih rendah ( $750$  sampai  $850^{\circ}$ ) daripada suhu untuk karbonasi ( $950^{\circ}\text{C}$ ).
- Nitrogen yang diserap menyebabkan perlambatan bagi perubahan austenit, pada waktu baja yang dikarbonitrasi itu didinginkan. Hal ini memungkinkan pemakaian bahan pengejut yang lebih halus, misalnya, minyak atau kadang-kadang udara, demi memperoleh struktur martensit.
- Kemakasan dan ketahanan aus lapisan luar adalah sama atau lebih tinggi daripada yang dikarbonasikan.
- Pertumbuhan kristal pada karbonitrasi lebih sedikit daripada pertumbuhan pada karbonasi karena masa pemanasan yang lebih singkat. Garapan panas berupa "perenikan struktur inti" (gambar 23-2) dapat dihapuskan pada penyipuhan baja yang dikarbonitrasi.

## 27.BESI TUANG

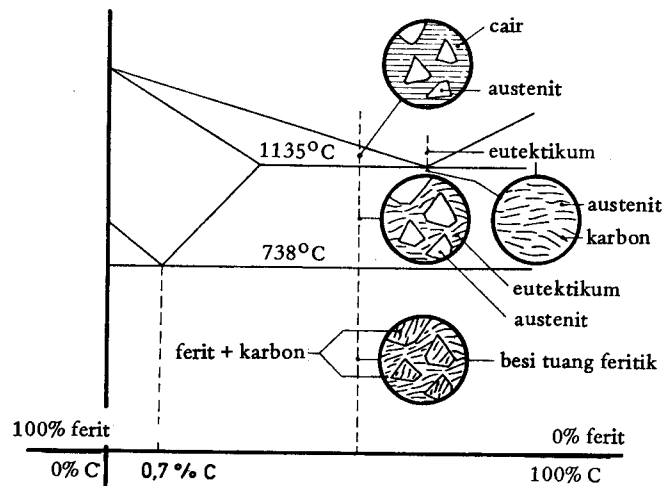
Sebagaimana telah dikemukakan, apa yang hingga sekarang disebut diagram besi-karbon, sebenarnya ialah diagram besi-sementit (gambar 27-1). Tetapi memang di samping diagram besi-sementit ini, juga ada diagram besi-karbon. Dalam bentuk yang disederhanakan, diagram yang terakhir ini ditunjukkan oleh gambar 27-2. Sesungguhnya sementit itu bukanlah merupakan senyawa yang stabil. Oleh karena itu, diagram pada gambar 27-1 juga disebut *diagram besi-karbon metastabil*. Lebih-lebih pada suhu yang tinggi, sementit itu memiliki kecenderungan untuk mengurai menjadi besi dan karbon yang bebas ( $\text{Fe}_3\text{C} \rightarrow 3\text{Fe} + \text{C}$ ). Karbon yang bebas ini disebut grafit.

Jadi, diagram besi-karbon pada gambar 27-2 itu merupakan diagram yang benar stabil. Tetapi dalam kenyataan dan terutama pada suhu yang rendah,



Gambar 27-1. Diagram besi-karbon metastabil

penguraian sementit menjadi besi dan karbon itu berlangsung begitu lambat sehingga untuk baja, kita jarang sekali atau hampir tidak pernah dapat mengamatinya. Jadi untuk baja, yang penting itu hanyalah diagramnya yang metastabil.

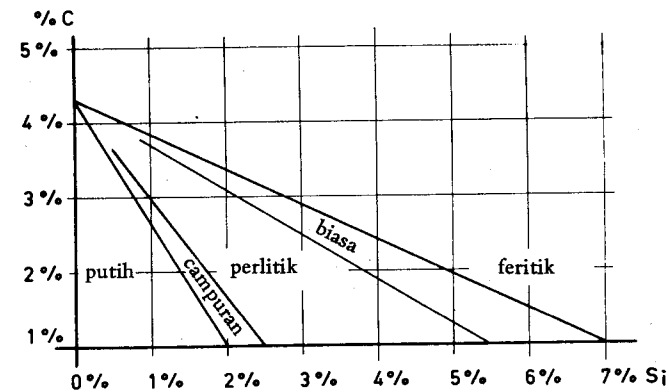


Gambar 27-2. Diagram besi-karbon stabil

Beberapa unsur bisa berpengaruh besar sekali terhadap terjadi atau tidaknya endapan grafit. Unsur silisium, aluminium, dan nikel mendorong pengendapan grafit. Yang juga besar pengaruhnya ialah kecepatan-kecepatan pendinginan dan suhu tuang. Peluang pengendapan grafit dengan pendinginan yang cepat adalah lebih kecil daripada peluang dengan pendinginan yang perlahan-lahan seperti pendinginan benda tebal dalam cetakan tuang yang kering atau cetakan tuang yang sebelumnya dipanaskan.

Apabila selain karbon hadir pula unsur yang lain, maka masalahnya bukan lagi merupakan masalah sobokan yang biner. Dan dalam hal itu, pemakaian diagram besi-karbon pada hakekatnya sudah tidak benar lagi. Namun kadar unsur-unsur yang ditambahkan kepada besi tuang guna mendorong pengendapan grafit itu adalah sedikit. Oleh karena itu, guna meneliti struktur besi tuang kelabu pada berbagai suhu yang tertentu, kita dapat saja menggunakan diagram besi-karbon itu.

Bergantung pada prosenan unsur yang hadir selain karbon atau yang ditambahkan kepadanya, besi tuang yang bisa didapat ada bermacam-macam.



Gambar 27-3. Diagram Maurer

Macam-macam yang dapat disebutkan berdasarkan urutan kadar karbon bebas yang menaik ialah: besi tuang putih, besi tuang campuran, besi tuang perlitik, besi tuang biasa, dan besi tuang feritik. Struktur yang dikehendaki bisa diperoleh dengan menambahkan silisium dalam prosenan yang layak (gambar 27-3).

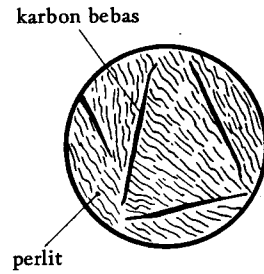
#### Besi tuang putih

Dalam besi tuang putih, seluruh karbon terikat secara kimia dengan besi menjadi  $\text{Fe}_3\text{C}$  (gambar 27-1). Pada suhu yang normal materi ini terdiri atas perlit dan ledeburit. Besi tuang putih sangat masas dan getas. Selain itu, besi ini memiliki susutan yang tinggi (kl 2%). Besi ini dipakai untuk torak canai, tabung aus, ubin, dan sebagainya.

#### Besi tuang perlitik

Besi tuang yang mengandung grafit disebut besi tuang kelabu oleh karena bidang pecahnya tampak berwarna kelabu. Jenis besi tuang kelabu yang terkenal ialah besi tuang perlitik. Besi ini membeku untuk sebagian menurut susunan yang metastabil dan sisanya membeku menurut susunan yang stabil. Besi ini terdiri atas perlit dan papasan grafit. (gambar 27-4). Besi tuang perlitik memiliki kekuatan tarik yang cukup besar dan sifat yang cukup kenyal, tahan aus, dan meredam getaran karena kehadiran papasan-papasan (lamela) grafit.

Pemakaiannya ialah: torak dan pelapis torak pada mesin uap dan motor, bantalan, roda gigi, dan lain-lain.



Gambar 27-4. Besi tuang perlitik

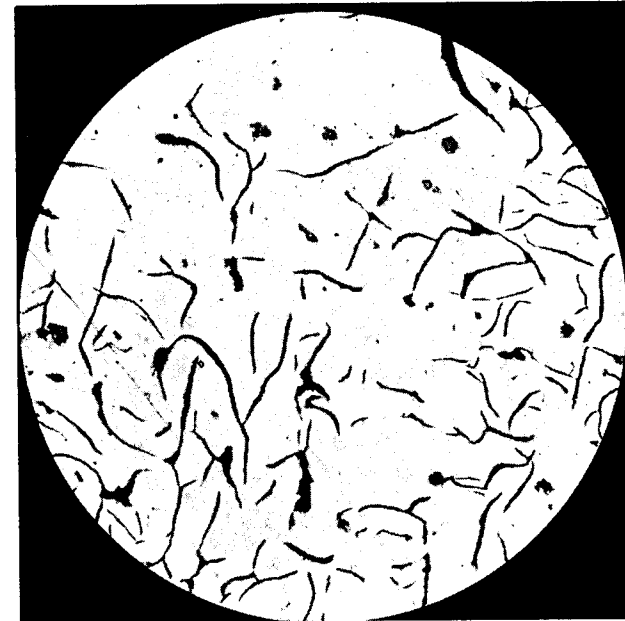
#### Besi tuang biasa

Besi ini merupakan materi yang banyak dipakai untuk membuat benda tuang yang umum. Komposisinya yang seksama tidak begitu dipentingkan. Materi ini juga membeku sebagian menurut susunan yang metastabil dan sisanya membeku menurut susunan yang stabil. Besi tuang biasa terdiri atas *perlit*, *ferit*, dan *lamela grafit*. Kekuatan tariknya rendah, dan selain itu, sifatnya getas, dan pada suhu yang tinggi volumenya cenderung untuk membesar. Oleh karena itu, besi tuang ini misalnya, tidak layak untuk dipakai sebagai bahan pembuat torak untuk mesin uap dan motor. Besi ini mudah disudip dan mudah dituang (susutan kl 1%). Karena memiliki daya meredam getaran, besi ini dipakai untuk bahan pembuat kerangka mesin perkakas, yang bagian-bagiannya kadang-kadang harus dimakaskan supaya memiliki ketahanan aus yang tinggi. Dengan pendinginan cepat di bagian tertentu akan diperoleh besi tuang putih.

Besi tuang biasa dipergunakan untuk keperluan yang beraneka ragam suku cadang yang tidak terkena beban yang terlalu besar seperti: rumah-rumah pancur cerat, peti gigi roda, selongsong poros ulir, cakram ulir, dan sebagainya.

#### Besi tuang feritik

Jenis besi tuang ini membeku seluruhnya menurut susunan yang stabil pada gambar 27-2, jadi, dalam hal ini seluruh karbon mengendap bebas. Besi tuang feritik terdiri atas ferit dan lamela grafit (gambar 27-5). Di antara semua besi tuang, besi ini paling rendah kekuatannya dan getas. Selain itu, besi ini mudah disudip dan daya redamnya terhadap getaran sangat tinggi. Besi dipergunakan sebagai bahan benda tuangan yang massal dan murah, dan tidak akan terkena beban dinamik, misalnya, tungku perapian dan lain-lain.



Gambar 27-5. Besi tuang feritik, magnifikasi 300 X

Bahan untuk besi tuang feritik ialah besi reja dan besi bekas dengan komposisi yang tidak tentu. Guna kepastian supaya diperoleh besi tuang kelabu, ditambahkan silisium secara berlebihan. Selain itu, biasanya juga ditambahkan fosfor dengan prosenan yang tinggi agar diperoleh cairan encer yang diperlukan untuk membuat benda tuangan yang pipih. Dengan begitu diperoleh benda tuangan yang sukar digarap dan lebih getas. Akibat penambahan fosfor terjadi apa yang disebut *steadit*. Steadit ini merupakan eutektikum yang terdiri atas: besi, sementit, dan besi-fosfida. Steadit sangat makas dan terdapat di antara ferit dan lamela grafit karena membeku paling akhir.

## 28. BESI TUANG SIAP TEMPA

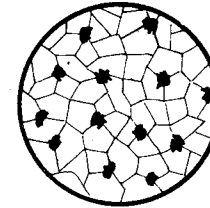
Dibandingkan dengan baja, besi tuang siap tempa mempunyai kelebihan berupa harga yang murah. Sebabnya ialah karena titik lebur besi tuang jauh lebih rendah daripada titik lebur baja tuang. Selain itu, besi tuang siap tempa memiliki susutan yang jauh lebih kecil dan juga memiliki sifat meredam getaran. Kekurangannya yang paling menonjol bila dibandingkan dengan baja ialah kekuatannya yang lebih rendah dan kegetasan yang lebih besar. Bilamana sebuah suku cadang dari besi tuang pada suhu normal hendak dijadikan lebih kuat dan lebih kenyal, ada dua metoda untuk melakukannya:

- metoda temper
- metoda segarsiar.

### Besi temper

Sebagaimana diketahui, sementit ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) itu tidak stabil terutama pada suhu yang tinggi. Bila dipanaskan untuk waktu yang lama, sementit akan mengurai menjadi besi dan karbon yang bebas.

Bahan untuk membuat besi temper ialah besi tuang putih yang mengandung karbon yang seluruhnya terikat kepada besi. Kalau materi ini dipanaskan untuk waktu yang lama pada suhu di bawah  $1130^\circ\text{C}$ , maka sementit tersebut akan mengurai menjadi ferit dan karbon yang bebas (grafit). Garapan panas ini dilantaskan dalam atmosfer yang netral. Semakin tinggi suhu, semakin cepat proses penguraiannya. Guna menghambat pertumbuhan kristal sejauh mungkin, bahan tersebut biasanya dipanaskan sampai  $900^\circ\text{C}$ . Selama penemperan, karbon yang bebas itu bukan mengendap dalam bentuk lamela, melainkan dalam bentuk timbunan. Setelah sementit terurai seluruhnya, diperoleh materi yang terdiri atas austenit dan grafit. Kalau sekarang suhunya diturunkan sampai di bawah  $738^\circ\text{C}$ , prosesnya sekarang akan mengikuti diagram yang stabil, dan austenit akan berubah menjadi perlit (ferit +  $\text{Fe}_3\text{C}$ ). Dengan pemanasan materi selama beberapa waktu di bawah suhu tersebut, juga sementit yang ada dalam perlit itu akan mengurai, dan akhirnya akan diperoleh struktur yang terutama terdiri atas ferit dengan tumpukan grafit (karbon temper, gambar 28-1) di antaranya.



Gambar 28-1. Besi temper

### Besi segarsiar

Penemperan yang dibicarakan tadi berlangsung beberapa hari. Besi tuang yang ditemper lebih kenyal dan lebih kuat daripada besi tuang biasa. Sebabnya ialah karena materi menderita pelemahan oleh grafit berbentuk timbunan yang jauh lebih kecil kalau dibandingkan dengan pelemahan oleh grafit berbentuk lamela. Bahan untuk membuat besi segarsiar adalah sama dengan bahan untuk membuat besi temper yaitu besi tuang putih, walaupun prinsip pembuatannya berbeda samasekali. Pada pembuatan besi segarsiar, besi tuang putih itu ditaruh dalam kotak yang dapat ditutup kedap udara dan ditimbun dengan bahan yang bisa melepaskan oksigen, misalnya bijih besi. Keseluruhannya dipanaskan sampai kl  $900^\circ\text{C}$  untuk waktu yang cukup lama. Dalam keadaan yang begitu, karbon akan berdifusi keluar dari dalam besi dan akan dioxidasikan. Benda tuangan yang pipih dengan cara demikian dapat diawakarbonkan sampai ke terasnya. Sebaliknya, benda tuangan yang tebal hanya dapat diawakarbonkan sampai kedalaman yang terbatas saja. Dalam teras benda ini akan mengendap karbon temper. Waktu untuk penyegarsiaran berlangsung 10 hari atau lebih. Besi tuang yang ditemperkan atau yang disegarsiarkan lazim dijuluki dengan besi tuang siap tempa. Sebutan ini agak menyesatkan, karena kedua metoda tersebut samasekali bukan bermaksud untuk membuat materi yang harus ditempa, melainkan semata-mata bertujuan untuk menaikkan kekuatan dan kekenyalan benda-benda tuangan.

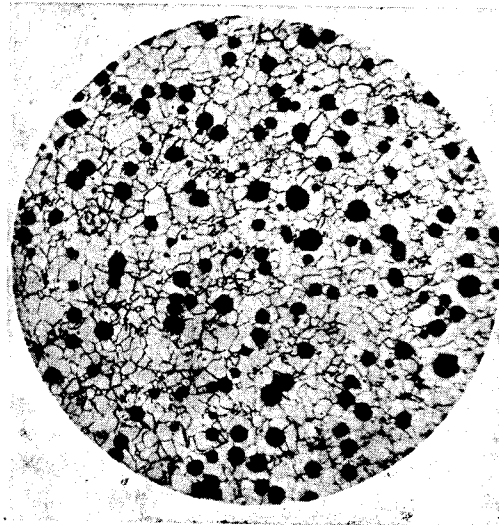
Begitu pula, anggapan seakan-akan besi tuang kelabu itu tidak mungkin ditempa adalah anggapan yang kurang kuat dasarnya, karena besi tuang feritik, asalkan tidak terlalu banyak mengandung perawis, dapat ditempa dengan baik pada suhu antara  $738$  dan  $1135^\circ\text{C}$ .

Komposisinya dalam daerah suhu ini ialah terdiri atas austenit dan grafit (gambar 27-2). Komposisi yang demikian bisa dideformasikan secara plastis (ditempa). Namun hal ini jarang diterapkan dalam praktek.

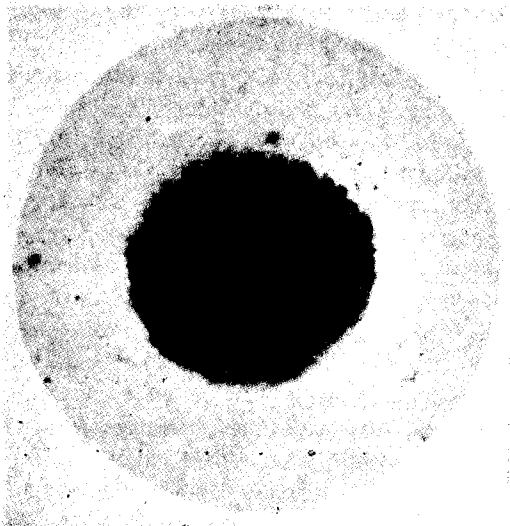
Besi tuang siap tempa bila perlu dapat dikumbuhkan. Besi ini dipergunakan untuk: tampuk pipa, pancur cerat, kunci uril, suku cadang kendaraan, dan seterusnya. Sudah tentu harga besi tuang siap tempa itu lebih mahal daripada besi tuang biasa, tetapi lebih murah daripada harga baja.

### Besi tuang noduler

Sejenis besi tuang yang sejak tahun 1948 semakin banyak dipergunakan ialah besi tuang noduler. Dengan menambahkan magnesium, misalnya, dalam bentuk senyawa nikel-magnesium kepada materi yang lebur, maka grafit yang mengendap selama pendinginan akan berbentuk bola-bola kecil, yang disebut *sferoida* atau *nodulus* (gambar 28-2 dan gambar 28-3).



Gambar 28-2. Besi tuang noduler, magnifikasi 100 X



Gambar 28-3. Besi tuang noduler, magnifikasi 1000 X

Dibandingkan dengan lamela grafit, nodulus ini tidak seberapa melemahkan materi. Sama halnya dengan besi tuang kelabu, bergantung pada prosenan unsur-unsur yang ditambahkan, akan diperoleh bermacam-macam besi tuang noduler: perlitik, biasa, dan feritik. Terhadap besi tuang noduler dapat dikenakan berbagai garapan panas seperti terhadap baja, misalnya: siar normal, penyipuhan, pemakasan, dan sebagainya.

Bergantung pada komposisi, dalam hal yang normal kekuatan tariknya berkisar antara 450 sampai 700 N/mm<sup>2</sup> dengan regangan pada batang dp 5 sebesar 20 sampai 15%. Dalam tabel yang berikut tercantum komposisi berbagai jenis besi tuang noduler.

