

September
2014

JURUSAN TEKNIK MESIN

**BAHAN
AJAR**



universitas
MALIKUSSALEH

MUHAMMAD, ST., M.Eng
REZA PUTRA, ST., M.Eng

Bahan Teknik

FAKULTAS TEKNIK

Universitas Malikussaleh

Jurusan Teknik Kimia
Jurusan Teknik Industri
Jurusan Teknik Mesin
Jurusan Teknik Elektro
Jurusan Teknik Slipil
Prodi Teknik Informatika
Prodi Teknik Arsitektur

BAHAN AJAR

**BAHAN
TEKNIK**

BAHAN AJAR

Diterbitkan oleh
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS MALIKUSSALEH
JURUSAN TEKNIK MESIN

Alamat
Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh
Jl. Cot Tengku Nie, Reuleut, Muara Batu,
Aceh Utara, Provinsi Aceh

BAHAN AJAR

(JURUSAN TEKNIK MESIN)



universitas
MALIKUSSALEH

BAHAN TEKNIK

Disusun Oleh:

MUHAMMAD, ST., M.Eng
REZA PUTRA, ST., M.Eng

FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MALIKUSSALEH
2014



universitas
MALIKUSSALEH

BAHAN AJAR
JURUSAN TEKNIK MESIN
TIM PENGELOLA BAHAN AJAR
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS MALIKUSSALEH

PENASEHAT:

Ir. T. Hafli., MT
Dekan Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh

PENANGGUNG JAWAB:

Herman Fithra, ST., MT
Pembantu Dekan I Bidang Akademik

Bustami, S.Si., M.Si
Pembantu Dekan II Bidang Keuangan

Edzwarsyah, ST., MT
Pembantu Dekan III Bidang Kemahasiswaan

Salwin, ST., MT
Pembantu Dekan IV Bidang Kerjasama dan Informasi

KETUA PENYUNTING:

Zulfikar, ST., MT
Ketua Jurusan Teknik Mesin

Reza Putra, ST., M.Eng
Sekretaris Jurusan Teknik Mesin

TATA USAHA DAN BENDAHARA:

Elizar, S. Sos
Kepala Tata Usaha

Ismail, ST
Bendahara

SAMBUTAN
KETUA JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS MALIKUSSALEH

Dalam upaya peningkatan kualitas mutu pembelajaran sesuai dengan Tri Dharma Perguruan Tinggi, salah satunya adalah penyediaan bahan ajar dengan Judul " Bahan Teknik ". Bahan ajar bahan teknik ini dibuat sebagai pegangan untuk dosen pengampu dan mahasiswa dalam melaksanakan proses pembelajaran.

Bahan ajar bahan teknik ini sangat penting sebagai salah satu referensi untuk kemudahan dalam proses belajar mengajar untuk mata kuliah pada Jurusan Teknik Mesin di Fakultas Teknik Unimal, Bahan ajar ini semoga dapat memberikan manfaat bagi para pembaca.

Kepada sdr penyusun yang telah membuat bahan ajar ini dan juga kepada semua pihak yang telah membantunya, kami ucapkan terimakasih.

Reuleut, 24 Agustus 2014
Ketua Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik Unimal,

Zulfikar, ST,. MT
Nip:197809182003121001

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT dengan rahmatnya penulis diberi kesehatan dan waktu sehingga dapat menyelesaikan penulisan bahan ajar tentang material teknik yang kiranya menjadi pengangan terutama untuk mata kuliah Bahan Teknik dan mata kuliah Struktur dan Sifat Bahan di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh. Bahan ajar ini berisi uraian-uraian yang mudah difahami yang merupakan saduran dari buku pegangan di bidang material, yaitu Buku "Material Science and Enggining an Introduction" yang disusun oleh William Callister. Buku ini juga disertai dengan contoh yang mudah dan mudah untuk dimengerti mengenai berbagai jenis bahan teknik, klasifikasi bahan yang sesuai dengan fungsinya sehingga pemanfaatannya maksimal.

Dengan buku ini diharapkan akan menambah bahan bacaan dan rujukan mengenai aspek teoritis dan praktis dalam menuntukan bahan sesuai dengan fungsi dan kegunaannya. Atas terselesainya buku ini penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Ir. T. Hafli, MT selaku Dekan Fakultas Teknik atas dukungan dan arahannya untuk meningkatkan mutu penulisan bahan ajar ini.

Lhokseumawe, 23 September 2014
Penulis.

Muhammad, ST, .M.Eng
Reza Putra, ST, .M.Eng

LEMBAR PENGESAHAN

Sehubungan dengan kebutuhan bahan ajar untuk mata kuliah Bahan Teknik pada Program Strata Satu (SI) Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh maka dengan ini telah dilakukan penulisan bahan ajar tersebut oleh dosen sbb:

Nama : Muhammad, ST. M.Eng
Tempat/Tanggal Lahir : Lapang Barat, 01 Juli 1973
NIP : 197307012005011002
NIDN : 000107197301
Jurusan : Teknik Mesin
Judul bahan ajar : Bahan Teknik

Maka dengan ini kami menetapkan bahwa bahan ajar tersebut telah memenuhi persyaratan Akademik pada Program Strata Satu (SI) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh.

Disetujui/disahkan:
Dekan Fakultas Teknik,

Diperiksa/disetujui:
Ketua Jurusan Teknik Mesin

Ir. T. Hafli. M.T

Nip. 19580916 199001 1 001

Zulfikar, S.T.M.T.

Nip. 19780918 200312 1 001

This page is intentionally left Blank

DAFTAR ISI

Sambutan Ketua Jurusan Teknik Mesin.....	v
Kata Pengantar	vi
Lembar Pengesahan	vii
Daftar Isi	ix
Silabus Mata Kuliah.....	xii
Satuan Acara Pengajaran (SAP)	xv
BAB 1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Deskripsi Singkat	1
1.2 Tujuan Instruksional Khusus	1
1.3 Penyajian.....	1
1.3.1 Pendahuluan	1
1.3.2 Ilmu Dan Rekayasa Material.....	2
1.3.3 Klasifikasi Bahan	2
1.4 Penutup.....	3
1.4.1 Bahan Diskusi Dan Tugas	3
1.5 Daftar Pustaka.....	3
1.6 Senarai.....	3
BAB 2. STRUKTUR KRISTAL PADATAN.....	5
2.1 Deskripsi Singkat	5
2.2 Tujuan Instruksional Khusus	5
2.3 Penyajian.....	5
2.3.1 Struktur Atom	5
2.3.2 Ikatan Atom Pada Bahan Padat.....	6
2.2.1 <i>Gaya Dan Energi Ikat</i>	6
2.2.2 <i>Ikatan Primer</i>	8
2.2.3 <i>Ikatan Sekunder Atau Ikatan Van Der Waals</i>	10
2.2.4 <i>Molekul</i>	12
2.2.5 <i>Kristal</i>	13
2.2.6 <i>Sel Satuan</i>	13
2.3.3 <i>Sistem Kristal</i>	14
2.3.1 <i>Kubus Pusat Sisi, (Face Center Cubic)</i>	15
2.3.2 <i>Kubus Pusat Ruang, (Body Center Cubic)</i>	15
2.3.3 <i>Tumpukan Padat Heksagonal, (Hexagonal Closed Packed)</i>	16
2.4 Penutup.....	16
2.4.1 Bahan Diskusi Dan Tugas	16
2.5 Daftar Pustaka.....	17
2.6 Senarai.....	17

BAB 3. KETIDAKSEMPURNAAN BAHAN PADAT	19
3.1 Deskripsi Singkat	19
3.2 Tujuan Instruksional Khusus	19
3.3 Penyajian	19
3.3.1 Cacat Titik.....	19
3.3.1.1 <i>Vakansi Dan Interstisi-Diri</i>	19
3.3.1.2 <i>Impuritas Pada Bahan Padat</i>	21
3.3.1.3 <i>Larutan Padat</i>	21
3.3.1.4 <i>Spesifikasi Komposisi</i>	22
3.3.2 Ketidak-Sempurnaan Yang Lain.....	22
3.3.2.1 <i>Dislokasi – Cacat Linier</i>	22
3.3.2.2 <i>Cacat Antar Muka</i>	23
3.3.2.3 <i>Permukaan Luar</i>	24
3.3.2.4 <i>Batas Butir</i>	24
3.3.2.5 <i>Batas Kembar</i>	25
3.4 Penutup.....	25
3.4.1 Bahan Diskusi Dan Tugas	25
3.5 Daftar Pustaka.....	25
3.6 Senarai.....	26
BAB 4. SIFAT MEKANIK LOGAM	27
4.1 Deskripsi Singkat	27
4.2 Tujuan Instruksional Khusus	27
4.3 Penyajian	27
4.4.1 Tegangan Dan Regangan	27
4.4.2 Deformasi Elastis	28
4.4.2.1 <i>Deformasi Elastis Non Linear</i>	29
4.4.2.2 <i>Sifat Elastis Bahan</i>	30
4.4.3 Deformasi Plastis	31
4.4.4 Sifat-Sifat Tarik.....	32
4.4.5 Uji Tarik.....	37
4.4.6 Uji Tekan.....	38
4.5 Penutup.....	45
4.5.1 Bahan Diskusi Dan Tugas	45
4.6 Daftar Pustaka.....	45
4.7 Senarai.....	45
BAB 5. SISTEM MULTIFASA.....	47
5.1 Deskripsi Singkat	47
5.2 Tujuan Instruksional Khusus	47
5.3 Penyajian	47
5.3.1 Pengertian-Pengertian	47
5.3.2 Larutan Padat	48
5.3.3 Kaidah Fasa Dari Gibbs	51
5.3.4 Diagram Keseimbangan Sistem Tunggal.....	52
5.3.5 Diagram Keseimbangan Sistem Biner	55
5.3.5.1 <i>Sistem Biner Dengan Kelarutan Sempurna</i>	55

5.3.5.2 Sistem Biner Dengan Kelarutan Terbatas	56
5.4 Penutup.....	58
5.4.1 Bahan Diskusi Dan Tugas	58
5.5 Daftar Pustaka.....	58
5.6 Senarai.....	58
BAB 6. PROSES THERMAL LOGAM PADUAN	59
6.1 Deskripsi Singkat	59
6.2 Tujuan Instruksional Khusus	59
6.3 Penyajian.....	59
6.3.1 Annealing Paduan Besi	60
6.3.2 Kemampuan Pengerasan (Hardenability).....	60
6.3.3 Mekanisme Pengerasan Pada Precipitasi.....	64
6.4 Penutup.....	64
6.4.1 Bahan Diskusi Dan Tugas	64
6.5 Daftar Pustaka.....	64
6.6 Senarai.....	64
BAB 7. LOGAM BESI.....	65
7.1 Deskripsi Singkat	65
7.2 Tujuan Instruksional Khusus	65
7.3 Penyajian.....	65
7.3.2 Casting	66
7.3.3 Teknik-Teknik Lain	67
7.3.4 Paduan Besi (Ferrous Alloys).....	67
7.4 Penutup.....	70
7.4.1 Bahan Diskusi Dan Tugas	70
7.5 Daftar Pustaka.....	70
7.6 Senarai.....	70
BAB 8. NON FERROUS.....	71
8.1 Deskripsi Singkat	71
8.2 Tujuan Instruksional Khusus	71
8.3 Penyajian.....	71
8.3.1 Pendahuluan	71
8.3.2 Aluminium Dan Paduan.....	72
8.3.3 Tembaga Dan Paduan	74
8.3.4 Timah Dan Paduan.....	77
8.3.5 Nikel Dan Paduan	79
8.3.6 Seng Dan Paduan	79
8.3.7 Titanium Dan Paduan.....	80
8.3.8 Molybdenum Dan Paduan.....	80
8.3.9 Tungsten Dan Paduan	81
8.3.10 Emas, Perak Dan Platinum.....	81
8.4 Penutup.....	82
8.4.1 Bahan Diskusi Dan Tugas	82
8.5 Daftar Pustaka.....	82

BAB 9. KERAMIK	83
9.1 Deskripsi Singkat	83
9.2 Tujuan Instruksional Khusus	83
9.3 Penyajian.....	83
9.3.1 Keramik.....	83
9.3.2 Kaca (Glasses).....	86
9.3.3 Keramik-Keramik Kaca	87
9.3.5 Intan (Diamond).....	88
9.4 Penutup.....	88
9.4.1 Bahan Diskusi Dan Tugas	88
9.5 Daftar Pustaka.....	89
9.6 Senarai.....	89
BAB 10.KOMPOSIT	91
10.1 Deskripsi Singkat	91
10.2 Tujuan Instruksional Khusus	91
10.3 Penyajian.....	91
10.3.1 Komposit.....	91
10.3.2 Perbedaan Komposit Dan Paduan.....	92
10.3.3 Konsep Dasar	93
10.3.4 Klasifikasi Komposit.....	93
10.3.4.1 Komposit Partikel (<i>Particles Composite</i>)	93
10.3.4.2 Hukum Pencampuran (<i>Rule Of Mixtures</i>)	94
10.3.4.3 Komposit Serat (<i>Fibers Composite</i>).....	95
10.3.4.4 Fungsi Serat	95
10.3.4.5 Orientasi Serat	96
10.3.4.6 Komposit Serat Kontinue Dan Terarah.	97
10.3.5 Kekuatan Komposit Serat	97
10.3.6 Komposit Struktur/Laminat	98
10.3.7 Fasa Pembentuk Komposit.....	99
10.3.8 Perilaku Umum Dan Unsur Komposit.....	101
10.4 Penutup.....	101
10.4.1 Bahan Diskusi Dan Tugas	101
10.5 Daftar Pustaka.....	101
10.6 Senarai.....	102

SILABUS MATA KULIAH

1. Identitas Perguruan Tinggi

- a. Perguruan Tinggi : Universitas Malikussaleh
- b. Fakultas : Teknik
- c. Jurusan : Teknik Mesin
- d. Program Studi : Teknik Mesin

2. Identitas Mata Kuliah

- a. Nama Mata Kuliah : Bahan Teknik
- b. Kode Mata Kuliah : TMS 623
- c. Status Mata Kuliah : Wajib
- d. Sifat Mata Kuliah : Teori
- e. Dosen Pengampu : Muhammad, ST., M.Eng
- f. Semester : II
- g. Bobot SKS : 3
- h. Jumlah Pertemuan : 14 tatap muka + UTS dan UAS

3. Mata Kuliah Prasyarat

- 1) -

4. Komponen Penilaian /Evaluasi

- a. Kehadiran Perkuliahan, min 75 %
- b. Tugas-tugas Parsial
- c. UTS dan UAS

5. Kompetensi dan lingkup materi Perkuliahan

a. Kompetensi

Setelah mengikuti mata kuliah Bahan Teknik sebagaimana yang disyaratkan dalam ketentuan pelaksanaan kegiatan akademik di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh, maka mahasiswa diharapkan:

- 1) Mahasiswa memahami dasar-dasar Pemilihan Bahan Teknik.
- 2) Mahasiswa memahami dan mampu melakukan pemilihan bahan sesuai kebutuhan.
- 3) Mahasiswa memahami dan mampu menjelaskan tentang sifat – sifat bahan teknik.

b. Pokok-pokok materi Pembelajaran

- 1) Pendahuluan klasifikasi material
- 2) Struktur kristal padatan
- 3) Ketidaktersempurnaan bahan padat
- 4) Sifat mekanik logam
- 5) Sistem Multi Fasa
- 6) Proses thermal logam paduan
- 7) Logam besi

- 8) Non ferrous
- 9) Keramik
- 10) Komposit

6. Deskripsi Mata Kuliah

Mahasiswa dapat mengetahui jenis dan sifat serta penggunaan material teknik, khususnya yang berkaitan dengan teknik mesin, dan dapat mengetahui pengaruh temperatur, unsur kimia dan kerja mekanik pada karakteristik logam. Mata kuliah Bahan Teknik difokuskan untuk memahami dan mampu melakukan perencanaan dalam memilih bahan sesuai dengan kegunaan dan fungsi yang terdiri dari teknik pemilihan bahan logam, non logam, keramik dan komposit.

7. Pendekatan Pembelajaran (individual/kelompok/kasikal)

Pelaksanaan pembelajaran dilakukan secara teoritis dan mahasiswa diharapkan sebelum memulai perkuliahan sudah mempelajari pokok bahasan sebelumnya. Pengajaran teoritis dilakukan secara klasikal/ berkelompok, dengan menggunakan pendekatan metoda ceramah, diskusi, dan presentasi kelompok.

8. Media Pembelajaran

Media pembelajaran digunakan menurut sifat dan karakteristik materi perkuliahan yang diajarkan, meliputi penggunaan LCD proyektor, white board, dan gambar-gambar.

9. Penilaian

A. Tugas Parsial

Agar mahasiswa termotivasi untuk melakukan kajian dan pendalaman materi perkuliahan dari berbagai sumber, yaitu berupa :

- 1) Kajian pustaka agar mengenali berbagai spesifikasi bahan teknik terutama logam, non logam, keramik dan komposit.
- 2) Kajian pustaka dan menentukan pemilihan material sesuai kegunaan dan teknik pembuatan baik dari logam, non logam, keramik dan komposit.

B. Tugas Utama

Tugas ini bertujuan agar mahasiswa mampu membuat perencanaan pemilihan bahan/material sesuai dengan kegunaan dan fungsinya.

10. Sumber Pustaka/ Referensi

1. Van Vlack, Ilmu dan Teknologi Bahan, Edisi ke 5, Erlangga, 1989 (Terjemahan)
2. Callister, W.D, Jr 2003. "Material Science and Engginering an Introduction" John Wiley & Sons (Asia) Pte.Ltd., Singapore.
3. Gibson, R.F. 1994."Principles of composite material mechanics". New York : Mc Graw – Hill.
4. Hafli, T., Zulfikar, .2008, "Pengantar Pemilihan Bahan dan Proses", Unimal Press.

SATUAN ACARA PENGAJARAN (SAP)

Mata Kuliah : Bahan Teknik
Kode Mata Kuliah : TMS 623
S K S : 3 (tiga)
Waktu Pertemuan : 3 x 50 menit
Pertemuan : I dan II

A. Tujuan Pembelajaran Umum (TPU):

1. Mengetahui prespektif sejarah material

B. Tujuan Pembelajaran Khusus (TPK) :

1. Memahami ilmu dan teknologi material
2. Mengerti klasifikasi material
3. Mengetahui kebutuhan material modern

C. Pokok Bahasan : Pendahuluan

D. Sub Pokok Bahasan :

1. Prespektif sejarah
2. Ilmu dan teknologi material
3. Klasifikasi material
4. Kebutuhan material

E. Kegiatan Belajar Mengajar :

Tahap Kegiatan	Kegiatan Dosen	Kegiatan Mahasiswa	Media dan Alat Pengajaran	Waktu (menit)	Referensi
Pendahuluan	<ol style="list-style-type: none"> 1. Menjelaskan TPU dan TPK 2. Menjelaskan referensi 	Memperhatikan/ menyimak/ bertanya	Papan tulis (white board), laptop, projector	3x50	1,2,3,4
Penyajian	<p>Menjelaskan tentang</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Prespektif sejarah 2. Ilmu dan teknologi material 3. Klasifikasi material 4. Kebutuhan material 	Memperhatikan/ menyimak/ bertanya	Papan tulis (white board), laptop, projector		
Penutup	<ol style="list-style-type: none"> 1. Memberikan kesempatan kepada mahasiswa untuk bertanya 2. Memberikan kesempatan kepada mahasiswa untuk mencoba menjawab pertanyaan (aktivitas mahasiswa) 3. Menjawab pertanyaan 4. Menjelaskan mengenai pertemuan akan datang 	Memperhatikan/ menyimak/ bertanya	Papan tulis (white board), laptop, projector		

SATUAN ACARA PENGAJARAN (SAP)

Mata Kuliah : Bahan Teknik
Kode Mata Kuliah : TMS 623
S K S : 3 (tiga)
Waktu Pertemuan : 3 x 50 menit
Pertemuan : III dan IV

A. Tujuan Pembelajaran Umum (TPU) :

1. Memahami struktur kristal suatu bahan

B. Tujuan Pembelajaran Khusus (TPK):

1. Memahami arah dan bidang kristal serta bentuk bentuk kristal
2. Mengetahui cara menentukan struktur kristal suatu bahan

C. Pokok Bahasan : Struktur Kristal Padatan

D. Sub Pokok Bahasan :

1. Kristal, Kisi kubik, Kristal heksagonal
2. Geometri sel satuan
3. Arah kristal
4. Bidang kristal

E. Kegiatan Belajar Mengajar :

Tahap Kegiatan	Kegiatan Dosen	Kegiatan Mahasiswa	Media dan Alat Pengajaran	Waktu (menit)	Referensi
Pendahuluan	<ol style="list-style-type: none"> 1. Menjelaskan TPU dan TPK 2. Menjelaskan referensi 	Memperhatikan/ menyimak/ bertanya	Papan tulis (white board), laptop, projector	3x50	1,2,3,4
Penyajian	Menjelaskan tentang <ol style="list-style-type: none"> 1. Kristal, Kisi kubik, Kristal heksagonal 2. Geometri sel satuan 3. Arah kristal 4. Bidang kristal 5. Difraksi sinar-X 	Memperhatikan/ menyimak/ bertanya	Papan tulis (white board), laptop, projector		
Penutup	<ol style="list-style-type: none"> 1. Memberikan kesempatan kepada mahasiswa untuk bertanya 2. Menjawab pertanyaan 3. Menjelaskan mengenai pertemuan akan datang 	Memperhatikan/ menyimak/ bertanya	Papan tulis (white board), laptop, projector		

SATUAN ACARA PENGAJARAN (SAP)

Mata Kuliah : Bahan Teknik
Kode Mata Kuliah : TMS 623
S K S : 3 (tiga)
Waktu Pertemuan : 3 x 50 menit
Pertemuan : V

A. Tujuan Pembelajaran Umum (TPU) :

1. Memahami larutan padat dalam suatu bahan

B. Tujuan Pembelajaran Khusus (TPK) :

1. Memahami cacat-cacat kristal yang terbentuk dalam suatu bahan
2. Mengetahui hubungan antara pergerakan dislokasi dengan deformasi plastik
3. Mengetahui mekanisme penguatan bahan

C. Pokok Bahasan : Ketidaktersempurnaan Bahan Padat

D. Sub Pokok Bahasan :

1. Larutan padat dalam suatu bahan
2. Ketidaktersempurnaan (cacat titik, garis dan permukaan)
3. Dislokasi dan deformasi plastik & penguatan bahan

E. Kegiatan Belajar Mengajar :

Tahap Kegiatan	Kegiatan Dosen	Kegiatan Mahasiswa	Media dan Alat Pengajaran	Waktu (menit)	Referensi
Pendahuluan	<ol style="list-style-type: none"> 1. Menjelaskan TPU dan TPK 2. Menjelaskan referensi 	Memperhatikan/ menyimak/ bertanya	Papan tulis (white board), laptop, projector	3x50	1,2,3,4
Penyajian	<p>Menjelaskan tentang</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Larutan padat dalam suatu bahan 2. Ketidak sempurnaan (cacat titik, garis dan permukaan) 3. Dislokasi dan deformasi plastik 4. Mekanisme penguatan bahan 	Memperhatikan/ menyimak/ bertanya	Papan tulis (white board), laptop, projector		
Penutup	<ol style="list-style-type: none"> 1. Memberikan kesempatan kepada mahasiswa untuk bertanya 2. Menjawab pertanyaan 3. Menjelaskan mengenai pertemuan akan datang 	Memperhatikan/ menyimak/ bertanya	Papan tulis (white board), laptop, projector		

SATUAN ACARA PENGAJARAN (SAP)

Mata Kuliah : Bahan Teknik
Kode Mata Kuliah : TMS 623
S K S : 3 (tiga)
Waktu Pertemuan : 3 x 50 menit
Pertemuan : VI

A. Tujuan Pembelajaran Umum (TPU) :

1. Memahami struktur sifat dan pengolahan

B. Tujuan Pembelajaran Khusus (TPK) :

1. Memahami sifat mekanik, termal dan sifat listrik
2. Mengetahui penyajian sifat

C. Pokok Bahasan : Sifat Mekanik Logam

D. Sub Pokok Bahasan :

1. Sifat mekanik
2. Sifat termal dan
3. Sifat dalam medan listrik

E. Kegiatan Belajar Mengajar :

Tahap Kegiatan	Kegiatan Dosen	Kegiatan Mahasiswa	Media dan Alat Pengajaran	Waktu (menit)	Referensi
Pendahuluan	<ol style="list-style-type: none"> 1. Menjelaskan TPU dan TPK 2. Menjelaskan referensi 	Memperhatikan/ menyimak/ bertanya	Papan tulis (white board), laptop, projector	3x50	1,2,3,4
Penyajian	Menjelaskan tentang <ol style="list-style-type: none"> 1. Sifat mekanik 2. Sifat termal 3. Sifat dalam medan listrik 4. Penyajian sifat 	Memperhatikan/ menyimak/ bertanya	Papan tulis (white board), laptop, projector		
Penutup	<ol style="list-style-type: none"> 1. Memberikan kesempatan kepada mahasiswa untuk bertanya 2. Menjawab pertanyaan 3. Menjelaskan mengenai pertemuan akan datang 	Memperhatikan/ menyimak/ bertanya	Papan tulis (white board), laptop, projector		

SATUAN ACARA PENGAJARAN (SAP)

Mata Kuliah : Bahan Teknik
Kode Mata Kuliah : TMS 623
S K S : 3 (tiga)
Waktu Pertemuan : 3 x 50 menit
Pertemuan : VII dan VIII

A. Tujuan Pembelajaran Umum (TPU) :

1. Mengetahui kaidah yang berlaku pada fasa

B. Tujuan Pembelajaran Khusus (TPK) :

1. Mengetahui sistim keseimbangan fasa
2. Mengetahui diagram fasa pada logam

C. Pokok Bahasan : Sistem Multi Fasa

D. Sub Pokok Bahasan :

1. Larutan Padat
2. Kaidah Fasa
3. Diagram Keseimbangan

E. Kegiatan Belajar Mengajar :

Tahap Kegiatan	Kegiatan Dosen	Kegiatan Mahasiswa	Media dan Alat Pengajaran	Waktu (menit)	Referensi
Pendahuluan	<ol style="list-style-type: none"> 1. Menjelaskan TPU dan TPK 2. Menjelaskan referensi 	Memperhatikan/ menyimak/ bertanya	Papan tulis (white board), laptop, projector	3x50	1,2,3,4
Penyajian	Menjelaskan tentang <ol style="list-style-type: none"> 1. Larutan Padat 2. Kaidah Fasa 3. Diagram Keseimbangan 	Memperhatikan/ menyimak/ bertanya	Papan tulis (white board), laptop, projector		
Penutup	<ol style="list-style-type: none"> 1. Memberikan kesempatan kepada mahasiswa untuk bertanya 2. Menjawab pertanyaan 3. Menjelaskan mengenai pertemuan akan datang 	Memperhatikan/ menyimak/ bertanya	Papan tulis (white board), laptop, projector		

SATUAN ACARA PENGAJARAN (SAP)

Mata Kuliah : Bahan Teknik
Kode Mata Kuliah : TMS 623
S K S : 3 (tiga)
Waktu Pertemuan : 3 x 50 menit
Pertemuan : IX

A. Tujuan Pembelajaran Umum (TPU) :

1. Memahami laku panas baja

B. Tujuan Pembelajaran Khusus (TPK) :

1. Mengetahui proses anil untuk berbagai bahan
2. Mengerti pengerasan melalui endapan

C. Pokok Bahasan : Proses Thermal Logam Paduan

D. Sub Pokok Bahasan :

1. Proses anil
2. Laku panas baja
3. Pengerasan endapan

E. Kegiatan Belajar Mengajar :

Tahap Kegiatan	Kegiatan Dosen	Kegiatan Mahasiswa	Media dan Alat Pengajaran	Waktu (menit)	Referensi
Pendahuluan	<ol style="list-style-type: none"> 1. Menjelaskan TPU dan TPK 2. Menjelaskan referensi 	Memperhatikan/ menyimak/ bertanya	Papan tulis (white board), laptop, projector	3x50	1,2,3,4
Penyajian	Menjelaskan tentang <ol style="list-style-type: none"> 1. Proses HT 2. Jenis HT 3. Teknik Pengerasan 	Memperhatikan/ menyimak/ bertanya	Papan tulis (white board), laptop, projector		
Penutup	<ol style="list-style-type: none"> 1. Memberikan kesempatan kepada mahasiswa untuk bertanya 2. Menjawab pertanyaan 3. Menjelaskan mengenai pertemuan akan datang 	Memperhatikan/ menyimak/ bertanya	Papan tulis (white board), laptop, projector		

SATUAN ACARA PENGAJARAN (SAP)

Mata Kuliah : Bahan Teknik
Kode Mata Kuliah : TMS 623
S K S : 3 (tiga)
Waktu Pertemuan : 3 x 50 menit
Pertemuan : X

A. Tujuan Pembelajaran Umum (TPU) :

1. Mengetahui paduan logam besi

B. Tujuan Pembelajaran Khusus (TPK) :

1. Mengetahui fabrikasi logam
2. Mengetahui Klasifikasi logam yang mengandung besi

C. Pokok Bahasan :

- Logam Besi

D. Sub Pokok Bahasan :

1. Fabrikasi logam
2. Paduan besi

E. Kegiatan Belajar Mengajar :

Tahap Kegiatan	Kegiatan Dosen	Kegiatan Mahasiswa	Media dan Alat Pengajaran	Waktu (menit)	Referensi
Pendahuluan	<ol style="list-style-type: none"> 1. Menjelaskan TPU dan TPK 2. Menjelaskan referensi 	Memperhatikan/ menyimak/ bertanya	Papan tulis (white board), laptop, projector	3x50	1,2,3,4
Penyajian	<p>Menjelaskan tentang</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Fabrikasi logam besi 2. Jenis jenis logam besi 3. sifat umum logam besi 	Memperhatikan/ menyimak/ bertanya	Papan tulis (white board), laptop, projector		
Penutup	<ol style="list-style-type: none"> 1. Memberikan kesempatan kepada mahasiswa untuk bertanya 2. Menjawab pertanyaan 3. Menjelaskan mengenai pertemuan akan datang 	Memperhatikan/ menyimak/ bertanya	Papan tulis (white board), laptop, projector		

SATUAN ACARA PENGAJARAN (SAP)

Mata Kuliah : Bahan Teknik
Kode Mata Kuliah : TMS 623
S K S : 3 (tiga)
Waktu Pertemuan : 3 x 50 menit
Pertemuan : XI

A. Tujuan Pembelajaran Umum (TPU) :

1. Mengetahui sifat- sifat unsur non besi

B. Tujuan Pembelajaran Khusus (TPK) :

1. Mengetahui fabrikasi logam non besi
2. Mengetahui klasifikasi logam yang tidak mengandung besi

C. Pokok Bahasan :

- Non Ferrous

D. Sub Pokok Bahasan :

1. Pendahuluan
2. Fabrikasi logam non besi
3. Unsur non besi

E. Kegiatan Belajar Mengajar :

Tahap Kegiatan	Kegiatan Dosen	Kegiatan Mahasiswa	Media dan Alat Pengajaran	Waktu (menit)	Referensi
Pendahuluan	<ol style="list-style-type: none"> 1. Menjelaskan TPU dan TPK 2. Menjelaskan referensi 	Memperhatikan/ menyimak/ bertanya	Papan tulis (white board), laptop, projector	3x50	1,2,3,4
Penyajian	<p>Menjelaskan tentang</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Fabrikasi logam Non besi 2. Jenis jenis logam non besi 3. sifat umum logam non besi 	Memperhatikan/ menyimak/ bertanya	Papan tulis (white board), laptop, projector		
Penutup	<ol style="list-style-type: none"> 1. Memberikan kesempatan kepada mahasiswa untuk bertanya 2. Menjawab pertanyaan 3. Menjelaskan mengenai pertemuan akan datang 	Memperhatikan/ menyimak/ bertanya	Papan tulis (white board), laptop, projector		

SATUAN ACARA PENGAJARAN (SAP)

Mata Kuliah : Bahan Teknik
Kode Mata Kuliah : TMS 623
S K S : 3 (tiga)
Waktu Pertemuan : 3 x 50 menit
Pertemuan : XII dan XIII

A. Tujuan Pembelajaran Umum (TPU) :

1. Memahami sifat-sifat keramik, kaca, grafit & intan

B. Tujuan Pembelajaran Khusus (TPK) :

1. Mengetahui struktur keramik, kaca, grafit & intan
2. Mengetahui pembuatan keramik, kaca, grafit & intan

C. Pokok Bahasan :

- Keramik

D. Sub Pokok Bahasan :

1. Struktur keramik, kaca, grafit & intan
2. Sifat keramik, kaca, grafit & intan
3. Proses pembuatan keramik, kaca, grafit & intan

E. Kegiatan Belajar Mengajar :

Tahap Kegiatan	Kegiatan Dosen	Kegiatan Mahasiswa	Media dan Alat Pengajaran	Waktu (menit)	Referensi
Pendahuluan	<ol style="list-style-type: none"> 1. Menjelaskan TPU dan TPK 2. Menjelaskan referensi 	Memperhatikan/ menyimak/ bertanya	Papan tulis (white board), laptop, projector	3x50	1,2,3,4
Penyajian	<p>Menjelaskan tentang</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Struktur keramik, kaca, grafit & intan 2. Sifat keramik, kaca, grafit & intan 3. Proses pembuatan keramik, kaca, grafit & intan 	Memperhatikan/ menyimak/ bertanya	Papan tulis (white board), laptop, projector		
Penutup	<ol style="list-style-type: none"> 1. Memberikan kesempatan kepada mahasiswa untuk bertanya 2. Menjawab pertanyaan 3. Menjelaskan mengenai pertemuan akan datang 	Memperhatikan/ menyimak/ bertanya	Papan tulis (white board), laptop, projector		

SATUAN ACARA PENGAJARAN (SAP)

Mata Kuliah : Bahan Teknik
Kode Mata Kuliah : TMS 623
S K S : 3 (tiga)
Waktu Pertemuan : 3 x 50 menit
Pertemuan : XIV

A. Tujuan Pembelajaran Umum (TPU) :]

1. Memahami jenis jenis komposit

B. Tujuan Pembelajaran Khusus (TPK) :

1. Mengetahui komposit mikroskopis/ makroskopis
2. Mengetahui jenis komposit bertulang

C. Pokok Bahasan :

- Komposit

D. Sub Pokok Bahasan :

1. Komposit mikroskopis
2. Komposit makroskopis
3. Komposit serat bertulang

E. Kegiatan Belajar Mengajar :

Tahap Kegiatan	Kegiatan Dosen	Kegiatan Mahasiswa	Media dan Alat Pengajaran	Waktu (menit)	Referensi
Pendahuluan	<ol style="list-style-type: none"> 1. Menjelaskan TPU dan TPK 2. Menjelaskan referensi 	Memperhatikan/ menyimak/ bertanya	Papan tulis (white board), laptop, projector	3x50	1,2,3,4
Penyajian	<p>Menjelaskan tentang</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Komposit mikroskopis 2. Komposit makroskopis 3. Komposit serat bertulang 	Memperhatikan/ menyimak/ bertanya	Papan tulis (white board), laptop, projector		
Penutup	<ol style="list-style-type: none"> 1. Memberikan kesempatan kepada mahasiswa untuk bertanya 2. Menjawab pertanyaan 3. Menjelaskan mengenai pertemuan akan datang 	Memperhatikan/ menyimak/ bertanya	Papan tulis (white board), laptop, projector		

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Deskripsi Singkat

Tujuan dari mempelajari Bahan Teknik adalah untuk dapat mengetahui jenis dan sifat serta penggunaan material teknik, khususnya yang berkaitan dengan teknik mesin. Dalam bab ini akan dimulai dari sejarah penggunaan material dan klasifikasi umum dari material yang terdapat di alam maupun material rekayasa.