Tabel 28-1. Komposisi besi tuang noduler

	% C	% Si	% Mn	% P	% Ni	% Mg
Nilai sembir dalam prosenan	3,2/4,2	1,0/4,0	0,1/0,8	0,10	0/3,5	0,05/0,10
Feritik dengan regangan tinggi	3,6/4,2	1,25/2,0	0,35	0,08	0/1,0	0,05/0,08
Feritik dengan kekuatan tarik yang tinggi	3,4/3,8	2,25/3,25	0,35	0,10	0/1,0	0,05/0,08
Perlitik dengan kekuatan tarik yang tinggi	3,2/3,8	2,25/2,75	0,6/0,8	0,10	1,5/1,3	0,05/0,08

Titik lebur besi tuang noduler adalah rendah akibat prosenan karbon yang tinggi, sehingga dapat digarap dengan tanur yang normal dipergunakan untuk besi tuang kelabu.

Karena dalam hal kekuatan dan kekenyalan mendekati baja, maka materi ini sering dipergunakan sebagai pengganti baja. Besi tuang noduler memiliki ketahanan yang tinggi terhadap kepenatan, bila perlu dapat dikumbuhkan, dan memiliki ketahanan terhadap api yang lebih baik daripada besi tuang kelabu.

Jelaslah bahwa besi tuang noduler ini merupakan saingan yang berat bagi besi tuang kelabu dan besi tuang siap tempa, dan terutama sekali bagi baja tuang. Kalau dibandingkan dengan materi yang terakhir ini, maka kelebihan yang dimiliki besi tuang noduler ialah:

- Susutan yang rendah.
- Biaya bahan bakar yang rendah.
- Biaya model dan biaya cetakan yang rendah.
- Biaya untuk bahan pembuat cetakan yang rendah.
- Dapat membuat benda tuangan yang tipis dan rumit tanpa banyak kesulitan.

- f. Benda tuangnya tidak memerlukan garapan siar normal.
- g. Memiliki daya redam getaran yang lumayan.

Harga besi tuang noduler lebih tinggi daripada harga besi tuang biasa tetapi lebih murah daripada baja tuang. Penerapannya yaitu: torak motor, kepala torak, roda gigi, kipas pompa, poros gandar, poros bubungan, kincir kapal, dan lain-lain.

## 29. UJI MAKAS

Dengan kemakasan diartikan kekerasan atau ketahanan suatu materi terhadap deformasi permanen oleh penikasan. Kemakasan suatu materi merupakan sifat yang penting, karena kemakasan materilah yang sangat menentukan kemudahan penggarapannya dan yang menentukan ketahanan ausnya. Kemakasan suatu materi dapat diukur dengan pengujian. Dengan pengujian ini, juga dapat diketahui pengaruh berbagai garapan panas terhadap kemakasan materi.

### Uji makas menurut Brinell

Pada uji makas ini, dibuatkan tikas yang permanen dengan sebuah peluru yang lebih keras daripada materi yang diuji pada permukaan materi yang sebelumnya dilicinkan terlebih dahulu. Apabila beban pada peluru itu diandaikan dengan  $F$ , maka menurut Brinell, kemakasan materi dapat dihitung dengan mendarabkan beban dengan faktor 0,102 lalu dibagi dengan permukaan tikas  $A$  yang berbentuk pasu.

$$M_B = \frac{0,102 F}{A}$$

Luas permukaan pangsa bola ialah:  $A = \pi \times D \times h$  dan menurut gambar

$$29-1: h = \frac{1}{2} D - \frac{1}{2} \sqrt{D^2 - d^2}$$

$$\text{jadi: } A = \pi \times D \times \left( \frac{1}{2} D - \frac{1}{2} \sqrt{D^2 - d^2} \right)$$

$$\text{atau: } A = \frac{1}{2} \times \pi \times D (D - \sqrt{D^2 - d^2})$$

$$\text{Jadi, kemakasan Brinell ialah: } M_B = \frac{0,102 F}{\frac{1}{2} \times \pi \times D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

$$\text{atau: } M_B = \frac{2 \times 0,102 F}{\pi \times D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

Kalau uji makas itu dilakukan memakai peluru baja, maka kita pergunakan lambang MBB (keMakasan Brinell diukur memakai peluru Baja) dan bilamana memakai peluru logam keras, kita harus mempergunakan lambang MBW. Kalau pengujian itu dilakukan dengan menyimpang dari persyaratan standar, di belakang lambang harus dicantumkan titiannya berturut-turut seperti dalam contoh di bawah ini:

- diameter peluru dinyatakan dalam mm;
- beban dinyatakan dalam N dan didarab dengan faktor 0,102;
- masa beban dinyatakan dalam detik (dtk).

**350 MBB 5/750/20** berarti:

kemakasan menurut Brinell = 350, diukur dengan peluru baja berdiameter  $D = 5$  mm, beban 7355 N ( $7355 \times 0,102 = 750$  kgf), dan dengan masa beban selama 20 detik.

**600 BBW 1/30/20** berarti:

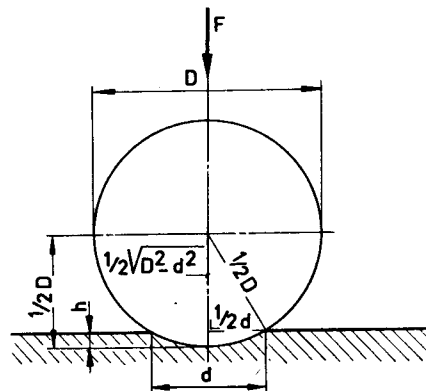
kemakasan menurut Brinell = 600, diukur dengan peluru logam berdiameter  $D = 1$  mm, beban 294,2 N (30 kgf), dan dengan masa beban selama 20 detik.

Persyaratan standar ialah:

- diameter peluru  $D = 10$  mm;
- beban  $F = 29240$  N;
- masa beban antara 10 sampai 15 detik.

**140 MBB** berarti:

kemakasan menurut Brinell = 140, diukur dengan peluru baja dan menurut persyaratan standar.



Gambar 29-1. Tikas peluru pada uji makas Brinell

**410 MBW** berarti:

kemakasan menurut Brinell = 410, diukur dengan peluru logam keras dan menurut persyaratan standar.

Peluru baja dipergunakan untuk pengujian Brinell sampai 450. Peluru logam keras dipergunakan untuk seluruh MBW di bawah 650. Beban harus dinaikkan berangsur-angsur tanpa kejutan atau getaran dalam waktu 5 dtk sampai 15 dtk (syarat standar). Nilai-nilai makas yang diperoleh dengan pengujian menurut Brinell hanya dapat diperbandingkan apabila harga  $\frac{F}{D^2}$  konstan.

Kalau, misalnya, pada uji makas baja, dipergunakan peluru 10 mm dengan beban sebesar 3000 kgf, dan lalu akan dipergunakan peluru 5 mm, maka karena perbandingan  $F$  dan  $D^2$  itu harus konstan, akan berlaku:

$$\frac{3000 \text{ kgf}}{10^2} = \frac{F}{5^2} \quad \text{atau:} \quad F = \frac{3000 \text{ kgf} \times 5^2}{10^2} = 750 \text{ kgf}$$

Jadi, bilamana untuk menguji baja dipergunakan peluru berdiameter 5 mm, maka beban yang harus dipergunakan ialah sebesar 750 kgf.

Persyaratan pada pengujian berbagai materi bagi diameter peluru beserta beban dan masa beban yang merupakan lengkapannya, tercantum dalam tabel di bawah ini.

Tabel 29-1. Persyaratan standar pada uji makas Brinell

materi	D dalam mm	F dalam kgf	masa beban dalam dtk
baja . . . . .	10	30	15
tembaga dan sobokannya . . . . .	10	5	30
timbal, timah, dan sobokannya . . . . .	10	2,50	ca. 180

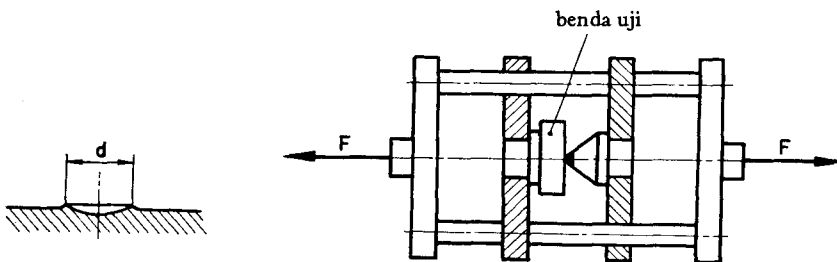
Uji makas harus dilakukan pada suhu antara 18 dan 28°C. Permukaan benda yang akan diuji harus digarap sehingga menjadi licin dan mengkilap. Bidang pikul harus begitu rata sehingga tertahan secara merata oleh bidang topang. Garapan terhadap bidang uji tidak boleh menimbulkan perubahan struktur. Bidang uji dan bidang pikul harus sejajar. Garis kerja penikas harus tegak lurus terhadap bidang uji.

Jarak antara dua tikas sekurang-kurangnya harus sama dengan  $4 \times d$  diukur dari pusat ke pusat. Jarak antara pusat suatu tikas sampai di pinggir benda uji tidak boleh kurang dari  $2,5 \times d$ . Tikas yang terjadi tidak boleh tampak atau dapat terasa pada punggung benda uji. Mengingat persyaratan ini, tebal benda uji harus sekurang-kurangnya sama dengan  $8 \times h$  ( $h$  ialah kedalaman tikas).

Diameter tikas harus diukur melalui dua arah yang berpotongan tegak lurus dengan cara yang seksama sampai seperseratus mm memakai sebuah mikroskop ukur dengan magnifikasi paling sedikit 10 X. Kalau tikasnya tidak bundar, harus dipergunakan harga rata-ratanya. Demi ketelitian nilai makas yang setinggi mungkin, harus diambil harga rata-rata dari sekurang-kurangnya tiga buah tikas yang berdekatan. Pengujian harus dibatalkan apabila ternyata bahwa tikas peluru d itu lebih kecil daripada 0,2 D atau lebih besar daripada 0,6 D (umumnya tikas itu tidak sama). Kekuatan tarik baja sobokan dan baja bukan sobokan kira-kira sama dengan

$\frac{10}{3}$  dari nilai Brinell yang diketemukan. Tetapi hasil perhitungan ini tidak boleh dianggap sebagai suatu ketentuan. Hasil yang tepat hanya dapat diperoleh dengan melakukan uji tarik itu sendiri. Metoda Brinell mempunyai beberapa kekurangan:

- Pengujiannya berabe. Membuat tikas, mengukur diameter d, menghitung nilai makas atau mencarinya dalam tabel.
- Nilai makas yang lebih tinggi daripada 450 tidak dapat diukur dengan peluru baja karena ada kemungkinan deformasi permanen bagi penikasnya.
- Materi yang didesak oleh peluru membentuk pematang di sekeliling tikas membentuk suatu bundaran. Oleh karena itu, pengukuran d secara seksama menjadi sulit. (gambar 29-2)
- Supaya pengukuran lebih cermat, dipergunakan peluru 10 mm. Tetapi peluru ini menimbulkan kerusakan yang cukup berat, sehingga bagi suku-suku cadang yang sudah digarap, uji makas itu tak terizinkan.
- Diameter peluru yang besar tidak cocok untuk uji makas pada bidang yang sempit dari, misalnya, ujung gurdi, ujung pahat sudip, dan sebagainya.



Gambar 29-2. Mengukur diameter tikas

Gambar 29-3. Uji makas memakai Hounsfield-tensometer

Uji makas menurut Brinell dapat dilakukan dengan Hounsfield-tensometer menurut cara yang ditunjukkan pada gambar 29-3. Diameter peluru baja ialah 5 mm. Untuk pengujian baja, beban penikas harus dinaikkan dalam tempo 5 sampai 8 detik menjadi 750 kgf lalu beban ini dipertahankan selama 15 detik. Setelah beban dilipurkan, diameter tikas diukur dengan suryakanta ukur yang disediakan. Nilai makas dapat dihitung atau dicari dalam tabel yang di bawah ini.

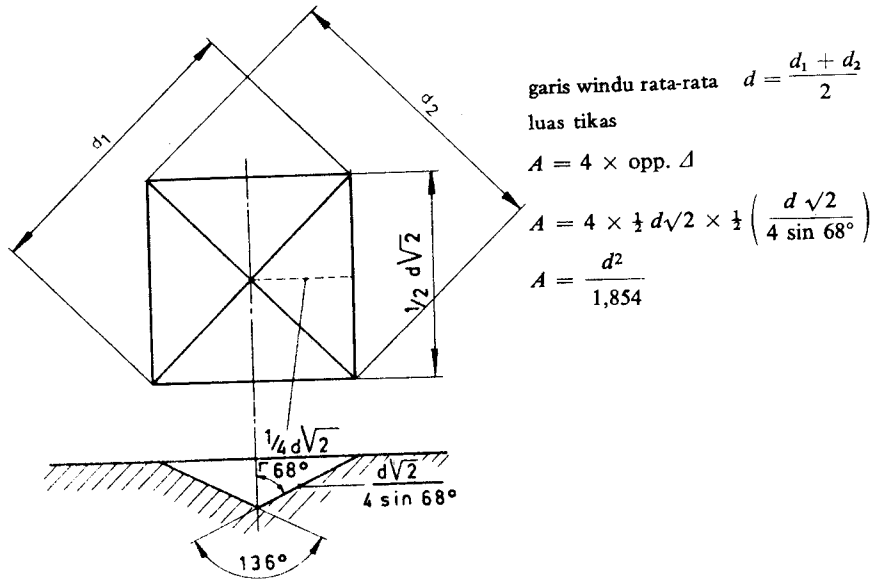
Tabel 29-2. Nilai makas menurut Brinell untuk baja  
diameter peluru 5 mm  
beban 750 kgf\*

diameter tikas dalam mm	kemakasan Brinell									
	,00	,01	,02	,03	,04	,05	,06	,07	,08	,09
1,00	945	926	908	890	873	856	840	824	809	794
1,10	780	765	752	738	725	712	700	688	676	665
1,20	653	643	632	621	611	601	592	582	573	564
1,30	555	547	538	530	522	514	507	499	492	485
1,40	477	471	464	457	451	444	438	432	426	420
1,50	415	409	404	398	393	388	383	378	373	368
1,60	363	359	354	350	345	341	337	333	329	325
1,70	321	317	313	309	306	302	298	295	292	288
1,80	285	282	278	275	272	269	266	263	260	257
1,90	255	252	249	246	244	241	239	236	234	231
2,00	229	226	224	222	219	217	215	213	211	209
2,10	207	204	202	200	198	197	195	193	191	189
2,20	187	185	184	182	180	179	177	175	174	172
2,30	170	169	167	166	164	163	161	160	158	157
2,40	156	154	153	152	150	149	148	146	145	144
2,50	143	141	140	139	138	137	135	134	133	132
2,60	131	130	129	128	127	127	125	124	123	122
2,70	121	120	119	118	117	116	115	114	113	112
2,80	111	110	110	109	108	107	106	105	105	104
2,90	103	102	101	101	100	99,2	98,4	97,9	97	96,2
3,00	95,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-

- \* Satuan untuk kemakasan Brinell yang sebenarnya ialah kgf/mm<sup>2</sup>. Dengan penggunaan sistem satuan SI timbul masalah bahwa pemakaian N/mm<sup>2</sup> akan mengakibatkan seluruh nilai makas Brinell harus didarab dengan kl 9,8. Perubahan yang mendasar ini serta keruwetan yang diperkirakan bisa timbul dapat dihindarkan dengan mempertahankan nilai Brinell yang lama tetapi sekarang dianggap sebagai besaran yang awamatra. Karena itu bebannya harus didarab dengan faktor 0,102.

### Uji makas menurut Vickers

Pada uji makas menurut Vickers, dipergunakan sebuah limas daripada berlian sebagai penikas. Bidang dasar limas merupakan bujur sangkar dan sudut puncak antara dua bidang yang berhadapan ialah  $136^\circ$  (gambar 29-4).



Gambar 29-4. Uji makas menurut Vickers

Pada tikas yang terjadi diukur garis windu  $d_1$  dan garis windu  $d_2$ . Garis windu rata-rata ialah:  $d = \frac{d_1 + d_2}{2}$

Dengan rumus:  $A = \frac{d^2}{2 \times \sin \frac{136^\circ}{2}}$

luas permukaan tikas total dapat dihitung.

Kemakasan menurut Vickers dapat dihitung dengan mendarab beban  $F$  memakai faktor 0,102 lalu dibagi dengan permukaan tikas  $A$ . Jadi, nilai makas Vickers ialah:

$$\frac{0,102 \times F}{A} = \frac{0,102 \times F}{\frac{d^2}{2 \times \sin \frac{136^\circ}{2}}} = \frac{1,854 \times 0,102 \times F}{d^2}$$

Karena tikas-tikasnya serupa (tidak demikian halnya pada metoda Brinell), setiap harga  $F$  dapat dipergunakan yang terletak antara 49,03 N (5 kgf) dan 980,7 N (100 kgf). Uji makas menurut Brinell dan menurut Vickers, menghasilkan nilai yang sama sampai kira-kira 300.

Kemakasan Vickers dinyatakan dengan:

- lambang MV;
- diawali dengan nilai makas;
- diikuti dengan beban dalam N didarab dengan faktor 0,102;
- dan oleh masa beban dalam detik (dipisahkan dengan garis miring) kalau masa beban tidak terletak antara 10 sampai 15 detik.

640 MV 30 berarti:

kemakasan Vickers = 640, beban = 30 kgf, dan masa beban = 10 – 15 dtk.

430 MV 50/20 berarti:

kemakasan Vickers = 430, beban = 50 kgf, dan masa beban = 20 detik.

Beban penikas yang lazim dipergunakan ialah:

5 kgf, 10 kgf, 20 kgf, 30 kgf, 50 kgf, dan 100 kgf.

Beban menurut persyaratan standar ialah 30 kgf (294,2 N).

Beban harus dipilih begitu besar sehingga garis windu tikas sekurang-kurangnya sama dengan 0,4 mm. Pada benda uji yang tipis dan pada permukaan yang disipuh, bebannya harus dipilih begitu besar sehingga garis windu

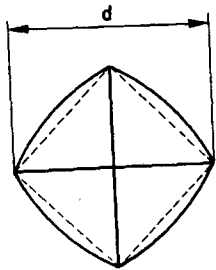
tikas rata-rata  $d$  secara maximal hanya boleh mencapai  $\frac{2}{3}$  dari tebalnya

lempengan. Jarak antara pusat suatu tikas dan pinggir benda uji atau dengan pinggir tikas yang lain tidak boleh kurang daripada 2,5 kali garis windu tikas rata-rata.

Agar diperoleh nilai makas yang secermat mungkin, harus diambil nilai rata-rata dari sekurang-kurangnya 3 tikas yang berdekatan. Uji makas menurut Vickers, sama halnya dengan uji makas menurut Brinell, harus dilakukan pada suhu antara 18 sampai  $28^\circ\text{C}$ . Permukaan benda yang akan diuji harus diempelas sampai licin atau dilecok dan dalam pada itu harus dijaga supaya tidak terjadi perubahan struktur oleh garapan tersebut. Selain itu, bidang pikul harus rata sehingga terletak rapat kepada bidang topang. Lagipula, bidang pikul itu harus sejajar dengan bidang uji, dan garis kerja penikas harus tegak lurus kepada bidang uji. Beban penikas harus dinaikkan berangsur-angsur dalam tempo 5 sampai 8 detik, lalu dipertahankan selama 10 sampai 15 detik. Hasil pengujian harus dinyatakan batal apabila setelah pengujian ternyata bahwa berlian menderita kerusakan. Hasil pengujian juga harus dibatalkan apabila tikasnya tampak atau terasa pada punggung batang uji.

Keuntungan daripada metoda Vickers ialah:

- Kerusakan pada permukaan yang tidak seberapa (lihat gambar 19-16).
- Tikasnya selalu berbanding lurus dengan beban. Nilai makas yang diperoleh tidak bergantung pada besarnya beban penikas.
- Tonjolan materi yang terjadi di sudut-sudut adalah yang paling sedikit (gambar 29-5). Karena itu, garis windu tikas dapat diukur dengan seksama.