1.2. Tujuan Instruksional Khusus

Setelah materi ini diajarkan mahasiswa dapat menjelaskan tentang sejarah perkembangan material dan mengetahui klasifikasi material.

1.3. Penyajian

1.3.1 Pendahuluan

Bahan / material merupakan kebutuhan bagi manusia mulai zaman dahulu sampai sekarang. Kehidupan manusia selalu berhubungan dengan kebutuhan bahan seperti pada transportasi, rumah, pakaian, komunikasi, rekreasi, produk makanan dll.

Perkembangan peradaban manusia juga bisa diukur dari kemampuannya memproduksi dan mengolah bahan untuk memenuhi kebutuhan hidupnya. (jaman batu, perunggu dsb). Pada tahap awal manusia hanya mampu mengolah bahan apa adanya seperti yang tersedia di alam misalnya : batu, kayu, kulit, tanah dsb. Dengan perkembangan peradaban manusia bahan - bahan alam tsb bisa diolah sehingga bisa menghasilkan kualitas bahan yang lebih tinggi.

Pada 50 tahun terakhir para saintis menemukan hubungan sifat – sifat bahan dengan elemen struktur bahan. Sehingga bisa diciptakan puluhan ribu jenis bahan yang mempunyai sifat - sifat yang berbeda.

1.3.2 Ilmu dan Rekayasa Material

Material science (Ilmu Material) adalah disiplin ilmu yang mempelajari hubungan antara struktur material dengan sifat – sifat material. Sedangkan Material engineering (Rekayasa Material) adalah dasar hubungan antara struktur dan sifat bahan, mendisain struktur bahan untuk mendapatkan sifat – sifat yang diinginkan, dimana struktur bahan merupakan pengaturan / susunan elemen – elemen di dalam bahan.

Tinjauan struktur bahan dibedakan atas :

- a. *Struktur subatomik* ditinjau dari susunan elektron dengan inti
- b. *Level atom* ditinjau dari pengaturan atom atau molekul satu sama lain
- c. *Mikroskopik* ditinjau dari kumpulan group – group atom
- d. *Makroskopik* ditinjau dari struktur yang bisa dilihat dengan mata telanjang.

Material didalam sebuah produk memiliki beberapa sifat, diantaranya kekuatan, densitas, kekerasan, warna, konduktivitas, dan sebagainya yang dipilih untuk memenuhi syarat desain. Sarjana teknik harus mengerti prinsip dasar dalam menilai suatu produk yang akan didesain atau yang akan dimodifikasi yang didalamnya mencakup sifat-sifat material

Sifat material atau bahan bila ditinjau dari kemampuan bahan menerima perlakuan dari luar dapat di kelompokkan atas 6 kategori, yaitu :

- a. sifat mekanik
- b. sifat listrik
- c. sifat termal / panas
- d. sifat magnet
- e. sifat optik
- f. sifat deterioratif (penurunan kualitas).

1.3.3 Klasifikasi bahan

Demi keseragaman dan dengan maksud memudahkan, material dapat berbagai tipe yang memiliki karakteristik sama seperti berikut :

- a. *Logam* dikenal sebagai konduktor yang baik dan kelistrikkannya yang tinggi. logam tidak transparan atau tembus cahaya dan umumnya dapat dipoles sehingga mengkilap. Umumnya logam relatif berat dan mampu dibentuk.
- b. *Keramik* adalah campuran / senyawa antara logam dan non logam. Banyak sekali contoh material keramik, mulai dari semen pada beton hingga magnet permanen.
- c. Polimer yang umumnya dikenal sebagai plastik adalah senyawa karbon dengan rantai molekul panjang, termasuk bahan plastik dan karet. Dikenal karena densitas yang rendah
- d. *Komposit* : adalah campuran lebih dari satu bahan. (misal: keramik dengan polimer)

- e. Semi konduktor : adalah bahan-bahan yang mempunyai sifat setengah menghantar. → elektronik : IC, transistor
- f. Biomaterial : bahan yang digunakan pada komponen-komponen yang dimasukkan ketubuh manusia untuk menggantikan bagian tubuh yang sakit atau rusak.

1.4. Penutup

1.4.1. Bahan Diskusi dan Tugas

1. Material secara umum dapat diklasifikasikan dalam berapa kategori ?
2. Apa yang dimaksud dengan sifat fisis dan sifat mekanis ?
3. Apa hubungan antara pemilihan material dengan kinerja sebuah material ?
4. Mengapa material yang mengandung besi banyak digunakan ?

1.5. Daftar Pustaka

5. Van Vlack, Ilmu dan Teknologi Bahan, Edisi ke 5, Erlangga, 1989 (Terjemahan)
6. Callister,W.D,Jr 2003. “Material Science and Engginering an Introduction” John Wiley & Sons (Asia) Pte.Ltd., Singapore.
7. Gibson, R.F. 1994.”Principles of composite material mechanics”. New York : Mc Graw – Hill.
8. Hafli,T., Zulfikar,.2008, “Pengantar Pemilihan Bahan dan Proses”, Unimal Press.

1.6. Senarai

1. Material science (Ilmu Material) adalah disiplin ilmu yang mempelajari hubungan antara struktur material dengan sifat – sifat material.
2. Material engineering (Rekayasa Material) adalah dasar hubungan antara struktur dan sifat bahan, mendisain struktur bahan untuk mendapatkan sifat – sifat yang diinginkan, dimana struktur bahan merupakan pengaturan / susunan elemen – elemen di dalam bahan.
3. Polimer yang umumnya dikenal sebagai plastik adalah senyawa karbon dengan rantai molekul panjang, termasuk bahan plastik dan karet.
4. Biomaterial adalah bahan yang digunakan pada komponen-komponen yang dimasukkan ketubuh manusia untuk menggantikan bagian tubuh yang sakit atau rusak.

This page is intentionally left blank

BAB 2

STRUKTUR

KRISTAL PADATAN

2.1. Deskripsi Singkat

Tujuan dari mempelajari Bahan Teknik adalah untuk dapat mengetahui jenis dan sifat serta penggunaan material teknik, khususnya yang berkaitan dengan teknik mesin. Dalam bab ini akan dipelajari jenis struktur kristal padatan, baik sistem kristal, arah dan bidang kristal untuk masing masing sisi (latice).

2.2. Tujuan Instruksional Khusus

Setelah materi ini diajarkan mahasiswa dapat menjelaskan tentang jenis jenis struktur kristal padatan dengan sistem, arah dan bidang kristal.

2.3. Penyajian

2.3.1 Struktur Atom

Setiap atom terdiri dari inti yang sangat kecil yang terdiri dari proton dan neutron, dan di kelilingi oleh elektron yang bergerak. Elektron dan proton mempunyai muatan listrik yang besarnya $1,60 \times 10^{-19}$ C dengan tanda negatif untuk elektron dan positif untuk proton sedangkan neutron tidak bermuatan listrik. Massa partikel-partikel subatom ini sangat kecil: proton dan neutron mempunyai massa kira-kira sama yaitu $1,67 \times 10^{-27}$ kg, dan lebih besar dari elektron yang massanya $9,11 \times 10^{-31}$ kg.

Setiap unsur kimia dibedakan oleh jumlah proton di dalam inti, atau **nomor atom** (Z). Untuk atom yang bermuatan listrik netral atau atom yang lengkap, nomor atom adalah sama dengan jumlah elektron. Nomor atom merupakan bilangan bulat

dan mempunyai jangkauan dari 1 untuk hidrogen hingga 94 untuk plutonium yang merupakan nomor atom yang paling tinggi untuk unsur yang terbentuk secara alami.

Massa atom (A) dari sebuah atom tertentu bisa dinyatakan sebagai jumlah massa proton dan neutron di dalam inti. Walaupun jumlah proton sama untuk semua atom pada sebuah unsur tertentu, namun jumlah neutron (N) bisa bervariasi. Karena itu atom dari sebuah unsur bisa mempunyai dua atau lebih massa atom yang disebut **isotop**. **Berat atom** berkaitan dengan berat rata-rata massa atom dari isotop yang terjadi secara alami. **Satuan massa atom (sma)** bisa digunakan untuk perhitungan berat atom. Suatu skala sudah ditentukan dimana 1 sma didefinisikan sebagai $1/12$ massa atom dari isotop karbon yang paling umum, karbon 12 (^{12}C) ($A = 12,00000$). Dengan teori tersebut, massa proton dan neutron sedikit lebih besar dari satu, dan $A \equiv Z + N$

Berat atom dari unsur atau berat molekul dari senyawa bisa dijelaskan berdasarkan sma per atom (molekul) atau massa per mol material. Satu mol zat terdiri dari $6,023 \times 10^{23}$ atom atau molekul (bilangan Avogadro). Kedua teori berat atom ini dikaitkan dengan persamaan berikut:

$$1 \text{ sma/atom (molekul)} = 1 \text{ g/mol}$$

Sebagai contoh, berat atom besi adalah 55,85 sma/atom, atau 55,85 g/mol. Kadang-kadang penggunaan sma per atom atau molekul lebih disukai; pada kesempatan lain g/mol (atau kg/mol) juga digunakan; satuan yang terakhirlah yang akan digunakan pada buku ini.

2.3.2 Ikatan Atom Pada Bahan Padat

2.2.1 Gaya Dan Energi Ikat

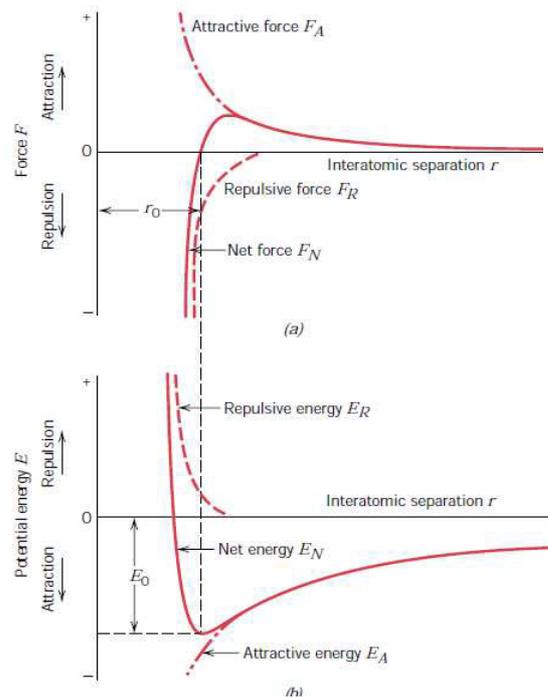
Ketika atom didekatkan dari suatu jarak yang tak terbatas. Pada jarak jauh, interaksi bisa diabaikan, tetapi ketika atom saling mendekati, masing-masing memberikan gaya ke yang lainnya. Gaya ini ada dua macam, tarik atau tolak, dan besarnya merupakan fungsi jarak antar atom. Sumber gaya tarik F_A tergantung pada jenis ikatan yang ada antara dua atom. Besarnya berubah dengan jarak, seperti yang digambarkan secara skematis pada Gambar 2.1a. Akhirnya, kulit elektron terluar dari kedua atom mulai tumpang tindih, dan gaya tolak yang kuat F_R mulai timbul. Gaya netto F_N antar dua atom adalah jumlah kedua komponen tarik dan tolak, yaitu :

$$F_N = F_A + F_R$$

yang juga merupakan fungsi jarak antar atom sebagaimana di plot pada Gambar 2.1a. Jika F_A dan F_R sama besar, tidak ada gaya netto, sehingga:

$$F_A + F_R = 0$$

Kemudian kondisi kesetimbangan muncul. Pusat kedua atom tetap terpisah pada jarak keseimbangan r_0 seperti ditunjukkan Gambar 2.1a. Pada sebagian besar atom, r_0 kira-kira 0,3 nm (3\AA). Ketika sudah berada pada posisi ini, kedua atom akan melawan semua usaha untuk memisahkannya dengan gaya tarik, atau untuk mendorongnya dengan gaya tolak.



Kadang-kadang lebih menyenangkan untuk menggunakan energi potensial antara dua atom daripada gaya. Secara matematik, energi (E) dan gaya (F) dihubungkan dengan :

$$E = \int F dr$$

Atau untuk sistem atom,

$$\begin{aligned} E_N &= \int_{\infty}^r F_N dr \\ &= \int_{\infty}^r F_A dr + \int_{\infty}^r F_R dr \\ &= E_A + E_R \end{aligned}$$

dimana E_N , E_A dan E_R masing-masing adalah energi netto, energi tarik dan energi tolak bagi dua atom yang terisolasi dan berdekatan. Gambar 2.1b menggambarkan energi potensial tarik, tolak dan energi potensial netto sebagai fungsi jarak antar atom untuk dua atom. Untuk kurva netto, yaitu jumlah kedua energi, mempunyai energi potensial dititik minimum. Pada posisi ini spasi kesetimbangan yang sama, r_0 , bersesuaian dengan jarak atom pada kurva energi potensial minimum. **Energi Ikat** untuk kedua atom ini, E_0 , bersesuaian dengan energi pada titik minimum ini (juga diperlihatkan pada gambar 2.1b), dimana menyatakan energi yang diperlukan untuk memisahkan kedua atom ini kejarak yang tak terbatas.

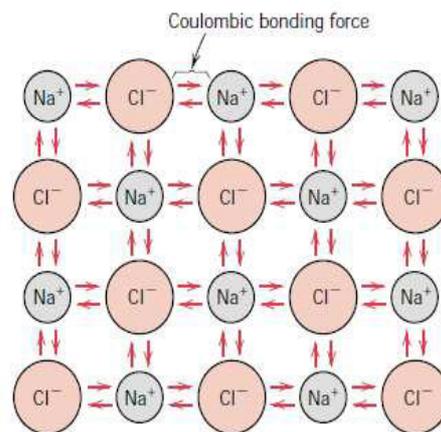
Besar energi ikat ini dan bentuk energi vs kurva jarak antar atom berbeda dari satu material ke material lainnya, kedua variabel ini bergantung kepada jenis ikatan atom. Zat padat dibentuk dengan energi ikat yang besar, sedangkan energi ikat yang

kecil lebih disukai oleh gas, kondisi cair berlaku bagi energi yang besarnya menengah. Pada umumnya untuk material padat, temperatur leleh dan sifat ikatannya mencerminkan besarnya energi ikat.

2.2.2 Ikatan Primer

a. Ikatan Ion

Biasanya ditemukan pada senyawa yang dibangun oleh unsur logam dan bukan logam. Atom logam akan memberikan elektron valensinya ke atom-atom non logam. Pada proses ini semua atom akan menjadi stabil atau mempunyai konfigurasi gas mulia dan bermuatan listrik, yaitu atom-atom ini menjadi ion. Natrium klorida (NaCl) adalah material ion klasik. Atom natrium bisa mendapatkan struktur elektron neon (dan muatan positif tunggal) dengan menyerahkan satu elektron valensi 3s ke atom klorin. Setelah penyerahan elektron ini, ion klorin akan bermuatan negatif dan dengan konfigurasi elektron menyerupai argon. Pada natrium klorida, semua natrium dan klorin berada dalam bentuk ion. Jenis ikatan ini digambarkan secara skematik pada Gambar 2.2.



Gaya ikat tarik menarik adalah **coloumbik**; yaitu ion positif dan negatif tarik menarik satu sama lain karena adanya muatan listrik netto. Untuk dua ion yang terisolasi, energi tarik E_A adalah fungsi jarak atom sesuai dengan :

$$E_A = -\frac{A}{r}$$

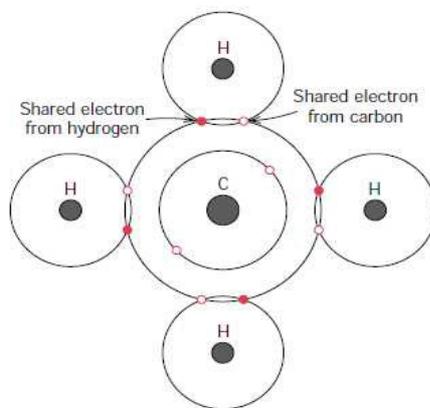
dan dengan analogi yang sama, energi tolak adalah :

$$E_R = \frac{B}{r^n}$$

Pada perumusan diatas, A , B dan n adalah konstanta yang harganya tergantung pada masing-masing sistem ion. Harga n kira-kira 8. Material ion mempunyai karakteristik keras dan rapuh, secara listrik dan termal adalah isolator.

b. Ikatan Kovalen

Pada ikatan kovalen, konfigurasi elektron stabil diperoleh dengan membagi elektron antara atom yang berdekatan. Dua atom yang berikatan kovalen masing-masing akan menyumbangkan minimal satu elektron ke ikatan, dan elektron yang dipakai bersama bisa dianggap dimiliki bersama oleh kedua atom. Ikatan kovalen digambarkan secara skematik pada Gambar 2.3 untuk molekul metana (CH_4). Atom karbon mempunyai empat elektron valensi, sedangkan setiap atom hidrogen mempunyai sebuah elektron valensi. Setiap atom hidrogen bisa mendapatkan konfigurasi elektron helium (dua elektron valensi $1s$) ketika atom karbon membaginya dengan satu elektron. Karbon sekarang mempunyai empat tambahan elektron, satu dari setiap hidrogen sehingga total elektron valensi menjadi delapan, dan struktur elektroniknya adalah neon.



Jumlah ikatan kovalen yang mungkin untuk suatu atom ditentukan oleh jumlah elektron valensi. Untuk elektron valensi N' , sebuah atom bisa berikatan kovalen paling banyak $8 - N'$ dengan atom lainnya. Contohnya: $N' = 7$ pada klorin, dan $8 - N' = 1$, artinya satu atom Cl bisa berikatan hanya dengan satu atom lainnya seperti Cl_2 . Dengan cara yang sama untuk atom karbon $N' = 4$, dan setiap atom karbon mempunyai $8 - 4$ yaitu empat elektron untuk dibagi. Intan adalah struktur yang berinteraksi secara tiga dimensi dimana setiap atom karbon berikatan kovalen dengan atom karbon lainnya.

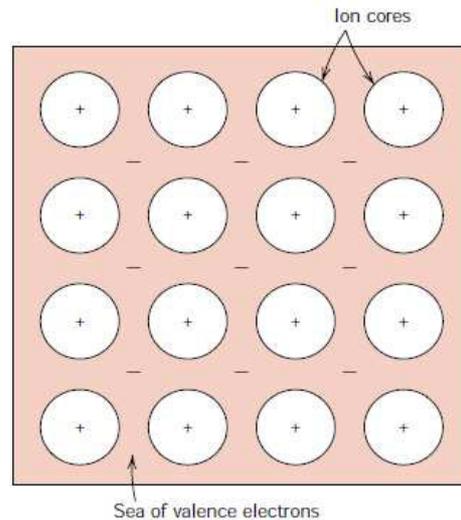
Ikatan kovalen bisa sangat kuat seperti pada intan, dimana intan sangat sangat keras dan mempunyai temperatur leleh yang sangat tinggi yaitu $>3550^\circ\text{C}$ (6400°F), atau ikatan kovalen bisa sangat lemah seperti pada bismut, dimana akan meleleh pada 270°C (518°F). Material polimer bercirikan ikatan ini, dimana struktur molekul dasar yang mempunyai rantai karbon yang panjang diikat bersamasama secara kovalen dengan dua dari empat ikatan yang tersedia untuk setiap atomnya.

Ikatan antar atom mempunyai ikatan yang sebagian berikatan ion dan sebagian lain berikatan kovalen, dan kenyatannya sangat sedikit senyawa yang menunjukkan murni mempunyai ikatan ion atau ikatan kovalen saja.

c. Ikatan Logam

Ikatan logam, jenis ikatan primer terakhir, ditemukan pada logam dan paduannya. Material logam mempunyai satu, dua atau paling banyak tiga elektron

valensi. Dengan model ini, elektron valensi tidak terikat kepada atom tertentu pada bahan padat namun lebih kurang ia akan bebas hanyut/bergerak melewati keseluruhan logam. Elektron ini bisa dianggap dimiliki oleh logam secara keseluruhan, atau membentuk “lautan elektron” atau “awan elektron. Gambar 2.4 memperlihatkan ilustrasi skematik ikatan logam.

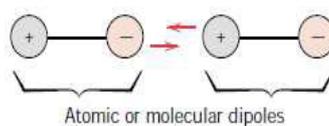


Ikatan ini bisa lemah atau kuat, jangkauan energinya antara 68 kJ/mol (0,7 eV/atom) untuk raksa hingga 850 kJ/mol (8.8 eV/atom) untuk wolfram. Temperatur leleh masing-masing berturut-turut adalah -39 dan 3410 °C (-38 dan 6170°F).

2.2.3 Ikatan Sekunder Atau Ikatan Van Der Waals

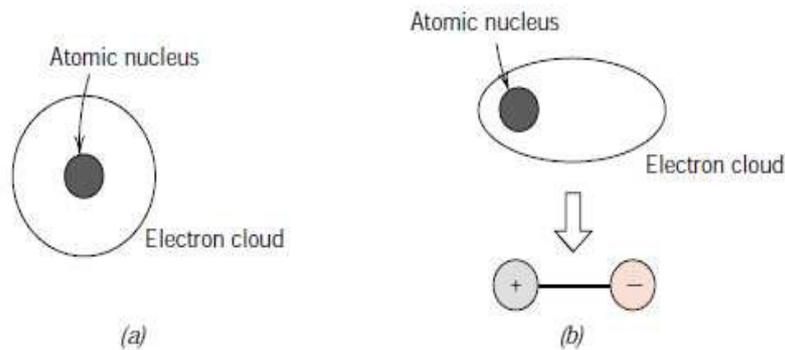
Ikatan sekunder, van der Waals atau fisik adalah lemah jika dibandingkan dengan ikatan primer atau kimia; energi ikat biasanya dalam kisaran 10 kJ/mol (0,1 eV/atom). Ikatan sekunder timbul antara semua atom atau molekul, tapi keberadaannya tidak jelas jika salah satu dari ketiga jenis ikatan primer ada. Ikatan sekunder dibuktikan oleh gas mulia, yang mempunyai struktur elektron yang stabil, dan juga diantara molekul yang strukturnya berikatan kovalen.

Gaya ikatan sekunder timbul dari dipol atom atau molekul. Pada dasarnya sebuah dipol listrik timbul jika ada jarak pisah antara bagian positif dan negatif dari sebuah atom atau molekul. Ikatan di hasilkan dari gaya tarik-menarik coulombik antara ujung positif sebuah dipol dan bagian negatif dari dipol yang berdekatan, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.5 Interaksi dipol terjadi antara dipol-dipol terimbas, antara dipol terimbas dengan molekul polar (yang mempunyai dipol permanen), dan antara molekul-molekul polar. Ikatan hidrogen, jenis khusus dari ikatan sekunder, ditemukan pada beberapa molekul dimana hidrogen sebagai salah satu komponen. Mekanisme ikatan ini akan dibicarakan secara singkat berikut ini.



a. Ikatan Dipol Terimbas yang Berfluktuasi

Sebuah dipol bisa dihasilkan atau diimbaskan ke sebuah atom atau molekul yang simetris secara listrik, yaitu distribusi ruang keseluruhan elektron simetris terhadap inti bermuatan positif, sebagaimana diperlihatkan Gambar 2.5a. Semua atom mengalami gerak vibrasi konstan, yang akan menyebabkan distorsi seketika dan berumur pendek, terhadap simetri listrik pada beberapa atom atau molekul, dan menimbulkan dipol listrik kecil, seperti yang digambarkan oleh Gambar 2.5b.

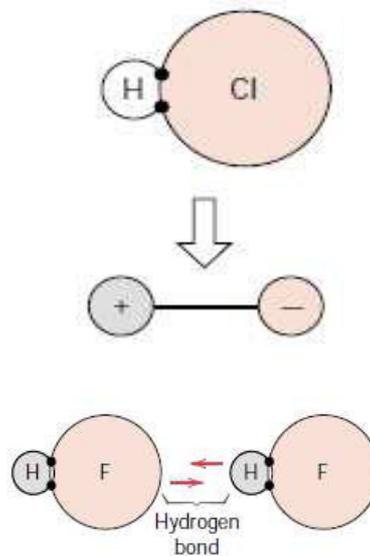


Salah satu dipol ini pada gilirannya bisa menimbulkan sebuah pergerakan pada distribusi elektron dari molekul atau atom yang berdekatan, yang membuat atom atau molekul kedua ini menjadi dipol yang kemudian dengan lemah ditarik atau diikat ke atom atau molekul yang pertama; ini adalah satu jenis ikatan *van der Waals*. Gaya-gaya tarik ini bisa timbul diantara sejumlah besar atom atau molekul, dimana gaya-gaya ini bersifat sementara dan berfluktuasi terhadap waktu.

Proses pencairan dan, dalam beberapa hal, proses pembekuan dari gas mulia dan molekul lain yang simetris dan netral secara listrik seperti H_2 dan Cl_2 dipercaya disebabkan oleh ikatan jenis ini. Temperatur leleh dan didih adalah sangat rendah pada material dimana ikatan dipol terimbas dominan, dan dari semua ikatan antar molekul yang mungkin terjadi, ikatan ini paling lemah.

b. Ikatan Antara Dipol Molekul Polar dan Dipol Terimbas

Momen dipol permanen timbul pada beberapa molekul karena susunan yang tidak simetris dari daerah yang bermuatan positif dan negatif; molekul ini disebut **molekul polar**. Gambar 2.7 adalah penggambaran skematik dari molekul hidrogen klorida; momen dipol permanen timbul dari muatan netto dari muatan positif dan negatif yang masing-masing berkaitan dengan ujung-ujung hidrogen dan klorin dari molekul HCl.



Molekul polar bisa juga mengimbaskan dipol pada molekul non polar didekatnya, dan sebuah ikatan akan terbentuk sebagai hasil gaya tarik menarik antara dua molekul ini. Lebih jauh, besar ikatan ini akan lebih besar dari pada dipol terimbas yang berfluktuasi.

c. Ikatan Dipol Permanen

Gaya van der Waals juga akan timbul diantara molekul polar yang berdekatan. Energi ikat yang terkait lebih besar secara signifikan dari pada energi ikat yang ada pada dipol terimbas.

Jenis ikatan sekunder yang paling kuat, ikatan hidrogen, adalah kasus khusus dari ikatan molekul polar. Ikatan ini terjadi antara molekul dimana hidrogen berikatan kovalen dengan fluorin (sebagai HF), dengan oksigen (sebagai H₂O), dan dengan nitrogen (sebagai NH₃). Untuk setiap ikatan H-F, H-O atau H-N, elektron hidrogen tunggal dibagi bersama dengan atom lainnya. Maka, ujung hidrogen dari ikatan pada dasarnya adalah proton terbuka yang bermuatan positif, yang tak terlindungi oleh elektron. Ujung molekul yang bermuatan positif sangat tinggi ini mempunyai gaya tarik yang kuat terhadap ujung negatif dari molekul yang berdekatan, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.8 untuk HF. Besar ikatan hidrogen umumnya lebih besar dari ikatan sekunder jenis lainnya, dan bisa mencapai 51 kJ/mol (0,52 eV/molekul).

2.2.4 Molekul

Molekul bisa didefinisikan sebagai sebuah kelompok atom yang terikat bersama-sama oleh ikatan primer yang kuat. Dalam konteks ini, keseluruhan spesimen padat yang terikat dengan ikatan logam dan ion bisa dianggap sebagai molekul tunggal. Pada cairan terkondensasi dan bahan padat, ikatan antar molekulnya adalah ikatan sekunder lemah. Konsekuensinya, material molekul mempunyai temperatur leleh dan didih yang rendah. Sebagian besar dari mereka yang mempunyai molekul kecil yang dibentuk oleh beberapa atom adalah gas pada temperatur dan tekanan biasa atau ambien. Disisi lain, banyak polimer modern, merupakan material molekul yang dibangun oleh molekul yang sangat besar, berada pada kondisi padat; beberapa dari

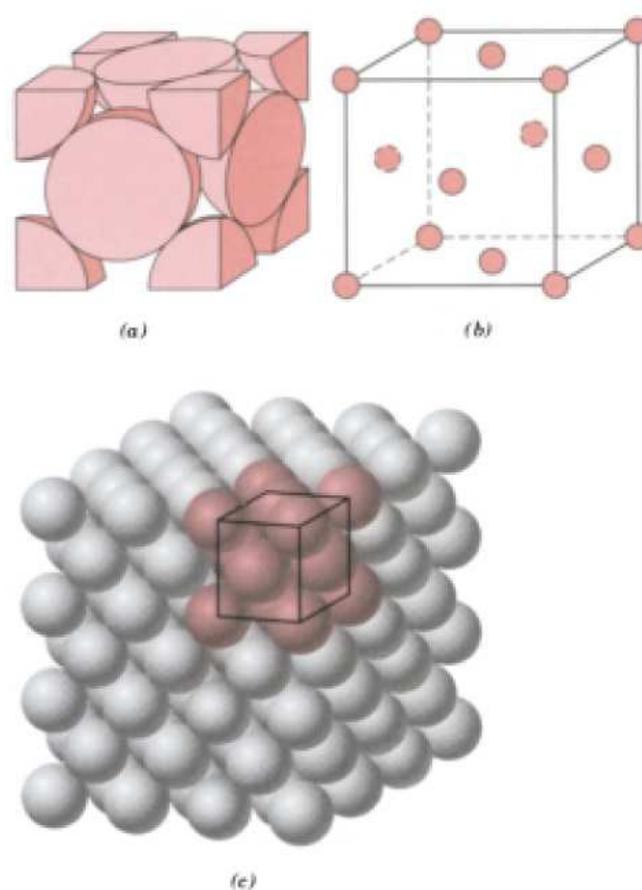
sifat-sifat mereka sangat bergantung kuat atas keberadaan ikatan sekunder van der Waals dan hidrogen.

2.2.5 Kristal

Material **kristal** adalah material padat dimana atom-atomnya tersusun dalam susunan yang berulang dan periodik pada dimensi yang besar yaitu atom-atom berada pada kondisi “keteraturan jarak panjang”. Untuk material non-kristal atau *amorfus*, keteraturan atom jarak panjang tidak muncul.

2.2.6 Sel Satuan

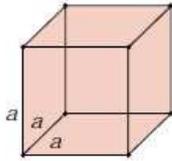
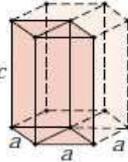
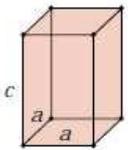
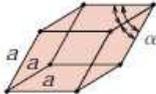
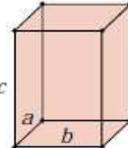
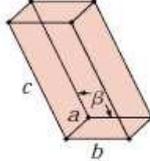
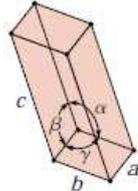
Ketika menerangkan struktur kristal, atom (atau ion) dilukiskan sebagai bola padat dan model ini disebut dengan *model bola keras atom* dimana setiap bola akan menyinggung bola terdekat. Susunan atom pada kristal padat memperlihatkan bahwa sekelompok kecil atom membentuk pola yang berulang. Karena itu dalam menerangkan struktur kristal, lebih mudah untuk membagi struktur ke dalam kesatuan kecil yang berulang yang disebut **sel satuan**. Sel satuan pada sebagian besar struktur kristal berbentuk jajaran genjang atau prisma yang mempunyai tiga set permukaan yang sejajar (Gambar 2.9c), dimana dalam hal ini sebuah kubus.



Sel satuan bisa kadang-kadang digambarkan dengan model *sel satuan bola diperkecil* seperti terlihat pada Gambar 2.9b.

2.3.3 Sistem Kristal

Jika dilihat dari geometri sel satuan, ditemukan bahwa kristal mempunyai tujuh kombinasi geometri yang berbeda seperti diperlihatkan pada Tabel 2.1

<i>Crystal System</i>	<i>Axial Relationships</i>	<i>Interaxial Angles</i>	<i>Unit Cell Geometry</i>
Cubic	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	
Hexagonal	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$	
Tetragonal	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	
Rhombohedral	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$	
Orthorhombic	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	
Monoclinic	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$	
Triclinic	$a \neq b \neq c$	$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$	

Pada sebagian besar logam, struktur kristal yang dijumpai adalah: kubus pusat sisi, FCC (face-centered cubic), kubus pusat ruang, BCC (bodycentered cubic) dan tumpukan padat heksagonal, HCP (hexagonal closepacked).

Beberapa logam, dan juga non-logam, bisa mempunyai lebih dari satu struktur kristal, fenomena ini disebut **polimorfisme**. Jika kondisi ini dijumpai pada bahan padat elemental maka disebut **alotropi**.

2.3.1 Kubus Pusat Sisi, (Face Center Cubic)

Struktur kristal ini termasuk kristal kubus dimana terdapat atom disetiap sudut kubus ditambah masing-masing satu buah atom di setiap permukaan/sisi kubus. Sifat ini banyak dijumpai pada logam seperti tembaga, aluminium, perak dan emas. Gambar 2.9 memperlihatkan kristal jenis ini. Panjang sisi kubus a dan jari-jari atom R dihubungkan dengan persamaan:

$$a = 2R\sqrt{2}$$

Fraksi volume bola padat di dalam sel satuan atau disebut **Atomic Packing Factor (APF)**, dirumuskan:

$$\text{APF} = \frac{\text{volume of atoms in a unit cell}}{\text{total unit cell volume}}$$

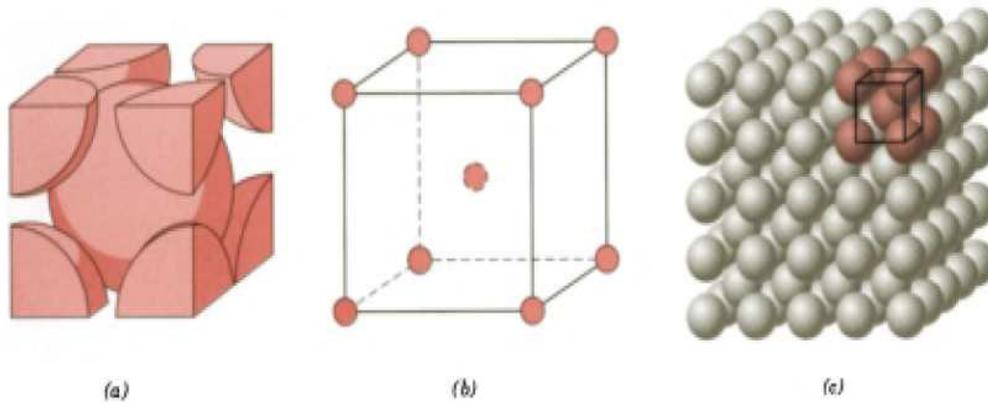
Untuk struktur FCC, Faktor Penumpukan Atom adalah 0,74. Logam umumnya mempunyai faktor penumpukan atom yang relatif besar untuk memaksimalkan efek pembungkusan oleh elektron bebas.

2.3.2 Kubus Pusat Ruang, (Body Center Cubic)

Struktur kristal ini mempunyai atom di setiap sudut kubus ditambah sebuah atom didalam kubus, seperti yang ditunjukkan Gambar 2.10. Panjang sel satuan dirumuskan dengan :

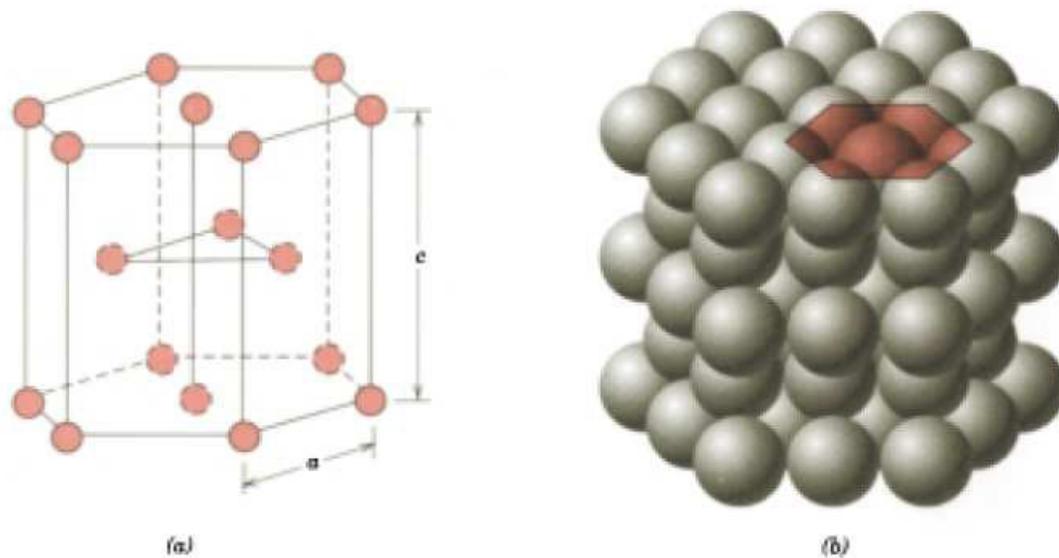
$$a = \frac{4R}{\sqrt{3}}$$

Faktor Penumpukan Atom kristal ini adalah 0,68.



2.3.3 Tumpukan Padat Heksagonal, (*Hexagonal Closed Packed*)

Gambar 2.11 memperlihatkan sel satuan jenis ini. Sel satuan jenis ini adalah jenis sel satuan heksagonal. Permukaan atas dan bawah sel satuan terdiri dari enam atom yang membentuk heksagonal yang teratur dan mengelilingi sebuah atom ditengah-tengahnya. Bidang lain yang mempunyai tiga atom tambahan pada sel satuan terletak antara bidang atas dengan bidang bawah. Enam atom ekuivalen dipunyai oleh setiap sel satuan ini.



2.4. Penutup

2.4.1. Bahan Diskusi dan Tugas

1. Berapa jenis sistem kristal pada padatan ?
2. Apa yang dimaksud dengan BCC, jelaskan ?
3. Apa hubungan antara jenis susunan kristal dengan sistem kristal ?

2.5. Daftar Pustaka

1. Van Vlack, Ilmu dan Teknologi Bahan, Edisi ke 5, Erlangga, 1989 (Terjemahan)
2. Callister, W.D, Jr 2003. "Material Science and Engineering an Introduction" John Wiley & Sons (Asia) Pte.Ltd., Singapore.
3. Gibson, R.F. 1994."Principles of composite material mechanics". New York : Mc Graw – Hill.
4. Hafli, T., Zulfikar, 2008, "Pengantar Pemilihan Bahan dan Proses", Unimal Press.

2.6. Senarai

1. Setiap atom terdiri dari inti yang sangat kecil yang terdiri dari proton dan neutron, dan di kelilingi oleh elektron yang bergerak.
2. Momen dipol permanen timbul pada beberapa molekul karena susunan yang tidak simetris dari daerah yang bermuatan positif dan negatif
3. Material kristal adalah material padat dimana atom-atomnya tersusun dalam susunan yang berulang dan periodik pada dimensi yang besar yaitu atom-atom berada pada kondisi "keteraturan jarak panjang".
4. Pada sebagian besar logam, struktur kristal yang dijumpai adalah: kubus pusat sisi, FCC (face-centered cubic), kubus pusat ruang, BCC (body centered cubic) dan tumpukan padat heksagonal, HCP (hexagonal closepacked).

This page is intentionally left blank

BAB 3

KETIDAKSEMPURNAAN BAHAN PADAT

3.1. Deskripsi Singkat

Tujuan dari mempelajari Bahan Teknik adalah untuk dapat mengetahui jenis dan sifat serta penggunaan material teknik, khususnya yang berkaitan dengan teknik mesin. Dalam bab ini akan dipelajari tentang ketidak sempurnaan bahan padat.

3.2. Tujuan Instruksional Khusus

Setelah materi ini diajarkan mahasiswa dapat menjelaskan tentang jenis ketidak sempurnaan bahan dan penyebabnya.

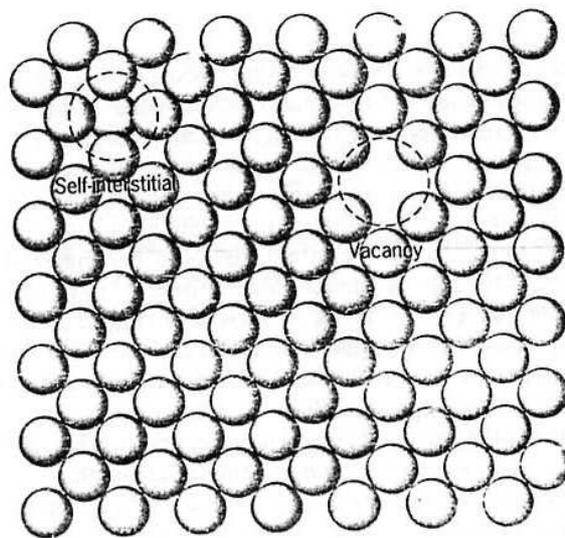
3.3. Penyajian

Susunan yang sempurna ada di keseluruhan material kristal pada skala atom tidaklah ada. Semua bahan padat mengandung sejumlah besar cacat atau ketaksempurnaan.

3.3.1 Cacat Titik

3.3.1.1 Vakansi dan Interstisi-Diri

Vakansi adalah kekosongan sisi kisi, yaitu sisi yang seharusnya ditempati atom, kehilangan atomnya (Gambar 3.1). Vakansi terbentuk selama proses pembekuan, dan juga karena getaran atom yang mengakibatkan perpindahan atom dari sisi kisi normalnya.



Angka kesetimbangan vakansi, N_v untuk material tertentu tergantung atas kenaikan temperatur sesuai dengan persamaan:

$$N_v = N \exp\left(-\frac{Q_v}{kT}\right)$$

dimana N = jumlah total sisi

Q_v = energi yang diperlukan untuk membentuk vakansi

T = temperatur mutlak, K

k = konstanta Boltzman = $1,38 \times 10^{-23}$ J/atom-K = $8,62 \times 10^{-5}$ eV/atom-K

Interstisi-Diri (self-interstitial) adalah sebuah atom dari bahan kristal yang berdesakan ke dalam sisi interstisi, yaitu ruang kosong kecil dimana dalam kondisi normal tidak diisi atom. Jenis cacat ini bisa dilihat pada Gambar 3.1. Pada logam, interstisi diri mengakibatkan distorsi yang relatif besar di sekitar kisi karena atom interstisi lebih besar dari ruang interstisi. Karena itu pembentukan cacat ini kemungkinannya kecil, dan juga konsentrasinya kecil, dimana konsentrasinya jauh lebih kecil dari cacat vakansi.

Contoh Soal

Hitunglah angka kesetimbangan vakansi per meter kubik untuk tembaga pada suhu 1000 C. Energi pembentukan vakansi adalah 0,9 eV/atom; berat atom dan kerapatannya (pada 1000 C) masing-masing adalah 63,5 g/mol dan 8,4 g/cm³.

Jawab

Pertama-tama tentukan harga N , jumlah sisi atom per meter kubik untuk tembaga dari berat atomnya A_{cu} , kerapatannya ρ , dan bilangan Avogadro N_A , sesuai dengan:

$$N = \frac{N_A \rho}{A_{cu}}$$

$$= \frac{(6,023 \times 10^{23} \text{ atom/mol}) (8,4 \text{ g/cm}^3) (106 \text{ cm}^3/\text{m}^3)}{63,5 \text{ g/mol}}$$

$$= 8,0 \times 10^{28} \text{ atom/m}^3$$

Jumlah vakansi pada 1000 °C (1273) adalah:

$$N_v = N \exp\left(-\frac{Q_v}{kT}\right)$$

$$= (8,0 \times 10^{28} \text{ atom/m}^3) \exp\left[-\frac{(0,9 \text{ eV})}{(8,62 \times 10^{-5} \text{ eV/K})(1273 \text{ K})}\right]$$

$$= 2,2 \times 10^{25} \text{ vakansi/m}^3$$

3.3.1.2 Impuritas Pada Bahan Padat

Impuritas adalah atom asing yang hadir pada material. Logam murni yang hanya terdiri dari satu jenis atom adalah tidak mungkin. Impuritas bisa menyebabkan cacat titik pada kristal. Ada paduan dimana atom impuritas sengaja ditambahkan untuk mendapatkan karakteristik tertentu pada material seperti untuk meningkatkan kekuatan mekanik atau ketahanan korosi. Contohnya, perak sterling adalah paduan 92,5% perak - 7,5% tembaga dimana perak yang ditambahkan tembaga akan menaikkan kekuatan mekaniknya secara signifikan.

Penambahan atom impuritas ke logam akan mengakibatkan pembentukan **larutan padat** dan/atau fasa kedua yang baru, tergantung pada jenis impuritas, konsentrasi dan temperatur paduan.

3.3.1.3 Larutan Padat

Larutan padat terbentuk ketika atom *solute* ditambahkan ke material induk, struktur kristal tetap dijaga, dan tidak ada struktur baru yang terbentuk. Bisa dianalogikan dengan air yang dicampur dengan alkohol yang akan menghasilkan larutan cair ketika molekulnya bercampur dan komposisinya homogen.

Larutan padat juga mempunyai komposisi homogen dan atom impuritas tersebar secara acak dan seragam didalam padatan. Cacat titik impuritas dijumpai dalam dua jenis: *substitusi* dan *interstisi*. Ada beberapa ciri atom pelarut dan *solute* yang akan menentukan derajat kelarutan atom *solute* pada atom pelarut, yaitu :

1. Faktor ukuran atom.

Larutan padat terjadi jika perbedaan jari-jari atom kedua atom kurang dari 15%.

2. Struktur kristal.

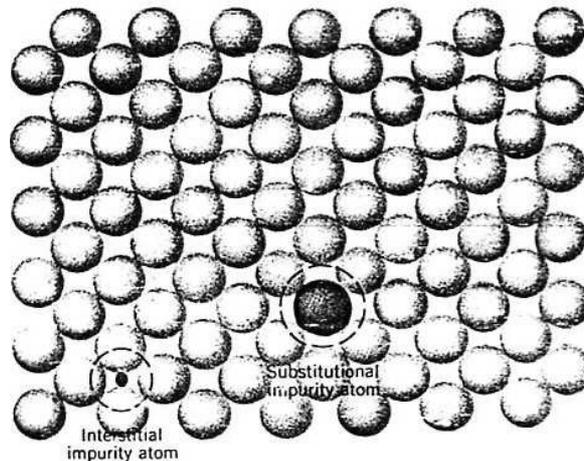
Untuk kemampularutan padatan yang besar, struktur kristal kedua atom logam harus mempunyai jenis yang sama.

3. Elektronegativitas.

Makin elektropositif suatu unsur dan makin elektronegatif unsur yang lain, makin besar kecenderungan unsur-unsur ini akan membentuk senyawa logam daripada larutan padat substitusi.

4. Valensi.

Jika faktor-faktor lain sama, sebuah logam akan mempunyai kecenderungan melarutkan logam lainnya yang mempunyai valensi lebih tinggi dari pada logam yang valensinya rendah.



3.3.1.4 Spesifikasi Komposisi

Komposisi sebuah paduan bisa dinyatakan dalam bentuk unsur-unsur pokoknya. Ada dua cara untuk menyatakan ini yaitu persen berat (%wt) dan persen atom. Konsentrasi atom 1 dalam persen berat didalam campuran atom 1 dengan atom 2 adalah :

dimana : m_1 = berat (massa) unsur 1 ; m_2 = berat (massa) unsur 2

konsentrasi atom kedua dicari dengan cara yang sama.

Konsentrasi atom 1 dalam persen atom didalam campuran atom 1 dengan atom 2 adalah :

$$C'_1 = \frac{n_{m1}}{n_{m1} + n_{m2}} \times 100$$

dimana : n_{m1} = jumlah mol unsur 1

n_{m2} = jumlah mol unsur 2

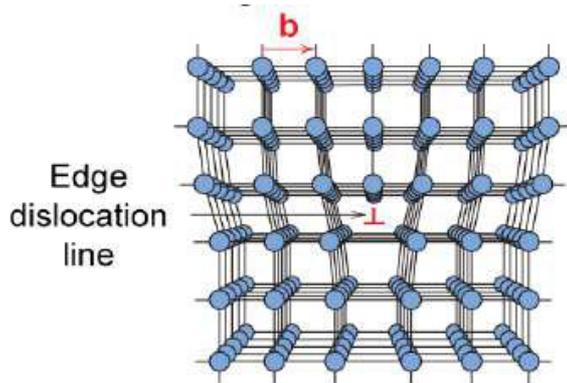
Jumlah mol unsur bisa dicari dengan membagi massa unsur dengan berat atomnya.

Persen konsentrasi atom ke dua bisa dicari dengan cara yang sama.

3.3.2 Ketidak-Sempurnaan Yang Lain

3.3.2.1 Dislokasi – Cacat Linier

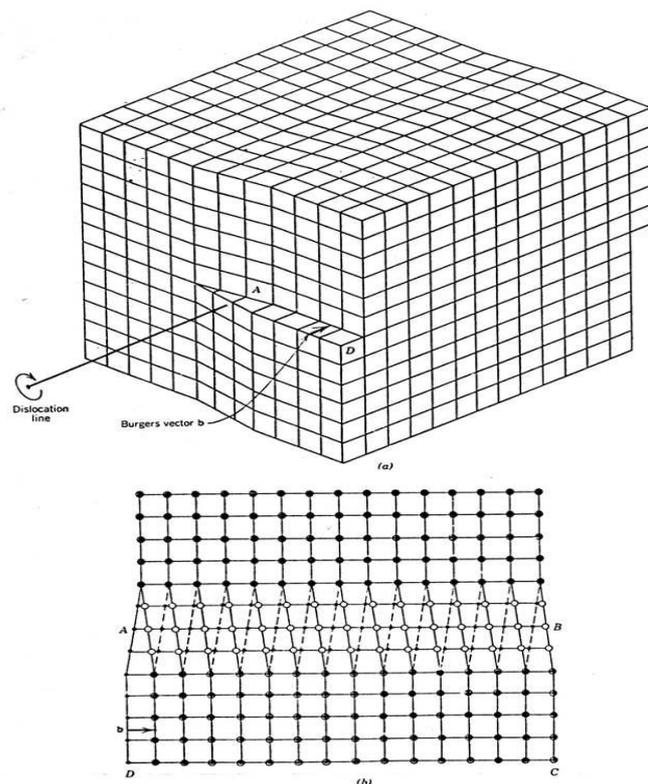
Dislokasi adalah cacat linier atau satu dimensi dimana didekatnya beberapa atom tidak segaris. Ada 3 jenis dislokasi yaitu : dislokasi sisi, dislokasi ulir dan dislokasi campuran. *Dislokasi sisi/pinggir* adalah terdapatnya bidang atom ekstra atau setengah bidang, dimana sisinya terputus di dalam kristal. Gambar 3.3 memperlihatkan skematik dari dislokasi sisi.



Dislokasi sisi disimbolkan dengan \perp .

Dislokasi ulir terbentuk karena gaya geser yang diberikan menghasilkan distorsi seperti yang ditunjukkan Gambar 3.4a. Daerah depan bagian atas kristal tergeser sebesar satu atom kekanan relatif terhadap bagian bawah. Dislokasi ini disimbolkan dengan \perp .

Jika pada material dijumpai kedua jenis dislokasi di atas maka disebut material mempunyai *dislokasi campuran*. Contoh dislokasi campuran bisa dilihat pada Gambar 3.5.

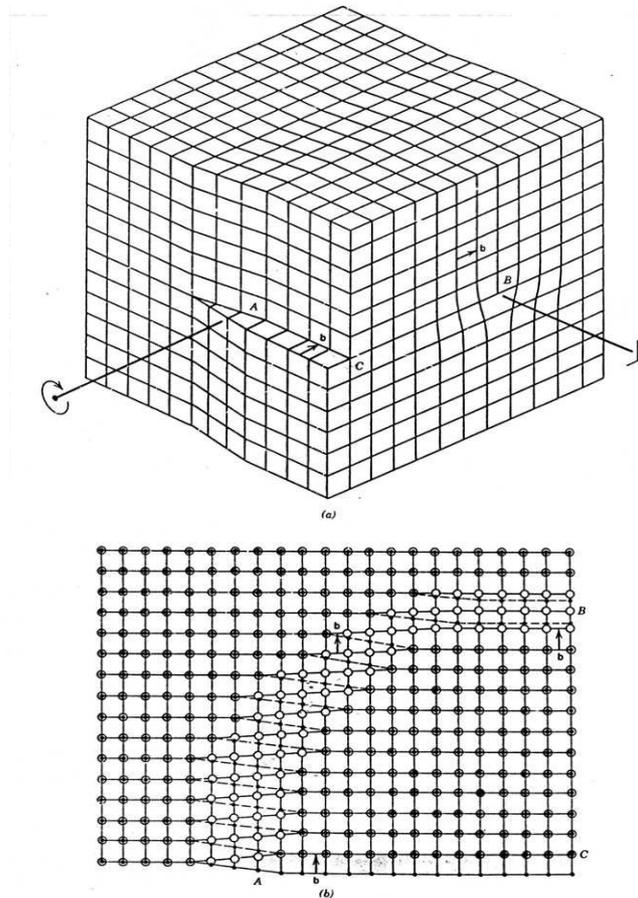


Dislokasi pada material ditimbulkan : selama proses pembekuan, karena deformasi plastis, karena tegangan termal sebagai hasil pendinginan cepat.

3.3.2.2 Cacat Antar Muka

Cacat antar muka adalah batas yang mempunyai dua dimensi yang biasanya memisahkan daerah-daerah pada material yang mempunyai struktur kristal dan/atau

orientasi kristalografi yang berbeda. Cacat jenis ini antara lain: *permukaan luar*, *batas butir*, *batas kembar*, *kesalahan tumpukan* dan *batas fasa*.

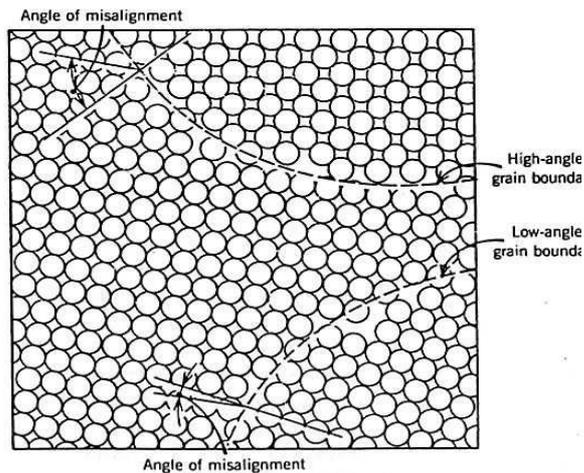


3.3.2.3 Permukaan Luar

Satu dari batas yang paling jelas adalah permukaan luar/eksternal, dimana struktur kristal berakhir. Atom-atom permukaan tidak terikat ke semua atom terdekat, dan karenanya akan mempunyai tingkat energi yang lebih tinggi daripada atom-atom di bagian dalam. Ikatan atom-atom permukaan ini yang tak terpenuhi memberikan kenaikan energi permukaan, dinyatakan dalam satuan energi per satuan luas (J/m^2). Untuk menurunkan energi ini, material jika memungkinkan cenderung meminimalkan luas permukaan total.

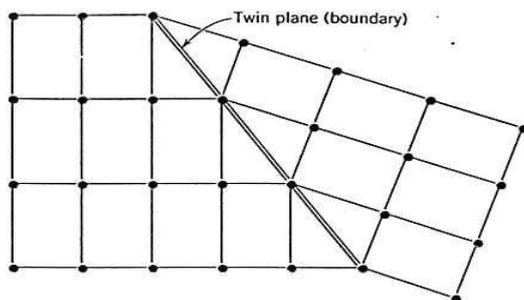
3.3.2.4 Batas Butir

Batas butir memisahkan dua butir atau kristal kecil yang mempunyai orientasi kristalografi yang berbeda pada material polikristal. Batas butir secara skematik digambarkan pada Gambar 3.6. Didalam batas butir terdapat atom yang tak bersesuaian pada daerah transisi dari orientasi kristal butir satu ke butir lain didekatnya.



3.3.2.5 Batas Kembar

Batas kembar adalah batas butir tipe khusus dimana terdapat simetri kisi cermin, yaitu atom-atom pada sebuah sisi batas berada pada posisi cermin dari atom-atom pada sisi lainnya (Gambar 3.7). Daerah antara batas butir ini disebut *kembar/twin*.



3.4. Penutup

3.4.1. Bahan Diskusi dan Tugas

1. Apa yang dimaksud dengan "intertisi"
2. Mengapa dislokasi ulir dapat terjadi, jelaskan ?
3. Apa hubungan antara batas butir kristal dengan *twinning* ?

3.5. Daftar Pustaka

1. Van Vlack, Ilmu dan Teknologi Bahan, Edisi ke 5, Erlangga, 1989 (Terjemahan)
2. Callister, W.D., Jr 2003. "Material Science and Enggining an Introduction" John Wiley & Sons (Asia) Pte.Ltd., Singapore.
3. Gibson, R.F. 1994."Principles of composite material mechanics". New York : Mc Graw – Hill.
4. Hafli, T., Zulfikar, 2008, "Pengantar Pemilihan Bahan dan Proses", Unimal Press.

3.6. Senarai

1. Interstisi-Diri (self-interstitial) adalah sebuah atom dari bahan kristal yang berdesakan ke dalam sisi interstisi, yaitu ruang kosong kecil dimana dalam kondisi normal tidak diisi atom.
2. Penambahan atom impuritas ke logam akan mengakibatkan pembentukan larutan padat dan/atau fasa kedua yang baru, tergantung pada jenis impuritas, konsentrasi dan temperatur paduan

Dislokasi pada material ditimbulkan : selama proses pembekuan, karena deformasi plastis, karena tegangan termal sebagai hasil pendinginan cepat.

BAB 4

SIFAT MEKANIK LOGAM

4.1. Deskripsi Singkat

Tujuan dari mempelajari Bahan Teknik adalah untuk dapat mengetahui jenis dan sifat serta penggunaan material teknik, khususnya yang berkaitan dengan teknik mesin. Dalam bab ini akan dipelajari tentang sifat sifat mekanik pada logam.

4.2. Tujuan Instruksional Khusus

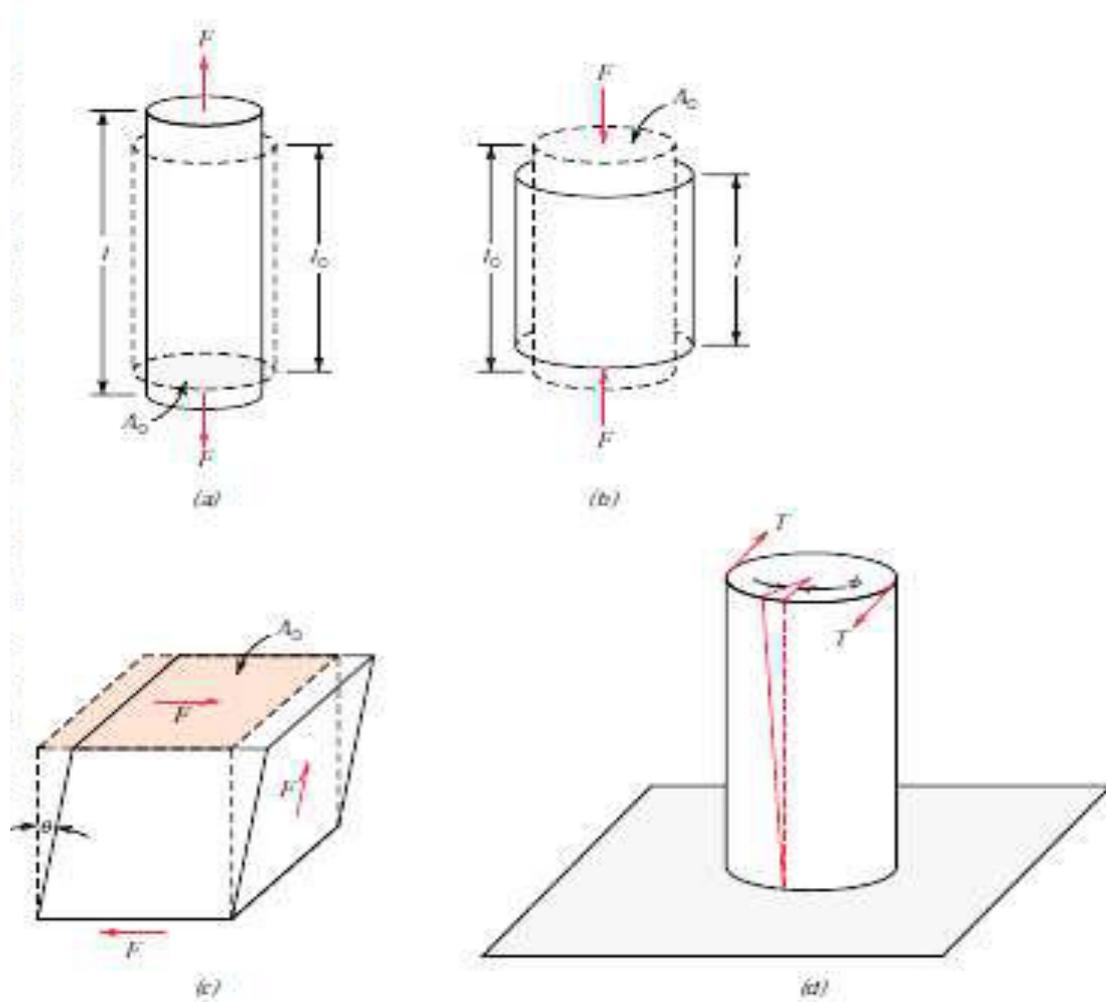
Setelah materi ini diajarkan mahasiswa dapat mengklasifikasikan jenis pengujian untuk memperoleh sifat mekanik pada suatu logam.

4.3. Penyajian

Sifat mekanik bahan adalah hubungan antara respons atau deformasi bahan terhadap beban yang bekerja. Seperti yang telah dijelaskan pada Bab I, sifat mekanik sangat berkaitan dengan kekuatan, kekerasan, keuletan, dan kekakuan.

4.4.1 Tegangan dan Regangan

Ada tiga cara utama di mana beban mungkin diterapkan : yaitu, ketegangan, kompresi, dan geser (Gambar 4.1 a, b, c). Dalam praktiknya lebih banyak beban torsi yang terjadi daripada geser murni; jenis pembebanan diilustrasikan pada Gambar 4.1 d. Bahan dapat dibebani dengan 3 cara : tarik, tekan, geser (gunting).



4.4.2 Deformasi Elastis

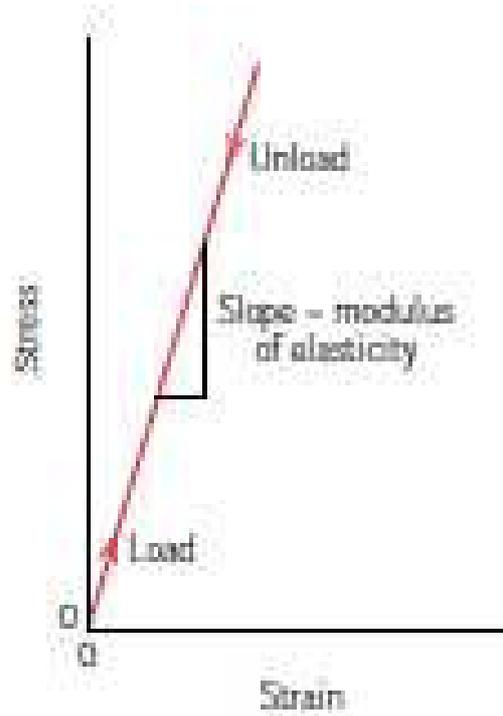
Besarnya bahan mengalami deformasi atau regangan bergantung kepada besarnya tegangan. Pada sebagian besar metal, tegangan dan regangan adalah proporsional dengan hubungan :

$$\sigma = E\epsilon$$

, E = modulus elastistas atau modulus young (Psi, MPa).