Gambar 29-5. Tikas pada uji makas Vickers

Pengukuran tikas harus dilakukan dengan magnifikasi yang besar karena ukurannya sangat kecil. Metoda Vickers tidak boleh diterapkan untuk uji makas terhadap sobokan yang tidak homogen seperti, misalnya, besi tuang kelabu. Dalam hal ini, ujung berlian mungkin mengenai lamela grafit sehingga diperoleh nilai yang terlalu rendah.

Dalam hal yang demikian lebih baik dipergunakan metoda Brinell. Pada uji makas di bidang yang lengkung, harus dipergunakan faktor koreksi (Euronorm 5-79).

#### Uji makas menurut Rockwell

Pada uji makas menurut Rockwell, peluru baja yang disipuh dipergunakan sebagai penikas materi yang lunak dan kerucut berlian dengan sudut puncak  $\alpha = 120^\circ$  dipergunakan sebagai penikas materi yang keras. Ujung kerucut ini dibulatkan dengan radius 0,2 mm. Untuk pengujian yang normal, dipergunakan peluru (ball) berdiameter 1,5875 mm (1/16") atau kerucut berlian

(cone) tersebut.

Dalam tabel yang berikut disebutkan penikas apa dan dengan beban berapa yang harus dipergunakan untuk keadaan yang tertentu.

Tabel 29-3. Petunjuk untuk uji makas menurut Rockwell

		lambang	diameter peluru	$F_0$ dalam kgf	$F_1$ dalam kgf	jumlah satuan skala
pengujian normal	peluru baja	MRB	1/16"	10	90	130
	kerucut berlian	MRC		10	140	100
pengujian yang lain	peluru baja	MRE	1/8"	10	90	130
		MRF	1/16"	10	50	130
		MRG	1/16"	10	140	130
		MRH	1/8"	10	50	130
		MRK	1/8"	10	140	130
	kerucut berlian	MRA		10	50	100
		MRD		10	90	100

Skala yang bermacam-macam untuk kemakasan Rockwell hanya berlaku bagi daerah skala masing-masing, misalnya, sebagai berikut:

untuk MRA dari 60 sampai 88;

untuk MRC dari 20 sampai 70;

untuk MRB dari 35 sampai 100;

untuk MRF dari 60 sampai 100;

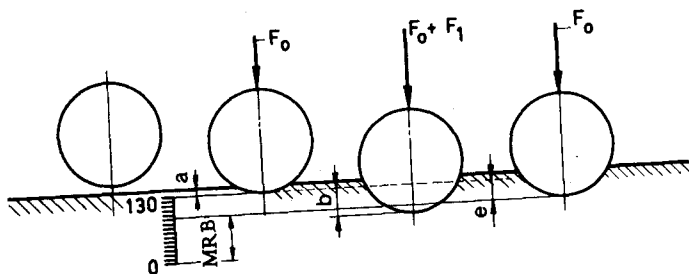
Prosedur kerja yang harus diikuti kalau mempergunakan peluru 1/16" ialah sebagai berikut:

- Peluru ditikaskan ke dalam materi dengan *beban awal*  $F_0 = 10 \text{ kgf} = 98,07 \text{ N}$  (gambar 29-6).
- Suatu skala yang terdiri atas 130 satuan (tiap satuan = 0,002 mm) pada prinsipnya ditempatkan begitu rupa sehingga garis skala yang teratas bertepatan dengan ujung bawah peluru (gambar 29-6).
- Beban peluru diperbesar sampai mencapai *beban utama*  $F_1 = 90 \text{ kgf} = 882,6 \text{ N}$ . Beban total naik menjadi  $90 \text{ kgf} + 10 \text{ kgf} = 100 \text{ kgf} = 980,7 \text{ N}$ . Lantas kita tunggu sampai melesaknya peluru ke dalam materi berhenti. Ujung peluru akan terdapat pada garis tertentu di bawah garis yang teratas (gambar 29-6).
- Beban utama  $F_1$  (= 90 kgf) setelah itu dilipurkan. Tetapi beban awal masih dipertahankan.

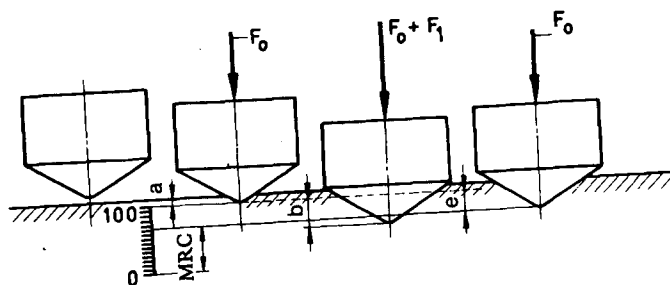
Pemasangan beban awal diperlukan supaya pengaruh deformasi peluru yang elastis (lentur) terhadap hasil pengujian menjadi minimal. Dengan demikian, garis teratas pada pembagian skala menjadi pangkal pengujian yang tetap.

Waktu beban utama dilipurkan, materi di tempat tikas akan melenting kembali. Oleh karena itu, ujung bawah peluru akan sampai ke skala e yang terdapat di bawah garis skala 130 (gambar 29-6). Skala e ini mempunyai harga yang tertentu. Kalau, misalnya, harga skala itu 50, maka peluru itu telah melesak secara tetap ke dalam materi dimulai dari skala 130 sampai ke skala  $130 - 50 = 80$  (yang dalam praktek dapat dibaca pada skala lonceng). Jadi, materi yang diuji itu memiliki nilai makas sebesar 80 satuan Rockwell B yang dilambangkan dengan 80 MRB. Semakin keras materi, semakin kecil harga e, dan semakin tinggi jumlah skala menurut Rockwell (hal ini serupa dengan metoda Brinell dan metoda Vickers).

Prosedur untuk pemakaian kerucut sebagai penikas serupa dengan prosedur untuk pemakaian peluru, hanya dengan perbedaan bahwa skala yang dipergunakan sekarang ialah skala dengan 100 satuan (tiap bagian 0,002 mm) dan bahwa beban utamanya ialah  $F_1 = 140 \text{ kgf} = 1373 \text{ N}$  (beban awalnya tetap  $10 \text{ kgf} = 98,7 \text{ N}$ ). Apabila untuk e, misalnya, diperoleh harga sebesar 30 satuan Rockwell, maka hal itu berarti bahwa ujung kerucut melesak ke dalam materi dari nomor skala 100 sampai  $100 - 30 = 70$  (gambar 29-7).



Gambar 29-6. Uji makas Rockwell memakai peluru



Gambar 29-7. Uji makas menurut Rockwell memakai kerucut

Jadi, materi yang bersangkutan mempunyai nilai makas 70 satuan Rockwell C yang dituliskan dengan: 70 MRC (yang langsung dapat dibaca pada skala lonceng). Hendaknya diingatkan baik-baik bahwa pada uji makas menurut Rockwell, harga-harga MRB dan MRC tidak dapat diperbandingkan. Suatu materi dengan kemakasan 50 MRC dapat jauh lebih keras daripada materi lain dengan kemakasan 90 MRB.

Antara nilai makas menurut Rockwell dengan nilai makas menurut Brinell ataupun nilai makas menurut Vickers samasekali tidak terdapat nisbah yang sederhana. Apabila nilai Rockwell harus diubah menjadi nilai Brinell atau nilai Vickers dan juga sebaliknya, maka untuk baja, hal ini dapat dilakukan dengan mempergunakan sebuah tabel yang tercantum di halaman yang berikut.

Uji makas Rockwell harus dilakukan pada temperatur antara 18 sampai  $25^{\circ}\text{C}$ . Permukaan yang hendak diuji harus dilicinkan dan diratakan sebelumnya, tanpa menimbulkan perubahan struktur pada materi. Bidang pikul dan bidang uji harus tertahan secara merata oleh bidang topang. Bidang pikul dan bidang uji harus sejajar. Garis kerja penikas harus tegak lurus terhadap bidang uji. Jarak antara dua pusat tikas tidak boleh kurang dari empat kali diameter tikas. Jarak antara pusat tikas dengan sembir benda uji sekurang-kurangnya harus dua setengah kali diameter tikas. Kedalaman tikas tidak boleh lebih dari sepersepuluh tebalnya benda uji. Pada pengujian makas di bidang yang lengkung, harus dipergunakan faktor koreksi (Euronorm 4-79).

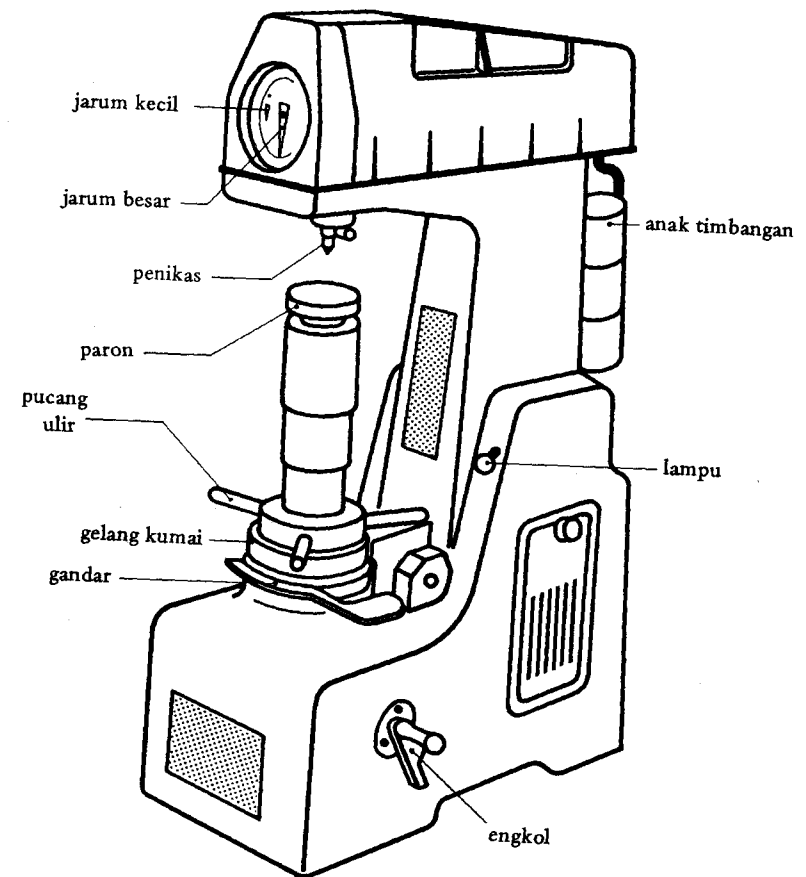
Nilai makas harus diambil sebagai harga rata-rata dari sekurang-kurangnya tiga buah tikas yang berdekatan. Pengujian harus dibatalkan apabila setelah pengujian ternyata bahwa peluru atau kerucut terkena kerusakan. Demikian pula apabila tikasnya tampak atau terasa pada punggung benda uji. Pengujian dapat dilakukan dengan pesawat pada gambar 29-8.

Prosedur kerja untuk pengujian Rockwell B dengan pesawat ini ialah sebagai berikut (diandaikan penikasnya sudah terpasang):

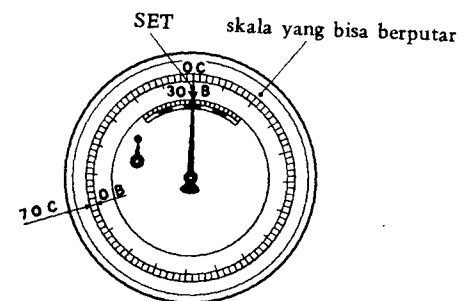
- Pasanglah beban tikas 100 kgf memakai anak timbangan yang cocok untuk itu.
- Pasangkan paron yang paling layak. Alat penikas sementara itu harus ditutup dengan jari agar tidak terompes.
- Taruhlah benda uji pada paron (alat penikas tetap ditutupi dengan jari).
- Nyalakan lampu pesawat dan putarkan pucang ulir ke kanan agar bidang uji naik sampai hampir menyentuh peluru.
- Periksalah apakah engkol sudah diputar ke atas (arah memutar berlawanan dengan arah jarum arloji).

Tabel 29-4. Perbandingan berbagai nilai makas untuk baja

kemakasan Brinell MB	kamakasan Vickers MV	kamakasan Rockwell MRC	kemakasan Rockwell MRB	kemakasan Shore S	kekuatan tarik $\sigma_p$ dalam N/mm <sup>2</sup>
100	100	-	-	-	360
110	110	-	65,5	19,3	396
120	120	-	71,0	20,7	432
130	130	-	75,5	22,3	468
140	140	-	79,0	23,7	504
150	150	-	82,1	25,1	540
160	160	1,0	84,8	26,4	576
170	170	5,0	87,3	27,7	612
180	180	8,0	89,7	29,1	648
190	190	11,0	92,0	30,6	684
200	200	12,6	94,0	31,9	720
210	210	14,2	96,0	33,3	756
220	220	16,0	97,9	34,7	792
230	230	18,0	99,6	36,1	828
240	240	20,0	101,2	37,5	864
250	250	22,0	104,0	38,8	900
260	260	23,6	105,0	40,1	936
270	270	25,2	106,0	41,4	972
280	280	26,8	107,0	42,8	1008
290	290	28,3	108,0	44,2	1044
300	300	30,0	-	45,6	1080
310	311	31,5	-	46,9	1116
320	322	32,4	-	48,2	1152
330	334	33,9	-	49,5	1188
340	346	35,4	-	50,8	1224
350	358	36,8	-	52,1	1260
360	370	38,0	-	53,4	1296
370	382	39,1	-	54,7	1332
380	394	40,2	-	56,0	1368
390	406	41,5	-	57,4	1404
400	418	42,5	-	58,6	1440
410	430	43,4	-	59,8	1476
420	442	44,3	-	61,1	1512
430	454	44,9	-	62,4	1548
440	466	46,2	-	63,8	1584
450	478	46,9	-	65,1	1620
460	490	47,8	-	66,4	1656
470	502	48,5	-	67,6	1692
480	514	49,3	-	68,9	1728
490	526	50,2	-	70,2	1764
500	538	50,8	-	71,5	1800



Gambar 29-8. Pesawat uji makas



Gambar 29-9. Skala lonceng

- f. Naikkan benda uji dengan memutar hati-hati pucang ulir sampai jarum kecil menunjuk kepada tanda titik dan jarum besar menunjuk vertikal ke atas (gambar 29-9). Penyimpangan lima garis skala ke kiri atau ke kanan dari garis yang baku dapat ditenggang. Tetapi kalau terputar lebih daripada itu, maka prosedurnya harus diulangi di tempat lain. Sekarang, beban awal  $F_0 = 10$  kgf telah menekan pada peluru.
- g. Putarkan gelang kumai begitu jauh sehingga jarum besar bertepatan dengan tanda panah yang ditunjukkan dengan "SET" pada skala lonceng yang bisa berputar (gambar 29-9, angka 30 itu seharusnya 130).
- h. Tekanlah gandar pesawat ke bawah. Dengan begitu beban utama yang diantar oleh sebuah dapra minyak akan menekan secara berangsur-angsur sampai sepuh kekuatan.
- i. Tunggulah sampai engkol terlepas dan gerakan jarum besar berhenti. Setelah itu, lipurkanlah beban utama  $F_1 = 90$  kgf dengan memutar engkol ke atas (arah memutarnya berlawanan dengan arah memutar jarum arloji). Tetapi beban awal  $F_0 = 10$  kgf masih tetap bekerja.
- j. Bacalah nilai makas pada skala yang merah paling dalam.
- k. Lepaskanlah benda uji dari penikas dengan memutar pucang ulir ke kiri. Setelah itu, benda uji dapat dikeluarkan.

Prosedur kerja untuk uji makas menurut Rockwell C memakai pesawat pada gambar 29-8 adalah sama dengan prosedur uji makas menurut Rockwell B yang telah diutarakan di atas. Hanya penikasnya harus diganti dengan kerucut dan beban utamanya diganti dengan 150 kgf, sedangkan beban awal  $F_0$  tetap 10 kgf.

Nilai makas yang sekarang, dapat dibaca pada skala hitam yang terdapat di sebelah luar skala lonceng yang dapat berputar itu (gambar 29-8, angka nol seharusnya 100). Sebelum penikas yang baru dipasangkan, bidang topang pada penikas dan bidang topang pada pesawat harus dibersihkan dahulu baik-baik.

Pada setiap pergantian penikas, keseksamaan pesawat harus diuji kembali. Hal ini dapat dilakukan dengan menguji balok kalibrasi (balok tera) yang tersedia pada pesawat. Pada tiap balok tera tercantum kemakasan materinya. Keuntungan uji makas menurut Rockwell ialah:

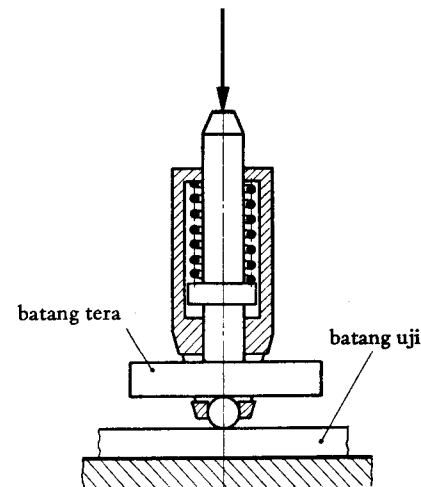
- a. Tikasnya kecil karena beban dan ukuran penikas pun kecil, sehingga sebuah suku cadang yang telah digarap tidak menjadi seberapa rompes.
- b. Rompes yang sedikit berarti pula kedalaman tikas yang sedikit dan karena itu uji makas menurut Rockwell dapat diterapkan pada bidang yang sempit dan keras.
- c. Pelayanannya pesawat sederhana dengan pembacaan nilai makas yang langsung.

Kerugian uji makas menurut Rockwell ialah:

- a. Karena ukuran penikasnya kecil, uji makas menurut Rockwell tidak cocok untuk menguji materi yang strukturnya tidak homogen, misalnya, besi tuang. Penikasnya mudah menggelincir dari bagian yang keras ke bagian yang lunak. Oleh karena itu, akan diperoleh nilai makas yang tidak benar. Selain itu, dalam hal ini ujung penikas bisa rompes. Nilai makas materi yang tidak homogen dapat diuji paling seksama menurut Brinell (memakai peluru yang besar).
- b. Skala lonceng selain menyatakan betapa dalam penikas itu meleasak ke dalam materi, juga menyatakan betapa banyak deformasi elastis yang diderita pesawat. Oleh sebab itu, pengujiannya tidak murni betul.

#### Uji makas menurut Poldi

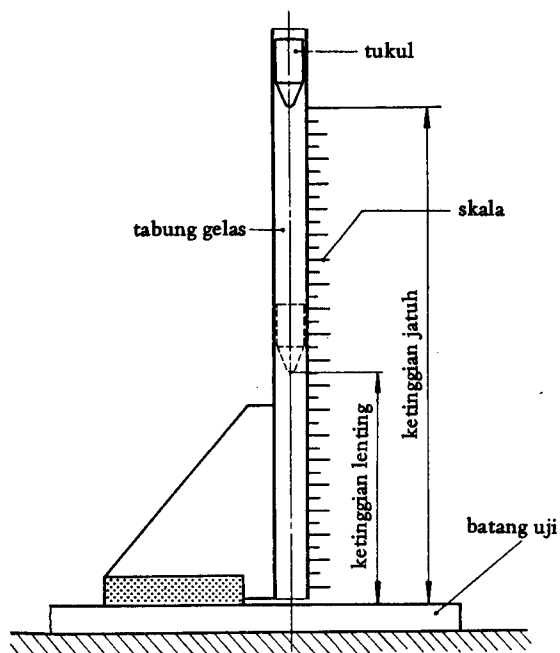
Pada uji makas menurut Poldi dipergunakan peluru sebagai penikas. Untuk pengujian, peluru itu ditempatkan di antara batang uji dan batang yang sudah ditera (gambar 29-10). Dengan pukulan palu akan timbul gaya yang tidak langsung. Pukulan itu menyebabkan peluru meleasak baik ke dalam batang uji maupun ke dalam batang tera. Dengan membandingkan kedua tikas ini, kemakasan batang uji dapat ditentukan secara pendekatan. Keuntungan pengujian ini ialah tempatnya yang tidak terikat. Pengujian dapat dilakukan di sembarang tempat. Metoda ini banyak diterapkan pada uji makas secara global di gudang-gudang dan bengkel-bengkel.



Gambar 29-10. Uji makas menurut Poldi

### Uji makas menurut Shore

Pada uji makas ini, sebuah tukul dijatuhkan dari ketinggian tertentu dan diukur ketinggian melentingnya. Ketinggian melenting ini merupakan ukuran bagi kemakasan materi. Pesawat untuk uji makas ini disebut *skleroskop* (gambar 29-11). Skleroskop terdiri atas tabung gelas berskala. Dalam tabung terdapat sebuah tukul yang mudah digerakkan. Di ujung bawah tukul dipasangkan peluru kecil dari baja sipuh. Tetapi untuk menguji materi yang disipuh, pada ujung tukul itu dipasangkan kerucut kecil daripada berlian yang dibulatkan. Pesawat ini ditempatkan pada permukaan yang harus diuji dengan arah gerak tukul yang tegak lurus terhadap bidang uji. Tukul itu diangkat sampai ketinggian tertentu dan lalu dibiarkan jatuh secara bebas. Ketinggian melentingnya dibaca pada skala.



Gambar 29-11. Skleroskop

Dengan menggunakan tabel 29-3, nilai makas Shore dapat diubah menjadi nilai makas yang lain yang lebih lazim. Pesawat ini tidak terikat kepada tempat yang tertentu dan bekas pengujian-nya hampir tidak rompes.

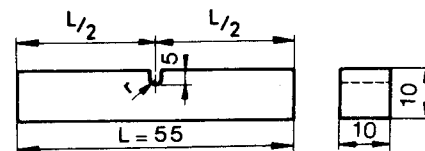
## 30. UJI PUKUL-TAKIK

Suatu materi yang terhadap beban statis memiliki sifat-sifat tertentu, biasanya akan berfiil lain apabila mendapat beban yang dinamis. Untuk menentukan sifat-sifat materi yang mendapat beban dinamis, harus dilakukan pengujian yang dinamis. Uji pukul-takik ialah salah satu cara pengujian yang demikian. Sebuah batang uji yang ditakik dipatahkan dengan satu kali pukul.

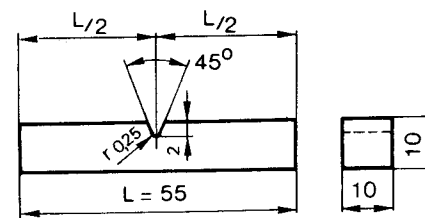
Hasil kerja  $T$ , yang dinyatakan dalam  $J$  (joule), yang diperlukan untuk mematahkan batang uji disebut *nilai pukul-takik*. Ada dua jenis batang uji standar: ada yang takiknya berbentuk U (gambar 30-1) dan ada yang takiknya berbentuk V (gambar 30-2).

Perhatikanlah!

Nilai pukul-takik yang diperoleh melalui pematahan batang uji dengan takik-U sekali-kali tidak boleh dibandingkan dengan nilai pukul-takik yang diperoleh melalui pematahan batang uji dengan takik-V. Kedua nilai ini merupakan hasil dua metoda pengujian yang berlainan. Pada nilai pukul-



Gambar 30-1. Batang uji dengan takik berbentuk U



Gambar 30-2. Batang uji dengan takik berbentuk V

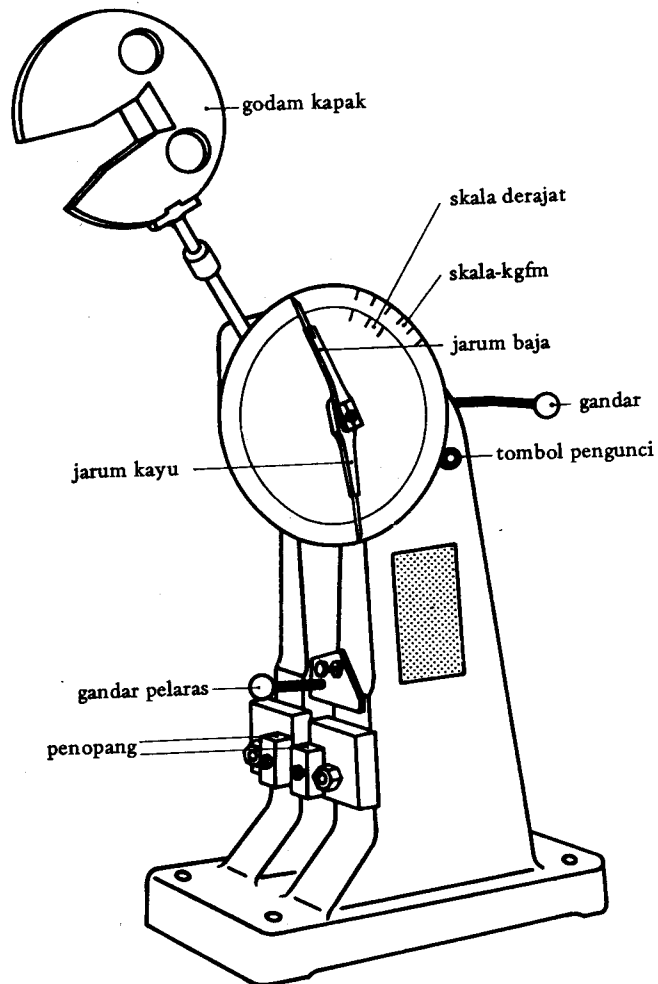
takik harus dicantumkan jenis batang uji yang dipergunakan untuk mengukurnya. Di belakang lambang T dicantumkan huruf besar U atau V dan kalau kedalaman takiknya tidak sesuai dengan standar, juga harus dicantumkan kedalaman itu dalam mm.

TU = 25 J berarti:

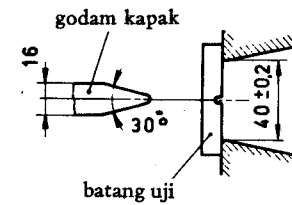
nilai pukul-takik 25 J, diukur memakai batang uji dengan takik berbentuk U.

TV3 = 19 J berarti:

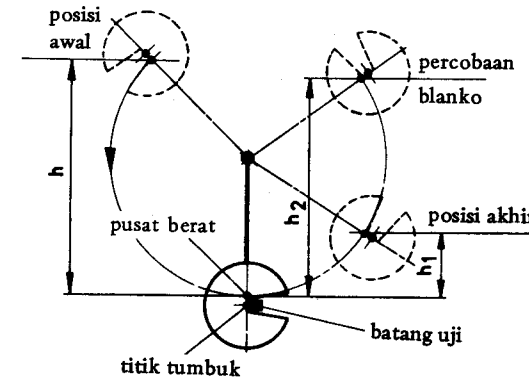
nilai pukul-takik 19 J, diukur memakai batang uji dengan takik berbentuk V dan kedalaman takik 3 mm.



Gambar 30-3. Pesawat uji pukul-takik



Gambar 30-4. Posisi batang uji terhadap godam



Gambar 30-5. Gerak ayunan godam

Uji pukul-takik dilakukan dengan pesawat pada gambar 30-3. Batang yang diletakkan horizontal di atas dua penopang (lihat gambar 30-4) dipatahkan oleh godam kapak yang berayun pada poros yang horizontal. Batang uji harus ditaruh begitu rupa sehingga kalau godam kapak dibiarkan bergantung bebas, ujung depan kapak akan sedikit menyentuh batang uji (gambar 30-5).

Prosedur kerja untuk pemakaian pesawat pada gambar 30-3 ialah sebagai berikut:

- Periksalah, apakah jarum baja menunjuk 0 kgfm kalau godam kapak menggantung bebas.
- Tekanlah jarum kayu yang bebas kepada jarum baja dan periksalah, apakah jarum baja menunjuk skala 15 kgfm =  $9 \times 15$  J.
- Taruhlah gandar pada posisi sentral.
- Naikkanlah hati-hati godam kapak ke posisi awal (kalau terlalu cepat gagang ayunannya bisa bengkok). Pada posisi awal godam kapak itu harus dapat terkunci secara otomatis. Dalam godam kapak akan terkumpul energi potensial (daya kerja) sebanyak  $G \times g \times h$  joule (gambar 30-5).

- e. Jarum kayu yang bebas itu harus diputar sampai ujungnya menunjuk vertikal ke bawah (gambar 30-3).
- f. Kedua bidang penopang bila perlu harus disetelkan supaya jaraknya menjadi sesuai (gambar 30-4) lalu taruhlah batang uji di atasnya. Dengan gandar pelaras, posisi batang uji dapat disetelkan supaya tepat, yaitu menyentuh ujung godam kapak tepat di tengah-tengah punggung takikan. Meskipun godam kapak itu terkunci, anggota badan kita tidak boleh berada di jalur ayunannya selama kita melakukan persiapan-persiapan tersebut di atas.
- g. Tekanlah tombol pembebas kunci dan tekanlah gandar pesawat ke atas. Dengan demikian pengunci godam kapak akan lepas dan godam akan mengayun ke bawah. Untuk mengerjakan hal ini seseorang memerlukan kedua tangannya, namun agar tidak terkena kapak yang mengayun ia harus berdiri di samping pesawat. Pada ayunan yang menurun, energi potensial godam akan diubah menjadi energi kinetik (daya gerakan). Sebagian besar energi ini akan terpakai untuk mematahkan batang uji dan sisanya akan diubah lagi menjadi energi potensial. Hal ini akan tampil sebagai ayunan godam yang menaik. Sisa energi ini ialah sama dengan  $G \times g \times h_1$  Nm (gambar 30-5). Jadi, energi yang terpakai untuk mematahkan batang ialah:

$$G \times g \times h - G \times g \times h_1 = G \times g \times (h - h_1) \text{ J}$$

Energi yang terpakai untuk mematahkan batang uji dan sudut ayunan godam selanjutnya dapat dibaca pada skala (gambar 30-3). Jarum kayu akan terbawa oleh jarum baja dan akan berhenti pada posisi yang terakhir dengan menunjukkan sudut ayunan lanjutan serta energi yang terpakai. Nilai ini bila didarab dengan  $g = 9,8 \text{ m/dtk}^2$  akan menghasilkan energi pematahan dalam joule.

- h. Tekanlah gandar ke bawah. Dengan demikian godam yang masih berayun akan terabar.

Perlu diketahui bahwa energi pematahan itu tidak seluruhnya dipergunakan untuk memutuskan batang uji. Sebagian kecil dipakai untuk:

- a. Mengalahkan hambatan gesek di pusat ayunan.
- b. Mengalahkan hambatan udara.
- c. Mengalahkan hambatan luncur batang melalui penopang.
- d. Melemparkan kedua bagian batang yang patah.

Sebelum memulai pengujian, harus diperiksa dahulu apakah penyimpangan yang tersebut di a dan b tidak terlalu besar pengaruhnya. Untuk itu, kita melakukan pengujian yang disebut pengujian blanko. Dalam pengujian itu, godam kapak dilepaskan dari posisi awalnya tanpa memasang batang uji. Yang diukur ialah besarnya ayunan lanjutan (gambar 30-5). Menurut

teori, jarum kayu setelah pengujian blanko harus berada di titik nol. Godam yang 15 kgfm ( $g \times 15 \text{ J}$ ) secara praktis hanya boleh menyimpang sebanyak 0,3%

Pengujian nilai pukul-takik harus diambil sebagai harga rata-rata dari tiga pengujian. Pengujian ini harus dilakukan memakai tiga batang uji dengan ukuran yang betul-betul sama. Selain itu, batang uji tersebut harus dipatahkan pada temperatur yang juga betul-betul sama.

Cara patah batang uji ada dua macam. Dalam hal yang pertama, bidang patah itu rata dan mengkilap seperti kristal. Kalau bagian-bagiannya dipertemukan kembali, akan ternyata bahwa materi itu patah tanpa diawali deformasi yang permanen. Patah yang demikian disebut *patah getas* atau *patah kudung*.

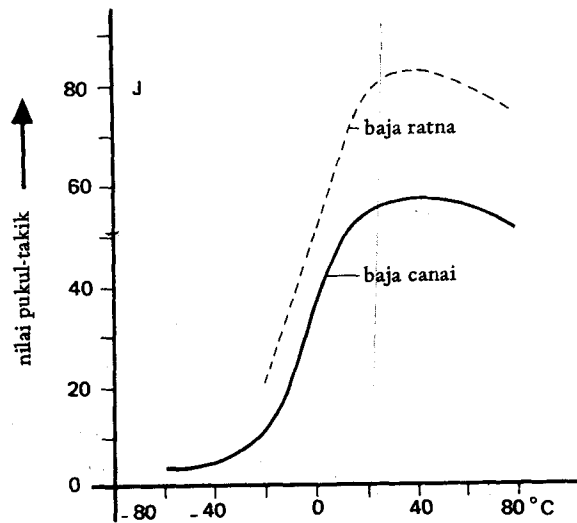
Cara patah yang lainnya ialah dengan bidang patah yang tidak rata dan tampak seperti berserat-serat. Kalau bagian-bagiannya dipertemukan lagi akan ternyata bahwa materi itu sebelumnya patah mengalami banyak deformasi yang permanen. Patah yang demikian disebut *patah kenyal* atau *patah cangga*. Materi yang patah cangga mempunyai nilai pukul-takik yang tinggi.

Kedua cara patah tersebut di atas merupakan bentuk yang ekstrem. Kebanyakan cara patah merupakan campuran atau kombinasi dari patah kudung dan patah cangga. Bergantung pada banyak faktor, ternyata bahwa materi yang sama ada kalanya menunjukkan patah kudung dan ada kalanya pula menunjukkan patah cangga.

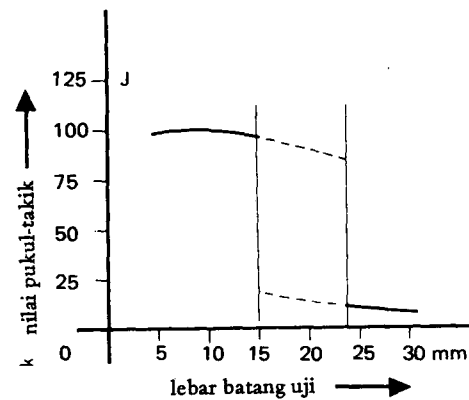
Cara patah itu banyak dipengaruhi temperatur. Apabila temperatur tidak ditentukan, umumnya uji pukul-takik itu harus dilakukan pada temperatur di antara 20 dan 22°C. Kalau menyimpang dari batas-batas tersebut, pada hasil pengujian harus tercantum temperaturnya.

Sejenis baja dapat memiliki nilai pukul-takik yang tertinggi pada suhu yang kira-kira sama dengan suhu kamar. Pada suhu di atas atau di bawah suhu kamar, nilai pukul-takik itu akan lebih rendah (gambar 30-6). Pada gambar 30-6 juga tampak pengaruh yang baik terhadap nilai pukul-takik akibat peratnaan baja, tetapi penyipuhan baja mengakibatkan penurunan nilai pukul-takik. Apabila nilai pukul-takik harus diukur pada suhu yang rendah, maka suhu yang dikehendaki itu dapat dicapai dengan mendinginkan batang uji dalam salju karbondioksida.

Faktor lain yang berpengaruh terhadap nilai pukul-takik ialah ukuran butir kristal dan kerancuan yang terdapat di dalamnya, misalnya, rancuan terak dan lain-lain. Yang juga penting ialah ukuran batang uji dan bentuk takik. Kalau terhadap sejenis materi dilakukan beberapa pengujian dengan batang yang semakin lebar (jadi, takiknya semakin panjang), akan tampil gejala



Gambar 30-6. Grafik nilai pukul-takik dengan suhu



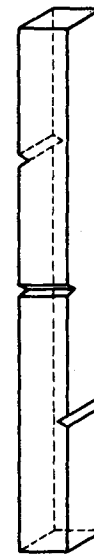
Gambar 30-7. Nisbah nilai pukul-takik dengan lebar batang

yang ganjil, yaitu bahwa nilai pukul-takik akan semakin kecil kalau batangnya menjadi semakin lebar (gambar 30-7). Pada batang yang sempit bisa terjadi patah cangga, sedangkan pada batang yang lebih lebar dan pada temperatur yang sama bisa terjadi patah kudung. Peralihan dari patah cangga ke patah kudung dapat terjadi secara mendadak. Pada baja dapat, misalnya, terjadi bahwa batang uji dengan lebar 20 mm mempunyai nilai pukul-takik sebesar 80 J, dan pada batang yang lain daripada baja yang sama dengan ukuran yang sama betul dan diuji pada keadaan yang juga sama dengan menghasilkan

nilai pukul-takik sebesar 20 J (gambar 30-7). Pada gambar 30-7 tampak bahwa pada baja ini dengan lebar batang antara 15 sampai 24 mm terdapat daerah sebaran yang luas bagi nilai pukul-takik.

Yang juga banyak pengaruhnya ialah garapan akhir batang dan bentuk batang dan garapan akhir daripada takik. Batang uji secara keseluruhan harus digarap sampai licin. Bagi dasar takik yang tajam akan diperoleh nilai yang lebih rendah daripada nilai pukul-takik bagi dasar takik yang dibulatkan.

Takik pada batang uji seperti ditampilkan pada gambar 30-1 dan gambar 30-2 harus dibuat dengan penggurdian atau dengan penyudipan. Takik yang disugu menampilkan alur-alur garapan yang bisa mempengaruhi nilai pukul-takik. Kehadirannya alur garapan itu dapat mengakibatkan patah kudung. Demikianlah nilai pukul-takik itu bergantung pada berbagai macam faktor, sehingga nilai ini tidak layak untuk dijadikan dasar bagi perhitungan konstruksi. Dengan mengesampingkan semua faktor tersebut, bentuk materi pada konstruksi akan begitu berbeda dari bentuk sebuah batang uji, sehingga nilai pukul-takik yang sebenarnya akan samasekali berlainan daripada nilai pukul-takik yang diperoleh pada pengujian. Oleh karena itu, nilai pukul-takik harus dianggap sebagai nilai yang hanya berguna sebagai nilai perbandingan bagi kekuatan dan daya deformasi berbagai materi terhadap beban pukulan dengan syarat bahwa pengujiannya harus betul-betul dilakukan pada keadaan yang sama. Dengan uji pukul-takik, misalnya,



Gambar 30-8. Batang uji Izod

dapat diselidiki apakah jenis baja yang tertentu dapat atau tidak dapat terkena gejala yang ditakuti yaitu *gejala perentaaan*.

Di Inggris dipergunakan batang uji Izod. Pada batang ini dibuat tiga buah takikan, sehingga pada satu batang dapat dilakukan tiga kali pengujian berturut-turut (gambar 30-8).

Hasil pengujian terhadap batang yang demikian tidak dapat diperbandingkan dengan hasil pengujian yang diutarakan di atas. Sebabnya ialah karena batang uji Izod mempunyai takikan yang lancip (gambar 30-8). Selain itu, batang Izod itu dicunam pada salah satu sisinya di sebelah takik yang akan dipukul (jadi, cara pembebanan pun berlainan).