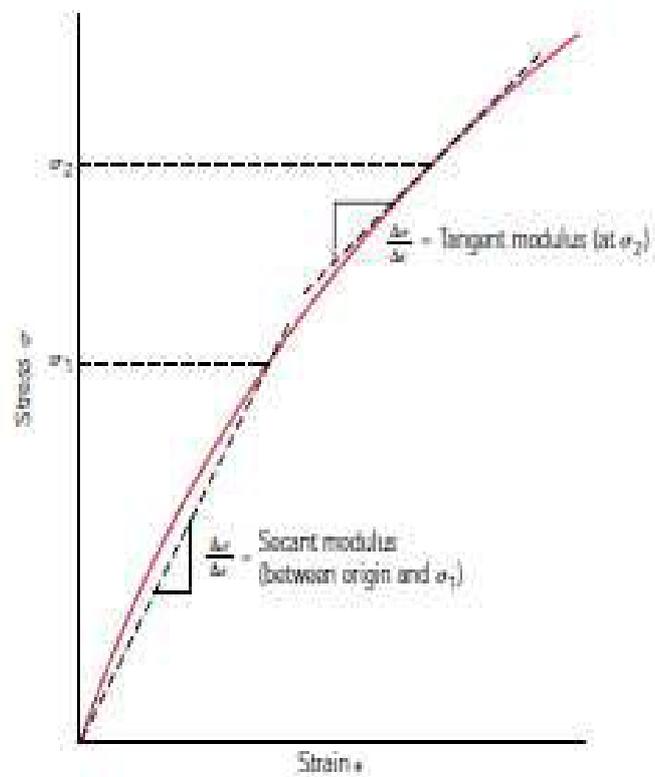
Untuk logam harga E : $4,5 \times 10^4$ Mpa S/D $40,7 \times 10^4$ Mpa.

Bahan disebut mengalami *deformasi elastis* Jika tegangan dan regangan besarnya proporsional. Gambar 4.2, penerapan beban sesuai dengan bergerak dari asal up dan sepanjang garis lurus. Setelah dibebaskan dari beban, garis dilalui kembali ke asal. Ada beberapa bahan (misalnya, besi abu-abu cor, beton, dan banyak polimer) yang ini bagian elastis awal kurva tegangan-regangan tidak linear (Gambar 4.3); oleh karena itu, tidaklah mungkin untuk menentukan modulus elastisitas seperti yang dijelaskan di atas. Untuk perilaku nonlinier ini, baik bersinggungan atau modulus sekan biasanya digunakan.

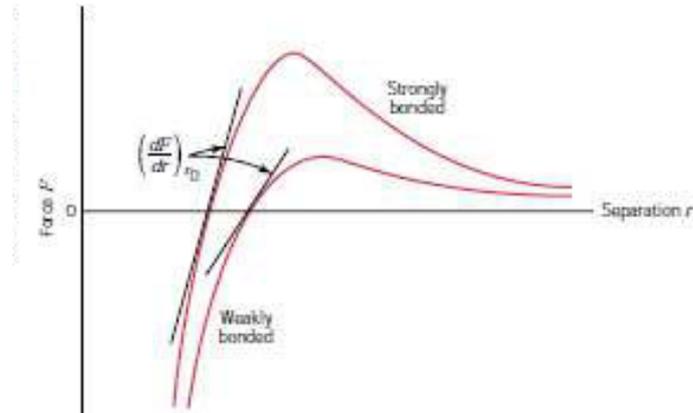


4.4.2.1 Deformasi Elastis Non Linear

Modulus elastisitas dicari dengan modulus tangen atau modulus secant



Dalam skala atom, deformasi elastis adalah perubahan jarak antar atom. Jadi besar modulus elastisitas adalah besarnya tahanan atom-atom yang berikatan. Gambar 4.4 menunjukkan kurva gaya-pemisahan untuk bahan yang memiliki keduanya kuat dan obligasi interatomik lemah; kemiringan di r_0 diindikasikan untuk setiap.



Pada beban geser, tegangan dan regangan bisa dihubungkan dengan persamaan :

$$\tau = G\gamma$$

τ = Tegangan

γ = Regangan

G = Modulus Geser

Contoh :

Sebuah potongan tembaga yang panjang awalnya 12 inchi (305 mm) ditarik dengan tegangan 40.000 psi (276 mpa). Jika deformasi elastis, berapakah pertambahan panjang? ($e = 16 \times 10^6$ psi (11×10^4 mpa)).

Jawab :

$$\sigma = \varepsilon$$

$$E = \frac{\Delta l \cdot E}{l_0}$$

$$\Delta l = \frac{\sigma l_0}{E}$$

$$\sigma = 40.000 \text{ PSI}$$

$$\Delta l = \frac{40.000 \times 12}{16 \times 10^6}$$

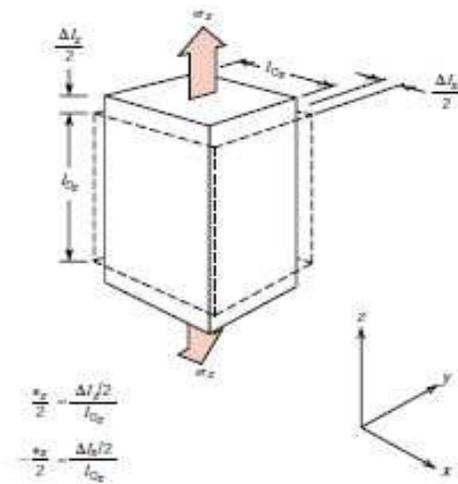
$$l_0 = 12 \text{ Inchi}$$

$$E = 16 \times 10^6$$

$$= 0.30 \text{ inchi (0.76mm)}$$

4.4.2.2 Sifat Elastis Bahan

Ketika tegangan tarik dikenakan pada hampir semua bahan, perpanjangan elastis dan atas ketegangan, hasil z ke arah stres diterapkan (sewaktu-waktu dapat diambil untuk menjadi arah z), seperti ditunjukkan pada Gambar 4. 5. Sebagai hasil dari perpanjangan ini,



- Jika tegangan pada sumbu z
- arah sb z perpanjangan
 - arah sb x perpendekan
 - arah sb y perpendekan

Perbandingan antara regangan tegak lurus terhadap regangan aksial disebut **rasio poisson**, ν .

$$\nu = -\frac{\epsilon_x}{\epsilon_z} = -\frac{\epsilon_y}{\epsilon_z}$$

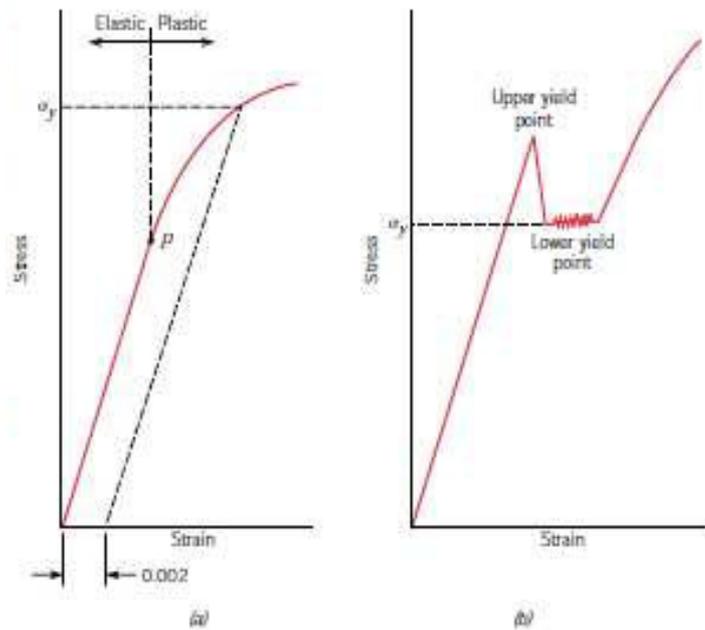
Bahan isotropik, ν biasanya = 1/4. Metal dan campurannya, $\nu = 0.25$ s/d 0.35
Modulus geser dan modulus elastik dihubungkan dengan memakai rasio poisson sbb:

$$E = 2 G (1 + \nu)$$

4.4.3 Deformasi Plastik

Pada kebanyakan logam, deformasi elastis hanya terjadi sampai regangan 0.005. Jika bahan berdeformasi melewati batas elastis, tegangan tidak lagi proporsional terhadap regangan. Daerah ini disebut daerah plastis.

Gambar 4.6.a. merupakan skema perilaku tegangan-regangan tarik ke wilayah plastis untuk logam tertentu. Transisi dari elastis ke plastis adalah salah satu yang bertahap untuk sebagian besar logam; beberapa hasil kelengkungan pada awal deformasi plastis, yang meningkatkan lebih cepat dengan meningkatnya tegangan.



Pada daerah plastis, bahan tidak bisa kembali ke bentuk semula jika beban dilepaskan. Pada tinjauan mikro, deformasi plastis mengakibatkan putusya ikatan atom dengan atom tetangganya dan membentuk ikatan yang baru dengan atom yanglainnya. Jika beban di lepaskan, atom ini tidak kembali keikatan awalnya.

4.4.4 Sifat-Sifat Tarik

a. Luluh dan Kekuatan Luluh

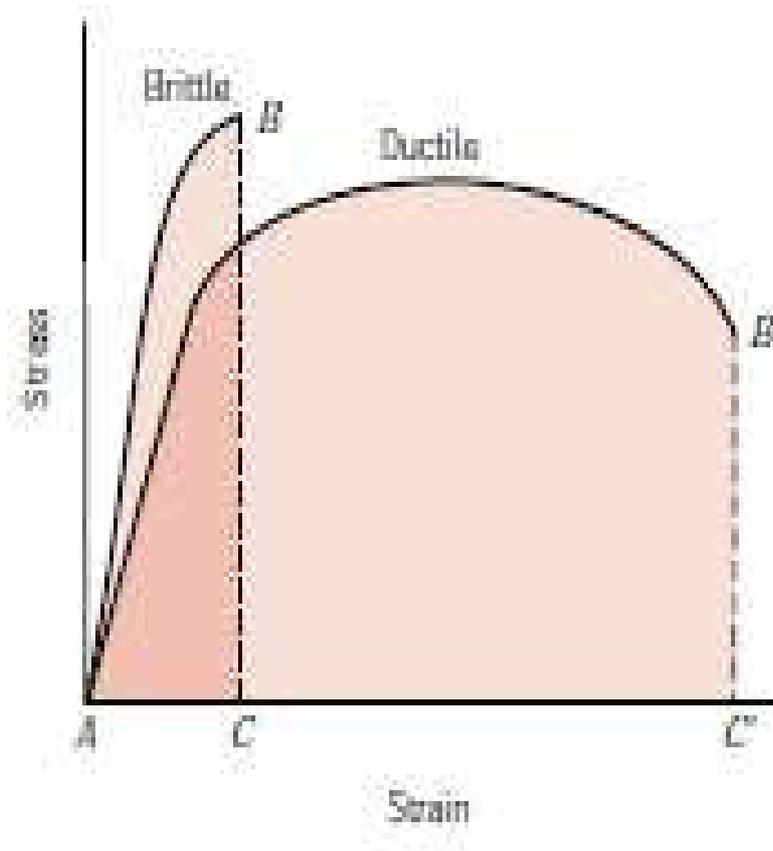
Titik luluh terjadi pada daerah dimana deformasi plastis mudah terjadi pada logam grafik σ - ϵ berbelok secara bertahap sehingga titik luluh ditentukan dari awal perubahan kurva σ - ϵ dari linier ke lengkung. Titik ini di sebut batas proporsional (titik p pada gambar). Pada kenyataannya titik p ini tidak bisa ditentukan secara pasti. Kesepakatan di buat dimana di tarik garis lurus paralel, dengan kurva σ - ϵ dengan harga $\epsilon = 0.002$. Perpotongan garis ini dengan kurva σ - ϵ didefinisikan sebagai *kekuatan luluh* τ_y .

b. Kekuatan Tarik

Setelah titik luluh, tegangan terus naik dengan berlanjutnya deformasi plastis sampai titik maksimum dan kemudian menurun sampai akhirnya patah. Kekuatan tarik adalah tegangan maksimum pada kurva σ - ϵ . Hal ini berhubungan dengan tegangan maksimum yang bisa di tahan struktur pada kondisi tarik seperti yang terlihat pada Gambar 4.6.

c. Keuletan

Mengukur derajat deformasi plastis pada saat patah. Bahan yang mengalami sedikit atau tidak sama sekali deformasi plastis di sebut *rapuh*. Bahan yang mengalami sangat sedikit atau tidak ada deformasi plastik pada *fraktur* disebut getas. Perilaku tegangan-regangan tarik untuk kedua ulet dan rapuh bahan yang secara skematis diilustrasikan pada Gambar 4.7.



Keuletan bisa di rumuskan sebagai persen perpanjangan atau persen pengurangan luas.

$$\%EL = \left(\frac{l_f - l_0}{l_0} \right) \times 100$$

$$\%RA = \left(\frac{A_0 - A_f}{A_0} \right) \times 100$$

l_f = panjang patah

l_0 = panjang awal

% EL = % perpanjangan

A_0 = luas penampang mula-mula

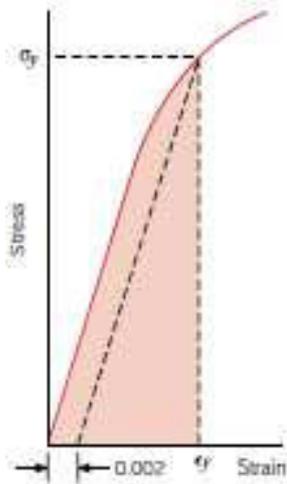
A_f = luas penampang pada saat patah

Bahan dianggap rapuh jika regangan pada saat patah kira-kira 5%. Sifat mekanik beberapa logam, dan paduan. Dengan demikian, beberapa sifat mekanik yang penting dari logam dapat ditentukan dari tes tegangan-regangan tarik. Tabel 4.1 menyajikan beberapa suhu ruang tertentu.

Material	Yield Strength		Tensile Strength		Ductility, %EL [in 50 mm (2 in.)] ^a
	MPa	ksi	MPa	ksi	
Metal Alloys^b					
Molybdenum	565	82	655	95	35
Titanium	450	65	520	75	25
Steel (1020)	180	26	380	55	25
Nickel	138	20	480	70	40
Iron	130	19	262	38	45
Brass (70 Cu–30 Zn)	75	11	300	44	68
Copper	69	10	200	29	45
Aluminum	35	5	90	13	40
Ceramic Materials^c					
Zirconia (ZrO ₂) ^d	—	—	800–1500	115–215	—
Silicon nitride (Si ₃ N ₄)	—	—	250–1000	35–145	—
Aluminum oxide (Al ₂ O ₃)	—	—	275–700	40–100	—
Silicon carbide (SiC)	—	—	100–820	15–120	—
Glass-ceramic (Pyroceram)	—	—	247	36	—
Mullite (3Al ₂ O ₃ ·2SiO ₂)	—	—	185	27	—
Spinel (MgAl ₂ O ₄)	—	—	110–245	16–36	—
Fused silica (SiO ₂)	—	—	110	16	—
Magnesium oxide (MgO) ^e	—	—	105	15	—
Soda-lime glass	—	—	69	10	—
Polymers					
Nylon 6,6	44.8–82.8	6.5–12	75.9–94.5	11.0–13.7	15–300
Polycarbonate (PC)	62.1	9.0	62.8–72.4	9.1–10.5	110–150
Polyester (PET)	59.3	8.6	48.3–72.4	7.0–10.5	30–300
Polymethyl methacrylate (PMMA)	53.8–73.1	7.8–10.6	48.3–72.4	7.0–10.5	2.0–5.5
Polyvinyl chloride (PVC)	40.7–44.8	5.9–6.5	40.7–51.7	5.9–7.5	40–80
Phenol-formaldehyde	—	—	34.5–62.1	5.0–9.0	1.5–2.0
Polystyrene (PS)	—	—	35.9–51.7	5.2–7.5	1.2–2.5
Polypropylene (PP)	31.0–37.2	4.5–5.4	31.0–41.4	4.5–6.0	100–600
Polyethylene—high density (HDPE)	26.2–33.1	3.8–4.8	22.1–31.0	3.2–4.5	10–1200
Polytetrafluoroethylene (PTFE)	—	—	20.7–34.5	3.0–5.0	200–400
Polyethylene—low density (LDPE)	9.0–14.5	1.3–2.1	8.3–31.4	1.2–4.55	100–650

d. Resilience

Resilience adalah kapasitas material untuk menyerap energi ketika mengalami deformasi elastis dan ketika beban dilepaskan, energi ini juga dilepaskan. **Modulus resilience**, U_r : adalah energi regang persatuan volume yang diperlukan sehingga material mendapat tegangan dari kondisi tidak berbeban ketitik luluh. Komputasi, modulus ketahanan untuk spesimen dikenai uji tegangan uniaksial hanya area di bawah teknik kurva tegangan-regangan diambil untuk menghasilkan (Gambar 4.8),



$$U_r = \frac{1}{2} \sigma_y \epsilon_y = \frac{1}{2} \sigma_y \left(\frac{\sigma_y}{E} \right) = \frac{\sigma_y^2}{2E}$$

$$U_r = \int_0^{\epsilon_y} \sigma d\epsilon$$

Bahan Elastis Linear

$$U_r = \frac{1}{2} \sigma_y \epsilon_y = \frac{1}{2} \sigma_y \left(\frac{\sigma_y}{E} \right) = \frac{\sigma_y^2}{2E}$$

$$U_r = \frac{1}{2} \sigma_y \epsilon_y$$

Material yang mempunyai sifat resilience adalah material yang mempunyai tegangan luluh tinggi (σ_y) dan modulus elastisitas rendah. Contoh : alloy untuk pegas.

e. Ketangguhan (Toughness).

Adalah kemampuan bahan untuk menyerap energi sampai patah.

Satuan ketangguhan = satuan resilience

bahan ulet → bahan tangguh

bahan getas → bahan tidak tangguh

f. Tegangan dan Regangan Sebenarnya

Tegangan dan regangan sebenarnya diukur berdasarkan luas penampang sebenarnya pada saat diberikan beban

$$\sigma_T = \frac{F}{A_i}$$

σ_t = tegangan sebenarnya (true stress)

A_i = luas penampang pada saat dibebani

$$\epsilon_T = \ln \frac{l_i}{l_0}$$

ϵ_T = regangan sebenarnya

l_i = panjang bahan yang pada saat diberi beban

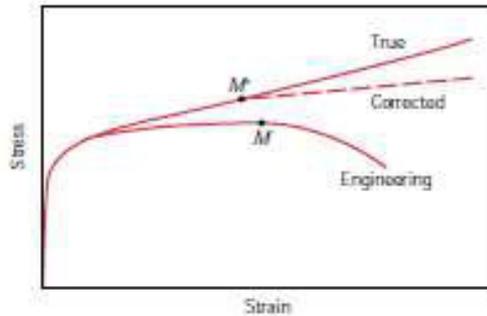
Jika tidak ada perubahan volume :

$$A_i l_i = A_o l_o$$

$$\sigma_T = \sigma (1 + \epsilon)$$

$$\epsilon_T = \ln (1 + \epsilon)$$

Perbandingan skema rekayasa dan perilaku tegangan-regangan dibuat pada Gambar 4.9. Perlu dicatat bahwa tegangan sebenarnya diperlukan untuk mempertahankan peningkatan ketegangan yang terus meningkat melewati titik tarik M.



Untuk beberapa logam dan paduan, tegangan sebenarnya pada kurva σ - ϵ pada daerah mulai terjadinya deformasi plastis ke kondisi terjadinya necking (pengecilan penampang) dirumuskan :

$$\sigma_T = K \epsilon_T^n K,$$

$n = \text{Konstan}$

$n < 1$

Harga n dan K untuk berbagai paduan

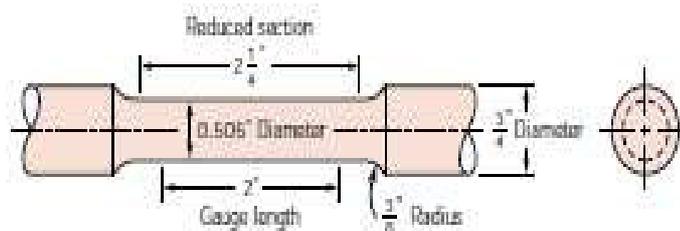
Dalam ungkapan ini, K dan n adalah konstanta, yang nilai-nilai akan bervariasi dari paduan untuk paduan, dan juga akan tergantung pada kondisi bahan (yaitu, apakah sudah mengalami deformasi plastis, dipanaskan, dll). Parameter n sering disebut eksponen *strain hardening* dan memiliki nilai kurang dari satu. Nilai-nilai n dan K untuk beberapa paduan yang terkandung dalam Tabel 4.2.

Material	n	K	
		MPa	psi
Low-carbon steel (annealed)	0.26	530	77,000
Alloy steel (Type 4340, annealed)	0.15	640	93,000
Stainless steel (Type 304, annealed)	0.45	1275	185,000
Aluminium (annealed)	0.20	180	26,000
Aluminium alloy (Type 2024, heat treated)	0.16	690	100,000
Copper (annealed)	0.54	315	46,000
Brass (70Cu-30Zn, annealed)	0.49	895	130,000

4.4.5 Uji Tarik

Adalah salah satu uji stress-strain mekanik yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan bahan terhadap gaya tarik. Dalam pengujiannya, bahan uji ditarik sampai putus.

Sebuah spesimen yang cacat, biasanya teridikasi retak, dengan beban tarik secara bertahap hingga meningkatkan beban yang di berikan searah uniaksial sepanjang sumbu spesimen. Sebuah tarik spesimen standar ditunjukkan pada Gambar 4.10.



Engineering strain (regangan) :

$$\epsilon = \frac{l_i - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0}$$

Dimana :

l_0 = panjang mula – mula

l_i = panjang akhir

Δl = pertambahan panjang

ϵ = %

Engineering stress (tegangan teknik) :

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

Dimana :

F = beban yang diberikan (lb atau N)

A_0 = luas penampang bahan sebelum dibebani (in² atau m²)

σ = psi, MPa.

4.4.6 Uji Tekan

Bahan uji diberikan gaya tekan. Rumus tegangan dan regangan sama dengan yang dipakai pada uji tarik, hanya tanda beban negative (tekan). Hasil uji akan memberikan harga negative.

tegangan geser di rumuskan :

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

F = gaya yang diberikan

A₀ = luas bidang permukaan.

Regangan Geser

Regangan geser dilambangkan γ merupakan tangen θ .

Torsi

Torsi adalah variasi dari gaya geser murni. Bahan uji diberikan gaya puntir yang akan menimbulkan gerak putar pada sumbu penggerak atau mesin bor.

Kekerasan (hardness)

Kekerasan adalah mengukur ketahanan material terhadap deformasi plastis yang terlokalisasi (lengkungan kecil atau goresan).

Macam- macam uji kekerasan :

1. Uji kekerasan rockwell
2. Uji kekerasan brinell
3. Uji kekerasan vicker
4. Uji kekerasan knoop

Pengukuran kekerasan secara umum dapat dilakukan dengan dua metode yaitu:

a) Metode Dinamis (Dynamical Methode) karakteristiknya adalah :

1. Pembebanan terjadi dengan tiba-tiba
2. Waktu penetrasinya singkat (short penetration time)
3. Ketelitian rendah (low'Accuracy)
4. Pengujian dilakukan dengan cepat.

Jenis pengujian kekerasan yang menggunakan metode ini antara lain : Shore Scleroscope, Herbert, Hammer Poldi, dsb.

b) Metode Statis (Statical Methode) Karakteristiknya adalah :

1. Pembebanan terjadi secara perlahan-lahan dengan beban tertentu.
2. Waktu penetrasinya panjang (Long penetration time)
3. Ketelitian tinggi (High Accuracy)
4. Pengujiannya lebih lambat dari metode dinamis.

Jenis pengujian kekerasan yang menggunakan metode ini antara lain : Brinell, Vickers, Rockwell, Vickers Micro Hardness dan Knoop Micro Hardness dll.

Metode pengujian statis merupakan metode pengujian kekerasan yang umum digunakan dewasa ini. Hal ini didasarkan pada hasil pengujiannya yang lebih akurat. Pengujian ini dapat dikategorikan berdasarkan sasaran dari material yang akan diuji, yaitu :

- Untuk mengukur kekerasan suatu material digunakan pengujian kekerasan Brinell, Rockwell dan Vickers.
- Untuk mengukur kekerasan fasa pada struktur mikro atau lapisan tipis dari suatu material digunakan Micro-Hardness test.

1. Pengujian Kekerasan Brinell

Pengujian kekerasan Brinell dilakukan dengan menekan Indentor (Hardened steel ball dengan diameter D) dengan beban P (Kg) terhadap suatu spesimen. Diameter indeniasi (d) diukur setelah beban dilepas. Gambar 4.1 menunjukkan Proses penekanan pada pengujian brinell.

Kekerasan Brinell (BHN) adalah beban (P) dibagi dengan luas permukaan indentasi yaitu :

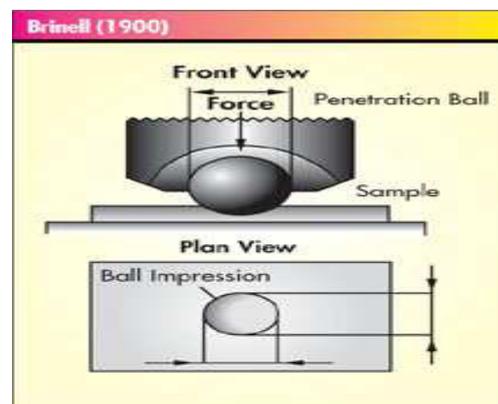
$$\text{BHN} = \frac{P}{A} = \frac{2P}{D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

BHN= Angka Brinell

P = Beban [kg]

D = Diameter bola [mm]

d = Diameter rata-rata indentasi [mm]



Gambar 4.11. Proses pengujian Brinell

Pengujian kekerasan didasarkan pada standart DIN 50351 atau ASTM E-10 dan harus memenuhi persyaratan lainnya yaitu :

- Permukaan spesimen harus halus, rata dan tegak lurus terhadap arah pembebanan.
- Brinell standart menggunakan : beban (P) = 3000 kg, Diameter bola = 10mm, dan Waktu penekanan = 10-15 detik.

Permukaan indentasi tidak sepenuhnya berbentuk kulit bola, pada saat penekanan dan terjadinya setelah beban dibebaskan. Oleh sebab akibat deformasi bola recovery pada spesimen itu pengujian yang menggunakan beban dan diameter bola yang berbeda, geometri indentasi juga berbeda.

Untuk membandingkan satu angka kekerasan kekerasan lainnya, maka degree of loading dari pengujian sama. Degree of loading adalah Beban dibagi dengan kwadrat Diameter indentor.
dengan angka harus

$$\frac{P}{D^2} = \text{Konstanta}$$

dimana :

P = Beban [kg]

D = Diameter Indentor [mm]

Beberapa tingkat dari beban yang umum digunakan adalah 30kg, 15kg, 10kg, 5kg, dan 1kg. Pemakaian Beban dan Diameter Indentor yang tidak standar harus dicantumkan pada angka kekerasan.

c) Untuk menghindari kesalahan pengukuran kekerasan Brinell, maka beberapa faktor yang harus diperhatikan antara lain:

1. Ketebalan spesimen minimum = 10 * kedalaman Indentasi (t).
2. Waktu penekanan biasanya 10 - 15 detik untuk logam ferrous dan 30 detik untuk logam yang lebih lunak.
3. Jarak titik pusat indentasi yang satu terhadap yang lain dan terhadap tepi spesimen minimal = 3 * diameter indentasi (d).
4. Diameter indentasi (d) harus terletak dalam rentang sebagai berikut,

$$0.2 D < d < 0.7 D$$

dimana:

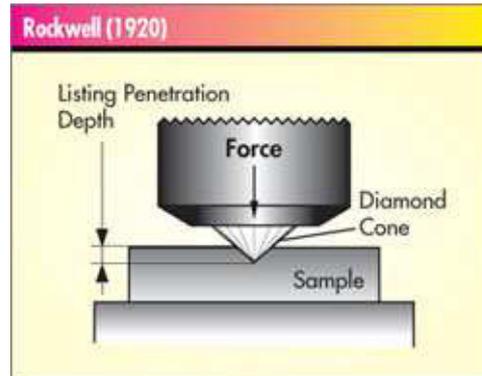
D = Diameter bola [mm]

d = Diameter indentasi [mm]

2. Pengujian Kekerasan Rockwell

Pengujian kekerasan Rockwell hampir sama dengan pengujian kekerasan Brinell yaitu angka kekerasan sebagai fungsi dari kedalaman indentasi pada spesimen akibat pembebanan statis. Pada pengujian Rockwell beban dan indentor yang digunakan lebih kecil dibandingkan dengan pengujian Brinell. Angka kekerasan langsung ditunjukkan pada mesin sehingga waktu pengujian relatif lebih singkat dan sangat sesuai digunakan di lapangan.

Prosedur pengujian dilakukan dengan menekan indentor pada benda kerja dengan beban awal (minor load) 10 kg, yang menyebabkan kedalaman indentasi h, Jarum penunjuk diset pada angka nol skala hitam, selanjutnya diberikan beban mayor 140 Kg selama 10 - 15 detik. Beban mayor dilepas dengan cara mengembalikan posisi pembebanan keposisi beban awal yang menyebabkan kedalaman indentasi h₁, Angka kekerasan dapat langsung dibaca pada skala penunjuk. Secara skematis hal ini ditunjukkan pada Gambar 4.12. Beban dan indentor yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 4.3.



Gambar 4.12. Skematik Pengujian Rockwell

Tabel 4.3. Beban dan Identor yang digunakan pada pengujian Rockwell

Skala	Penekan	Beban			Skala Kekerasan	Warna Angka
		Awal	Utama	Jumlah		
A	Kerucut Intan 120°	10	50	60	100	Hitam
B	Bola Baja 1,588 mm	10	90	100	130	Merah
C	(1/6")	10	140	150	100	Hitam
D	Kerucut Intan 120°	10	90	100	100	Hitam
E	Kerucut Intan 120°	10	90	100	130	Merah
F	Bola Baja 3,175 mm	10	50	60	130	Merah
G	(1/8")	10	140	150	130	Merah
H	Bola Baja 1,588 mm	10	50	60	130	Merah
K	(1/6")	10	140	150	130	Merah
L	Bola Baja 1,588 mm	10	50	60	130	Merah
M	(1/6")	10	90	100	130	Merah
P	Bola Baja 3,175 mm	10	140	150	130	Merah
R	(1/8")	10	50	60	130	Merah
S	Bola Baja 3,175 mm	10	90	100	130	Merah
V	(1/8")	10	140	150	130	Merah
	Bola Baja 6,35 mm					
	(1/4")					
	Bola Baja 6,35 mm					
	(1/4")					
	Bola Baja 6,35 mm					
	(1/4")					
	Bola Baja 12,7 mm					
	(1/2")					
	Bola Baja 12,7 mm					
	(1/2")					
	Bola Baja 12,7 mm					
	(1/2")					

Angka kekerasan Rockwell tidak bersatuan, tetapi didahului dengan huruf depan seperti Tabel 4.3, yang menyatakan kondisi pengujian. Skala Rockwell terbagi atas 100 divisi, dimana tiap divisi sebanding dengan kedalaman indentasi 0,002 mm. Angka kekerasan Rockwell B dan Rockwell C dinyatakan sebagai kedalaman indentasi (h_i) dapat ditulis sbb:

$$R_B = 130 - \frac{\text{Kedalaman Indentasi (mm)}}{0,002}$$

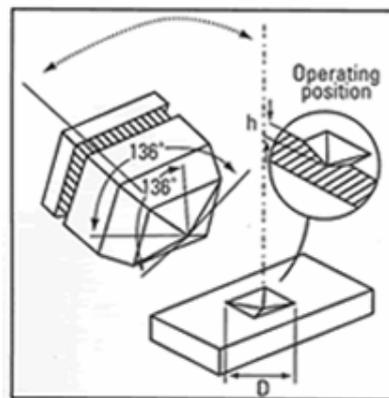
$$R_C = 100 - \frac{\text{Kedalaman Indentasi (mm)}}{0,002}$$

Persiapan spesimen perlu dilakukan karena indentasi cukup kecil dan metode pengukuran langsung oleh mesin yang meliputi :

- Permukaan atas dan bawah spesimen harus datar, halus dan bebas dari kotoran, minyak, benda asing dan cacat.
- Ketebalan spesimen minimum 0.01 in. (0.25 mm)
- Ketebalan spesimen minimum = 10 * kedalaman Indentasi (t).
- Jarak titik pusat indentasi yang satu terhadap yang lain dan terhadap tepi spesimen minimal = 3 * diameter indentasi (d).

3. Pengujian Kekerasan Vickers

Pengujian kekerasan Vickers menggunakan indentor intan yang berbentuk piramid dengan alas bujur sangkar dan sudut puncak antara dua sisi yang berhadapan besarnya 136°, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.13.