## 31. GEJALA PERENTAAN PADA BAJA

Meskipun gejala ini terdapat pada berbagai materi, di sini hanya akan dibahas gejala perentaaan pada baja. Perentaaan pada baja ini disertai oleh naiknya kemakasan dan turunnya kekenyalan. Berdasarkan dugaan hal itu terjadi akibat kehadiran beberapa unsur yang pada suhu tinggi banyak melarut dalam baja, tetapi pada suhu rendah kelarutannya turun. Perentaaan baja bisa jadi disebabkan oleh nitrogen dan oksigen yang larut dalam baja di samping karbon. Perentaaan baja biasanya tampak setelah pendinginan yang cepat atau deformasi dingin atau kombinasi dari kedua ini. Apabila pada waktu baja membeku suhunya didinginkan dengan cepat, akan lebih banyak unsur-unsur terdapat dalam larutan daripada jumlah yang sesuai dengan keseimbangan normal. Kelebihan itu akan mengendap perlahan-lahan, kadang-kadang setelah beberapa tahun, dan di beberapa tempat membentuk senyawa dengan besi. Kehadiran senyawa-senyawa ini merupakan gangguan besar bagi kisi kristal. Hal ini menyebabkan naiknya kekuatan dan kemakasan tetapi disertai oleh turunnya regangan dan nilai pukul-takik.

Dengan pemanasan sampai 200 atau 250°C, pergerakan atom-atom akan bertambah begitu besar, sehingga mempercepat proses perentaaan. Sebagaimana diketahui, deformasi dingin menimbulkan pergeseran-pergeseran dalam kisi kristal. Karena itu, nitrogen dan oksigen yang ada dalam baja akan jatuh ke dalam posisi tertegang yang lebih kuat sehingga pengendapannya akan berlangsung lebih cepat lagi. Dan oleh sebab itu, deformasi dingin akan memperbesar kepekaan terhadap perentaaan. Perentaaan baja akan berlangsung paling cepat, apabila baja itu dipanaskan setelah deformasi dingin.

Dengan membandingkan nilai pukul-takik yang diperoleh pada temperatur normal dengan nilai pukul-takik dari materi yang sama yang direntakan secara buatan, kita akan memperoleh gambaran tentang kepekaan rentaa materi itu.

Perentaaan buatan dilakukan dengan memanaskan baja selama satu jam pada 200 atau 250°C setelah baja itu diregangkan permanen sebanyak 10%. Lebih-lebih baja dengan kadar karbon rendah akan peka sekali terhadap perentaaan. Kepekaan rentaa baja akan berkurang dengan menambahkan

aluminium dan titanium. Proses perentaaan menimbulkan sedikit deformasi. Setelah bertahun-tahun, tanpa memperhatikan kemungkinan terjadinya aus, hal ini dapat mengakibatkan salah ukur pada perkakas pengukur.

Oleh sebab itu, baja untuk membuat perkakas sering direntakan lebih dahulu secara buatan. Kepekaan rentan terutama dijumpai pada konstruksi baja yang dikumbuhkan (dielas). Di tempat-tempat yang dikumbuhkan timbul peluang besar untuk terjadi penyerapan nitrogen dan oksigen. Selain itu, suhu logam yang dikumbuhkan pada umumnya akan turun sangat cepat, dan akibat perbedaan-perbedaan temperatur setempat timbul pula tegangan dakhil yang tinggi. Semua gejala ini mempermudah terjadinya perentaaan pada logam yang dikumbuhkan.

Pada ketel uap bisa timbul korosi interkristalik. Ternyata bahwa peluang korosi interkristalik menjadi semakin besar, apabila baja ketelnya semakin peka terhadap perentaaan. Lebih-lebih karena pada ketel uap berbagai faktor seperti: deformasi dingin akibat togok ketel yang dicanai dingin, pengentungan (pengelingan) atau pengumbuhan, dan suhu kerja ketel yang tinggi, itu semua akan mendorong berlangsungnya perentaaan.

## 32. UJI PUKUL-TARIK

Dengan uji pukul-tarik, kita mengukur usaha (energi) yang diperlukan untuk mematahkan sebuah batang uji dengan satu kali pukul. Usaha ini, yang dinyatakan dalam J (joule), disebut *nilai pukul-tarik*.

$T$  = nilai pukul-tarik dalam J

$A_0$  = penampang asal dalam  $\text{mm}^2$

Ukuran batang dijelaskan pada gambar 32-1

Regangan setelah putus ialah:

$$\delta = \frac{L_u - L_0}{L_0} \times 100\%$$

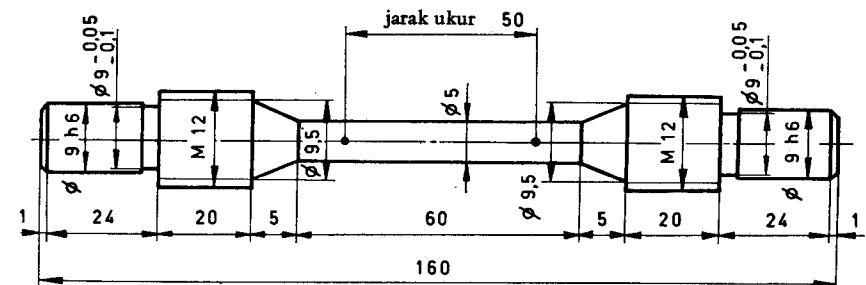
$L_u$  = jarak ukur setelah putus dalam mm

$L_0$  = jarak ukur asal dalam mm

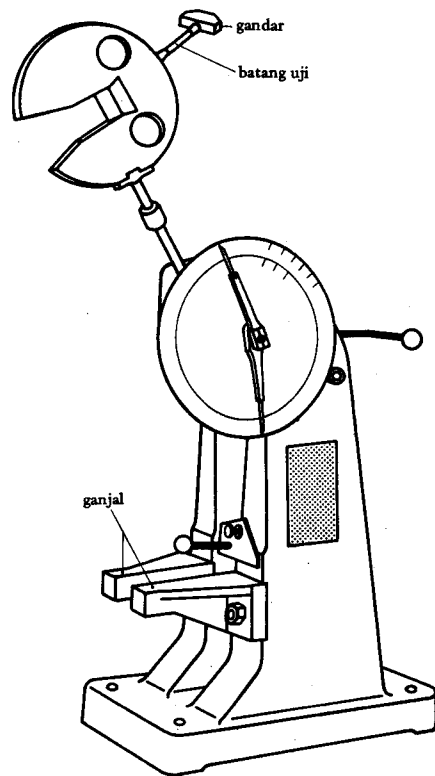
Penggentingan setelah putus ialah:

$$\Psi = \frac{A_0 - A_u}{A_0} \times 100\%$$

$A_u$  = penampang batang terkecil setelah putus dalam  $\text{mm}^2$



Gambar 32-1. Batang uji untuk pukul-tarik



Gambar 32-2. Pesawat uji pukul-tarik

Batang uji harus digarap baik-baik secara menyeluruh. Bagian tengah yang berbentuk torak harus dilicinkan dengan kain empelas sepanjang jarak ukur. Pengujian harus dilakukan pada suhu antara 20 sampai 22°C. Pengujian dapat dilakukan dengan pesawat pukul-tarik (gambar 32-2).

Untuk pengujian ini, kepada pesawat harus dirakitkan sepasang ganjal sebagai penahan (gambar 32-2). Setelah ulir godam kapak dilepaskan, batang uji harus diulirkan ke dalam lubang yang menjadi kosong. Pada ujung lain dari batang uji harus dipasangkan sebuah gandar (gambar 32-2). Pengujian seterusnya sama seperti pada pengujian pukul-tarik. Percobaan blanko harus dilakukan tanpa gandar dan tanpa batang uji tetapi ulir godam harus dipasangkan kembali. Faedah uji pukul-tarik sama seperti faedah uji pukul-tarik, yaitu untuk menentukan kekuatan dan daya deformasi suatu materi terhadap beban yang menumbuk (beban dinamis).

### 33. KEPENATAN LOGAM

Suatu konstruksi, yang mendapat beban dinamis, setelah beberapa lama ternyata bisa ambruk walaupun beban maximal yang timbul berada di bawah batas regangan. Uji penat harus terlebih dahulu dilakukan terhadap bahan-bahan konstruksi untuk meneliti apakah bahan konstruksi tersebut dapat menahan beban dinamis tertentu untuk waktu yang cukup lama. Pada pengujian yang demikian, dilakukan pengukuran berapa banyak ayunan beban yang dapat ditahan oleh suatu materi sebelum materi itu menjadi patah. Ayunan beban ialah perubahan beban yang sepenuhnya berulang secara periodik (gambar 33-1). Tegangan tertinggi atau tegangan maximum ialah tegangan positif atau negatif tertinggi yang dicapai sebagai extrema pada satu ayunan. Tegangan rata-rata ialah setengahnya dari jumlah aljabar tegangan tertinggi dan tegangan terendah. *Amplitudo tegangan* atau *riak tegangan* ialah selisih antara tegangan tertinggi dan tegangan rata-rata atau juga sama dengan selisih antara tegangan rata-rata dengan tegangan terendah (gambar 33-1).

Berdasarkan jenisnya, beban itu dapat dibagi menjadi empat jenis:

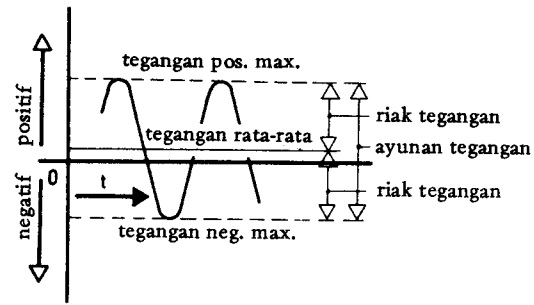
- a. Beban berayun berupa tarikan dan/atau tekanan.
- b. Beban berayun berupa pelengkungan.
- c. Beban berayun berupa pelengkungan yang memutar.
- d. Beban berayun berupa liukan.

Tiap jenis beban yang di atas dapat dibagi lagi dalam beberapa macam:

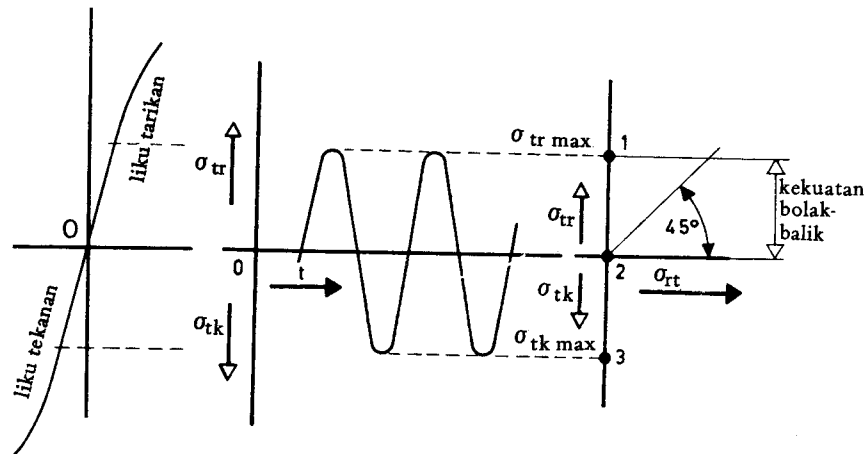
1. Beban bolak-balik (gambar 33-2).
2. Beban senjang (gambar 33-3).
3. Beban berayun (gambar 33-4).
4. Beban statis (gambar 33-5).

Gambar 33-2 sampai gambar 33-5 berlaku untuk beban yang disebut dalam butir a.

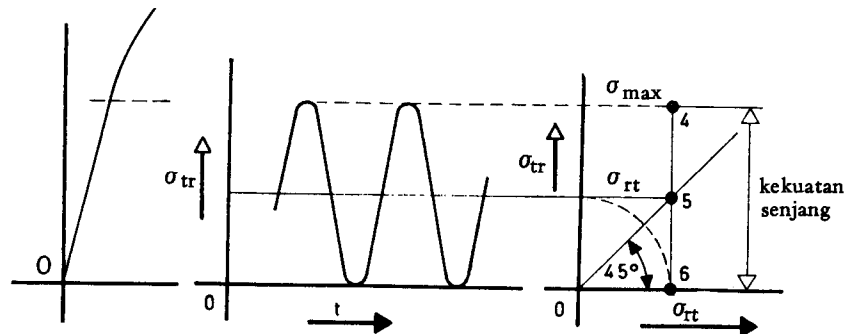
*Beban bolak-balik* ialah beban dengan tegangan yang bolak-balik, yakni tegangan yang berayun antara harga positif yang maximal dan harga negatif yang maximal (gambar 33-2).



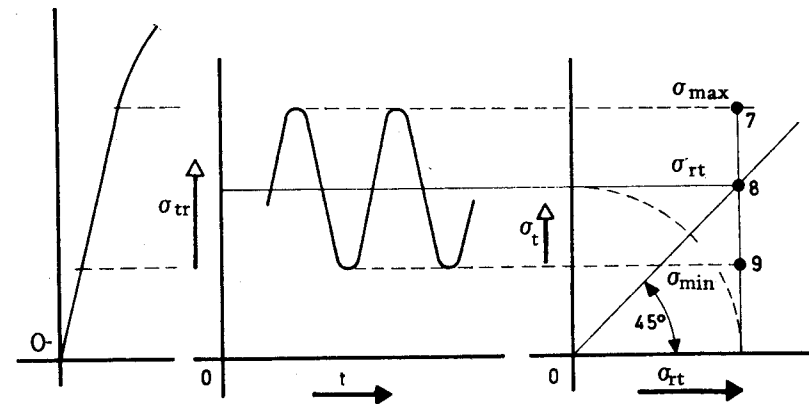
Gambar 33-1. Ayunan beban



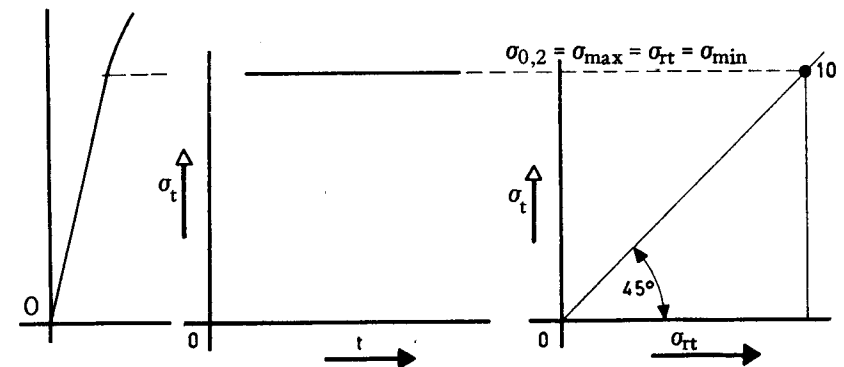
Gambar 33-2. Beban bolak-balik



Gambar 33-3. Beban senjang



Gambar 33-4. Beban berayun



Gambar 33-5. Beban statis

*Kekuatan bolak-balik* ialah tegangan tertinggi (positif dan negatif) yang harga rata-ratanya sama dengan nol (gambar 33-2) yang dapat ditahan oleh materi untuk waktu yang sangat lama.

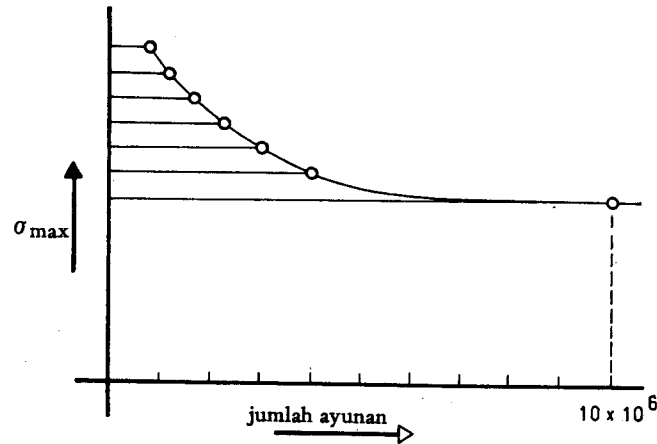
*Beban senjang* ialah beban yang tegangan rata-ratanya sama dengan setengah dari tegangan maximum, sedangkan tegangan minimumnya sama dengan nol.

*Kekuatan senjang* ialah tegangan tertinggi (positif ataupun negatif) yang dapat ditahan lama oleh materi pada beban senjang (gambar 33-3).

*Beban berayun* ialah beban dengan tegangan pada materi yang berayun antara harga maximum dan harga minimum, positif ataupun negatif, yang tertentu (gambar 33-4).

*Beban statis* ialah beban yang selalu konstan.

*Kekuatan statis* suatu materi ialah sama dengan *batas regangan* ( $\sigma_{0,2}$  pada gambar 33-5).



Gambar 33-6. Likuan Wohler

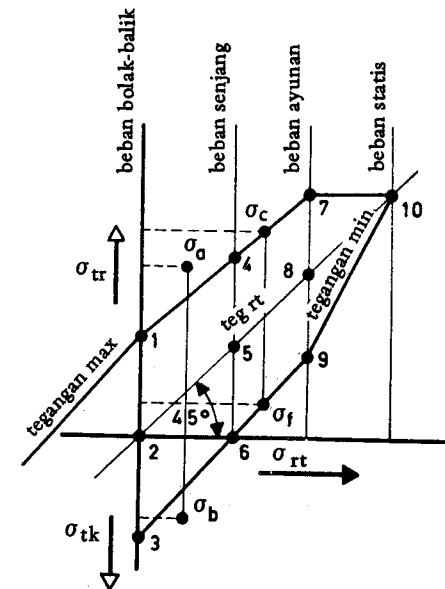
Uji penat dilakukan terhadap beberapa seri batang uji yang betul-betul sama. Batang ini diberi salah satu macam beban yang tersebut di atas pada temperatur kl 20°C. Batang yang pertama diberi beban begitu besar sehingga patah setelah beberapa ayunan yang relatif tidak seberapa banyak. Setiap batang yang berikutnya diberi beban yang lebih kecil, sedangkan yang selalu diukur ialah jumlah ayunan pada waktu batang uji menjadi patah. Pengujian ini diteruskan sampai salah satu batang, yang seharusnya merupakan batang paling akhir dari suatu seri, setelah mengikuti  $10 \times 10^6$  ayunan masih belum terpatahkan juga. Pengalaman membuktikan bahwa kalau sebuah batang baja masih belum terpatahkan setelah mengikuti  $10 \times 10^6$  ayunan, maka walaupun pengujian itu diteruskan, batang uji tersebut tidak akan menjadi patah karena kepenatan. Bagi beberapa logam yang lain, jumlah batas ayunan ini lebih tinggi lagi. Bagi logam yang ringan, uji penat ini harus dilanjutkan sampai jumlah ayunan sebanyak  $50 \times 10^6$ .

Nilai yang diperoleh pada tiap seri pengujian digambarkan dalam sebuah grafik dan diperolehlah apa yang disebut likuan Wöhler (gambar 33-6). Likuan pada gambar 33-6 merupakan lengkapan bagi sejenis beban sepanjang pada gambar 33-3. Kalau sifat beban dinamis itu demikian, sehingga sebuah batang uji setelah mengikuti  $10 \times 10^6$  ayunan masih belum terpatahkan juga, maka sambungan daripada likuan itu akan membentuk garis yang horizontal (gambar 33-6). Dengan kekuatan penat diartikan ayunan tegangan yang terbesar yang dapat ditahan lama oleh materi dengan harga tegangan rata-rata yang tertentu. Kekuatan penat dapat dinyatakan atau dengan tegangan tertinggi ( $\sigma_{\max}$ ) dan tegangan terendah ( $\sigma_{\min}$ ), atau dengan tegangan rata-rata ( $\sigma_{rt}$ ) dan tegangan riak lengkapannya yang terbesar yang masih dapat ditenggang.

## 34. DIAGRAM PENAT MENURUT SMITH

Likuan Wohler disusun bagi tiap seri yang merupakan lengkapan bagi jenis beban yang tertentu, dari hasil berbagai uji penat yang dilakukan terhadap suatu materi (suatu seri terdiri atas 6 batang uji lecokan yang betul-betul sama).