Gambar 4.13. Indentor pengujian Vickers

Angka kekerasan Vickers adalah beban dibagi luas indentasi sebagai berikut :

$$H_v = \frac{1.8544 P}{d^2} \text{ atau } H_v = \frac{P}{A}$$

Dimana :

$$A = \frac{d^2}{2 \cos 22^\circ} = \frac{d^2}{1.8544}$$

Dimana :

Hv = Angka kekerasan Vicker's

P = Beban [Kg]

A = Luas indentasi [mmv]

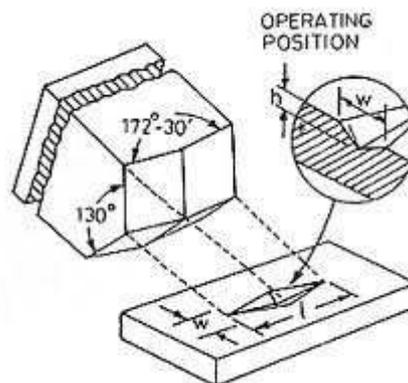
d = Diagonal rata-rata [mm]= (d1 + d2)/2

Hasil pengujian Kekerasan Vickers tidak tergantung pada besarnya gaya tekan. Gaya tekan yang digunakan antara 1 - 120 Kg, tergantung pada kekerasan/ketebalan bahan yang diuji agar diperoleh tapak tekan yang mudah diukur dan tidak menimbulkan anvil effect pada benda yang tipis. Permukaan benda uji harus halus dan rata (perlu digerinda atau dipoles).

4. Micro-Hardness Test

Pengukuran kekerasan bagian yang sangat kecil (Fasa dalam stuktur mikro) dan suatu lapisan yang sangat tipis dapat dilakukan dengan Micro Hardness Test. Ada 2 Jenis Micro hardness test yaitu Knoop micro hardness dan Vickers micro hardness.

Knoop mikro hardness menggunakan indenter Piramid intan dengan alas berbentuk ketupat dengan perbandingan diagonal 7: 1 seperti ditunjukkan pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14. Skema dan indenter pengujian Knoop Micro Hardness

Beban yang digunakan pada pengujian Knoop Micro Hardness adalah 25 - 3600 gr. Angka Kekerasan Knoop Micro hardness dapat dihitung sebagai berikut :

$$HK = 14.229 \frac{P}{l^2}$$

Dimana:

P = Beban (gram)

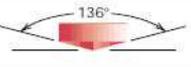
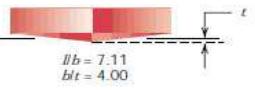
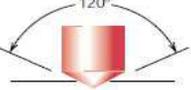
l = Panjang diagonal tapak tekan yang panjang { mm }

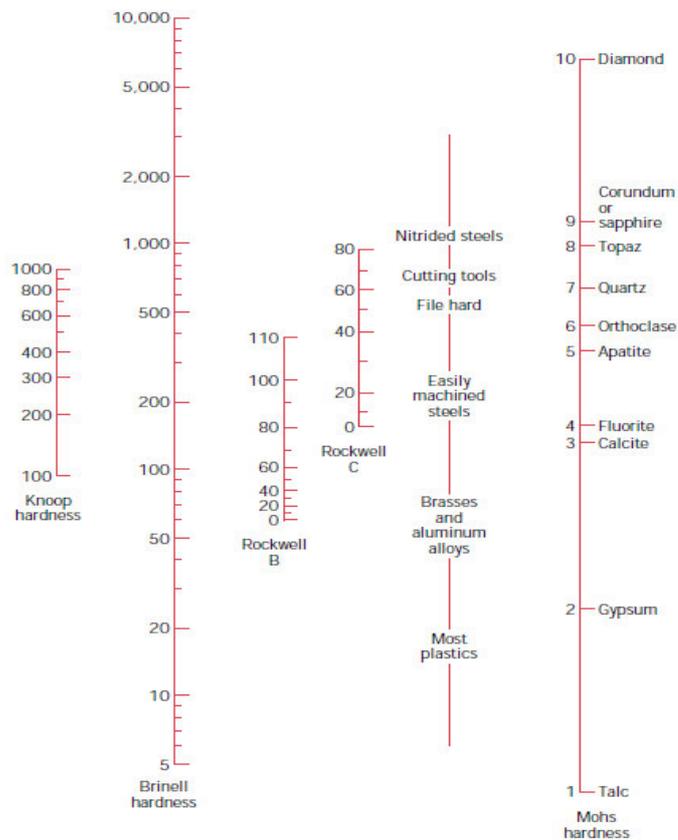
Vickers micro hardness menggunakan indenter piramid intan seperti pengujian kekerasan Vickers, hanya disini beban yang digunakan 1 - 1000 gr, Hasil pengujiannya berupa angka kekerasan Vickers (HV).

Pengujian dengan Mikro hardness menuntut persiapan spesimen yang sama dengan persiapan spesimen untuk pengamatan mikrostruktur dan pengamatannya dilakukan dengan bantuan mikroskop.

Teknik pengujian Kekerasan secara keseluruhan dapat disimpulkan seperti pada Tabel 4.4. Skala perbandingan beberapa angka kekerasan ditunjukkan pada Gambar 4.15.

Tabel 4.4. Teknik Pengujian Hardness

Test	Indenter	Shape of Indentation		Load	Formula for Hardness Number ^a
		Side View	Top View		
Brinell	10-mm sphere of steel or tungsten carbide			P	$HB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$
Vickers microhardness	Diamond pyramid			P	$HV = 1.854P/d_1^2$
Knoop microhardness	Diamond pyramid			P	$HK = 14.2P/l^2$
Rockwell and Superficial Rockwell	<ul style="list-style-type: none"> ⎧ Diamond cone ⎧ 1/16, 1/8, 1/4, 1/2 in. diameter steel spheres 			<ul style="list-style-type: none"> 60 kg } Rockwell 100 kg } 150 kg } 15 kg } Superficial Rockwell 30 kg } 45 kg } 	



Gambar 4.15. Skala perbandingan beberapa pengujian

4.5. Penutup

4.5.1. Bahan Diskusi dan Tugas

1. Apa yang dimaksud dengan batas elastis, jelaskan ?
2. Mengapa perlu dilakukan uji tarik setiap material ?
3. Apa saja jenis pengujian kekerasan yang anda ketahui, jelaskan dengan singkat.

4.6. Daftar Pustaka

1. Van Vlack, Ilmu dan Teknologi Bahan, Edisi ke 5, Erlangga, 1989 (Terjemahan)
2. Callister, W.D., Jr 2003. "Material Science and Engineering an Introduction" John Wiley & Sons (Asia) Pte.Ltd., Singapore.
3. Gibson, R.F. 1994. "Principles of composite material mechanics". New York : Mc Graw – Hill.
4. Hafli, T., Zulfikar, 2008, "Pengantar Pemilihan Bahan dan Proses", Unimal Press.

4.7. Senarai

1. Bahan yang mengalami sedikit atau tidak sama sekali deformasi plastis disebut *rapuh*. Bahan yang mengalami sangat sedikit atau tidak ada deformasi plastik pada *fracture* disebut getas
2. Uji Tarik adalah salah satu uji stress-strain mekanik yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan bahan terhadap gaya tarik. Dalam pengujiannya, bahan uji ditarik sampai putus.
3. Kekerasan adalah mengukur ketahanan material terhadap deformasi plastis yang terlokalisasi (lengkungan kecil atau goresan).

This page is intentionally left blank

BAB 5

SISTEM MULTI FASA

5.1. Deskripsi Singkat

Tujuan dari mempelajari Bahan Teknik adalah untuk dapat mengetahui jenis dan sifat serta penggunaan material teknik, khususnya yang berkaitan dengan teknik mesin. Dalam bab ini akan dipelajari tentang Fasa kesetimbangan pada logam.

5.2. Tujuan Instruksional Khusus

Setelah materi ini diajarkan mahasiswa dapat mengetahui diagram fasa pada logam dan mengetahui sistim kesetimbangannya.

5.3. Penyajian

5.3.1. Pengertian-Pengertian

Fasa. Fasa adalah daerah materi dari suatu sistem yang secara fisis dapat dibedakan dari daerah materi yang lain dalam sistem tersebut; fasa memiliki struktur atom dan sifat-sifat sendiri yang apabila terjadi perubahan temperatur, komposisi, atau peubah termodinamik yang lain, akan berubah secara kontinyu (tidak berubah mendadak). Pada dasarnya berbagai fasa yang hadir dalam suatu sistem dapat dipisahkan secara mekanis. Pengertian ini memperluas pengertian fasa yang telah lama kita kenal yaitu fasa padat, cair, dan gas. Sistem yang terdiri dari beberapa fasa bisa berada dalam keseimbangan termodinamis, dan disebut *sistem multi-fasa*. Sistem yang hanya terdiri dari satu fasa disebut *sistem satu-fasa*.

Homogenitas. Dalam keseimbangan, setiap fasa adalah homogen. Gas dapat tercampur satu sama lain dengan mudah dan akan selalu menjadi campuran homogen; demikian juga cairan yang mudah tercampur satu sama lain akan membentuk campuran homogen. Padatan dapat pula tercampur satu sama lain akan tetapi karena mobilitas atom dalam padatan pada umumnya terbatas, maka proses untuk terjadinya

campuran homogen sangat lambat. Oleh karena itu kebanyakan padatan yang biasa ditemui adalah tidak dalam keseimbangan.

Pernyataan bahwa “dalam keseimbangan, setiap fasa adalah homogen” *tidak berarti sebaliknya* yaitu “sistem dalam keseimbangan merupakan sistem satu fasa”. Sistem dalam keseimbangan termodinamik hanya akan merupakan sistem satu fasa jika sistem itu merupakan campuran gas. Pada cairan dan padatan, sistem dalam keseimbangan termodinamik bisa merupakan sistem satu fasa atau lebih.

Komponen Sistem. Komponen sistem adalah unsur atau senyawa yang membentuk satu sistem. Sistem yang terdiri dari hanya satu komponen disebut *sistem komponen-tunggal*; yang terdiri dari lebih dari satu komponen disebut *sistem multi-komponen*. Karena suatu sistem bisa merupakan sistem satu-fasa atau sistem multi-fasa, maka kita mengenal sistem satu-fasa komponen tunggal, sistem satu-fasa multi-komponen, sistem multi-fasa komponen tunggal dan sistem multi-fasa multi-komponen.

Diagram Keseimbangan. Diagram keseimbangan merupakan diagram di mana kita bisa membaca fasa-fasa apa saja yang hadir dalam keseimbangan pada berbagai nilai peubah termodinamik. Pada sistem komponen-tunggal, peubah termodinamik yang terlibat dalam penggambaran diagram ini adalah temperatur dan tekanan. Pada sistem multi-komponen, komposisi dari komponen-komponen yang membentuk sistem juga menjadi salah satu peubah.

Derajat Kebebasan. Derajat kebebasan (*degree of freedom*) didefinisikan sebagai jumlah peubah termodinamik yang dapat divariasikan secara tidak saling bergantung tanpa mengubah jumlah fasa yang berada dalam keseimbangan.

5.3.2. Larutan Padat

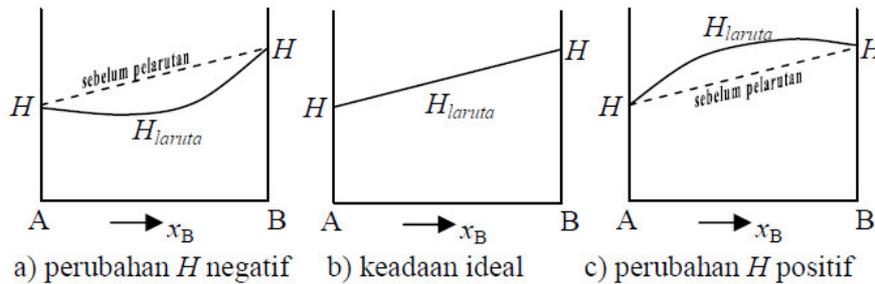
Istilah “larutan padat” agak asing karena yang biasa kita jumpai adalah larutan cair atau gas. Namun pengertiannya tidak berbeda yaitu bahwa atom atau molekul dari satu komponen terakomodasi di dalam struktur komponen yang lain. Larutan padat bisa terjadi secara *substitutional* yaitu jika atom terlarut menempati posisi atom pelarut, ataupun secara *interstitial* yaitu jika atom terlarut menempati ruang sela antara atom-atom pelarut.

Berbagai derajat kelarutan bisa terjadi. Dua komponen dikatakan membentuk larutan menyeluruh atau saling melarutkan jika status keseimbangan termodinamik dari sembarang komposisi dari keduanya membentuk sistem satu fasa. Hanya larutan substitutional yang dapat mencapai keadaan ini. Ada persyaratan tertentu yang harus dipenuhi untuk mencapai keadaan ini, yang dikenal sebagai kaidah Hume-Rothery, yaitu:

1. Perbedaan ukuran atom pelarut dan atom terlarut kurang dari 15%.
2. Struktur kristal dari komponen terlarut sama dengan komponen pelarut.
3. Elektron valensi zat terlarut dan zat pelarut tidak berbeda lebih dari satu.
4. Elektronegativitas zat terlarut dan pelarut kurang-lebih sama, agar tidak terjadi senyawa sehingga larutan yang terjadi dapat berupa larutan satu fasa.

Jika kaidah Hume-Rothery tidak terpenuhi, maka yang terjadi bisa berupa campuran atau fasa peralihan yang memiliki susunan kristal berbeda dari susunan kristal kedua komponen yang membentuknya. Terkait dengan persyaratan ke-dua, yaitu perubahan enthalpi pada terbentuknya larutan, kita akan melihat lebih jauh sebagai berikut.

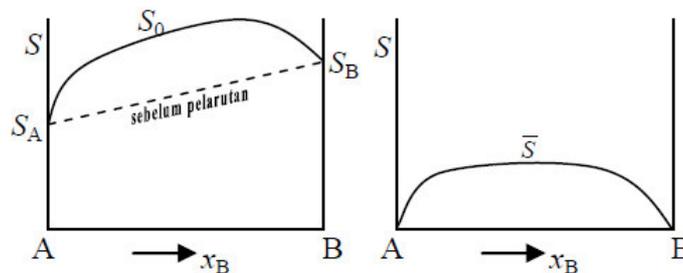
Enthalpi Larutan. Kita ingat pada perubahan enthalpi suatu reaksi kimia: jika $H_{akhir} > H_{awal}$ maka ΔH pada sistem adalah positif yang berarti terjadi penambahan enthalpi pada sistem; transfer energi terjadi dari lingkungan ke sistem dan proses ini merupakan proses *endothermis*. Sebaliknya apabila $H_{akhir} < H_{awal}$ transfer energi terjadi dari sistem ke lingkungannya; enthalpi sistem berkurang dan proses ini merupakan proses *eksothermis*. Dalam peristiwa pelarutan terjadi hal yang mirip yaitu perubahan enthalpi bisa negatif bisa pula positif, seperti diperlihatkan secara skematis pada Gambar 5.1 a) dan c). Dalam keadaan ideal pelarutan terjadi tanpa ada perubahan enthalpi, seperti digambarkan pada Gambar.5.1 b).



Gambar 5.1 Perubahan enthalphi pada pelarutan.

Jika keadaan ideal tidak kita pertimbangkan, maka pelarutan akan mengikuti perubahan enthalpi seperti tergambar pada Gambar 5.2a. atau seperti digambarkan pada Gambar 5.2c. Konsekuensi dari keduanya atas kemungkinan terjadinya pelarutan, terkait erat dengan perubahan entropi karena perubahan enthalpi dan entropi memberikan perubahan energi bebas. Perubahan energi bebas inilah yang akan menentukan fasa larutan yang terjadi.

Entropi Larutan. Sebagaimana kita ketahui, entropi dalam proses *irreversible* akan meningkat. Oleh karena itu entropi larutan akan lebih tinggi dari entropi masing-masing komponen sebelum larutan terjadi, karena pelarutan merupakan proses *irreversible*. Jika S_A adalah entropi komponen A tanpa kehadiran B, dan S_B adalah entropi komponen B tanpa kehadiran A, maka sebelum terjadi pelarutan, jumlah entropi keduanya akan berubah secara linier sebanding dengan komposisinya.



Gambar 5.2 Perubahan entropi

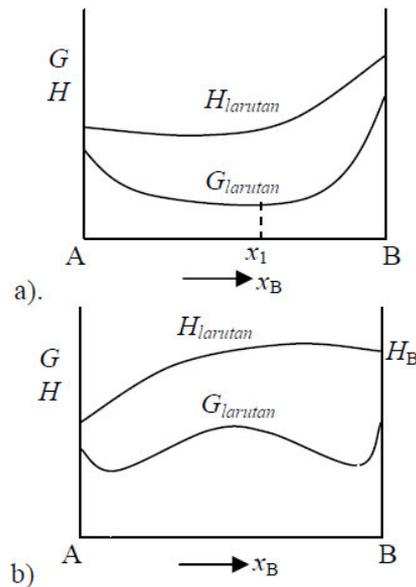
Misalkan $S_B > S_A$, maka dengan kenaikan proporsi komponen B entropi akan meningkat secara linier dari entropi komponen A menuju entropi komponen B seperti

yang digambarkan secara kualitatif pada Gambar 5.3. Jika pelarutan terjadi maka entropi total akan naik yang ditunjukkan oleh kurva S_0 . Selisih entropi antara sebelum dan sesudah pelarutan terjadi disebut *entropi pelarutan*, S . Perubahan entropi ini menentukan perubahan energi bebas.

Energi Bebas Larutan. Larutan satu fasa yang stabil akan terbentuk jika dalam pelarutan itu terjadi penurunan energi bebas. Kurva perubahan energi bebas G diperoleh dengan mengurangi kurva enthalpi pada Gambar 5.3. dengan kurva entropi pada Gambar 5.2. yang dikalikan dengan T , sesuai relasi

$$G = H - TS$$

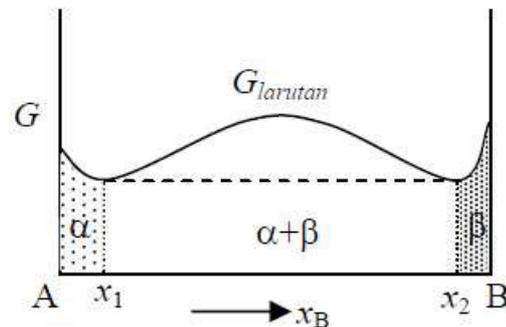
Jika dalam pelarutan terjadi perubahan H negatif seperti Gambar 5.1a, maka pengurangan dengan TS akan memberikan kurva $G_{larutan}$ yang berada di bawah kurva $H_{larutan}$ seperti terlihat pada Gambar 5.3.a. Jika dalam pelarutan terjadi perubahan enthalpi positif seperti pada Gambar 5.1c, kurva $G_{larutan}$ juga berada di bawah kurva $H_{larutan}$ namun dengan perbedaan bahwa pada komposisi di mana $H_{larutan}$ tinggi, kurva $G_{larutan}$ bisa berada di atas kurva $G_{larutan}$ pada komposisi di mana peningkatan $H_{larutan}$ tidak terlalu tinggi; hal ini digambarkan secara skematis pada Gambar 5.3b.



Gambar 5.3 Kurva $G = H - TS$.

Dalam kasus seperti yang tergambarkan pada Gambar 5.3a, energi bebas larutan menurun sampai pada komposisi x_1 ; artinya komponen A melarutkan komponen B sampai pada komposisi x_1 dan larutan merupakan larutan satu fasa yang stabil. Untuk proporsi komponen B lebih besar dari x_1 kurva energi bebas meningkat jika kita lihat dari arah kiri, akan tetapi kurva tersebut menurun jika kita lihat dari arah kanan; artinya komponen B melarutkan komponen A sampai komposisi x_1 dan larutan merupakan larutan yang stabil. Dengan demikian komponen A dan B yang saling melarutkan membentuk larutan yang stabil untuk semua komposisi.

Dalam kasus yang tergambarkan pada Gambar 5.3b, kurva energi bebas memiliki dua nilai minimum. Dua nilai minimum inilah yang memberikan larutan stabil dengan komposisi x_1 dan x_2 . Guna memperjelas pembahasan, Gambar 5.3b kita gambarkan lagi seperti diperlihatkan oleh Gambar 5.4 di bawah ini.



Gambar 5.4 Komposisi menentukan jenis Larutan

Dengan meningkatnya proporsi B terhadap A dari 0 sampai x_1 , $G_{larutan}$ menurun dan oleh karena itu sampai dengan komposisi x_1 terbentuk larutan α yang merupakan larutan padat yang stabil. Pada penurunan proporsi B dari 100% sampai x_2 , $G_{larutan}$ juga menurun; larutan β terbentuk dan menjadi larutan padat yang juga stabil. Antara x_1 dan x_2 $G_{larutan}$ meningkat baik dari arah kiri maupun dari arah kanan; di daerah ini larutan padat yang terbentuk adalah campuran dari larutan padat α dan β ; padatan ini merupakan padatan dua fasa. Jadi x_1 adalah komposisi maksimum larutan B ke A membentuk α , dan x_2 adalah komposisi minimum untuk terjadinya larutan B ke A membentuk β yang berarti komposisi maksimum untuk terjadinya larutan A ke B membentuk β .

5.3.3. Kaidah Fasa dari Gibbs

Sistem Multifasa. Jumlah fasa (F) yang hadir dalam keseimbangan dalam satu sistem, jumlah derajat kebebasan (D), dan jumlah minimum komponen yang membentuk sistem (K), memiliki relasi yang dinyatakan sebagai *kaidah fasa*:

$$F + D = K + 2$$

Sistem satu-fasa ($F = 1$) komponen tunggal ($K = 1$) akan memiliki dua derajat kebebasan. Sistem dengan dua fasa dalam keseimbangan memiliki satu derajat kebebasan; sementara sistem dengan tiga fasa dalam keseimbangan akan berderajat kebebasan nol dan disebut *invarian*.

Sistem Komponen Tunggal. Kaidah fasa pada sistem multifasa dinyatakan oleh persamaan (5.1). Untuk sistem komponen tunggal, karena $K = 1$ maka komposisi tidak menjadi peubah dan kita dapat menggambarkan perubahan-perubahan fasa dengan mengambil temperatur T sebagai ordinat dan tekanan P sebagai absis (seperti pada besi dan air dalam contoh di atas). Perhatikan bahwa ruas kanan (5.1) berisi peubah termodinamik; K adalah komposisi dan bilangan 2 menunjukkan adanya dua derajat kebebasan yaitu peubah T dan P . Karena pada umumnya operasi untuk memroses material dilakukan sekitar tekanan atmosfer, maka terjadinya perubahan tekanan P tidak memberikan pengaruh yang signifikan pada jalannya proses, termasuk proses terjadinya sistem dua komponen (*biner*). Oleh karena itu dapat ditetapkan tekanan P sebagai satu atmosfer.

Dengan penetapan ini maka P tidak lagi berkontribusi pada jumlah derajat kebebasan dan persamaan (5.1) berubah menjadi

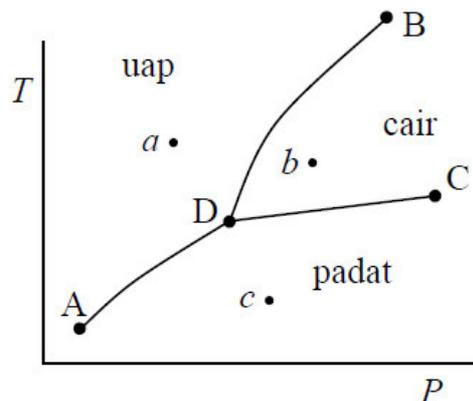
$$F + D = K + 1$$

Karena P telah ditetapkan, maka ia tidak lagi menjadi salah satu peubah. Perubahan-perubahan fasa dapat digambarkan dalam suatu diagram dengan temperatur T tetap sebagai ordinat sedangkan sebagai absis adalah komposisi campuran komponen K , yang dalam hal sistem biner bernilai dua.

5.3.4. Diagram Keseimbangan Sistem Tunggal

Peubah thermodinamik yang terlibat dalam pembentukan diagram keseimbangan adalah temperatur, tekanan, dan komposisi. Namun dalam hal sistem komponen tunggal, sudah barang tentu komposisi tidak menjadi peubah; jadi hanya temperatur dan tekanan yang dapat divariasikan sehingga untuk menggambarkan diagram keseimbangan, koordinat yang dipakai adalah temperatur dan tekanan.

Sistem komponen tunggal terbangun dari unsur atau senyawa tunggal. Jika kita hanya memperhatikan temperatur dan tekanan sebagai peubah thermodinamika (seperti halnya pada penentuan energi bebas Gibbs), maka berbagai kehadiran fasa yang terjadi pada sistem komponen tunggal dapat kita gambarkan dengan mengambil temperatur sebagai ordinat dan tekanan sebagai absis, seperti terlihat pada Gambar 5.5.



Gambar 5.5 Diagram Keseimbangan komponen tunggal (tanpa skala)

Sistem komponen tunggal dengan diagram seperti ini yang banyak dikenal adalah H_2O , yang biasanya tekanan diambil sebagai ordinat dan temperatur sebagai absis dan dikenal dengan diagram P - T air. Posisi titik pada diagram ini menunjuk pada temperatur dan tekanan sistem. Jika posisi titik ini terletak pada daerah padat, atau cair, atau uap, maka sistem adalah satu fasa; titik a menunjukkan sistem sebagai uap satu fasa, titik b menunjukkan sistem sebagai cairan satu fasa, dan titik c menunjukkan sistem sebagai padatan satu fasa. Titik yang berada pada garis kurva menunjukkan bahwa keseimbangan terjadi antara dua fasa. Misalnya titik yang berada pada kurva DB, menunjukkan fasa cair dan uap yang berada dalam keseimbangan.

Titik yang berada pada kurva DC menunjukkan keseimbangan terjadi antara fasa padat dan cair. Sistem dengan dua fasa yang berada dalam keseimbangan (ditunjukkan oleh titik yang terletak pada kurva AD, atau DC, atau DB) adalah *univarian (univariant)*, artinya hanya satu peubah bisa kita variasikan (misalnya T) karena peubah yang lain (P) akan mengambil nilai tertentu untuk mempertahankan keseimbangan; dikatakan bahwa sistem memiliki *satu derajat kebebasan*.

Bila sistem merupakan sistem satu fasa (padat, atau cair, atau uap), baik temperatur maupun tekanan dapat divariasikan dan sistem tetap dalam keseimbangan;

dalam hal demikian ini terjadi keseimbangan *bivarian* (*bivariant*), artinya ada dua peubah yang dapat kita variasikan secara *tidak saling bergantung* yaitu temperatur dan tekanan, dan sistem memiliki dua derajat kebebasan. Titik D adalah titik dimana kita mendapatkan fasa padat, cair, dan uap dalam keseimbangan; titik D disebut titik tripel, dan pada situasi ini sistem memiliki derajat kebebasan nol; sistem berada dalam keseimbangan *invarian*.

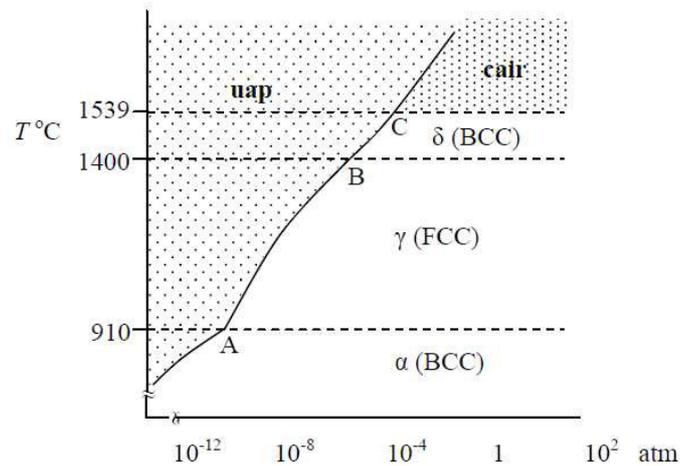
Logam. Pada diagram keseimbangan kebanyakan logam, kurva yang menunjukkan adanya keseimbangan padat-cair (yaitu kurva DC pada Gambar 5.5) hampir horisontal; kurva horisontal ini terletak pada posisi titik leleh metal. Kita ambil contoh besi (Fe). Padatan besi tampil dalam bentuk *alotropis* yang diberi tanda α , γ , δ .

Alotropi (allotropy). Secara umum, keberadaan satu macam zat (materi) dalam dua atau lebih bentuk yang sangat berbeda sifat fisis maupun sifat kimianya disebut *alotropi*. Perbedaan bentuk ini bisa berupa

1. perbedaan struktur kristal,
2. perbedaan jumlah atom dalam molekul,
3. perbedaan struktur molekul.

Contoh perbedaan bentuk tipe-1 adalah karbon, C; perbedaan struktur kristal karbon membuat karbon tampil sebagai intan, atau serbuk karbon hitam (*black carbon*), atau grafit. Contoh untuk tipe-2 adalah oksigen yang bisa berbentuk gas O_2 atau ozon O_3 . Contoh untuk tipe-3 adalah sulfur murni yang tampil dalam dua bentuk, cair atau amorf. Kembali kepada besi. Diagram keseimbangan fasa untuk besi terlihat pada Gambar 5.6.

Gambar 5.6 memperlihatkan bahwa *fasa padat* besi terbagi dalam tiga daerah yang dibatasi oleh garis temperatur 1400°C dan 910°C .

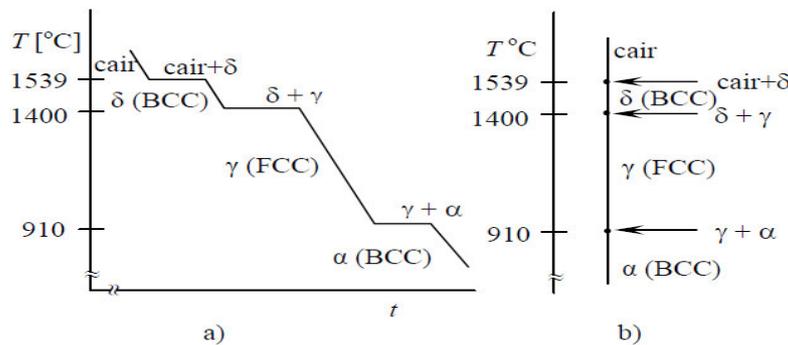


Gambar 5.6 Diagram keseimbangan besi murni

Gambar 5.6 menunjukkan pula adanya tiga titik tripel, yaitu tiga macam fasa yang tampil bersama, A, B, dan C. Namun hanya satu yang merupakan titik di mana fasa padat, cair, dan uap tampil bersama yaitu C. Sementara itu titik tripel B menunjukkan keseimbangan antara uap, padatan δ , dan γ ; sedangkan titik A menunjuk pada keseimbangan antara uap, padatan γ dan α . Jika pada tekanan satu atmosfer besi

cair pada 1600°C diturunkan temperaturnya secara perlahan-lahan dengan tetap menjaga keseimbangan yang ada, maka besi akan menjadi padatan δ pada 1539°C ; transformasi dari padatan δ ke padatan γ terjadi pada 1400°C dan dari padatan γ ke padatan α pada 910°C . Transformasi dalam keadaan seimbang tersebut terjadi secara *isothermal*, temperatur tidak berubah.

Kurva Pendinginan. Jika proses transformasi digambarkan sebagai fungsi waktu, akan terlihat kurva seperti pada Gambar 5.7a, yang disebut *kurva pendinginan*.



Gambar 5.7 Kurva pendinginan.

Dalam kurva pendinginan, kemiringan kurva tidaklah terlalu penting karena ia bisa berbeda pada laju penurunan temperatur yang berbeda. Akan tetapi titik-titik pada kurva di mana terjadi perubahan kemiringan yang tiba-tiba perlu kita perhatikan; titik-titik ini menunjukkan awal dan akhir proses transformasi.

Selama proses transformasi berlangsung, terjadi sistem multifasa. Pada waktu temperatur menurun mencapai 1539°C , padatan δ mulai terbentuk sehingga terjadi campuran besi cair dan padat sebelum akhirnya menjadi padatan satu fasa δ , masih pada 1539°C . Jika penurunan temperatur terus berlangsung maka pada 1400°C mulai terbentuk padatan γ , dan besi α (BCC) merupakan campuran padatan δ dan γ sebelum akhirnya menjadi padatan satu fasa γ . Dengan terus menurunnya temperatur, padatan α mulai terbentuk pada 910°C sehingga padatan besi merupakan campuran padatan γ dan α , sebelum pada akhirnya terbentuk besi padat α ; pada temperatur di bawah 910°C kita mendapatkan besi padat α dengan bentuk kristal BCC.

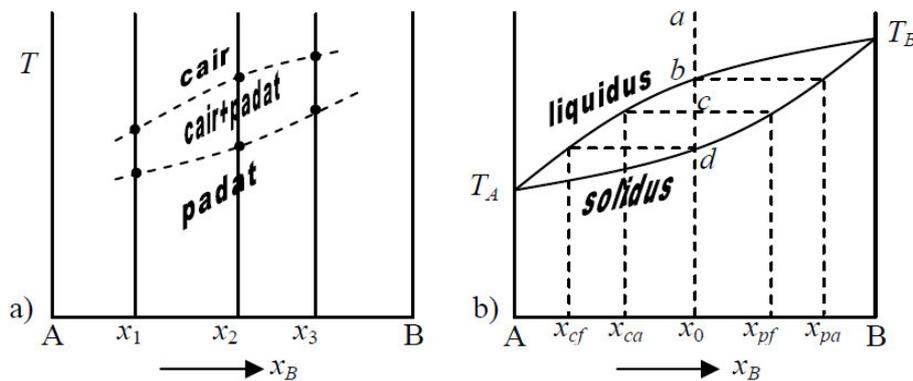
Kurva pendinginan Gambar 10.a di atas, jika kita lihat dari arah kanan ke sumbu T maka garis isothermal horisontal akan terlihat sebagai titik. Garis isothermal campuran cair+ δ pada 1539°C menjadi titik temperatur 1539°C cair+ δ ; garis isothermal δ + γ menjadi titik δ + γ ; garis isothermal γ + α menjadi titik γ + α ; kita mendapatkan Gambar 5.7b yang tidak lain adalah diagram keseimbangan fasa yang ditampilkan dengan lebih sederhana, dengan hanya menggunakan T sebagai peubah.

Karena pengolahan besi pada umumnya dilakukan pada tekanan atmosfer, baik pada pengolahan sebagai padatan maupun cairan, maka perubahan tekanan tidak memberikan pengaruh yang cukup nyata pada jalannya proses sehingga tekanan dapat dianggap konstan. Oleh karena itu diagram keseimbangan fasa biasa di buat hanya dengan satu peubah saja yaitu temperatur, seperti terlihat pada Gambar 5.7b. Apabila temperatur besi cair diturunkan, struktur kristal padatan yang terbentuk pada 1539°C adalah BCC; pada 1400°C berubah dari BCC ke FCC, dan pada 910°C , berubah lagi dari FCC ke BCC. Di bawah 910°C besi berupa padatan satu fasa dengan bentuk kristal BCC.

5.3.5. Diagram Keseimbangan Sistem Biner

5.3.5.1. Sistem Biner Dengan Kelarutan Sempurna

Seperti halnya kurva pendinginan untuk komponen tunggal yang dapat memberikan gambaran perubahan fasa dengan memandang Gambar 5.8a menjadi Gambar 5.8b, gambaran perubahan fasa larutan dua komponen dapat pula diturunkan dari kurva pendinginan untuk dua komponen. Diagram keseimbangan fasa (kurva temperatur vs. komposisi) larutan dua komponen dapat dipandang sebagai “kumpulan” kurva-kurva pendinginan untuk berbagai macam komposisi. Seperti dijelaskan melalui Gambar 5.8



Gambar 5.8 Energi bebas sebagai fungsi temperatur untuk besi

Gambar 5.8a memperlihatkan perubahan fasa untuk tiga macam komposisi komponen yaitu x_1 , x_2 , dan x_3 . Jika larutan dua komponen dapat terjadi untuk sembarang komposisi, maka kita dapat menggambarkan keseimbangan fasa pada berbagai komposisi komponen, dan titik-titik temperatur di mana terjadi transformasi fasa akan membentuk kurva seperti terlihat pada Gambar 5.8b.

Gambar skematis diagram keseimbangan fasa larutan padat dua komponen yaitu komponen A dan B yang dapat saling melarutkan secara sempurna (kita gunakan istilah “sempurna” untuk menyatakan larutan yang dapat terjadi pada sembarang komposisi). Contoh padatan yang bisa mencapai keadaan demikian adalah nikel (nomer atom 28) dan tembaga (nomer atom 29). Absis x_B menunjukkan komposisi komponen B yang terlarut pada A.

Kita lihat pada diagram keseimbangan fasa ini adanya tiga daerah, yaitu daerah fasa cair, daerah dua-fasa cair-padat, dan fasa padat. Daerah dua-fasa cair-padat ini dibatasi oleh dua kurva. Kurva pertama disebut *liquidus*, yang merupakan tempat kedudukan titik (temperatur) di mana terjadi keseimbangan antara fasa cair dan padat. Kurva ke-dua disebut *solidus*, yang merupakan tempat kedudukan titik (temperatur) di mana terjadi keseimbangan fasa padat dan cair. Karena *liquidus* dan *solidus* adalah kurva temperatur terhadap komposisi di mana terjadi keseimbangan fasa cair dan padat; garis horizontal yang kita tarik di daerah ini berujung pada perpotongannya dengan kedua kurva. Kedua titik potong menunjukkan komposisi kedua fasa pada temperatur yang sesuai dengan posisi garis horizontal tersebut.

Tinjau larutan padat dengan komposisi x_0 . Jika larutan padat ini berada dalam keseimbangan pada temperatur yang ditunjukkan oleh titik *a*, ia berada pada fasa cair dengan komposisi x_0 . Bila temperatur menurun perlahan-lahan sampai di titik *b*,

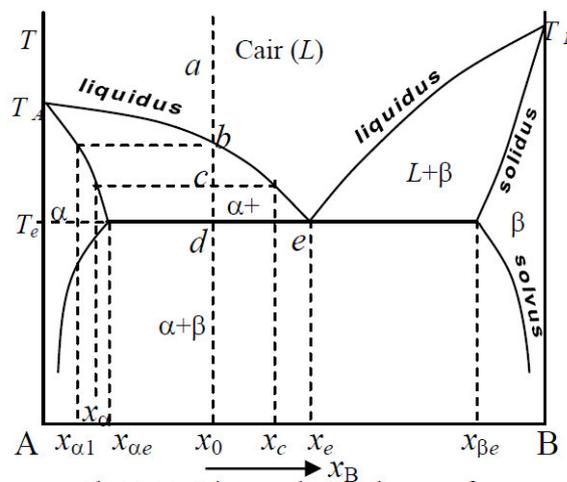
padatan yang mula-mula terbentuk akan mempunyai komposisi awal x_{pa} . Pada penurunan temperatur secara perlahan selanjutnya, komposisi rata-rata padatan yang terbentuk berubah mengikuti solidus; sementara komposisi rata-rata cairan berubah mengikuti liquidus sampai temperatur mencapai titik c .

Pada temperatur ini material terdiri dari padatan dengan komposisi x_{pf} yang berada dalam keseimbangan dengan cairan yang memiliki komposisi x_{ca} . Pada penurunan temperatur selanjutnya sampai di titik d , padatan mencapai komposisi x_0 yaitu komposisi larutan padat yang kita tinjau; sementara itu cairan yang tersisa memiliki komposisi x_{cf} . Pada temperatur di bawah titik d material merupakan larutan padat dengan komposisi x_0 .

5.3.5.2. Sistem Biner Dengan Kelarutan Terbatas

Padatan dengan dua komponen yang saling melarutkan secara sempurna seperti pada contoh di atas tidaklah banyak. Yang umum terjadi adalah larutan padat dengan kelarutan masing-masing komponen secara terbatas.

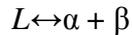
Diagram Eutectic Biner. Salah satu diagram keseimbangan fasa larutan semacam ini adalah diagram keseimbangan fasa yang disebut *diagram fasa eutectic biner*. Kita tidak menelusuri bagaimana diagram keseimbangan fasa ini dibentuk, namun kita akan melihat bentuk diagram ini yang secara skematis terlihat pada Gambar 5.9.



Gambar 5.9 Diagram keseimbangan fasa eutectic

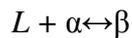
Tinjau alloy adalah padatan multi-komponen dengan komponen utama adalah metal) dengan komposisi x_0 dalam fasa cair pada temperatur yang ditunjukkan oleh titik a . Jika temperatur diturunkan secara perlahan sampai titik b , padatan yang mula-mula terbentuk akan mempunyai komposisi $x_{\alpha 1}$. Penurunan temperatur lebih lanjut sampai pada titik c , terbentuk padatan dengan komposisi x_{α} yang berada dalam keseimbangan dengan cairan yang memiliki komposisi x_c . Penurunan temperatur selanjutnya terbentuk padatan dengan mengikuti kurva *solidus* sementara komposisi cairan mengikuti *liquidus* sampai di titik e yang disebut *titik eutectic*. Selanjutnya cairan eutectic dengan komposisi x_e akan memadat secara *isothermal* pada

temperatur yang disebut *temperatur eutectic* T_e . Transformasi fasa yang terjadi pada temperatur eutectic disebut sebagai *reaksi eutectic* yang dapat dituliskan sebagai

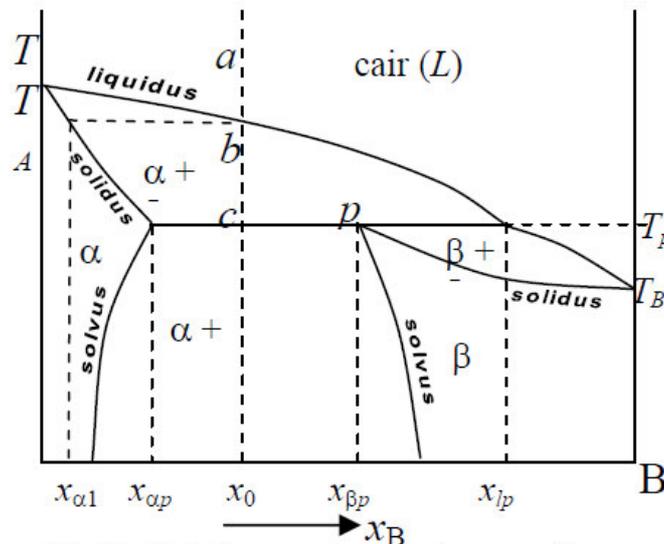


Selama transformasi cairan *eutectic* ini, tiga fasa berada dalam keseimbangan dan komposisi cairan dan kedua fasa padat (α dan β) tidak berubah. Jika cairan telah menjadi padat seluruhnya, temperatur akan turun lagi. Perhatikan pada Gambar 5.9. bahwa pada temperatur di bawah T_e , kelarutan komponen B pada A, dan juga kelarutan A pada B, menurun dengan turunnya temperatur. Perubahan komposisi mengikuti kurva *solvus* yang merupakan tempat kedudukan kelarutan maksimum B ke A dan minimum A ke B.

Diagram Keseimbangan Peritectic Biner. Diagram keseimbangan fasa *peritectic* secara skematis terlihat pada Gambar 5.10. (*prefix peri* bisa berarti *around*). Tinjau *alloy* dengan komposisi x_0 . Mulai temperatur pada titik b , terjadi keseimbangan antara α dan cairan; pada penurunan temperatur selanjutnya perubahan komposisi α mengikuti *solidus* dan komposisi cairan mengikuti *liquidus* sampai ke temperatur T_p yang disebut *temperatur peritectic*. Padatan β yang mulai terbentuk adalah dengan komposisi $x_{\beta p}$ sesuai dengan titik p yang disebut *titik peritectic*. Transformasi yang terjadi temperatur T_p disebut *reaksi peritectic* yang dapat ditulis



Perbedaan antara *eutectic* dan *peritectic* terlihat pada perbedaan reaksi (5.3) dan (13.4). Dalam reaksi *eutectic* cairan berada dalam keseimbangan dengan padatan; penurunan temperatur membuat cairan terpecah menjadi dua fasa padatan. Pada reaksi *Peritectic* campuran cairan dengan salah satu fasa padatan berada dalam Keseimbangan fasa padatan yang lain; campuran cairan dan padatan bereaksi membentuk padatan yang lain.



Gambar 5.10 Diagram keseimbangan fasa *peritectic*

Diagram Keseimbangan Secara Umum. Tiga contoh diagram keseimbangan di atas (yaitu larutan sempurna padat, *eutectic*, dan *peritectic*) adalah contoh-contoh

seederhana. Pada umumnya diagram keseimbangan tidaklah sesederhana itu. Namun kita tidak membahas lebih lanjut; apa yang disajikan telah dianggap cukup untuk pengenalan sifat material.

5.4. Penutup

5.4.1. Bahan Diskusi dan Tugas

1. Apa yang dimaksud dengan diagram fasa eutektik ?
2. Mengapa tujuan mempelajari diagram fasa ?
3. Jelaskan apa itu kurva pendinginan ?

5.5. Daftar Pustaka

1. Van Vlack, Ilmu dan Teknologi Bahan, Edisi ke 5, Erlangga, 1989 (Terjemahan)
2. Callister, W.D, Jr 2003. “Material Science and Engineering an Introduction” John Wiley & Sons (Asia) Pte.Ltd., Singapore.
3. Gibson, R.F. 1994.”Principles of composite material mechanics”. New York : Mc Graw – Hill.
4. Hafli, T., Zulfikar, 2008, “Pengantar Pemilihan Bahan dan Proses”, Unimal Press.

5.6. Senarai

5. Fasa adalah daerah materi dari suatu sistem yang secara fisis dapat dibedakan dari daerah materi yang lain dalam sistem tersebut.
6. Diagram keseimbangan merupakan diagram di mana kita bisa membaca fasa-fasa apa saja yang hadir dalam keseimbangan pada berbagai nilai peubah termodinamik.
7. Dua komponen dikatakan membentuk larutan menyeluruh atau saling melarutkan jika status keseimbangan termodinamik dari sembarang komposisi dari keduanya membentuk sistem satu fasa.

BAB 6

PROSES THERMAL LOGAM PADUAN

6.1. Deskripsi Singkat

Tujuan dari mempelajari Bahan Teknik adalah untuk dapat mengetahui jenis dan sifat serta penggunaan material teknik, khususnya yang berkaitan dengan teknik mesin. Dalam bab ini akan dipelajari tentang perlakuan panas pada logam baja.

6.2. Tujuan Instruksional Khusus

Setelah materi ini diajarkan mahasiswa dapat mengetahui proses anelling untuk berbagai bahan dan teknik pengerasan bahan melalui uji jominy dan pengaruh media pendingin.

6.3. Penyajian

Annealing adalah sebuah perlakuan panas dimana material dipanaskan pada temperatur tertentu dan waktu tertentu dan kemudian dengan perlahan didinginkan. Annealing dilakukan untuk menghilangkan tegangan pada bahan, menaikkan keuletan dan ketangguhan dan menghasilkan struktur mikro tertentu.

Proses annealing dibagi atas tiga tingkat pemanasan hingga temperatur yang diinginkan, temperatur dijaga konstan dan pendinginan. Proses annealing pada logam biasanya dilakukan untuk mengurangi efek “pengerjaan dingin” yaitu melunakkan bahan dan menaikkan keuletan setelah sebelumnya dilakukan pengerasan regangan.

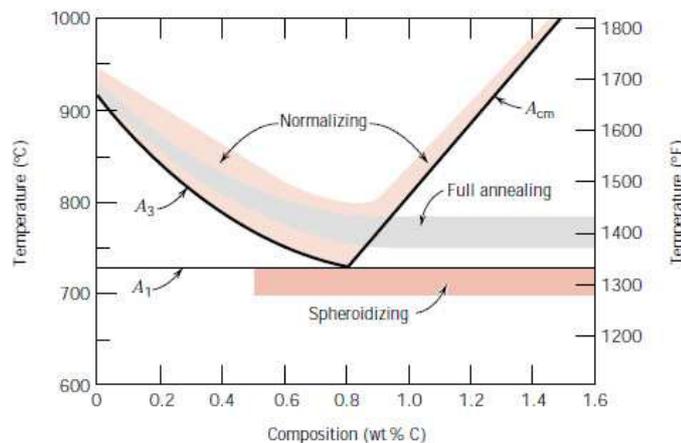
Pada logam bisa terjadi tegangan sisa dalam (internal residual stress), dikarenakan :

1. Proses deformasi plastis karena proses pemesinan (machining) atau proses pengerindaan.
2. Pendinginan yang tidak merata pada proses pengelasan atau pencetakan.
3. Transformasi fasa pada pendinginan karena perbedaan kerapatan/density.

Menghilangkan tegangan sisa bisa dilakukan dengan proses “stress relief annealing” (annealing penghilangan tegangan).

6.3.1 Annealing Paduan Besi

Baja yang telah mengalami deformasi plastis, misalnya karena proses “rolling” akan mempunyai struktur mikro pearlite yang bentuknya tak beraturan dan ukuran butir besar-besar dan bervariasi. Untuk membuat struktur pearlite yang lebih halus dan lebih seragam dilakukan proses normalizing. *Normalizing* dilakukan dengan pemanasan sampai temperatur $55^{\circ}\text{C} - 85^{\circ}\text{C}$ diatas temperatur kritis atas hingga baja berubah menjadi austenit, kemudian dilakukan pendinginan di udara. (Gambar 6.1).



Full anneal adalah proses dimana baja dipanaskan sampai $15^{\circ} - 40^{\circ}\text{C}$ diatas garis A_3 atau A_1 (Gambar 6.1) hingga tercapai keseimbangan pada struktur austenit, kemudian baja didinginkan di dalam dapur pemanas sampai temperatur ruang. Struktur mikro yang terbentuk *coarse pearlite*. bahan baja biasanya berupa baja karbon rendah dan sedang.

Spheroidizing adalah pemanasan logam sampai temperatur dibawah temperatur eutektoid (grs α_1 pada Gambar 6.1) atau disekitar 700°C pada daerah $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$. Pemanasan dilakukan antara 15 sampai 25 jam. Pada proses ini Fe_3C akan membentuk partikel spheroid. Proses ini biasanya dilakukan pada baja karbon sedang dan tinggi. Struktur yang terbentuk adalah spheroid yang tujuannya adalah supaya baja mudah dibentuk.

Untuk berhasilnya perlakuan panas untuk membuat bahan baja martensite di keseluruhan penampang bahan dipengaruhi 3 faktor :

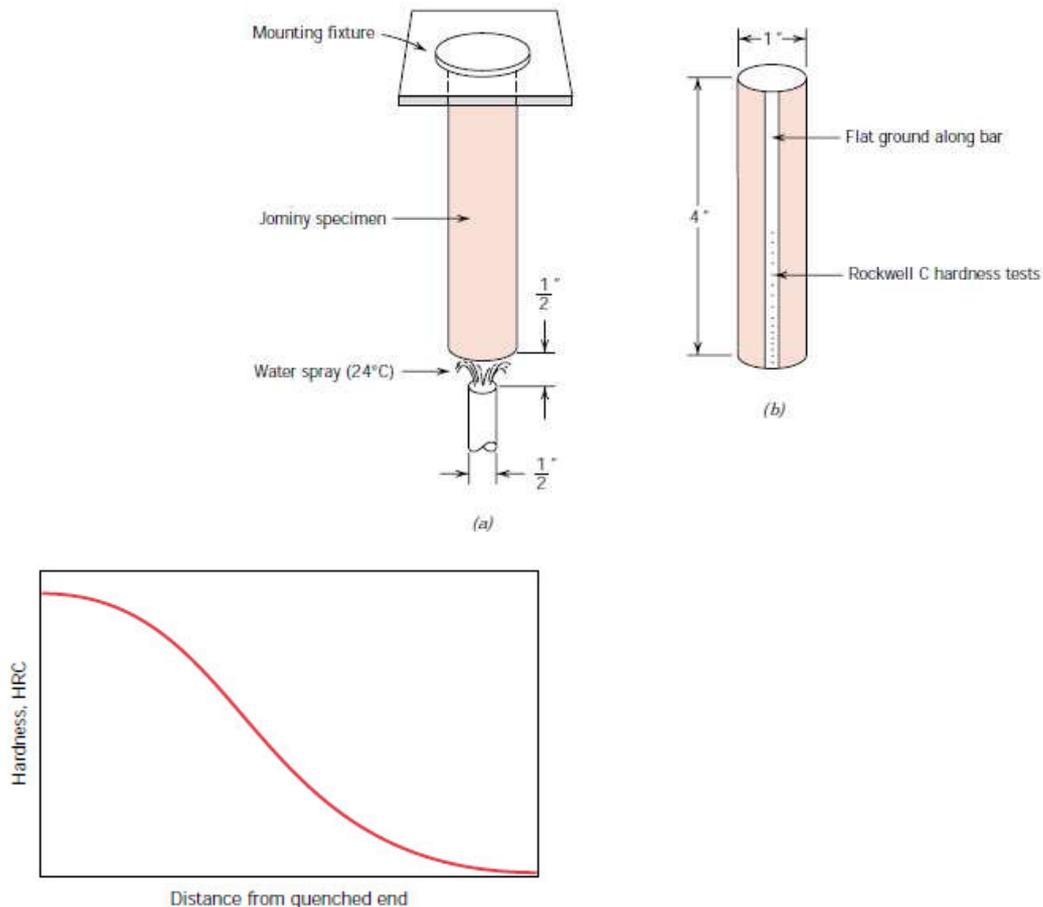
1. Komposisi paduan.
2. Tipe dan karakter media pendingin.
3. Ukuran dan bentuk spesimen.

6.3.2 Kemampuan Pengerasan (Hardenability)

Pada proses pembentukan baja martensit, diperoleh hasil bahwa makin kedalam maka sifat martensitnya makin berkurang atau baja bagian luar lebih keras dari bagian dalam. Kemampuan pengerasan adalah kemampuan paduan logam

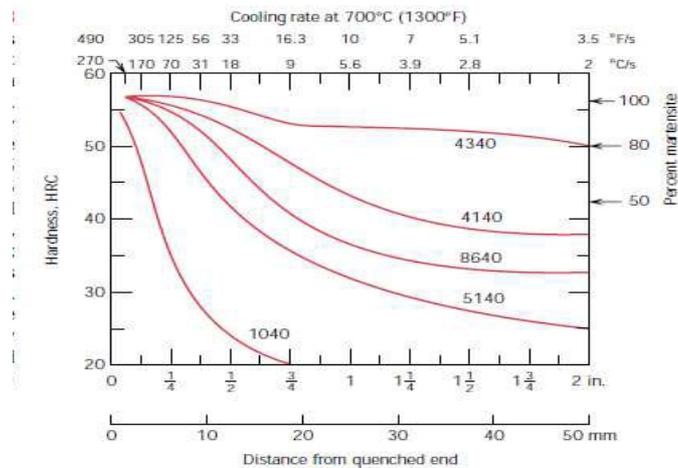
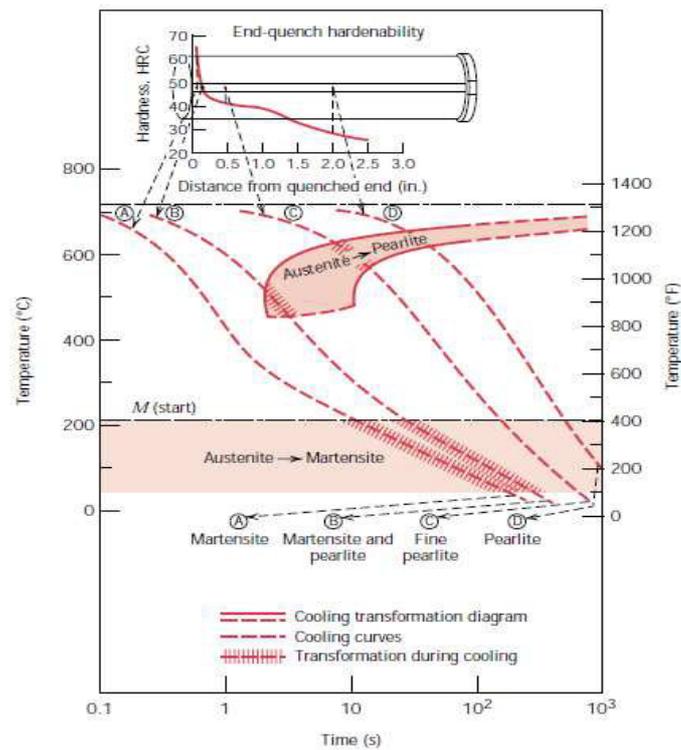
diperkeras pada pembentukan martensit, yang diukur adalah berapa kedalaman pengerasan bahan tersebut.

Untuk menguji kekerasan karena pembentukan martensit dilakukan dengan “uji jominy end quench” (Gambar 6.2). Angka kekerasan sebagai fungsi jarak bisa dilihat pada Gambar 6.3. Terkadang lebih mudah untuk melihat kekerasan sebagai fungsi laju pendinginan dan jarak quenching (Gambar 6.4). Kemampuan pengerasan dipengaruhi oleh komposisi paduan.



Media quenching yang umum digunakan adalah air, oli dan udara.

- air media pendingin paling cepat, sedangkan udara paling lambat
- kecepatan media queching juga mempengaruhi laju pendinginan, makin cepat laju media, makin tinggi laju pendinginan
- Media oli banyak dipakai pada queching baja paduan
- pada baja karbon tinggi, penggunaan air mengakibatkan laju pendinginan terlalu cepat sehingga terjadi retak atau pembengkokan.



Pada proses pendinginan, panas mesti dibuang dari material melalui permukaannya. Oleh sebab itu laju pendinginan kedalam material sangat dipengaruhi oleh bentuk dan ukuran material. Bentuk spesimen juga mempengaruhi efek pengerasan. Apabila rasio luas permukaan terhadap massa spesimen besar maka makin besar laju spesimen, dan makin dalam efek pengerasan. Bentuk spesimen yang tidak beraturan akan mempunyai rasio luas permukaan terhadap massa yang lebih besar bila dibandingkan dengan bentuk yang beraturan dan bentuk bulat.

Penguatan dan pengerasan logam paduan bisa ditingkatkan dengan pembentukan penyebaran partikel-partikel dari fasa kedua kedalam matrik fasa yang asli/pertama. Hal ini dilakukan dengan perlakuan panas yang tepat. Prosesnya disebut precipitation hardening karena partikel-partikel kecil dari fasa yang baru membentuk precipitasi/endapan/menggumpal. Kadang-kadang disebut “age hardening” (pengerasan penuaan) karena proses penguatan terjadi karena proses waktu.

Contoh-contoh logam yang diperkeras dengan pengerasan precipitasi adalah: aluminium-tembaga, tembaga-beryllium, tembaga-timah dan magnesium-aluminium, dll. Precipitation hardening dan perlakuan baja untuk membentuk martensit adalah fenomena yang sama sekali berbeda walaupun proses perlakuan panas hampir sama.

Proses precipitation hardening terjadi atas 2 tahap:

1. Solution heat treating
2. Precipitation heat treating

Untuk penjelasan, lihat Gambar 6.5 dan Gambar 6.6

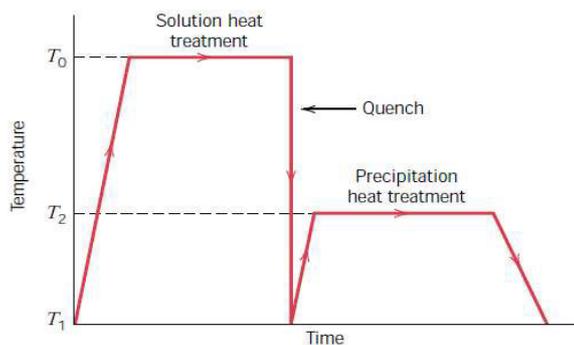
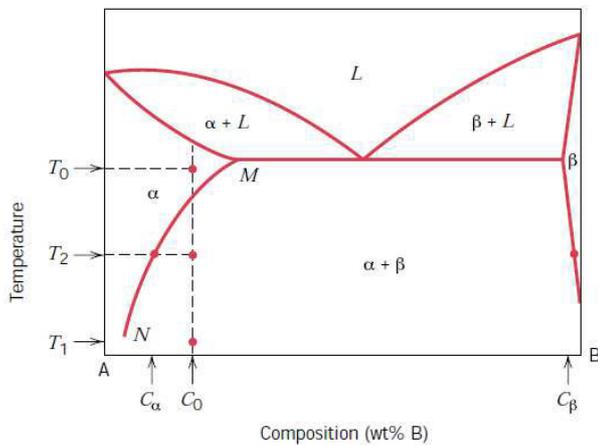
1. *Solution heat treating*

Pada T_0 struktur logam adalah α , dengan komposisi c_0 . Kemudian dilakukan pendinginan cepat hingga temperatur T_1 yaitu temperatur ruang sehingga fase β tidak bisa terbentuk. Karena itu kondisi logam adalah tidak setimbang/non equilibrium dimana hanya ada fase α jenuh dengan atom β didalamnya. Sifat bahan adalah lunak dan lemah.

2. *Precipitation heat treating*

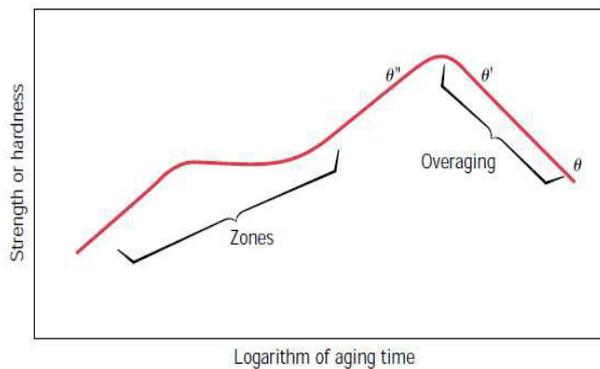
Solid solution α yang super jenuh dipanaskan sampai T_2 pada daerah $\alpha + \beta$. Pada temperatur β ini terjadi difusi sehingga terbentuk fase β yang berupa partikel halus dan tersebar dengan komposisi C_β dan prosesnya disebut aging/penuaan. Setelah waktu tertentu paduan didinginkan sampai temperatur kamar.

Grafik proses pemanasan terhadap waktu bisa dilihat pada Gambar 6.5 Gambar 6.6 memperlihatkan pengaruh ‘aging’ terhadap kekuatan bahan.



6.3.3 Mekanisme Pengerasan Pada Precipitasi

Pengerasan precipitasi umumnya dilakukan pada paduan aluminium. Proses penguatan dipercepat oleh kenaikan temperatur. Hal ini bisa dilihat pada Gambar 6.7. Idealnya temperatur dan waktu untuk perlakuan panas. Precipitasi didesain untuk menghasilkan kekerasan atau kekuatan disekitar daerah maksimum. Pada proses precipitasi terjadi distorsi struktur kristal-kristal di sekeliling dan di sekitar partikel dari fase transisi yang akan menghambat deformasi plastis.



6.4. Penutup

6.4.1. Bahan Diskusi dan Tugas

1. Apa yang dimaksud dengan *Spheroidizing* ?
2. Jelaskan teknik pengujian Jominy
3. Jelaskan mekanisme pengerasan pada precipitasi

6.5. Daftar Pustaka

1. Van Vlack, Ilmu dan Teknologi Bahan, Edisi ke 5, Erlangga, 1989 (Terjemahan)
2. Callister, W.D., Jr 2003. "Material Science and Engineering an Introduction" John Wiley & Sons (Asia) Pte.Ltd., Singapore.
3. Gibson, R.F. 1994. "Principles of composite material mechanics". New York : Mc Graw – Hill.
4. Hafli, T., Zulfikar, 2008, "Pengantar Pemilihan Bahan dan Proses", Unimal Press.

6.6. Senarai

1. Kemampuan pengerasan adalah kemampuan paduan logam diperkeras pada pembentukan martensit, yang diukur adalah berapa kedalaman pengerasan bahan tersebut.
2. Pada proses precipitasi terjadi distorsi struktur kristal-kristal di sekeliling dan di sekitar partikel dari fase transisi yang akan menghambat deformasi plastis. Precipitation hardening dan perlakuan baja untuk membentuk martensit adalah fenomena yang sama sekali berbeda walaupun proses perlakuan panas hampir sama

BAB 7

LOGAM BESI

7.1. Deskripsi Singkat

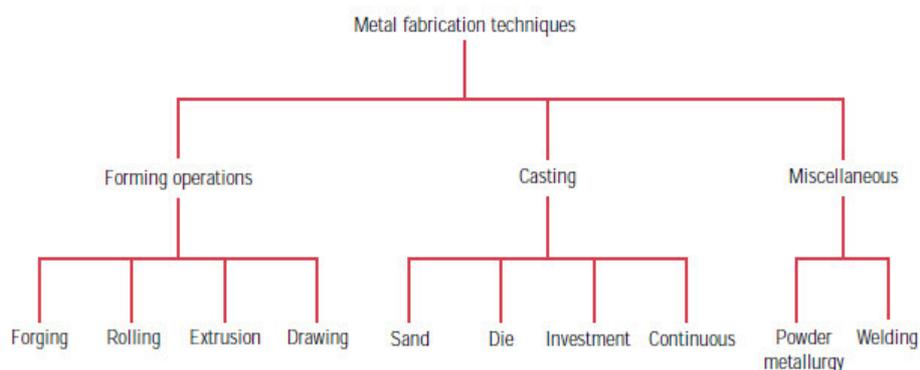
Tujuan dari mempelajari Bahan Teknik adalah untuk dapat mengetahui jenis dan sifat serta penggunaan material teknik, khususnya yang berkaitan dengan teknik mesin. Dalam bab ini akan dipelajari tentang logam yang mengandung besi.

7.2. Tujuan Instruksional Khusus

Setelah materi ini diajarkan mahasiswa dapat mengetahui proses fabrikasi logam dan mengetahui klasifikasi logam yang mengandung besi dan paduannya.

7.3. Penyajian

Pabrikasi untuk material logam dapat dikelompokkan dalam 3 teknik perlakuan, seperti yang terlihat pada Gambar 7.1.