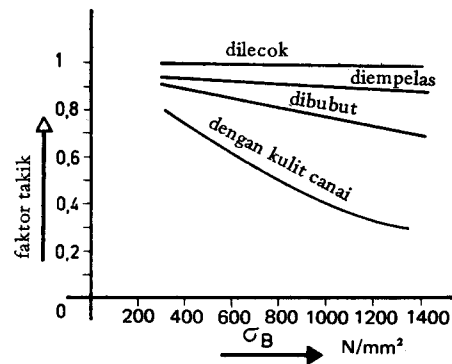
Diagram Smith disusun berdasarkan kekuatan penat yang diperoleh dari setiap seri. Penyusunan ini dilakukan dengan menggambarkan secara horizontal, tegangan rata-rata yang positif ke arah kanan dan tegangan yang negatif ke arah kiri pada sebuah sistem sumbu silang, sedangkan tegangan positif atau negatif yang sebenarnya digambarkan secara vertikal ke atas



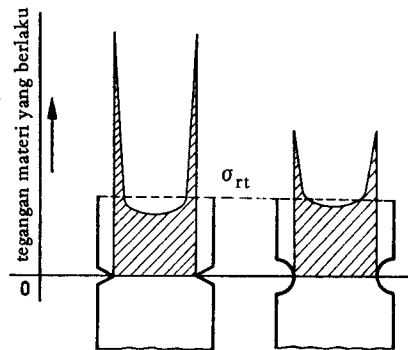
Gambar 34-1. Diagram penat menurut Smith

atau ke bawah (gambar 33-2 sampai 33-5). Pada gambar 34-1, semua harga dari gambar 33-2 sampai 33-5 digabungkan dalam satu diagram. Garis yang ditarik melalui titik 1, 4, 7, dan 10, merupakan garis yang menggambarkan tegangan maksimal yang terizinkan, dan garis yang ditarik melalui titik 6, 9, dan 10, merupakan garis yang menggambarkan tegangan minimum lengkapan-nya. Garis yang ditarik melalui titik 2, 5, 8, dan 10 merupakan garis yang menggambarkan tegangan rata-rata. Garis ini membuat sudut  $45^\circ$  dengan sumbu horizontal. Jadi, di bawah dan di atas garis ini terdapat tegangan riak yang merupakan lengkapan bagi tegangan rata-rata yang tertentu.

Kekuatan penat pada berbagai jenis beban seperti: tarikan, tekanan, lengkungan, dan liukan, tidak akan sama meskipun materinya sama. Jadi, bagi setiap jenis beban tersebut harus disusun diagram Smith tersendiri. Seperti diketahui, uji penat dilakukan dengan batang uji yang dilecek. Ternyata bahwa bagi materi yang digarap begitu, kekuatan penatnya memiliki nilai yang terbesar. Takik kecil-kecil, tonjolan, dan sebagainya, menyebabkan sebuah benda kerja menjadi lebih peka terhadap kepenatan. Apabila permukaan batang uji menyimpang dari persyaratannya, kekuatan penat pada diagram Smith itu harus didarab dengan apa yang disebut faktor takik (gambar 34-2).

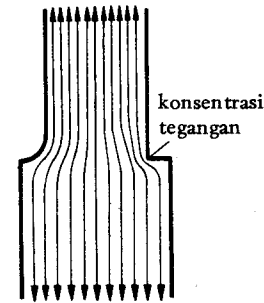


Gambar 34-2. Nisbah tegangan batas dan faktor takik

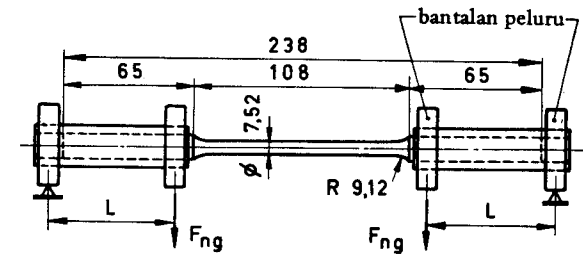


Gambar 34-3. Diagram tegangan pada dua jenis takik

Gambar 34-3 menunjukkan keadaan tegangan yang sebenarnya pada takik yang tajam dan pada takik yang dibulatkan, dengan kedalaman yang sama. Ternyata bahwa terutama pada takikan yang tajam, tegangannya akan melampaui tegangan rata-rata menurut perhitungan (bahkan melampaui kekuatan tarikanya). Sudah barang tentu peluang terbesar untuk patah penat



Gambar 34-4. Tegangan di tempat senjang



Gambar 34-5. Batang uji lengkung yang meligat

akan timbul pada tempat yang terdapat sempak atau takik yang cukup tajam. Tempat yang terdapat takik akan merupakan awal bagi timbulnya retak. Retak ini akan berkembang hingga menimbulkan patah pada suku cadang yang bersangkutan. Patah penat pada suku cadang mempunyai ciri khas berupa bagian bidang patah yang sudah lama (biasanya bekas terkena korosi) dan bagian bidang patah yang masih baru.

Jadi, perubahan tajam dari tebal menjadi tipis seperti takik yang tajam harus dihindarkan (gambar 34-4).

Kekuatan bolak-balik terhadap beban lengkung yang meligat diukur memakai batang uji seperti pada gambar 34-5:

$$W_{bll} = \frac{F_{ng} \times L}{W} \text{ N/mm}^2$$

$F_{ng}$  = beban dalam satuan N, yang sudah tidak dapat menimbulkan lagi patah penat.

$L$  = lengan pengungkit bagi momen lengkung dalam satuan mm.

$W$  = momen hambatan akibat lengkungan batang uji ( $\frac{\pi}{32} \times d^3$ ) dalam  $\text{mm}^3$ .

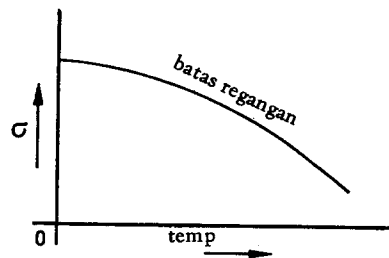
$d$  = 7,52 mm.

Pengujian dengan batang uji seperti pada gambar 34-5 juga disebut uji lengkung ligat empat titik. Jumlah ayunan beban ialah dua dalam tiap ligatan. Batang uji ini selama dilakukan pengujian harus dilindungi terhadap korosi.

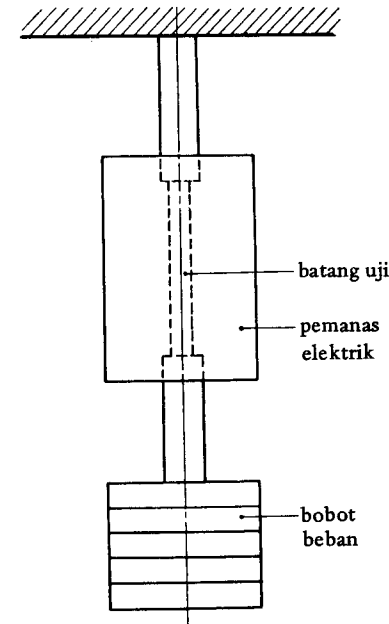
## 35.GEJALA LATA

Suku konstruksi yang bisa terbugil terhadap suhu yang tinggi sewaktu menahan beban, walaupun beban materi yang berlaku berada jauh di bawah batas regangan, akan memperlihatkan gejala deformasi permanen yang berlangsung perlahan-lahan dan yang tidak dapat ditenggang (tidak terizinkan). Lama-lama hal ini dapat menyebabkan terputusnya materi. Untuk logam dengan titik beku yang rendah, misalnya, timbal, seng, dan sobokannya, gejala lata ini sudah bisa terjadi pada suhu kamar. Melatanya baja misalnya, itu disebabkan karena ketahanan baja terhadap deformasi permanen pada suhu yang tinggi menjadi turun, yang berarti bahwa batas regangnya akan turun apabila suhunya naik (gambar 35-1). Kalau pada suatu suku konstruksi, beban materinya melampaui batas regangan yang berkurang itu, akan terjadi deformasi yang permanen. Deformasi permanen pada suhu yang normal akan menimbulkan ketegaran sehingga ketahanan materi akan bertambah besar dan dengan sendirinya akan menghentikan deformasi.

Tetapi kalau suatu materi dideformasikan permanen pada suhu yang tinggi, maka penegaran yang timbul akan dilipurkan sebagian atau seluruhnya oleh pergerakan atom yang cukup besar pada suhu tersebut. Jadi pada suhu yang tinggi, ketahanan materi tak akan naik atau hanya akan naik sedikit sehingga deformasi permanen, sekalipun perlahan-lahan, akan berlangsung terus. Akhirnya hal ini pasti mengakibatkan terputusnya materi.



Gambar 35-1. Batas regangan menurun dengan naiknya suhu



Gambar 35-2. Gambar buram pesawat uji lata

Uji tarik pada suhu yang tinggi dilakukan serupa dengan uji tarik pada suhu yang normal (lihat: Uji tarik). Pada pengujian ini, masalahnya ialah mengukur kekuatan patah dan batas regangan pada suhu yang tertentu. Pengujian ini dilakukan terhadap baja bukan sobokan sampai suhu  $350^{\circ}\text{C}$  dan terhadap baja sobokan sampai suhu  $450^{\circ}\text{C}$ .

Tetapi pada uji lata yang menjadi masalahnya ialah menemukan tegangan yang masih dapat ditahan oleh materi yang tertentu sehingga tidak menimbulkan deformasi dan tidak menimbulkan patah setelah waktu yang lama. Sebagaimana akan ternyata dari yang berikut ini, jangka waktu pada uji lata adalah sangat penting. Pada pengujian ini, batang uji yang dibebani dengan tarikan pada suhu tertentu dan dengan bobot beban yang konstan, kecepatan rata-rata meregangnya batang uji diukur dalam waktu yang tertentu. Biasanya pengujian ini dilakukan terhadap batang uji berbentuk torak dengan sebarang diameter dan dengan jarak ukur sekurang-kurangnya 100 mm. Sekarang pun, yang dianggap sebagai jarak ukur ialah bagian dari batang yang diteliti dengan pengukuran.

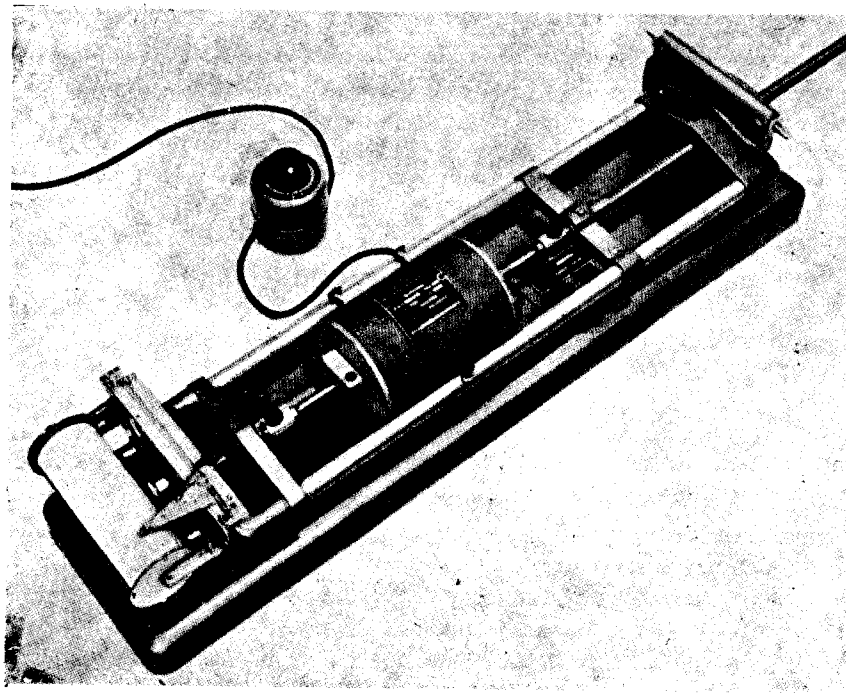
Bagian batang ini harus digarap sampai licin dengan garapan terakhir yang berupa pengasahan ke arah panjang memakai kain empelas yang halus. Batang uji harus sudah dipanaskan pada suhu uji selama sekurang-kurangnya empat

jam sebelum diuji dan dalam keadaan awabeban. Selama pengujian, suhu di seluruh bagian batang tidak boleh ada yang menyimpang lebih daripada  $2^{\circ}\text{C}$  dari suhu uji.

Pesawat yang digunakan untuk melakukan pengujian ini harus dilengkapi dengan piranti untuk mempertahankan suhu agar tidak menyimpang dari suhu yang ditetapkan (gambar 35-2). Pesawat pemanasnya harus diatur sehingga batang uji tidak akan termakan karat. Hounsfield-tensometer juga dapat dipergunakan sebagai pesawat untuk pengujian ini (gambar 35-3). Dengan *kecepatan lata* diartikan pertambahan regangan permanen dalam setiap jam. Dan *regangan* ialah perpanjangan batang permanen dinyatakan dalam prosenan daripada jarak ukur yang asal.

*Batas kecepatan lata* ialah tegangan dalam materi yang menimbulkan kecepatan lata sebesar 0,001% tiap jam yang berlaku selama 10 jam dihitung setelah 24 jam sejak awal pengujian.

*Batas regangan lata* ialah tegangan dalam materi yang menimbulkan perpanjangan tetap pada temperatur yang tertentu setelah 45 jam sejak awal pengujian sebesar 0,2% dari jarak ukur.



Gambar 35-3. Pelengkap Hounsfield-tensometer untuk uji-lata

*Batas lata* ialah satu di antara dua yang memiliki nilai terendah, batas kecepatan lata atau batas regangan lata.

#### Mengukur batas kecepatan lata

Batas kecepatan lata dari tiga atau lima batang uji diukur pada suhu tertentu dengan beban yang berlain-lainan dan begitu rupa sehingga tegangan yang timbul ada yang terletak di atas dan ada pula yang terletak di bawah batas regangan lata yang diperkirakan. Setiap batang uji mula-mula dibebani dengan beban awal sebesar 10% dari beban uji. Tegangan materi yang ditimbulkan beban awal ini tidak boleh melampaui  $10 \text{ N/mm}^2$ .

Setelah itu, pengukur regangan disetelkan. Kalau setelah 5 menit sejak penyetelan itu tidak tampak perubahan pada jarum pengukur regangan, barulah beban uji boleh dipasang. Selama pengujian, nisbah antara regangan dan tenggang waktu dicatat secermat mungkin pada diagram (gambar 35-4) bagi masing-masing batang. Kita dapat menentukan kecepatan lata rata-rata bagi masing-masing batang uji dalam tenggang waktu 10 jam, yang dimulai setelah 24 jam sejak awal pengujian.

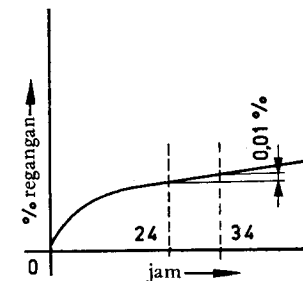
Lalu dengan jalan interpolasi memakai kecepatan lata rata-rata yang telah diperoleh bagi tiap batang, kita dapat menentukan besarnya beban yang menimbulkan kecepatan lata rata-rata per jam sebesar 0,001% dari jarak ukur. Dengan membagi beban ini dengan penampang batang yang asal, akan diperoleh batas kecepatan lata:

$$\sigma_{lt} = \frac{F}{A_0} \text{ N/mm}^2$$

$\sigma_{lt}$  = batas kecepatan lata pada temperatur  $t^{\circ}\text{C}$ .

F = beban pada batas lata dalam satuan: N = newton.

$A_0$  = penampang batang asal dalam  $\text{mm}^2$



Gambar 35-4. Mengukur kecepatan lata

### Mengukur batas regangan lata

Batas regangan lata diukur pada suhu tertentu dengan memasang beban tarik yang bobotnya berbeda-beda kepada tiga atau lima batang uji begitu rupa sehingga tegangan materi yang timbul ada yang terletak di atas dan ada pula yang terletak di bawah batas regangan lata yang diperkirakan. Setiap batang uji mula-mula dibebani dengan beban awal sebesar kl 10% dari beban uji. Tegangan materi yang ditimbulkan beban awal ini tidak boleh melampaui 10 N/mm<sup>2</sup>.

Setelah itu, pengukur regangan disetelkan. Kalau setelah 5 menit sejak penyetalan itu tidak tampak perubahan pada jarum pengukur regangan, barulah beban uji boleh dipasang. Setelah 45 jam, beban diturunkan kembali sampai beban awal, dan perpanjangan permanen diukur 10 menit setelah itu.

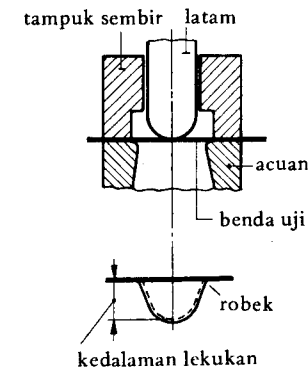
Lalu dengan interpolasi memakai perpanjangan permanen bagi berbagai batang uji yang telah diketahui melalui pengujian tadi, kita dapat menentukan besarnya beban yang menimbulkan regangan permanen dalam waktu 45 jam sebesar 0,2% dari jarak ukur asal. Dengan membagi beban ini dengan penampang batang yang asal pada suhu kamar.

$$\sigma_{lt} = \frac{F}{A_0} \text{ N/mm}^2$$

Di samping ada kemungkinan bahwa kecepatan lata itu hampir konstan untuk tenggang waktu yang lama, juga terdapat kemungkinan bahwa kecepatan lata itu bisa bertambah besar atau bertambah kecil. Jadi, untuk memperoleh gambaran yang lebih baik, pengujian harus diteruskan untuk waktu yang lebih lama.

## 36. UJI LEKUK

Dengan uji lekuk atau uji Erichssen, bisa diperoleh sekedar gambaran tentang plastisitas suatu materi lempengan sampai setebal maximum 2 mm. Pengujian ini dilakukan dengan membuat lekukan, memakai latam (stempel) yang berbentuk seperti paron bola, pada materi lempengan yang ditempatkan di antara pengeang sembir dan acuan (gambar 36-1) dengan ketenggangan (*speling*) sebanyak 0,05 mm. Pengujian ini diteruskan sampai lempengan menjadi robek di tempat lekukan. Kalau setelah itu, kedalaman lekukan diukur, kita akan mendapat kesan tentang kesiapdeformasian materi terhadap deformasi dingin. Pengujian dilakukan pada suhu 15 dan 25°C. Arah robekan yang timbul memberikan sedikit petunjuk bagi penelitian tentang keadaan materi. Robekan yang melingkar merupakan ciri bagi lempengan yang disiar. Materi lempengan yang dicanai (dilindis) memperlihatkan robekan lurus yang searah dengan arah lindisan.



Gambar 36-1. Uji lekuk.

Materi yang disiar memiliki kekuatan yang sama untuk semua arah, sedangkan materi yang dilindis memiliki kekuatan paling besar menurut arah lindisannya. Minimal harus diadakan dua pengujian, satu pengujian bagi masing-masing sisi lempengan.

## 37. UJI RENYAI

Dengan pengujian yang di bawah ini, dapat diselidiki komponen apa yang terdapat dalam berbagai sobokan logam yang ringan.

### PENGUJIAN 1

Empelaslah permukaan materi yang akan diperiksa sampai mengkilap dan taruhlah pada permukaan ini 1 atau 2 renyai larutan natriumhidroksida 20% (kepada 20 g NaOH padat ditambahkan air sehingga volumenya menjadi  $100 \text{ cm}^3$ ). Biarkanlah larutan lindi natron ini bekerja selama kira-kira 10 menit untuk mengikis materi. Setelah itu, bilaslah dengan air dan keringkanlah tempat yang sedang diperiksa itu dengan kertas filter (kertas penyaring). Seandainya ada komponen yang terdiri atas: tembaga, nikel, atau seng, permukaan yang diperiksa itu akan menjadi hitam. Kalau sobokan mengandung silisium lebih daripada 2%, permukaan sobokan tersebut akan berwarna coklat-kelabu. Yang permukaannya akan menjadi putih ialah: aluminium murni dan semua sobokan yang *tidak* mengandung tembaga, nikel, atau seng; dan mengandung silisium *kurang* dari 2%. Magnesium dan sobokannya akan kebal terhadap pengikisan ini.