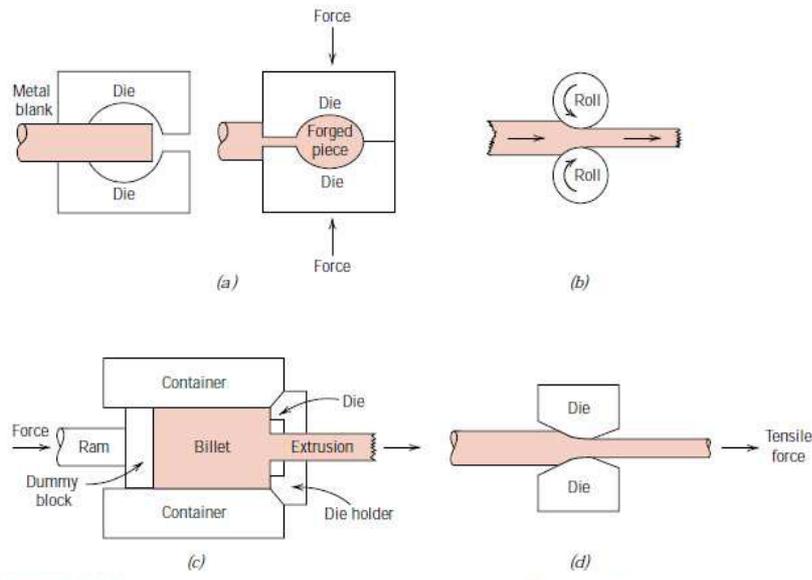


7.3.1 Forming Operation.

Pengertian dari *Forming operation* adalah dimana bentuk potongan logam dirubah dengan proses defomasi plastis. Jika proses deformasi plastis dilakukan diatas temperatur reskristalisasi maka proses disebut pengerjaan panas (hot working),

sedangkan jika dilakukan dibawah temperatur reskristalisasi disebut pengerjaan dingin (cold working).

Pada pengerjaan panas dimungkinkan untuk terjadinya deformasi yang lebih besar. Energi untuk melakukan deformasi lebih kecil dari cold working dan pada permukaan logam mengalami oksidasi, sedangkan untuk pengerjaan dingin kualitas permukaan logam yang terbentuk akan lebih baik dan kontrol dimensi jadi lebih mudah. Proses *forging*, *rolling*, *extrusion* dan *drawing* bisa dilihat pada Gambar 7.2.



- Forging* dilakukan dengan cara memukul potongan logam. Gaya diberikan pada cetakan yang membentuk produk logam. Contoh produk *forging* adalah pada roda kereta api, kunci kunci, crank shaft mobil dll.
- Rolling* merupakan proses yang dilakukan dengan melewati logam pada 2 buah logam yang akan mengkompresi logam sehingga tebalnya berkurang. Produk yang dihasilkan bisa berupa bulat, tiang 1 dan rel kereta api, plat dll.
- Extrusion* merupakan proses dimana batangan logam didorong melalui cetakan dan produk akan berbentuk sesuai yang dikehendaki dan penampang menjadi lebih kecil. Produk *extrusion* adalah batangan logam/ kawat, tube, dll.
- Drawing* dilakukan dengan cara menarik potongan logam pada sisi keluar cetakan. Batangan logam, kawat, tube adalah produk yang bisa dihasilkan.

7.3.2 Casting

Casting adalah proses pabrikan di mana logam cair dituang. *Casting* dilakukan jika bentuk akhir besar atau *complicated*, Kualitas dan kekuatan bukan merupakan pertimbangan utama, bahan logam mempunyai keuletan rendah sehingga tidak bisa dilakukan “forming operation” dan diasumsikan paling ekonomis.

- Sand casting* (cetakan pasir) adalah metoda yang paling umum. Pasir digunakan sebagai bahan cetakan potongan cetakan pasir di buat dengan

memadatkan pasir ke pola yang berbentuk dimensi yang diinginkan. Proses pencetakan dilakukan dengan mengalirkan logam cair kedalam cetakan. Contoh produk : silinder blok mobil, fire hydrant, fitting pipa yang besar-besar.

- b. *Die casting* adalah sebuah proses dimana logam didorong masuk cetak pada tekanan tertentu dan kecepatan tinggi dan kemudian logam membeku dengan menjaga tekanan. Cetakannya biasanya dari baja. Cetakan bisa di gunakan berulang-ulang. Logam coran biasanya dipakai yang mempunyai titik leleh rendah seperti : seng, aluminium, dan magnesium.
- c. *Investment casting* adalah Pola untuk membuat cetakan biasanya dipakai lilin atau palstik. Disekililing pola dituang lumpur cair biasanya dari bahan gips. Setelah mengeras cetakan dipanaskan sehingga lilin didalamnya menguap. Cetakan siap digunakan . Teknik ini biasanya digunakan untuk cetakan dengan dengan kualitas tinggi dan produk akhir yang tinggi. Contohnya : perhiasan, gigi palsu dan lain-lain.

7.3.3 Teknik-Teknik Lain

- a. Metalurgi bubuk (powder metallurgy). Dipakai untuk menghasilkan produk akhir yang tingkat kerapatannya tinggi. Proses dilakukan dengan memanfaatkan bubuk logam dan diikuti dengan perlakuan panas.
- b. Pengelasan dilakukan untuk menyambung dua atau lebih potongan menjadi satu potongan logam. Pengelasan dilakukan apabila membentuk potongan logam menelan biaya tinggi atau susah untuk dilakukan.

7.3.4 Paduan Besi (Ferrous Alloys).

Paduan besi adalah paduan logam dimana besi paling dominan dan digunakan secara luas didalam masyarakat. Klasifikasi berbagai logam besi tersebut adalah baja yang merupakan paduan besi dengan karbon serta sejumlah kecil campuran bahan lainnya. Kandungan karbon biasanya kurang dari 1,0 wt %. Berdasarkan kandungan karbon, baja dibagi atas baja karbon rendah, sedang dan tinggi.

a. Baja Karbon Rendah

Baja karbon rendah mengandung karbon (0,25wt%) berdasarkan kandungan karbon baja ini bersifat tidak responsif terhadap perlakuan panas yang bertujuan untuk membentuk martensit. Penguatan dilakukan dengan :

1. struktur mikro berupa : ferit + pearlite.
2. sifat lunak dan lemah tetapi keuletan dan tangguhan sangat tinggi
3. mudah di "machining", di las
4. diantara semua baja karbon, paling murah di produksi.
5. aplikasi pada komponen bodi mobil, baja, struktur (tiang I. C, dll), pipa gedung, jembatan, kaleng.

High strength, low-alloy (HSLA) adalah baja karbon rendah yang ditambah unsur lain seperti tembaga, vanadium, nikel, molibdenum yang akan menaikkan kekuatan baja.

b. *Baja karbon sedang*

1. baja ini mengandung karbon kira-kira 0,2-0,60wt %.
2. bisa diberikan perlakuan panas : austenitizing, quenching ,dan tempering untuk menaikkan sifat mekanik.
3. sering digunakan dalam bentuk struktur martensite.
4. penambahan chrom, nikel dan molibdenum meningkatkan kemampuan untuk perlakuan panas.
5. baja yang telah mengalami perlakuan panas lebih kuat dari pada baja karbon rendah namun keuletan dan ketangguhannya menurun.
6. aplikasi : roda kereta api, rel, roda gigi, crank shaft, dan komponen mesin yang membutuhkan kekuatan tinggi.

c. *Baja karbon tinggi*

1. kandungan karbon antara 0,60-1,4 %wt.
2. mempunyai sifat : paling keras, paling kuat namun keuletan paling rendah.
3. umumnya digunakan dalam kondisi sudah diperkeras dan ditemper, Sehingga tahan aus dan mampu menahan alat potong yang tajam.
4. campuran bahan lain berupa chrom, vanadium, tungsten molibdenum dan banyak digunakan untuk baja tool dan baja cetak.
5. pemakaian : pisau, pisau cukur, gergaji, pegas dan kawat.

d. *Baja anti karat (stainless steel)*

1. element paduan utama : *chrom* (>11wt%).
2. dibagi atas tiga jenis :
 - i. baja anti karat *martensitic*
 - ii. baja anti karat *feritic*
3. baja anti karat *austenitic*
4. baja martensitic bisa diberikan perlakuan panas sementara baja feritic dan austenitic tidak bisa.
5. penguatan baja anti karat feritic dan austenitic dilakukan dengan pengerjaan dingin.
6. martensitic dan feritic stainless bersifat magnet sedangkan baja anti karat austenitic tidak.

AISI (American Iron and Steel Institute) dan SAE (Society of Automotive Engineers) mempunyai sistem pengelompokan seperti pada Tabel 7.1. Dimana digunakan 4 atau 5 digit angka. Dua angka pertama merujuk pada elemen paduan utama, dan dua atau tiga angka berikutnya merujuk kepada persentase karbon. Misal: baja AISI 1040 adalah baja karbon dengan kandungan karbon 0,40%.

Tabel 7.1. Komposisi beberapa baja BS dan AISI-SAE.

Nomor AISI-SAE	Grade BS setara	%C	%Mn	%Si	%Ni	%Cr	Lainnya
1020	040A20	0,18-0,23	0,30-0,60				
1040	080A40	0,37-0,44	0,60-0,90				
1060	080A62	0,55-0,65	0,60-0,90				
1080	070A78	0,75-0,88	0,60-0,90				
1095	060A96	0,90-1,03	0,30-0,50				
1140	212M44	0,37-0,44	0,70-1,00				0,08-0,13% S
4140	708M40	0,38-0,43	0,75-1,00	0,15-0,30		0,80-1,10	0,15-0,25%Mo
4340	817M49	0,38-0,43	0,60-0,80	0,15-0,30	1,65-2,0	0,70-0,90	0,20-0,30%Mo
4620	665H20	0,17-0,22	0,45-0,65	0,15-0,30	1,65-2,0		0,20-0,30%Mo
52100	534A99	0,98-1,10	0,25-0,45	0,15-0,30			
8620	805H20	0,18-0,23	0,70-0,90	0,15-0,30	0,40-0,70	0,40-0,60	0,15-0,25%V
9260	250A58	0,56-0,64	0,75-1,00	1,80-2,20			

Besi tuang adalah paduan besi dengan kadar karbon diatas 2.1%wt. Umumnya kadar karbon berkisar antara 3,0-4,5wt%.

1. titik leleh : 1150⁰-1300⁰ C, lebih rendah dari baja
 2. mempunyai sifat rapuh/getas.
 3. pembentukan grafit dipengaruhi oleh : kadar Si > 1%.
 4. besi tuang umumnya berupa : besi tuang kelabu, besi tuang nodular, besi tuang putih, dan besi tuang *maliabile*.
- a. Besi tuang kelabu (gray cast iron)

Besi tuang kelabu diproses melalui pendinginan pelan sehingga membentuk struktur ferit+perlit dan grafit yang berbentuk panjang serpihan. Grafit merupakan karbon bebas yang kekuatannya sangat rendah sekitar 1kg/mm². Sifat besi tuang sangat dipengaruhi oleh bentuk grafit, yaitu :

1. kekuatannya relatif rendah
2. getas, keuletan rendah
3. tahan terhadap panas, korosi, dan aus
4. mampu meredam getaran
5. memiliki sifat mampu potong (machining ability) yang baik
6. biaya pembuatan murah.
7. Aplikasinya adalah pada blok mesin, rangka mesin, perkakas, rangka mesin-mesin lainnya.

b. Besi tuang nodular

Perbedaan dengan besi tuang kelabu adalah bentuk grafitnya berbentuk bulat. Bentuk grafitnya yang bulat karena dengan bahan sejumlah kecil Magnesium (Mg), Cerium (Ce) kedalam besi tuang kelabu. Keuletan dan kekuatan besi tuang nodular lebih tinggi dari besi tuang kelabu.

c. Besi tuang putih

Pada besi tuang putih, kandungan karbonnya tidak membentuk grafit melainkan karbida (Fe₃C). Sifat besi tuang ini sangat keras dan cocok untuk digunakan pada peralatan dengan ketahanan aus tinggi seperti alat-alat penghancur (crusher), alat-alat pertambangan, dan lain-lain.

d. Besi tuang malleable

Besi tuang dibuat dengan memberi proses perlakuan panas pada besi tuang putih sehingga kekerasannya menurun.

7.4. Penutup

7.4.1. Bahan Diskusi dan Tugas

1. Apa yang dimaksud dengan pengerjaan dingin dan pengerjaan panas ?
2. Jelaskan tujuan dilakukannya normalizing ?
3. Sebutkan klasifikasi baja berdasarkan kadar karbonnya

7.5. Daftar Pustaka

1. Van Vlack, Ilmu dan Teknologi Bahan, Edisi ke 5, Erlangga, 1989 (Terjemahan)
2. Callister, W.D., Jr 2003. "Material Science and Engineering an Introduction" John Wiley & Sons (Asia) Pte.Ltd., Singapore.
3. Gibson, R.F. 1994."Principles of composite material mechanics". New York : Mc Graw – Hill.
4. Hafli, T., Zulfikar, 2008, "Pengantar Pemilihan Bahan dan Proses", Unimal Press.

7.6. Senarai

1. *Forming operation* adalah dimana bentuk potongan logam dirubah dengan proses defomasi plastis
2. Pengelasan dilakukan untuk menyambung dua atau lebih potongan menjadi satu potongan logam
3. *Extrusion* merupakan proses dimana batangan logam didorong melalui cetakan dan produk akan berbentuk sesuai yang dikehendaki dan penampang menjadi lebih kecil
4. *Metalurgi bubuk* (powder metallurgy). Dipakai untuk menghasilkan produk akhir yang tingkat kerapatannya tinggi

BAB 8

NON FERROUS

8.1. Deskripsi Singkat

Tujuan dari mempelajari Bahan Teknik adalah untuk dapat mengetahui jenis dan sifat serta penggunaan material teknik, khususnya yang berkaitan dengan teknik mesin. Dalam bab ini akan dipelajari tentang logam yang tidak mengandung besi.

8.2. Tujuan Instruksional Khusus

Setelah materi ini diajarkan mahasiswa dapat mengetahui fabrikasi logam non besi dan jenis logam tersebut.

8.3. Penyajian

8.3.1 Pendahuluan

Meskipun struktur baja merupakan suatu contoh umum dan utama dari penggunaan logam pada keteknikan. Namun, tidak sedikit juga yang memproduksi logam-logam bukan besi (nonferrous) terutama untuk digunakan pada bidang-bidang tertentu, seperti pada mesin turbofan untuk Boeing 757. Mesin turbofan tersebut telah menggunakan 38% titanium, 37% nikel, 12% chromium, 6% cobalt, 5% aluminium, 1% niobium (columbium) dan 0,02% tantalum.

Logam bukan besi (nonferrous) tidak ditemukan sebagai logam murni di alam. Biasanya logam bukan besi terikat sebagai oksida dengan kotoran-kotoran membentuk bijih-bijih. Indonesia merupakan negara penghasil logam bukan besi yang berarti, meliputi timah putih, tembaga, nikel, aluminium. Pengolahan bijih logam bukan besi mengikuti beberapa tahap, yaitu:

1. Tahap penghalusan mineral
2. Tahap pencucian
3. Tahap pemisahan antara logam dan kotoran
4. Tahap peleburan

Tanur tinggi dengan kapasitas yang kecil, dahulu digunakan untuk melebur tembaga, timah putih dan beberapa unsur lainnya. Bahan bakar kokas, dicampur

dengan bijih kemudian dihembuskan udara untuk mempercepat proses pembakaran. Ukuran kokas atau bijih tidak boleh terlalu kecil untuk menghindari terbawa oleh hembusan udara. Kemudian dicampurkan fluks untuk memperoleh logam yang lebih murni dan untuk mengurangi viskositas terak.

Kebanyakan dapur yang digunakan adalah dapur reverberasi. Fluks atau pembentuk terak ditambahkan untuk mengurangi oksidasi. Biasanya, dapur dilengkapi dengan tadah uap dan tadah debu untuk mengumpulkan hasil sampingan yang berharga. Dapur pemanggang juga digunakan untuk mengoksidasi bijih sulfida. Gas oksida dihembus melalui kisi dengan timbunan bijih. Dapur pemanggang digunakan untuk memurnikan tembaga dan seng.

8.3.2 Aluminium Dan Paduan

Pada tahun 1825, logam aluminium pertama kali telah digunakan dalam jumlah sedikit sebagai logam yang berharga. Permasalahan dalam memproduksi aluminium adalah banyaknya pengotoran karena daya ikat yang besar terhadap elemen-elemen tertentu, terutama oksigen. Kehadiran listrik telah memungkinkan membersihkan logam tersebut dalam jumlah banyak dengan proses reduksi secara elektrolisis sehingga dapat menyuling sejumlah banyak logam alumina (oksida aluminium). Produksi aluminium sangat tergantung pada ketersediaan tenaga listrik. Oleh karena itu, pabrik-pabrik pengolahan aluminium kepunyaan Inggris terletak di dataran tinggi Skotlandia yang telah memiliki pusat tenaga listrik tenaga air skala besar.

Sumber aluminium di alam dalam bentuk Bauxites. Bauksit mengandung oksida aluminium yang tak murni, bebas air, dan dengan silika juga oksida besi yang merupakan kotoran-kotoran utama. Bauksit dapat ditemukan di seluruh belahan dunia terutama di daerah tropis dan subtropik. Di Indonesia, bauksit banyak terdapat di daerah Bintan dan Kalimantan. Kebanyakan bauksit diolah dengan proses penuangan terbuka. Sejumlah besar paduan diproduksi dan semuanya distandarisasikan dengan nomor-nomor spesifikasi standar Inggris (British Standard Specification). Elemen-elemen paduan ditambahkan untuk memperbaiki sifat-sifat mekanis seperti kekerasan, kualitas pengerjaan mesin, tegangan tarik, sifat cair sewaktu pengecoran dan untuk meningkatkan daya tahan terhadap korosi. Paduan dapat dibentuk dengan pengecoran atau tempaan (*wrought* artinya pengerjaan dengan jalan: misalnya, penggilingan, penempaan, penarikan, dan lain-lain). Sifat-sifat dari beberapa paduan dapat diperbaiki dengan pengolahan panas tertentu, kecuali beberapa yang perubahannya hanya diakibatkan oleh pelunakan (*annealing*) atau pengerjaan pengerasan. Campuran-campuran tersebut bisa dikelompokkan jadi dua yaitu yang diproses dengan penuangan dan peremasan. Pada keduanya kita temukan beberapa yang diolah panas dan ada beberapa yang tidak, kecuali untuk pelunakan.

Paduan aluminium dapat identifikasi dengan empat angka dan suatu kode temper menunjukkan kondisi material. Secara umum, penomoran paduan aluminium sebagai berikut :

1. 1xxx-Aluminium murni yang dikomersialkan yang mengandung 99% aluminium. Ketahanan terhadap korosi sangat baik, konduktivitas termal dan listrik juga baik, dapat dikerjakan, kekuatan rendah, tidak untuk perlakuan panas.

2. 2xxx-Tembaga: kekuatan baik, ketahanan terhadap korosi rendah, dapat perlakuan panas.
3. 3xxx-Manganese: kemungkinan untuk dikerjakan baik, kekuatan menengah, secara umum tidak dapat perlakuan panas.
4. 4xxx-Silicon: titik melebur rendah, berwarna drak-gray, secara umum tidak memungkinkan perlakuan panas.
5. 5xxx-Magnesium: ketahanan terdapat korosi dan mampu las baik, kekuatan menengah hingga tinggi, mampu perlakuan panas.
6. 6xxx-Magnesium dan silicon : kekuatan menengah , mampu bentuk bagus, dan ketahanan korosi baik serta mampu pengerjaan panas.
7. 7xxx-Zinc : kekuatan sedang hingga tinggi, mampu perlakuan panas atau pengerjaan panas.

Bilangan kedua menunjukkan modifikasi dari paduan. Bilangan ke tiga dan ke empat membedakan antara paduan dalam kelompok tersebut . Untuk seri 1xxx, bilangan ke tiga dan ke empat mengindikasikan jumlah minimum aluminium dalam paduan tersebut. Sebagai contoh, 1050 menunjukkan kandungan minimum aluminium dalam paduan adalah 99,50%.

Penomoran coran paduan aluminium dan ingot juga memiliki empat bilangan. Bilangan pertama memberi informasi tentang kelompok material tersebut, seperti berikut ini :

1. 1xx.x- Aluminium (minimum 99,00%)
2. 2xx.x-Aluminium-tembaga
3. 3xx.x-Aluminium-silikon dengan tembaga dan/atau magnesium
4. 4xx.x-Aluminium-silikon
5. 5xx.x-Aluminium- magnesium
6. 6xx.x-seri tidak digunakan
7. 7xx.x-aluminium-seng
8. 8xx.x-Aluminium-timah

Dalam seri 1xx.x, bilangan kedua dan ketiga menunjukkan kandungan minimum aluminium. Untuk seri yang lainnya, bilangan kedua dan ketiga tidak menunjukkan komposisi tertentu.

Penomoran temper untuk coran aluminium adalah :

1. F, fabrikasi (pengerjaan dingin atau panas, pengecoran)
2. O, annealed (dari pengerjaan dingin)
3. H, ditegangkan atau dikeraskan dengan pengerjaan dingin
4. T, perlakuan panas
5. W, solution-treated

Aluminium murni dapat diproduksi dengan proses Bayer yang dikembangkan oleh Karl Josef Bayer (seorang ahli kimia berkebangsaan Jerman). Pada umumnya, proses alumina Bayer digunakan untuk menyuling alumina dari bauksit yang telah dihancurkan dan terlebih dahulu dibersihkan dengan larutan kaustik soda panas untuk memisahkan alumina sebagai *sodium aluminate*.

Kotoran-kotoran tersebut dipisahkan dengan penyaringan dan cairan aluminium diolah lagi untuk mendapatkan aluminium yang lebih baik. Dalam elektrolisa oksida, arus searah dengan kuat arus yang tinggi dilewatkan melalui aluminium lebur dengan suhu sekitar 1000°C. Oksida aluminium tersebut (alumina) akan terpisah dari fluks yang terutama terdiri dari *cryolite*.

Sifat aluminium yang paling penting adalah ringan. Berat jenis aluminium sepertiga dari berat besi atau baja. Logam ini merupakan penghantar panas dan listrik yang baik setelah tembaga, tidak beracun, reflektif (bisa pantul), bisa ditempa, dituang, dikerjakan dengan mesin, disolder, dikeraskan dan dilas, dicap, ditarik dan diekstrusi tekan. Dibuat juga menjadi bentuk yang bervariasi untuk proses pembuatan/pengolahan selanjutnya yaitu: lembaran, pelat, strip, batangan, pipa, kawat dan profil-profil.

Aluminium murni itu lunak dan kenyal. Kekerasan dan kekuatannya akan meningkat bila dipadukan dengan sejumlah kecil elemen-elemen lain. Beberapa paduan mempunyai kekuatan sama atau lebih dari baja lunak. Paduan ini diperuntukkan komponen-komponen yang dibebani dan hasilnya cukup memuaskan. Beberapa di antaranya juga tahan terhadap karat di udara pesisir.

Penggunaan dari aluminium itu bermacam-macam terutama untuk barang-barang keperluan sehari-hari, misalnya panci-panci masak dan perabot rumah-tangga, kaleng aluminium, kertas-kertas perak untuk pembungkus makanan, tutup-tutup botol susu dan makanan, juga sebagai pembungkus tembakau. Dalam bentuk super-murni digunakan untuk suatu medium dekorasi, yaitu pada roda dan hiasan-hiasan pada mobil. Aluminium digunakan juga dalam pekerjaan kelistrikan, yaitu untuk rel-rel dan dalam kabel-kabel untuk sistem grid (jaringan). Untuk angkutan darat dan laut, biaya awal yang lebih tinggi dari aluminium adalah lebih daripada kompensasi penghematan tenaga karena pengurangan berat sehingga aluminium banyak digunakan pada pesawat terbang.

8.3.3 Tembaga Dan Paduan

Tembaga ditambang di banyak negara, tetapi paling banyak di Amerika, Zambia, Kanada, Chili, Kongo, Belgia, Finlandia, Yugoslavia, Jerman, Skandinavia, Spanyol, Ural, Australia, Rhodesia dan Afrika Selatan. Di alam, bijih tembaga ditemukan dalam beberapa bentuk. Bentuk yang memiliki tingkat kemurnian yang tinggi adalah pyrites dengan kandungan tembaganya mencapai 34,5 persen bersamaan dengan besi dan belerang.

Di pasaran tersedia beratus jenis paduan tembaga. Namun, kebanyakan paduan tembaga dapat diklasifikasikan menjadi kelompok kuningan, perunggu, perunggu aluminium, perunggu mangan, dan tembaga nikel.

Kuningan adalah paduan tembaga-seng yang batasan-batasannya tergantung pada sifat-sifat dan pemakaiannya. Paduan dengan kandungan tembaga melebihi 80 persen, paduan ini dikenal sebagai logam sepuhan (*gilding metal*) yang mempunyai warna emas.

Selain untuk hiasan-hiasan, kuningan banyak digunakan dalam keteknikan. Hal ini bukan dikarenakan tahan karat tetapi juga mudah dalam pengerjaan seperti pengerolan, pengepresan, penempaan, ekstrusi, penarikan, penuangan, dapat dikerjakan dengan mesin dan mudah disambung dengan solder lunak ataupun keras.

Kuningan bisa dibagi dalam dua kelompok besar berdasarkan sifat-sifat pengerjaan panas atau dingin. Kuningan dengan kandungan tembaga melebihi 63 persen baik untuk pengerjaan dingin, sedangkan kuningan yang kurang dari 60 persen cocok untuk pengerjaan panas dengan dipres atau ditempa.

Kandungan timbal yang sedikit dalam kuningan 60/40 memberikan sifat-sifat permotongan bebas (*free-cutting*). Tetapi kekenyalan kuningan-kuningan timbal kurang dan hal ini sesuai bila untuk pengerjaan permesinan untuk mendapatkan hasil yang baik seperti pengepresan panas.

Istilah perunggu diberikan untuk paduan tembaga-timah dengan kandungan timah mencapai 10 persen atau lebih. Beberapa elemen lainya ditambah untuk membentuk perunggu seperti perunggu fosfor (5 sampai 6 persen timah ditambah sedikit fosfor) yang digunakan sebagai material pegas. Perunggu fosfor dengan kandungan timah yang tinggi (6 sampai 12 persen) banyak digunakan untuk bantalan dan pengecoran. Perunggu dengan kandungan timah 20 persen digunakan untuk membuat genta (bel).

Tipe paduan perunggu yang lain adalah logam-logam untuk senjata (*gun-metals*) yang digunakan untuk laras-laras senjata dan biasanya mengandung seng atau sering juga timbal untuk mempermudah proses pengerjaan mesin dan memperbaiki kualitas anti-gesekan. Logam-logam senjata dengan campuran timbal ini banyak digunakan dalam pembuatan barang-barang teknik seperti keran uap atau air.

Paduan tembaga aluminium (tanpa timah) digunakan pada kapal laut dan pabrik mesin umurn dengan spesifikasi harus tahan terhadap karat, kekuatan dan kekerasan yang baik untuk digunakan temperatur tinggi. Kuningan khusus yang mempunyai kekuatan tarik yang tinggi dan tahan karat adalah mengandung mangan, timah, besi dan aluminium.

Sejumlah paduan tembaga nikel yang biasa digunakan mengandung lima persen nikel dan sangat tahan terhadap karat. Paduan dengan kandungan nikel 15 persen berwarna abu-abu putih. Paduan dengan kandungan nikel 25 persen digunakan untuk pembuatan uang 'perak' Inggris. Paduan tembaga nikel digunakan untuk pipa-pipa kondenser dimana harus tahan terhadap korosi air laut. Logam monel dengan 29 persen tembaga, 68 persen nikel dan sedikit besi dan mangan adalah paduan yang baik, sangat tahan terhadap korosi dan digunakan pada industri kimia dan untuk komponen-komponen motor bakar, sebab tahan temperatur tinggi.

Ekstraksi tembaga meliputi pembuangan sejumlah karang kotoran dan prosesnya berbeda-beda tergantung pada keadaan bijih tersebut. Bijih yang banyak mengandung belerang, pada umumnya berupa serbuk yang halus dan debu yang membungkusnya dipisahkan dengan metode flotation (dalam keadaan terapung). Hasil konkritnya dicairkan dalam suatu dapur aduk dengan mencampurkan bahan pengikat untuk membentuk terak.

Setelah matte (campuran sulfida-sulfida yang diperoleh dengan peleburan) dari tembaga dan sulfida-sulfida besi dicapai lalu diolah dengan suatu proses yang serupa seperti pada konverter Bessemer untuk menghilangkan belerang dan besi dengan oksidasi. Lalu logam tersebut dituang dalam bentuk tembaga hitam. Proses selanjutnya tetap dibutuhkan walaupun mengandung sedikit kotoran sekitar 1 persen untuk mencapai nilai perdagangan dengan cara : (1) pembakaran ulang dalam dapur

aduk, atau (2) dengan elektrolisa dalam suatu tangki yang berisi asam belerang encer dan cairan sulfat tembaga.

Campuran cairan tersebut merupakan elektrolit dan berlaku sebagai penghantar lewatnya arus listrik antara anoda-anoda (lempengan-lempengan tembaga tidak murni yang dicelupkan dalam elektrolit) dan katoda-katoda (pelat tipis tembaga murni). Ketika arus dijalankan, perlahan-lahan anoda-anoda tersebut larut dan logam murninya menempel pada katoda-katoda tipis yang lama-lama ukurannya bertambah besar dibanding dengan anoda-anoda yang larut.

Tembaga memiliki ciri khas yaitu warna merah hangat sehingga mudah untuk dikenali. Tembaga merupakan salah satu logam yang paling penting di dunia dan diolah dalam keadaan murni dan bentuk paduan. Paduan dan sebagai elemen tambahan untuk mengubah sifat dari logam-logam yang lain. Sifat-sifat penting yang dimiliki tembaga adalah :

1. penghantar panas dan listrik yang baik sekali;
2. kenyal dan ulet;
3. kesiapannya untuk membentuk campuran-campuran dan
4. ketahanannya terhadap efek-efek korosi dari udara melalui formasi dari suatu lapisan oksida.

Sebagian besar tembaga digunakan untuk kawat terutama untuk kawat penghantar listrik karena tembaga dengan kemurniannya yang tinggi merupakan penghantar yang baik sekali. Pada penarikan kawat, pertama-tama batangan kawat besar dirol menjadi batang-batang kecil, kemudian ditarik melalui cetakan tungsten carbide sehingga mendapatkan diameter yang sesuai. Kawat yang sangat halus didapatkan setelah penarikan melalui cetakan intan.

Tembaga sudah digunakan sejak abad ke delapan belas untuk lapisan-lapisan pada kapal kayu dan ini penting sekali di perairan tropis untuk menjaga serangan dari *ship worm* (cacing kapal) yang akan memperbesar ukurannya. Strip tembaga telah digunakan sebagai pembungkus atap, hiasan dan lapisan udara basah. Dewasa ini, tembaga banyak sekali digunakan untuk pekerjaan pemasangan pipa di rumah bukan hanya karena kemampuan tahan terhadap korosi dan embun beku tetapi juga mudah untuk disambung dan dibengkokkan. Lembaran tembaga tipis yang kurang dari 0,17 mm dengan lebar 450 mm atau kurang, dikenal dengan *foil*. Penggunaannya banyak ditemukan pada sirip-sirip radiator mobil dan sirkuit-sirkuit cetak. Dalam industri percetakan, pelat paduan tembaga digunakan untuk pembuatan pelat-pelat cetakan dengan proses yang bervariasi.

Pipa-pipa tembaga tanpa kampuh dibuat dari blok-blok silindris yang ditusuk ke arah panjangnya untuk membentuk selubung pipa (tube shells). Ini dibuat pada satu ujung lalu ditarik melalui cetakan sampai ukuran yang diinginkan, lubang gerejanya dikontrol dengan plug baja dipegang pada tempat sepanjang batang tersebut menyentuh bangku tarik. Beberapa penggunaan di antaranya adalah penarikan presisi untuk pembuatan mikroskop, teleskop dan luncuran instrumen-instrumen musik atau sebagai pengarah gelombang, sedangkan penggunaan penting lainnya adalah dalam bentuk *roller* pencetak untuk pabrik tekstil.

Batangan-batangan (rods, bars) dan profil-profil dirol, ditarik atau diekstrusi. Penarikan adalah menarik logam dingin melalui lubang pada suatu cetakan dan dalam ekstrusi logam tersebut ditekan melalui orifice (keping dorong). Tembaga dan

paduan-paduannya bisa digunakan dalam pengecoran pasir atau pengecoran dengan cetakan untuk segala bentuk.

Serbuk tembaga dan paduannya banyak digunakan termasuk untuk pembuatan cat dan dalam permesinan. Serbuk-serbuk logam bisa disatukan dengan cetakan pembentuk dengan *sintering* (roasting) dan metode ini digunakan untuk pembuatan *bush* dari bantalan-bantalan kecil. Serbuk grafit dicampur dengan serbuk logam, akan menjadi bush-bush dengan pelumasan sendiri.