### PENGUJIAN 2 (lanjutan pengujian 1)

Teruskanlah pengujian 1 dengan membubuhkan beberapa renyai larutan asam nitrat (1 bagian asam nitrat: massa jenis = 1,4; + 1 bagian air) pada permukaan yang telah dikikis oleh NaOH.

Warna hitam yang mungkin timbul karena kehadiran tembaga, nikel, atau seng; akan terlipur dengan garapan ini.

Warna coklat-kelabu yang mungkin timbul karena kehadiran silisium tidak akan terlipur dengan garapan ini.

Magnesium dan sobokan magnesium akan dikikis banyak.

### PENGUJIAN 3

Empelaslah tempat yang akan diperiksa pada permukaan materi sampai mengkilap lalu bubuhkanlah pada tempat ini beberapa renyai larutan kadmiumsulfat ( $5 \text{ g CdSO}_4 + 10 \text{ cm}^3 \text{ HCl}$ : massa jenis 1,19; +  $3 \text{ g NaCl} + 85 \text{ cm}^3$  air). Dalam hal logam sobokan dengan keratnaa lebih rendah daripada

kadmium, hampir segera akan terbentuk endapan kadmium berupa sponsa yang hitam-kelabu. Lihat selanjutnya: tabel 37-1 yang berikut ini.

### PENGUJIAN 4

Isilah sebuah tabung reaksi dengan 2 atau 3 mg kikiran logam sobokan yang harus diperiksa. Kikiran ini harus dilarutkan dalam 5 renyai asam khlorida pekat ( $\text{HCl}$ : massa jenis 1,19).

Setelah itu, encerkanlah dengan  $2,5 \text{ cm}^3$  air. Dan seterusnya tambahkanlah ke dalam tabung reaksi reagens (zat pelacak) magnesium ( $10 \text{ ml 1.2.5.8}$  tera-oxiantrakhinon +  $100 \text{ cm}^3$  alkohol) dan juga sedikit kikiran logam sobokan tadi. Netralkanlah seluruhnya dengan menambahkan larutan lindi natron 20% sampai warnanya yang merah beralih menjadi biru.

Logam sobokan yang mengandung magnesium sebanyak 3% atau lebih akan memberikan endapan biru berjonjot-jonjot. Logam sobokan yang mengandung magnesium kurang dari 3% tidak akan memberikan endapan. Dalam tabel yang di bawah ini tercantum hasil uji renyai seperti tersebut di atas bagi beberapa logam sobokan yang ringan.

Tabel 37-1. Uji renyai beberapa logam sobokan ringan

materi	pengujian 1	pengujian 2	pengujian 3	pengujian 4
aluminium	putih	tetap putih	tidak ada atau sedikit endapan kelabu	tidak ada endapan
sobokan Al-Cu-Mg	hitam	warna hitam hilang	tidak ada endapan	endapan biru
sobokan Al-Si	coklat tua	tetap coklat tua	tidak ada atau sedikit endapan kelabu	Tidak ada endapan
sobokan Al-Mg	putih	tetap putih	endapan kelabu	endapan biru
sobokan magnesium	tidak ada pengikisan	pengikisan kuat	endapan hitam-kelabu berjonjot-jonjot	endapan biru

## 38. TUGAS-TUGAS PENGUJIAN

### Uji tarik

Lakukanlah uji tarik terhadap batang uji yang diberikan (lihat: Uji tarik dan Hounsfield-tensometer).

Tandailah jarak ukurnya dengan titik senter atau goresan. Susunlah laporan yang jelas disertai gambar-gambar buram. Dalam laporan harus tercantum:

- Diagram gaya-perpanjangan.
- Kekuatan tarik.
- Batas regangan.
- Kegentingan (penceratan).
- Regangan.
- Nilai-nilai yang penting bagi perhitungan kekuatan.

### Uji rekristalisasi

Buatlah uji rekristalisasi terhadap tiga papasan aluminium (lihat: Uji rekristalisasi). Susunlah laporan yang jelas tentang pengujian ini disertai gambar-gambar buram. Di dalamnya harus tercantum antara lain:

- Metoda kerja yang diikuti.
- Uraian yang jelas tentang rekristalisasi.
- Pengertian tentang "nilai ambang".
- Bagaimana bisa diperoleh struktur renik dan bagaimana struktur kasar.
- Apakah keuntungan materi yang berstruktur renik.
- Diagram daripada ukuran butir dan regangan pelengkap.

### Uji lengkung

Buatlah uji lengkung terhadap dua batang baja dengan kadar karbon berturut-turut 0,1% dan 0,4% yang disiarnormalkan (lihat: Uji lengkung). Telitilah pelengkungan yang mana yang menimbulkan retak pada bagian luar lengkung. Susunlah laporan disertai gambar-gambar buram.

Dalam laporan ini antara lain harus tercantum:

- Metoda kerja yang diikuti.
- Tujuan pengujian.
- Pengaruh kadar karbon.

### Uji makas menurut Rockwell B dan menurut Brinell

Ujilah kemakasan sepotong baja yang disiarnormalkan menurut Rockwell B (lihat: Uji makas menurut Rockwell). Terangkan dengan mempergunakan beberapa gambar prinsip tentang segala sesuatu pengujian ini (beban awal, skala makas, beban utama, dan lain-lain).

Dalam keterangan di atas harus dijelaskan sejauh mana penikasnya melesak ke dalam materi yang diuji pada berbagai tahap pengujian. Selain itu, uraikan secara jelas, bila perlu disertai beberapa gambar buram, tentang semua pekerjaan yang harus dilakukan berturut-turut dengan pesawat (uji coba pesawat, dan lain-lain). Ukurlah kemudian kemakasan batang baja yang sama menurut Brinell dengan mempergunakan Hounsfield-tensometer (lihat: Uji makas menurut Brinell).

Berikan pula uraian yang jelas tentang uji makas ini. Telitilah memakai tabel pendaraban, apakah nilai Rockwell B dan nilai Brinell pada pokoknya menunjukkan persesuaian. Tentukan pula kekuatan tarik yang kira-kira bisa dimiliki materi ini.

### Uji pukul-takik

Ukurlah nilai pukul-takik TU atau TV (lihat: Uji pukul-takik) bagi materi yang tertentu. Buatlah uraian tentang prinsip pengujian ini yang jelas dan disertai beberapa gambar buram. Paparkan semua pekerjaan yang secara berturut-turut harus dilakukan seperti uji blanko dan lain-lain. Tujuan serta hasil pengujian blanko harus diutarakan dalam laporan. Selain itu, berilah keterangan yang jelas mengenai tujuan uji pukul-takik, jenis patah, berbagai faktor yang mempengaruhi nilai pukul-takik, dan lain-lain.

### Uji pukul-tarik

Kerjakanlah uji pukul-tarik terhadap batang uji menurut gambar 32-1. Jarak ukur harus ditandai dengan cat dan tidak boleh dengan titik senter atau goresan (mengapa tidak boleh?). Berikanlah keterangan yang jelas tentang pengujian ini dengan menggunakan beberapa gambar buram. Terangkan semua pekerjaan yang secara berurutan harus dilakukan seperti pengujian blanko dan lain-lain. Tujuan dan hasil pengujian blanko harus tercantum dalam laporan. Selain itu, uraikan secara jelas maksud uji pukul-tarik dalam laporan tersebut dan hitunglah:

- Nilai pukul-tarik.
- Regangan.
- Kegentingan (penceratan).

### Uji struktur baja hipoperlitik

Dua bidang sisi yang berhadapan pada sepotong baja hipoperlitik yang disiarnormalkan harus diratakan dan harus disejajarkan. Lakukanlah terhadap

salah satu bidang sisi ini uji struktur (lihat: Mempersiapkan preparat dan seterusnya). Pakailah larutan  $\text{HNO}_3$  dalam alkohol sebagai obat betok. Buatlah gambar daripada struktur materi (cantumkan magnifasinya) dan taksirlah berapa banyak prosenan perlitnya. Atas dasar taksiran ini, harus dihitung kadar karbon dalam baja (lihat: Diagram besi-karbon).

CONTOH:

$$6,67\% \text{ C} = 100\% \text{ Fe}_3\text{C}$$

$$1\% \text{ C yang terikat} = \frac{1}{6,67} \times 100\% = 15\% \text{ Fe}_3\text{C}$$

Prosenan perlit menurut taksiran ialah 80%.

Jadi, baja tersebut terdiri atas 20% perlit sembir dan 80% perlit.

Atau terdiri atas:

$$0,8 \times 15 = 12\% \text{ Fe}_3\text{C dan } 88\% \text{ ferit.}$$

$$88\% \text{ dari perlit ialah } \frac{88}{100} \times 80 = 70,4\% \text{ dari baja.}$$

Jadi baja tersebut terdiri atas:

$$70,4 + 20 = 90,4\% \text{ ferit dan } 100 - 90,4 = 9,6\% \text{ Fe}_3\text{C.}$$

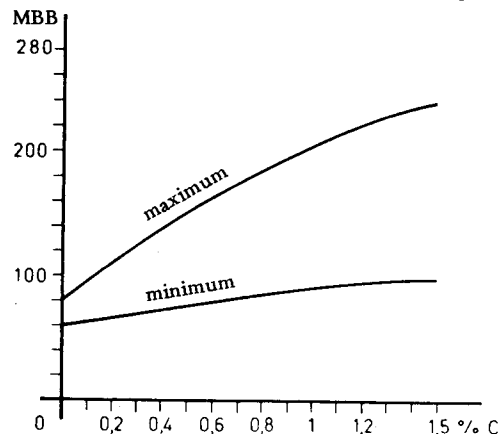
$$\text{Prosenan karbon ialah: } \frac{9,6}{15} \% = 0,64\% \text{ atau:}$$

$$100\% \text{ perlit} = 0,8\% \text{ C}$$

$$80\% \text{ perlit} = 0,8 \times 0,8 = 0,64\% \text{ C.}$$

Ukurlah nilai makas MRB, dan ubahlah nilai makas ini menjadi nilai makas menurut Brinell (memakai tabel) lalu telitilah dalam diagram pada gambar 38-1, apakah prosenan karbon yang diperoleh itu cukup wajar untuk diterima baik.

Buatlah laporan untuk keseluruhannya disertai gambar-gambar buram.



Gambar 38-1. Nisbah MBB dengan prosenan karbon

### Uji struktur baja hiperperlitik

Dua bidang sisi yang berhadapan pada sepotong baja hiperperlitik yang disiarnormalkan harus diratakan dan harus disejajarkan. Lakukanlah terhadap salah satu bidang sisi ini uji struktur (lihat: Mempersiapkan preparat dan seterusnya).

Pakailah larutan asam pikrat dalam alkohol sebagai obat betok. Buatlah gambar dari struktur materi (cantumkan magnifasinya), dan taksirlah berapa banyak prosenan perlit. Atas dasar prosenan perlit yang ditaksir ini, hitunglah kadar karbon dalam baja (lihat: Diagram besi-karbon).

CONTOH:

Prosenan perlit berdasar taksiran ialah 90%.

Jadi, baja tersebut terdiri atas 10% ferit sembir dan 90% perlit.

Dalam 100% perlit terdapat  $0,8 \times 15\% = 12\% \text{ Fe}_3\text{C}$  dan

dalam 90% perlit terdapat  $0,9 \times 12\% = 10,8\% \text{ Fe}_3\text{C}$ .

Jadi, baja tersebut mengandung total  $10 + 10,8 = 20,8\% \text{ Fe}_3\text{C}$  (dalam perlit dan  $\text{Fe}_3\text{C}$  sembir secara keseluruhan).

$$\text{Jadi, kadar karbon ialah: } \frac{20,8}{25} = \text{kl } 1,39\%.$$

Ukurlah nilai makas MRB dan ubahlah nilai ini menjadi nilai makas menurut Brinell (memakai tabel), dan telitilah dengan diagram pada gambar 38-1, apakah prosenan karbon yang diperoleh sendiri itu memiliki peluang untuk kira-kira cocok dengan yang sebenarnya. Buatlah laporannya.

### Siar normal

Lakukanlah uji lengkung terhadap baja dengan 0,2% C yang disiarnormalkan (lihat: Uji lengkung). Periksalah, apakah setelah dilengkungkan sejauh mungkin, di sisi luar lengkungan tidak terdapat retak-retak. Seterusnya lakukanlah uji struktur terhadap permukaan yang tidak mengalami deformasi (obat betoknya larutan  $\text{HNO}_3$  dalam alkohol) dan terhadap tempat yang dideformasikan (gambarlah struktur-strukturnya).

Setelah itu, siarnormalkanlah batang yang dilengkungkan itu. Suhu untuk itu harus dicari sendiri dalam diagram besi-karbon (lihat: Siar normal atau menormalisasikan baja). Masa pemanasan ialah 20 sampai 30 menit. Setelah itu, lakukanlah sekali lagi uji struktur terhadap tempat-tempat yang tersebut di atas (buatlah gambar struktur).

Susunlah laporan yang lengkap disertai beberapa gambar buram. Dalam laporan ini harus dijumpai:

- Uraian tentang uji lengkung dengan maksud dan tujuannya.
- Utarakan perbedaan yang besar yang terdapat antara struktur materi

bagian yang dideformasikan dengan struktur materi bagian yang tidak dideformasikan (pemeriksaan struktur yang pertama).

- c. Uraian dan tujuan daripada siar normal.
- d. Uraikan perbedaan yang tampak pada perbandingan struktur materi yang dideformasikan dengan yang tidak dideformasikan setelah siar normal (pemeriksaan struktur yang kedua).

#### Sipuh baja hipoperlitik

Pada dua batang baja yang disiarnormalkan dan dengan 0,6% C, dua bidang sisi yang berhadapan pada setiap batang harus diratakan dan harus disejajarkan. Lakukanlah uji struktur terhadap salah satu bidang sisi (gambarakan strukturnya dan pakailah obat betok asam pikrat dalam alkohol).

Setelah itu, ukurlah kemakasan MRB materi baja tersebut. Lalu kedua potong baja itu harus disipuh. Salah satunya didinginkan segera dalam air dan seterusnya dilembutkan pada suhu yang rendah. Batang yang lain didinginkan dalam minyak (lihat: Sipuh baja, dan seterusnya).

Suhu pemanasan harus dicari sendiri dengan menggunakan diagram besi-karbon. Masa pemanasan ialah 20 menit.

Sesudah itu, lakukanlah lagi uji struktur terhadap kedua potong baja tadi (gambarakan strukturnya). Sebagai obat betok harus dipergunakan obat betok Kourbatoff yang dapat bekerja cepat.

Lalu ukurlah kemakasan MRC kedua batang tersebut. Susunlah untuk keseluruhannya sebuah laporan yang lengkap disertai beberapa gambar buram. Dalam laporan ini harus tercantum antara lain:

- a. Uraian prinsip yang jelas disertai beberapa gambar buram tentang mengukur kemakasan MRC.
- b. Uraian yang jelas tentang apa yang terjadi pada penyipuhan dengan gambar diagram besi-karbon.
- c. Maksud pelembutan pada suhu yang rendah.
- d. Terangkan mengapa kemakasan kedua batang baja menjadi beda setelah disipuh.
- e. Beberapa gambar buram struktur materi.

#### Meratnakan baja

Pada dua potong baja yang disiarnormalkan dan dengan 0,4% C, dua bidang sisi yang berhadapan pada setiap batang harus diratakan dan harus disejajarkan. Lakukanlah uji struktur terhadap salah satu bidang sisi (gambarakan strukturnya, dan pakailah obat betok larutan  $\text{HNO}_3$  dalam alkohol).

Sesudah itu, ukurlah kemakasan MRB materi itu.

Batang baja yang kedua harus diratnakan (lihat: Peratnaan baja). Suhu pemanasan dan suhu pelembutan harus dicari sendiri. Masa pemanasan ialah kl 20 menit yang diikuti dengan pendinginan dalam air. Masa pelembut-

an ialah kl 30 menit yang diikuti dengan pendinginan dalam udara rihat. Setelah itu, lakukanlah uji struktur sekali lagi (obat betok larutan  $\text{HNO}_3$  3% dalam alkohol, gambarkan strukturnya), lalu ukurlah kemakasan MRB. Buatlah laporan tentang semua itu disertai beberapa gambar buram. Dalam laporan ini harus tercantum antara lain:

- a. Pembahasan yang jelas tentang peratnaan baja.
- b. Tujuan peratnaan, dan lain-lain.
- c. Beberapa gambar buram struktur materi.

#### Sipuh baja hiperperlitik

Pada dua batang baja dengan kadar karbon 1,2% yang disiarnormalkan, dua bidang sisi yang berhadapan pada setiap batang harus diratakan dan harus disejajarkan. Lakukanlah uji struktur terhadap salah satu bidang sisi (obat batok asam pikrat dalam alkohol). Gambarkan strukturnya dan setelah itu, ukurlah kemakasan MRB.

Seterusnya, batang ini harus disipuh (didinginkan dalam air) dan dilembutkan pada suhu yang rendah. Suhu sipuh dan suhu pelembutan harus dicari sendiri dalam diagram besi-karbon. Masa pemanasan ialah kl 20 menit dan masa pelembutan ialah kl 30 menit.

Setelah itu, lakukanlah uji struktur (obat betok Kourbatoff, gambarkan strukturnya) dan ukurlah kemakasan MRB. Buatlah laporan yang jelas tentang semua itu disertai beberapa gambar buram. Dalam laporan ini harus tercantum antara lain:

- a. Tujuan siar lunak.
- b. Keterangan yang jelas disertai beberapa gambar buram tentang apa yang terjadi pada penyipuhan.
- c. Mengapa pelembutan harus dilakukan pada suhu yang rendah.

#### Karbonasi

Pada dua batang baja berbentuk torak dengan kadar karbon 0,1% yang disiarnormalkan, dua bidang sisi yang berhadapan harus diratakan dan disejajarkan. Lakukan uji struktur terhadap salah satu bidang sisi itu (obat betok  $\text{HNO}_3$  dalam alkohol, gambarkan strukturnya) lalu ukurlah kemakasan MRB.

Tempatkan batang uji yang kedua dalam kotak baja yang dapat ditutup dan timbunilah batang tersebut dengan arang kayu (lihat: Karbonasi). Panaskan keseluruhannya pada  $900^\circ\text{C}$  selama kl satu setengah jam. Setelah itu, batang uji harus didinginkan dalam udara rihat.

Seterusnya harus dilakukan uji struktur terhadap salah satu bidangnya (jangan terlalu banyak diempelas). Pakailah asam pikrat dalam alkohol sebagai obat betok dan gambarkan strukturnya.

Sesudah itu, batang uji ini harus disipuh (dipanaskan sampai  $820^{\circ}\text{C}$  dan didinginkan dalam air). Masa pemanasan kl 20 menit. Lakukanlah sekali lagi uji struktur dan sekarang terhadap bidang sisi yang lainnya, dan ukurlah kemakasan MRC (obat betok Kourbatoff).

Seterusnya asahlah bidang kecil yang datar pada permukaan torak dengan batu asahan yang basah (bidang itu harus dilecek). Setelah dibetok, telitilah pada bidang ini tebal lapisan yang dikarbonasikan (obat betok ialah larutan  $\text{HNO}_3$  dalam alkohol). Seluruhnya harus dibuatkan laporan yang jelas disertai beberapa gambar buram. Dalam laporan ini harus tercantum antara lain:

- Peristiwa yang terjadi selama karbonasi.
- Tujuan sipuh permukaan.
- Pengaruh pertumbuhan kristal selama karbonasi.
- Mengapa bidang kecil pada torak harus diasah dalam keadaan basah.

#### Pengaruh perentaaan baja terhadap nilai pukul-tarik

Pakailah dua batang baja untuk pukul-tarik yang dibuat daripada materi yang sama (gambar 32-1). Patahkanlah yang satu dengan mengikuti metoda normal dan hitunglah: nilai pukul-tarik, dan lain-lain. Batang yang lainnya harus direntakan secara buatan (lihat: Gejala perentaaan).

Deformasi permanen harus dilakukan pada bangku tarik (jarak ukur ditetapkan berdasarkan diameter batang yang sudah dideformasikan). Setelah itu, lakukanlah uji pukul-tarik terhadap batang ini pada suhu yang normal, lalu hitunglah: nilai pukul-tarik dan lain-lain.

Telitilah dengan membandingkan hasil kedua pengujian, apakah materi tersebut itu peka terhadap perentaaan. Selain perentaaan, faktor lain apakah bisa mempengaruhi hasil-hasil yang diperoleh?

Berikanlah keterangan yang jelas bagi gejala perentaaan.

Susunlah laporan yang jelas mengenai keseluruhannya.

#### Pengaruh temperatur dan ukuran batang uji terhadap nilai pukul-takik

Lakukanlah uji pukul-takik terhadap tiga batang yang sama dan dibuat dari materi yang sama dengan takik berbentuk U atau V.

Batang 1 dipatahkan pada suhu yang normal.

Batang 2 dipatahkan setelah pendinginan dalam salju karbondioksida.

Batang 3 dipatahkan setelah dipanaskan sampai  $100^{\circ}\text{C}$ .

Kesimpulan apa dapat diperoleh dari nilai-nilai pukul-takik yang didapat?

Seterusnya, patahkanlah dua batang uji daripada materi yang sama pada suhu yang sama dengan berturut-turut takik U dan V. Ukurlah nilai pukul-takik kedua batang ini.

Kesimpulan apa yang sekarang dapat diperoleh?

Mengingat akan hasil pengujian yang diperoleh, dapatkah disebutkan apa kegunaan praktis daripada uji pukul-takik ini?  
Buatlah laporan yang jelas tentang kedua pengujian ini dan disertai dengan beberapa gambar buram.

**Mengukur batas regangan, kekuatan tarik, kekuatan longsor, dan lain-lain**  
Ukurlah kemakasan MRB pada salah satu kepala cunam batang uji tarik yang berpenampang persegi panjang. Setelah itu, lakukanlah uji tarik terhadap batang ini dan hitunglah memakai diagram yang diperoleh:

- Kekuatan tarik.
- Batas regangan.
- Regangan.
- Kegentingan

Sesudah itu, ukurlah kemakasan MRB di dekat tempat terputusnya batang uji. Bandingkanlah nilai makas ini dengan nilai makas yang pertama.

Apakah yang tampak setelah membandingkan kedua nilai ini?

Seterusnya, lakukanlah uji longsor terhadap materi pembuat batang ini (lihat: Uji longsor). Hitunglah kekuatan longsor dan teliti apakah  $\sigma_p$  kira-kira sama dengan  $0,7 \sigma_p$ .

Buatlah laporan yang lengkap dan jelas disertai diagram gaya-perpanjangan dan lain-lain.

#### Pemeriksaan materi yang menyeluruh

Lakukanlah terhadap batang uji tarik yang dibuat daripada materi tertentu pengujian-pengujian yang berikut:

- Mengukur kemakasan MRB pada salah satu kepala cunam.
- Uji tarik.
- Pemeriksaan struktur.

Dalam laporannya harus tercantum:

- Kemakasan MRB disertai pemerian yang jelas mengenai metoda ukurnya.
- Diagram gaya perpanjangan.
- Kekuatan tarik  $\sigma_p$ .
- Batas regangan  $\sigma_R$ .
- Kekuatan getas.
- Tegangan maximal yang nyata.
- Regangan.
- Kegentingan.
- Gambar struktur di tempat genting.
- Gambar struktur bagian batang yang tidak mengalami deformasi (salah satu ujung kepala cunam).

### Penegaran

Berikanlah kepada batang uji tarik, beban yang cukup tinggi melampaui batas regangan (diagram yang diperoleh digambarkan). Setelah itu, beban tarik itu dilipurkan. Ukurlah diameter terkecil dan jarak ukur pada batang yang menjadi tegar ini. Tentukan jarak ukur yang baru menurut perbandingan ukuran dp 5 atau dp 10. Ulangi pengujiannya dengan beban yang lebih besar dan gambarkan pula diagramnya di samping diagram yang tadi. Uji tarik yang ini harus diteruskan sampai batang uji terputus.

Dengan demikian diperoleh dua diagram dari materi yang sama secara berdampingan.

Kesimpulan apa akan diperoleh dari kedua diagram ini mengenai penegaran? (lihat: Penegaran). Hitunglah batas regangan bagi materi yang ditegarkan dan regangan bagi materi yang tidak ditegarkan. Hitunglah pula baik bagi materi yang ditegarkan maupun bagi materi yang tidak ditegarkan:

- Kekuatan tarik.
- Regangan.
- Kegentingan.

Apakah yang dapat disimpulkan dari nilai-nilai yang diperoleh?

Buatlah laporan yang jelas tentang semua itu disertai beberapa gambar buram. Dalam laporan itu harus tercantum antara lain keterangan yang jelas tentang penegaran

### Uji struktur

Ujilah struktur materi daripada beberapa benda uji yang diberi nomor dan dibuat daripada beberapa jenis besi tuang sebagai berikut:

Besi tuang putih; obat betok: natrium pikrat.

Besi tuang perlitik; obat betok: asam pikrat dalam alkohol.

Besi tuang kelabu; obat betok: asam pikrat dalam alkohol.

Besi tuang feritik; obat betok: larutan  $\text{HNO}_3$  3% dalam alkohol.

Besi tuang siap tempa; obat betok: larutan  $\text{HNO}_3$  3% dalam alkohol.

Besi tuang noduler; obat betok: larutan  $\text{HNO}_3$  3% dalam alkohol.

Gambarkan struktur masing-masing jenis besi tuang ini dan ceriterakan dengan jelas komponen-komponen apa yang terdapat dalam berbagai jenis besi tuang ini dengan bantuan diagram besi-karbon dan diagram besi-sementit.

### Uji tarik

Lakukanlah uji tarik terhadap batang dp 5 dan dp 10 yang dibuat dari materi yang sama. Buatlah diagram bagi masing-masing batang itu. Dan hitunglah untuk keduanya:

- Kekuatan tarik.
- Batas regangan.
- Regangan.
- Kegentingan.

Buatlah untuk semua itu laporan yang jelas disertai beberapa gambar buram. Dalam laporan ini harus tercantum antara lain:

- Diagram bagi masing-masing batang.
- Keterangan mengapa regangan yang diperoleh dengan batang dp 5 berlainan daripada regangan yang diperoleh dengan batang dp 10, dan lain-lain.

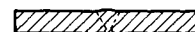
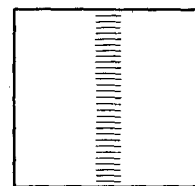
### Penelitian terhadap kampuh kumbuhan (kampuh elasan)

Potonglah dengan gergaji, kampuh kumbuhan (kampuh-V dan kampuh-X, lihat gambar 38-2), tegak lurus terhadap garis kampuh dan telitilah penampangnya secara makroskopis. Garapannya yang paling halus ialah pengempelasan memakai kertas empelas nomor 00, dan harus dibetok dengan obat betok Adler.

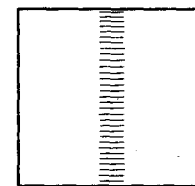
Buatlah untuk semua itu laporan yang jelas dan lengkap. Dalam laporan ini harus tercantum antara lain penilaian tentang:

- Kedalaman tunuan.
- Kekedapan kumbuhan.

Dengan cara ini kita hanya akan memperoleh gambaran yang sangat terikat kepada keadaan setempat. Dengan metoda apakah kumbuhan itu dapat diteliti sepanjang seluruh kampuhnya?

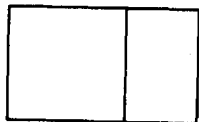


kampuh V



kampuh X

Gambar 38-2. Kampuh kumbuhan



Gambar 38-3. Kampuh patrian keras

#### Penelitian terhadap kampuhan patri keras

Potonglah dengan gergaji satu kampuh patrian kuningan dan satu kampuh patrian perak yang menghubungkan lempengan baja (gambar 38-3) menurut arah yang tegak lurus terhadap garis kampuh, dan lakukanlah penelitian makroskopis terhadap kedua penampangnya.

Buatlah laporan yang jelas tentang semua ini disertai beberapa gambar buram. Laporan ini antara lain harus memuat keterangan tentang:

- Perbedaan antara kampuh kumbuan dan kampuh patrian.
- Pengaruh lebar celah terhadap kekuatan kampuh patrian.

#### Penelitian terhadap kampuh kumbuan bahan sintetik (PVC)

Buatlah kumbuan seperti pada gambar 38-2. Ukuran lempengan PVC ialah: tebal 5 mm, lebar 50 mm, dan panjang 200 mm. Ukurlah kekuatan tarik papasan PVC materi induk yang lebarnya 50 mm. Dan ukurlah kekuatan tarik kumbuan tersebut di atas.

Buatlah laporan yang jelas tentang semua itu disertai beberapa gambar buram dan antara lain harus mencantumkan berapa prosen kumbuan tersebut lebih lemah bila dibandingkan dengan materi induk.

#### Penelitian terhadap rekatan bahan sintetik (PVC)

Guntinglah 10 potong papasan PVC. Ukurannya ialah: tebal kl 5 mm, lebar 50 mm, dan panjang 100 mm.

Buatlah lima rekatan dengan jarak tumpang tindih yang berbeda-beda (lihat gambar 38-3; jarak tumpang tindih = a).

- |                               |                               |                               |
|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| $a_1 = 2 \times \text{tebal}$ | $a_2 = 3 \times \text{tebal}$ | $a_3 = 4 \times \text{tebal}$ |
| $a_4 = 5 \times \text{tebal}$ | $a_5 = 6 \times \text{tebal}$ |                               |

Ukurlah gaya tarik yang mengakibatkan rekatan itu meluncur. Buatlah laporan yang jelas tentang semua itu disertai beberapa gambar buram dan antara lain harus menjelaskan jarak a yang berapakah dapat menghasilkan kekuatan yang sama dengan materi induk.

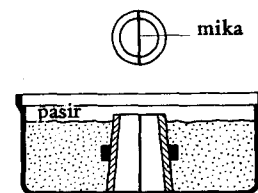
#### Uji renyai

Lakukanlah terhadap batang uji yang diberikan, yang berupa sobokan ringan, keempat uji renyai yang telah diutarakan (lihat: Uji renyai). Usahakanlah agar dari hasil-hasil pengujian yang diperoleh bisa diketahui berbagai komponen sobokan tersebut. Buatlah laporan yang jelas dan lengkap.

#### Penuangan timbal, timah, dan sobokan

Taruhlah acuan baja yang disekat dengan mika dalam pasu baja (gambar 38-4). Ruang di sekeliling acuan harus diisi dengan pasir. Panaskan seluruhnya sampai kl  $400^{\circ}\text{C}$ . Buatlah tuangan-tuangan dari:

- Timah murni.
- Timbal murni.
- Sobokan 80% timah dan 20% timbal.
- Sobokan 60% timah dan 40% timbal.
- Sobokan 40% timah dan 60% timbal.
- Sobokan 20% timah dan 80% timbal.



Gambar 38-4. Acuan tuang

Tuanglah ruang di kedua sisi penyekat secara serempak. Jaga agar selama penuangan tidak ada air yang masuk ke acuan.

Lakukanlah uji struktur makroskopis terhadap bidang pemisah masing-masing paroan benda tuang dan buatlah laporan yang jelas dan lengkap disertai gambar struktur semua benda tuang (a sampai f).

#### Menyusun diagram fasa timah-timbal

Siapkanlah mula-mula leburan timah murni dan leburan timbal murni. Waktu didinginkan, suhu leburan harus diukur selang 30 detik sekali. Kumpulkan semua titian suhu ini dalam sebuah tabel, lalu buatlah diagram: waktu-suhu.

Lakukanlah percobaan serupa dengan beberapa sobokan yang berikut:

- 80% timah dan 20% timbal.
- 60% timah dan 40% timbal.
- 40% timah dan 60% timbal.
- 20% timah dan 80% timbal.

Misalkan, kita bertolak dari campuran 0,2 kg timah dan 0,05 kg timbal (80% timah dan 20% timbal). Sobokan yang terdiri atas 60% timah dan 40% timbal bisa diperoleh dengan menambahkan  $x_1$  kg timbal:

$$\frac{0,2 \text{ kg}}{0,25 \text{ kg} + x_1} = 0,6$$

$$0,2 \text{ kg} = 0,6 (0,25 \text{ kg} + x_1)$$

$$x_1 = \frac{0,05 \text{ kg}}{0,6} = 0,0833 \text{ kg timbal}$$

Sobokan yang terdiri atas 40% timah dan 60% timbal bisa diperoleh dengan menambahkan  $x_2$  kg timbal:

$$\frac{0,2 \text{ kg}}{0,25 \text{ kg} + x_2} = 0,4$$

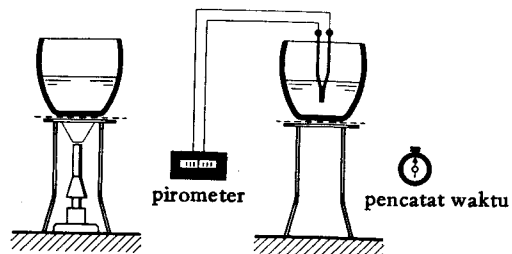
$$0,2 \text{ kg} = 0,4 (0,25 \text{ kg} + x_2)$$

$$x_2 = \frac{0,06668 \text{ kg}}{0,4} = 0,167 \text{ kg timbal}$$

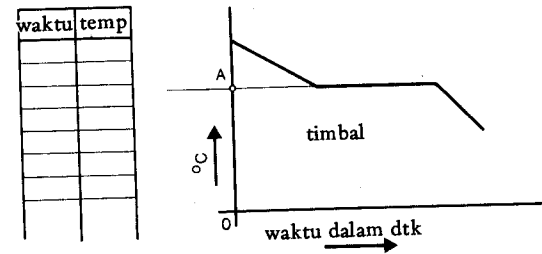
Dan begitu seterusnya.

Kumpulkanlah semua titik beku dan titik awal serta titik akhir pembekuan dalam diagram fasa dan buatlah laporan yang jelas dan lengkap disertai berbagai diagram.

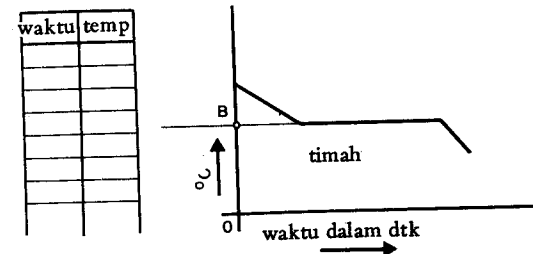
Jagalab baik-baik agar leburan tidak terkena air



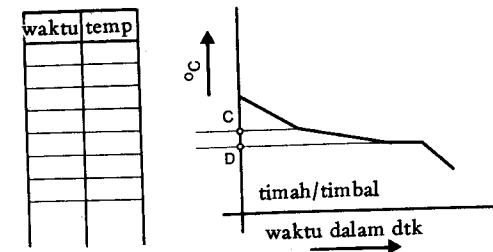
Gambar 38-5. Peralatan untuk mencatat diagram pembekuan



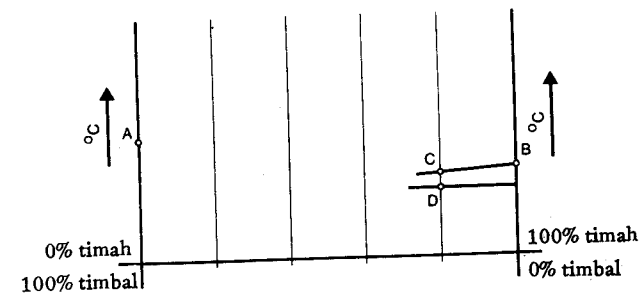
Gambar 38-6. Diagram pembekuan timbal



Gambar 38-7. Diagram pembekuan timah



Gambar 38-8. Diagram pembekuan sobokan



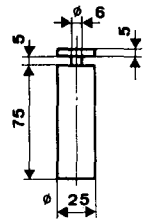
Gambar 38-9. Diagram fasa timah-timbal

### Mengukur kedalaman sipuh pada baja

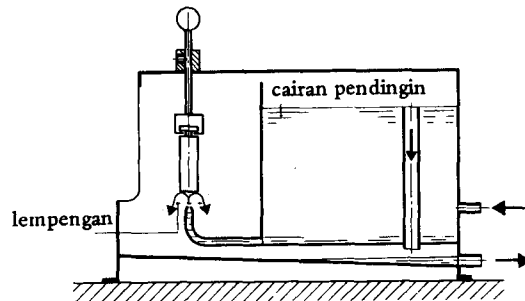
Lakukanlah pengujian yang berikut terhadap batang uji yang kecil-kecil dengan kadar karbon 0,2%; 0,6%; dan 0,8%.

- Panaskan batang uji sampai temperatur sipuh (cari dalam diagram Fe-C).
- Masukkan batang uji cepat-cepat ke piranti pendingin.
- Hilangkan lempengan kecil yang ada dalam piranti pendingin, dan dinginkanlah batang uji dengan pancaran air selama kl 15 menit.
- Asahlah pada permukaan torak dua bidang datar yang berhadapan (hati-hati jangan sampai menjadi panas).
- Ukurlah kemakasan MRC di tempat yang dekat ke ujung batang, jarak dari ujung ialah 1,5 mm, dan seterusnya di beberapa tempat dengan jarak selang sebesar 3 mm.
- Kumpulkan semua hasil dalam sebuah diagram.
- Ukurlah dari ujung batang jarak tempat yang memiliki kemakasan 50 MRC.
- Tentukanlah dengan mempergunakan diagram Groszmann, diameter torak dari materi ini yang memungkinkan penyipuhan sampai di tengah-tengahnya.

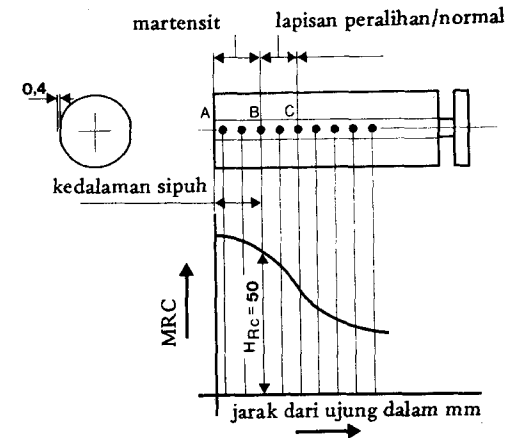
Buatlah laporan yang jelas untuk masing-masing batang uji disertai beberapa gambar buram dan diagram-diagram.



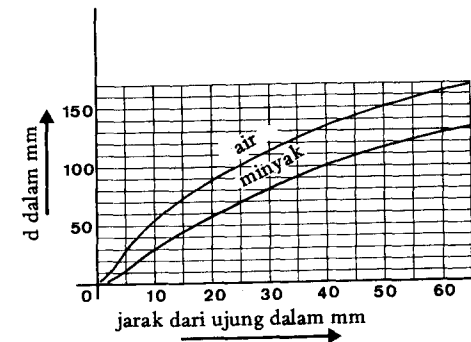
Gambar 38-10. Ukuran batang uji dalam mm



Gambar 38-11. Piranti pendingin



Gambar 38-12. Kedalaman sipuh



Gambar 38-13. Diagram Groszmann