8.3.4 Timah Dan Paduan

Timah hitam diolah dari kosentrat timah hitam yang mengandung 65-80% timbal. Timbal merupakan logam terberat dibandingkan logam-logam yang biasa. Bibit bijih daripada timbal adalah galena (sulfida timbal) dan banyak ditemukan di dunia. Bijih timbal sering bercampur dengan seng dan bila ini ditemukan secara bersamaan, maka harus dipisahkan terlebih dahulu dikonsentrasikan dengan *floatation* (pengapungan). Kedua bijih tersebut bisa dilebur dalam waktu yang sama.

Timah murni akan mencair pada temperatur 327,4°C dan bila dicampur dengan antimonium titik cairnya menjadi turun. Timah putih adalah logam putih dengan warna kekuning-kuningan lebur pada suhu 232°C. Sifatnya sangat lunak dan bisa dirol menjadi timah daun, tetapi kegunaan utamanya adalah dalam pembuatan pelat-pelat timah, terutama pada industri pengalengan dan sebagai bahan campuran untuk logam bantalan. Dan tentu saja, digunakan untuk membuat solder lunak.

Bijih utamanya adalah batu timah, ditemukan di Devon dan Cornwall dan di tempat-tempat lain di dunia walaupun sumber utamanya terdapat di Indonesia dan Malaysia. Pertama-tama bijih dihancurkan dan kotoran-kotoran kecilnya dibersihkan dengan pencucian. Kemudian dipanggang untuk membersihkan belerang dan arsenik. Setelah dibersihkan lalu dipanaskan dengan dicampur antrasit bubuk dan kapur dalam dapur aduk. logam kasar ditarik keluar dan masuk cetakan. Pembersihan lanjut dilakukan dengan jalan meleburnya lagi untuk menghilangkan kotoran-kotoran sisa, dengan pengadukan, terak-terak akan naik ke permukaan untuk dibersihkan.

Suatu karakteristik yang menarik daripada timah adalah bunyi crinkling (pengkerutan) yang aneh dan dikenal dengan tangisan timah (*crying tin*) yang dapat didengar bila logam tersebut dibengkokkan di dekat telinga. Bunyi ini terdengar sewaktu terjadi deformasi kristal.

Kosentrat timah hitam yang mengandung 65-80% timbal (Pb) harus dipanggang terlebih dahulu untuk menghilangkan sulfida-sulfida. Batu gamping, bijih besi, pasir dan terak dicampur dengan konsentrat timah sebelum proses sinter. Oksida sulfur yang menguap akibat sinter, ditampung untuk diolah menjadi H₂SO₄. Bahan yang telah disinter dimasukkan ke dalam tanur tinggi dengan bahan bakar kokas. Gas dan debu masih mengandung klorida kadmium, yang diolah tersendiri menjadi kadmium. Bullion yang terjadi di-dross. Dross tembaga yang terapung mengikat belerang sehingga memudahkan pemisahan tembaga dari dross. Campuran timah cair teroksidasi dalam dapur yang disebut dapur pelunakan.

Terak yang dihasilkan oleh dapur pelunakan mengandung antimon dan arsen. Di dalam ketel desilverisasi ditambahkan seng pada campuran timah, dan emas dan perak yang mungkin ada akan larut bersama-sama seng. Paduan seng kemudian dimasukkan ke dalam retort. Uap seng diembunkan dan diperoleh seng padat. Cairan

yang tersisa diolah secara elektrolisa, menghasilkan emas dan perak. Timah yang terdapat dalam ketel dimurnikan sebelum dicampur dengan soda api, yang akan terpisah. Ini dilakukan dengan menginjeksikan pancaran timah panas ke dalam ruang vakum, hal ini mengakibatkan penguapan seng. Akhirnya kotoran-kotoran dipisahkan secara kimia dalam ketel, dan timah dicor menjadi balok dengan berat 25kg atau 900kg.

Timah sangat lunak, mudah ditempa dan mudah dipotong dengan gergaji tangan atau pisau. Permukaan yang baru dipotong kelihatan seperti perak. Tetapi akan cepat menjadi suram karena pengaruh udara membentuk suatu lapisan oksida pelindung. Timah tahan terhadap banyak jenis asam, tetapi cukup mengherankan karena dapat rusak oleh air murni.

Timbal mempunyai titik lebur yang rendah (330°C) dan merupakan komponen pokok pada sejumlah paduan, misalnya untuk solder-solder lunak dan tukang kaleng yang mana proporsi. Paduannya bervariasi. *Pewter* adalah paduan timbal dan timah putih dengan perbandingan 1:4, sedang tipe logam dengan kandungan 45 sampai 70 persen timbal, bisa diimbangi dengan *antimony*. Timah putih dengan proporsi bervariasi sejumlah paduan dari timbel, timah putih, bismuth dan kadmium dikenal sebagai logam yang dapat dilebur. Titik lebur di bawah suhu 100°C dan digunakan untuk benda-benda seperti alat pemadam api otomatis, pengisian pipa sementara selama operasi pembengkokkan, untuk pekerjaan perawatan gigi, dan lain-lain. Timbal digunakan untuk logam-logam bantalan dan sebagai material penambah baja atau kuningan untuk memperbaiki kualitas pengerjaannya dengan mesin.

Sebagai suatu aturan umum, logam-logam yang digunakan untuk bantalan (untuk poros berputar dan komponen mesin lainnya) adalah berbeda dengan porosnya sendiri. Material untuk bantalan lebih lunak dan kebanyakan paduannya mengandung bahan keras dalam suatu matriks lunak. Penggunaan logam-logam keras akan memiliki daya tahan yang lama, sedang matriks yang lebih lunak akan kenyal bila dibebani. Kekenyalan ini membantu untuk mengimbangi tekanan-tekanan yang terjadi karena kesalahan senter dari poros dengan logam bantalan yang sangat keras dan membantu masuknya lapisan tipis pelumas sewaktu dibebani. Tetapi, mungkin juga matriks yang lebih lunak akan sedikit lebih cepat aus daripada bahan keras, terjadi sedikit lekukan di mana minyak pelumas tertampung.

Logam bantalan putih sebagai dasarnya adalah timah putih atau timah hitam (tergantung pada komposisi paduan) dan dikenal dengan nama logam Babbitt yang dipatenkan oleh Isaac Babbitt. Logam putih dari timah putih digunakan pada bantalan dengan beban berat untuk menahan tekanan-tekanan dan kecepatan tinggi. Sedangkan, logam dari timah hitam digunakan pada kondisi yang kurang begitu tetap. Semua paduan ini mengandung antara 3,5 dan 15 persen antimon. Kebanyakan dikombinasikan dengan timah putih untuk membentuk campuran yang dalam paduannya terdapat komponen keras.

Logam bantalan perunggu digunakan untuk bantalan dengan beban berat, baik perunggu fosfor demikian juga perunggu timah putih sangat baik dalam pemakaian. Bantalan perunggu sinter sering digunakan untuk beban yang ringan yaitu pergerakan hanya sewaktu-waktu pada mekanisme kontrol, atau kecepatan dan beban yang rendah. Logam ini dibuat dengan campuran serbuk tembaga, timah putih dan grafit yang dipanaskan dan dicetak dengan tekanan yang sama untuk mendapatkan bentuk tertentu. Dengan adanya grafit, bantalan dapat melumasi sendiri. Perunggu timah

hitam digunakan untuk bantalan beban berat seperti bantalan utama (poros engkol) pada mesin diesel dan bensin. Kuningan sering digunakan dalam bantalan yang kecil dengan beban ringan, supaya murah dan juga sebagai selubung pada bantalan brons.

8.3.5 Nikel Dan Paduan

Nikel adalah logam berwarna perak-putih yang ditemukan pada tahun 1751. Paduan-paduan berbasis nikel disebut juga superalloy. Elemen penyusun paduan nikel diantaranya chromium, cobalt, molybdenum.

Monel adalah paduan nikel dan tembaga. Inconel merupakan paduan antara nikel dan chromium. Inchrome paduan antara nikel, chromium dan besi. Sedangkan Invar adalah paduan dari nikel dan besi. Bahan baku utama nikel adalah sulfida dan bijih oksida yang mengandung nikel dalam konsentrasi sedikit. Meskipun bahan baku cukup tersedia dari pertambangan bawah laut namun hal ini tidak ekonomis. Logam nikel diproduksi melalui proses sedimentasi (pengendapan) dan proses melibatkan pemanasan yang diikuti proses electrolysis, yielding hingga diperoleh nikel murni mencapai 99%.

Paduan-paduan nikel memiliki kekuatan dan tahan korosi tinggi pada temperatur tinggi, seperti Hastelloy. Sedangkan Invar memiliki sifat-sifat yang relatif stabil terhadap temperatur. Berbagai jenis paduan nikel memiliki kekuatan dalam rentang nilai tertentu pada temperatur berbeda. Monel dan inconel memiliki nilai kekuatan tarik hingga 1400 Mpa (200 ksi). Nichrome memiliki tingkat oksidasi dan tahanan listrik yang tinggi. Perilaku paduan nikel dalam permesinan, pembentukan, pengecoran, dan pengelasan dapat dimodifikasi dengan penambahan berbagai elemen penyusun paduan.

Nikel telah digunakan sebagai besi tahan karat dan paduan-paduan berbasis nikel. Paduan nikel telah digunakan untuk aplikasi-aplikasi temperatur tinggi, seperti: komponen-komponen mesin jet, roket, pembangkit tenaga nuklir. Paduan nikel juga telah digunakan untuk menangani peralatan pemrosesan kimia dan makanan, koin dan aplikasi kelautan. Nikel juga telah digunakan dalam electroplating untuk penampilan atau untuk meningkatkan tahan korosi.

8.3.6 Seng Dan Paduan

Bijih seng tersebar di seluruh dunia kebanyakan berasal dari hasil ekstraksi bijih sulfida yang sering bercampur dengan timah hitam, perak dan kadang-kadang emas. Seng adalah logam putih yang kebiru-biruan mengkilat yang tahan terhadap korosi atmosfer dan sifat ini dimanfaatkan sebagai pelindung pada besi lembaran, pemipaan, kawat, paku, dan sebagainya. Lapisan seng dibuat dengan jalan direndam dalam suatu bak seng cair.

Konsentrasi timah hitam dan seng dipisahkan satu sama lain setelah dihanurkan dan dicuci dengan air. Pemisahan dilakukan dengan proses pengapungan tambahan reaksi kimia tertentu dan penganginan dari ampas menyebabkan pertamanya naiknya timah hitam yang berbentuk buih dan dibuang, setelah ditambah lagi bahan-bahan reaksi dan diteruskannya penganginan menyebabkan naiknya seng. ampuran ini dipanaskan awal dulu sebelum dimasukkan retor untuk melalui proses destilasi, uap seng keluar dari retor dan didinginkan, untuk membentuk seng cair

dalam kondensor. Pembersihan selanjutnya adalah penyulingan untuk menghilangkan kadmium, timah hitam, besi dan kotoran-kotoran lain.

Pemisahan seng dan timah hitam bukanlah suatu masalah dan timah hitam bisa dikeluarkan lewat dasar dapur, penguapan seng, keluar melewati puncak dapur lalu dikondensasi menjadi seng metalik. Sejumlah timbal juga menguap dan dikondensasi dengan seng, tetapi keduanya segera terpisah sewaktu pencairan sebab kepadatannya yang sangat berbeda.

Logam ini telah digunakan sebagai bahan atap dengan kandungan 99,99% seng atau sering disebut juga "Special High Grade". Sebagai bahan tambahan untuk paduan seng-tembaga juga digunakan dalam paduan seng untuk pengecoran di dalam cetakan logam. Paduan yang mengandung seng, tembaga dan aluminium banyak digunakan untuk barang-barang, termasuk karburator, Pompa bahan bakar, bagian-bagian mesin cuci, peralatan dapur, barang-barang mainan, dan pelat *photoengraving*.

8.3.7 Titanium Dan Paduan

Titanium (Ti) diambil dari nama dewa Yunani yaitu Titans. Titanium telah ditemukan pada tahun 1719 namun belum digunakan secara komersial hingga tahun 1950-an. Paduan titanium disusun bersama aluminium, vanadium, molybdenum, manganese, dan zat lainnya ditambahkan dalam paduan.

Bijih-bijih yang mengandung titanium pertama kali mengalami mereduksi hingga menjadi titanium karbida dalam dapur dan diubah menjadi titanium klorida dalam lingkungan klorin.

Sifat dan karakteristik manufaktur paduan titanium sangat dipengaruhi oleh perbedaan sedikit komposisi paduan. Pengaturan komposisi dan pemrosesan sangat penting, seperti pencegahan terkontaminasi permukaan dengan hidrogen, oksigen atau nitrogen selama pemrosesan. Elemen-elemen tersebut dapat menyebabkan kerapuhan terhadap titanium yang merupakan akibat dari pengurangan kekerasan dan keuletan.

Struktur kubik terpusat ruang titanium (titanium beta, di atas temperatur 800°C) adalah ulet, sedangkan struktur heksagonal terpusat padat rapuh dan sangat peka terhadap tegangan korosi. Sementara dalam bentuk struktur lain (alpha, hampir alpha, alpha-beta, dan beta) dapat dihasilkan dengan perlakuan panas. Sebagian sifat-sifat dapat dioptimalisasi untuk aplikasi-aplikasi tertentu.

Titanium sangat atraktif digunakan pada mesin jet, pesawat, mobil balap, komponen-komponen pada industri petrokimia, dan komponen-komponen yang digunakan di lingkungan laut, seperti badan kapal.

8.3.8 Molybdenum Dan Paduan

Molybdenum (Mo) atau logam putih keperak-perakan telah ditemukan pada abad ke-18. Elemen paduan molybdenum adalah titanium dan zirconium. Molybdenum telah digunakan dalam jumlah lebih besar daripada *refractory metal* lainnya.

Bahan baku molybdenum adalah mineral molybdenite (molybdenum disulfida). Bijih diproses, ditingkatkan konsentrasi dan dikurangi dengan mereaksikan dengan oksigen kemudian direaksikan dengan hidrogen. Teknik metalurgi serbuk juga

digunakan untuk memproduksi ingot-ingot selain untuk membuat produk-produk dengan berbagai bentuk.

Molybdenum memiliki titik lebur yang tinggi, modulus elastis tinggi, ketahanan terhadap shock termal baik, dan konduktivitas termal dan elektrik baik. Paduan molybdenum memiliki ketahanan yang rendah terhadap oksida pada temperatur dibawah 500°C (950°F).

Material ini telah digunakan pada roket-roket solid-propellent, mesin-mesin jet, struktur sarang madu, komponen-komponen elektronik, elemen-elemen pemanas dan die untuk pengecoran die.

8.3.9 Tungsten Dan Paduan

Tungsten (W, berasal dari wolframite) pertama kali ditemukan pada tahun 1781 dan cukup melimpah. Dalam bahasa swedia, Tung bermakna berat dan sten bermakna batu. Tungsten diproses dari bijih dengan dekomposisi kimia dan kemudian dikurangi. Selanjutnya, proses dapat dilakukan dengan teknik metalurgi serbuk dalam lingkungan hidrogen.

Tungsten memiliki titik lebur tertinggi untuk logam (3410°C atau 6170°F). Karakteristik lainnya adalah kekuatan tungsten tinggi pada temperatur lebih tinggi. Di sisi lain, densitas tungsten tinggi dan getas pada temperatur rendah dan ketahanan terhadap oksidasi rendah.

Tungsten dan paduannya digunakan pada aplikasi temperatur tinggi (diatas 1650°C), seperti nosel daripada misil dan bagian-bagian terpanas dari mesin-mesin jet, elektroda las dan elektroda busi. Tungsten juga telah digunakan sebagai kawat filamen pada lampu. Tungsten dengan densitas yang besar telah digunakan sebagai penyeimbang berat (*balancing weight*) dalam sistem mekanik. Tungsten dan paduannya juga merupakan material penting untuk perkakas dan die.

8.3.10 Emas, Perak dan Platinum

Emas, perak dan platinum sering disebut logam mulia. Emas (Au) memiliki sifat lunak dan ulet dan ketahanan terhadap korosi baik pada semua temperatur. Selain penggunaan untuk keperluan perhiasan dan seni, emas juga digunakan sebagai kontak dan terminal listrik dan electroplating.

Perak (Ag) merupakan logam ulet dan memiliki konduktivitas termal dan elektrik tertinggi diantara semua logam. Perak telah digunakan untuk perhiasan, *electroplating*, *photographic film*, kontak listrik, solder, bearing, dan peralatan untuk proses kimia dan pengolahan bahan makanan.

Platinum (Pt) bersifat lunak dan ulet, berwarna putih keabu-abuan, memiliki ketahanan yang baik terhadap korosi. Paduan platinum telah digunakan sebagai kontak listrik, elektroda busi, katalis pada peralatan pengendali polusi automotif, *filaments*, nosel, die untuk ekstrusi serat gelas, termokopel, dan pada industri elektrokimia.

8.4. Penutup

8.4.1. Bahan Diskusi dan Tugas

1. Jelaskan proses pembuatan Titanium
2. Jelaskan mengapa tembaga menjadi konduktor yang baik
3. Sebutkan kegunaan dari material tungsten

8.5. Daftar Pustaka

4. Van Vlack, Ilmu dan Teknologi Bahan, Edisi ke 5, Erlangga, 1989 (Terjemahan)
5. Callister, W.D, Jr 2003. “Material Science and Engineering an Introduction” John Wiley & Sons (Asia) Pte.Ltd,. Singapore.
6. Gibson, R.F. 1994.”Principles of composite material mechanics”. New York : Mc Graw – Hill.
7. Hafli, T., Zulfikar,.2008, “Pengantar Pemilihan Bahan dan Proses”, Unimal Press.

BAB 9

KERAMIK

9.1. Deskripsi Singkat

Tujuan dari mempelajari Bahan Teknik adalah untuk dapat mengetahui jenis dan sifat serta penggunaan material teknik, khususnya yang berkaitan dengan teknik mesin. Dalam bab ini akan dipelajari tentang sifat sifat keramik.

9.2. Tujuan Instruksional Khusus

Setelah materi ini diajarkan mahasiswa dapat mengetahui jenis, sifat, struktur dan proses pembuatan keramik

9.3. Penyajian

Pada bab ini akan dibahas karakteristik-karakteristik umum dari keramik, gelas, dan keramik gelas yang berkaitan langsung dengan aplikasi-aplikasi keteknikan dan manufaktur.

9.3.1 Keramik

Kebanyakan keramik merupakan campuran antara unsur-unsur logam dan bukan logam. Umumnya, ikatan antara atom berupa ikatan kovalen dan ionik. Ikatan keramik lebih kuat dari ikatan logam sehingga sifat-sifat (seperti kekerasan dan ketahanan termal dan listrik) keramik lebih tinggi daripada logam.

Keramik juga terdapat dalam bentuk kristal tunggal atau bentuk polycrystalline yang terdiri atas banyak butiran (*grain*). Ukuran butir mempengaruhi kekuatan dan sifat keramik. Butiran yang halus memiliki kekuatan dan kekerasan lebih dibandingkan dengan keramik dengan butiran biasa. Di alam, bahan baku keramik mengandung berbagai pengotor. Pengotor terlebih dahulu harus dipisahkan sebelum pemrosesan untuk digunakan menjadi produk. Bahan baku yang bebas pengotoran akan menghasilkan keramik yang sifat-sifatnya lebih baik. Ada beberapa

bahan yang telah digunakan untuk membuat keramik, diantaranya : *clay*, *flint* dan *feldspar*.

Clay (tanah liat) telah digunakan sebagai bahan baku untuk membuat keramik pertama kalinya. *Clay* merupakan struktur menyerupai lembaran butir halus dan contoh yang umum adalah kaolin (berasal dari kata Kao-ling nama sebuah bukit di Cina). *White clay* (tanah liat berwarna putih) terdiri dari silikat aluminium dengan lapisan ikatan lemah dari ion silikon dan aluminium. *Flint* adalah batu dengan *fine-grained silica* (SiO_2) dan *Feldspar* adalah suatu grup kristalin yang terdiri dari *aluminum silicates*, *potassium*, *calcium* atau *sodium*.

Alumina (aluminum oxide, Al_2O_3) disebut juga *corundum* atau *emery*. Keramik-keramik oksida yang telah digunakan secara luas adalah *alumina* baik dalam bentuk murni maupun dalam bentuk campuran dengan oksida lainnya. Keramik ini memiliki kekerasan yang tinggi dan kekuatan sekedarnya. Walaupun di alam tersedia, alumina sintetik lebih disukai karena kualitasnya dapat dikendalikan. Sedangkan alumina alami banyak mengandung pengotor sehingga produk yang dibuat dari alumina alami tidak dapat diandalkan.

Alumina oksida sintetik pertama kali dibuat pada tahun 1893 dengan menyatukan *molten bauxite*, *iron filing*, dan *coke* (kokas) dalam dapur listrik. Selanjutnya, dihancurkan dan disaring melalui penyaring standar. Alumina dibentuk dengan penekanan dingin (cold pressed) dan sinter (sintered). Sifat-sifat alumina dapat ditingkatkan dengan menambah sedikit keramik-keramik lainnya, seperti *titanium oxide* dan *titanium carbide*. Struktur terdiri dari berbagai *alumina* dan oksida lainnya yang dikenal dengan *mullite* dan *spinel* yang telah digunakan sebagai material untuk aplikasi – aplikasi pada temperatur tinggi. Sifat mekanik dan fisik *alumina* secara khusus sesuai untuk aplikasi-aplikasi seperti insulasi elektrikal dan termal dan sebagai perkakas pemotong dan abrasif.

Zirconia (zirconium oxide, ZrO_2) memiliki kekerasan yang baik, tahan terhadap *thermal shock*, tahan korosi, konduktivitas termal rendah dan koefisien gesekan kecil. Suatu yang baru dikembangkan adalah ***partially stabilized zirconia (PSZ)*** memiliki kekuatan dan kekerasan lebih tinggi dan lebih dapat diandalkan daripada *zirconia*. PSZ terdiri dari oksida penguat *zirconia*, yaitu *calcium*, *yttrium* atau *magnesium*. PSZ secara khusus telah digunakan untuk *die* pada ekstrusi panas logam, pelapisan pada pesawat luar angkasa, lapisan dasar dan terluar dari automotif, dan untuk cetakan kilat pada pembungkus bahan makanan. PSZ memiliki koefisien ekspansi termal sekitar 20% lebih rendah daripada besi cor dan konduktivitas termal sepertiga dari keramik lainnya. Dengan demikian, PSZ sangat sesuai untuk komponen-komponen mesin kalor, seperti *cylinder liners* dan *valve bushing*. Pengembangan dari PSZ adalah *transformation-toughened zirconia (TTZ)* yang memiliki kekerasan lebih tinggi karena tersebarnya fasa keras dalam matrik keramik.

Carbides terdiri dari *tungsten (WC)*, *titanium (TiC)* dan *silicon carbide (SiC)*. *Tungsten (WC)* dan *titanium (TiC)* secara khusus telah digunakan sebagai perkakas pemotong dan material *die*. *Silicon carbide (SiC)* telah digunakan sebagai abrasif seperti roda gerinda. *Tungsten carbide* terdiri dari partikel *tungsten-carbide* dan *cobalt* sebagai pengikat. Jumlah pengikat memberi pengaruh terhadap terhadap sifat-sifat material. Kekerasan meningkat dengan kandungan *cobalt*, dimana kekerasan, kekuatan dan ketahanan geser berkurang. *Titanium carbide* memiliki *nickel* dan *molybdenum* sebagai pengikat dan tidak sekeras *tungsten carbide*.



Gambar 9.1 Suku cadang yang dilapisi (coating) dengan TiC

Silicon carbides (SiC) memiliki ketahanan baik terhadap *thermal shock*, dan korosi, koefisien gesekan rendah dan kuat pada temperatur tinggi. *Silicon carbides* sesuai untuk komponen mesin kalor, juga sebagai abrasif. Pertama kali *synthetic silicon carbides* diproduksi pada tahun 1891 dari *silica sand* (pasir silika), *coke* (kokas), dan sedikit *sodium chloride* dan *sawdust*. Proses pembuatannya serupa dengan pembuatan *synthetic aluminium oxide*.

Nitrides terdiri dari *cubic boron nitride* (CBN), *titanium nitride* (TiN) dan *silicon nitride* (Si_3N_4). CBN merupakan terkeras setelah intan dan digunakan untuk keperluan khusus seperti perkakas pemotong dan abrasif (roda gerinda). CBN tidak ditemukan di alam dan dibuat pertama kali nya 1970-an dengan teknik yang serupa dengan *synthetic diamond*. TiN telah digunakan secara luas untuk *coating* pada perkakas pemotong. Si_3N_4 memiliki ekspansi termal rendah, konduktivitas termal tinggi, tahan *thermal shock* dan sesuai untuk aplikasi-aplikasi struktur pada temperatur tinggi, seperti komponen-komponen turbin gas dan mesinomotif.



Gambar 9.2 Sudu yang dibuat dari silicon nitride (Si_3N_4)

Sialon terdiri dari *silicon nitride* dengan berbagai tambahan dari *aluminium oxide*, *ytrium oxide* dan *titanium carbide*. Kata *sialon* merupakan singkatan dari *silicon*, *aluminium*, *oxygen* dan *nitrogen*. *Sialon* memiliki kekuatan dan ketahanan *thermal-shock* lebih baik daripada *silicon nitride*. Keramik ini telah digunakan sebagai material perkakas pemotong.

Cermet merupakan kombinasi pengikat keramik dengan fasa logam. Aplikasi cermet sebagai perkakas pemotong yang mengandung 70 % *aluminium oxide* dan 30 % *titanium carbide*. Cermet telah dikembangkan dari berbagai oksida dan telah diaplikasikan pada nosel mesin jet dan pengerem pesawat.

Silica merupakan material *polymorphic* yang memiliki struktur kristal berbeda. Struktur kubik ditemui pada batu bata yang digunakan untuk ruang bakar bertemperatur tinggi. Kebanyakan kaca terdiri dari lebih 50 % silika. Bentuk umum silika adalah *quartz* yang keras dan memiliki kristal hexagonal abrasif.

Silika-silika merupakan produk dari reaksi silika dengan oksida *aluminium, magnesium, calcium, potassium, sodium* dan besi. Sebagai contoh: *clay, asbestos, mica, and silicate glasses*. *Lithium aluminum silicate* memiliki ekspansi dan konduktivitas termal rendah, dan baik ketahanan terhadap *thermal-shock*.

Perekembangan terbaru adalah keramik nanofasa yang terdiri dari kelompok-kelompok atom yang tersusun oleh beberapa ribu atom. Keramik ini bersifat getas pada temperatur lebih rendah dari keramik konvensional dan lebih kuat dan mudah fabrikasi dengan sedikit kerusakan.

Apabila dibandingkan dengan logam, keramik relatif lebih rapuh, lebih kuat dan keras pada temperatur tinggi, modulus elastisitas tinggi, tidak liat, densitas rendah, ekspansi termal rendah, konduktivitas termal dan listrik juga rendah. Komposisi material keramik dan ukuran butir sangat bervariasi sehingga sifat-sifat fisik dan mekanik sangat bervariasi juga, sebagai contoh konduktivitas termal keramik dapat dimodifikasi dari rendah menjadi tinggi (semikonduktor).

Keramik telah diaplikasikan di industri. Beberapa jenis keramik telah digunakan oleh industri elektronik dan elektrik karena resistivitas elektrik yang tinggi, kekuatan elektrik dan sifat magnetik yang sesuai untuk aplikasi semacam magnet untuk speaker. Kemampuan keramik untuk mempertahankan kekuatan dan kekakuannya pada temperatur tinggi menjadikan keramik sangat atraktif digunakan pada aplikasi-aplikasi temperatur tinggi. Kemampuan menahan goresan yang baik juga menjadikan keramik sesuai untuk aplikasi-aplikasi seperti *cylinder liners, bushing, seal, dan bearing*.

Keramik telah terbukti baik untuk digunakan, terutama pada komponen-komponen turbin gas seperti rotor terbuat dari *silicon nitride, silicon carbide, dan PSZ*. Pelapisan logam (coating metal) merupakan aplikasi lain dari keramik yang diharapkan dapat mengurangi goresan, mencegah korosi dan pembawa panas atau penyalur panas. Sebagai contoh lapisan terluar dari pesawat ulang alik yang dibuat dari serat silika.

Keramik juga memiliki densitas rendah, modulus elastik tinggi. Sehingga bobot mesin dapat dikurangi dan disisi lain inersia yang dibangkitkan juga rendah. *Tubocharger* yang dibuat dari keramik lebih ringan 40% daripada menggunakan material konvensional.

9.3.2 Kaca (glasses)

Kaca (glasses) merupakan padatan *amorphous* (amorphous solid) dengan struktur suatu cairan. Dengan kata lain *supercooled*, yaitu didinginkan pada suatu laju yang terlalu cepat untuk membentuk padatan. Secara umum, kaca adalah produk-produk leburan anorganik yang didinginkan menjadi padat tanpa pengkristalisasi.

Kaca tidak titik beku atau lebur yang jelas sama halnya dengan polimer amorphous. Kaca telah diproduksi sekitarr 2000 SM. Silica telah digunakan untuk semua produk kaca hingga 1600 M dan pengembangan pesat terjadi diawal tahun

1900-an. Dan sekarang ada sekitar 750 jenis kaca yang dikomersialkan. Kaca biasanya telah digunakan untuk kaca jendela, botol, dan peralatan masak dengan karakteristik mekanik, elektrik, tempertur tinggi, kimia, korosi dan optik yang khusus. Kaca-kaca khusus telah digunakan untuk serat optik pada komunikasi dengan cahaya dengan sedikit kehilangan sinyal dan serat kaca yang sangat kuat untuk penguatan plastik.

Semua kaca hampir mengandung 50 % silika, yang dikenal juga sebagai pembentuk kaca. Komposisi dan sifat-sifat kaca, kecuali kekuatan dapat dimodifikasi dengan menambahkan *modifier* (pemodifikasi) yaitu oksida aluminium, sodium, calcium, barium, bron, magnesium, titanium, lithium, lead dan potassium. Pada umumnya kaca tahan terhadap reaksi kimia terutama tahan terhadap asam, alkali dan korosi.

Kaca dapat diklasifikasikan mejadi beberapa jenis, yaitu :

1. Kaca soda-lime
2. Kaca lead-alkali
3. Kaca borosilicate
4. Kaca aluminosilicate
5. Kaca silika 99%
6. Silika fused:

Kaca juga dapat diklasifikasikan, yaitu : berwarna, *opaque* (tranparan dan putih), mutibentuk (berbagai bentuk), optik, *photochromatic* (gelap ketika disinari), *photosensitive* (perubahan dari bersih menjadi *opaque*), *fibrous* (ditarik menjadi panjang, seperti serat kaca), dan *foam* atau *kaca cellular* (terdiri dari gelembung-gelembung dan bagus sebagai insulasi).

Sifat-sifat kaca seperti halnya kebanyakan material keramik sangat elatik dan getas. Kaca memiliki konduktivitas termal rendah, resistivitas elektrik tinggi dan kekuatan dielektrik. Koefisien ekspansinya rendah daripada logam dan plastik, dan mungkin mendekati nol. Sifat optiknya seperti refleksi, absorpsi, transmisi, dan refraksi dapat dimodifikasi dengan berbagai komposisi dan perlakuan.

9.3.3 Keramik-Keramik Kaca

Keramik-keramik kaca (glass ceramics) atau dikenal juga dengan merk dagang Pyroceram, memiliki komponen-komponen kristalin tinggi terhadap mikrostrukturnya. Keramik-keramik kaca terdiri dari beberapa oksida dan sifat-sifat merupakan suatu kombinasi gelas dan keramik. Kebanyakan keramik kaca lebih kuat daripada kaca. Pertama produk dibentuk kemudian *devitrification* (rekristalisasi) dengan perlakuan panas. Kekerasan keramik kaca berkisar 520 KH hingga 650 HK dan koefisien ekspansi termal mendekati nol, dan ketahanan *thermal shock* baik. Sifat-sifat keramik kaca dapat ditingkatkan dengan memodifikasi komposisinya dan perlakuan panas. Keramik pertama kali dikembangkan pada 1957, cocok digunakan untuk peralatan masak, alat penukar kalor pada mesin turbin gas, rumahnya antena radar, dan aplikasi-aplikasi elektrik dan elektronik.

9.3.4 Grafit (Graphite)

Grafit (graphite) adalah suatu bentuk kristalin dari karbon yang mempunyai *layered structure* (struktur lapisan). Hasilnya grafit lemah terhadap geseran sepanjang lapisan. Sifat gesekan grafit yang rendah menjadikan grafit sebagai pelumasan padat (solid lubricant). Tetapi gesekan rendah pada lingkungan terbasahkan atau lembab, sedangkan grafit berifat abrasif dan sifat pelumas rendah pada kondisi vakum. Perkembangan terbaru telah menghasilkan molekul-molekul karbon berbentuk *soccer-ballshape* disebut juga *buckyballs* dan dinamakan setelah Buckminster Fuller (1895-1983) menemukan *geodesic dome*. *Fullerenes* merupakan nama lain dari *buckyball*, molekul-molekul bola stabil terhadap senyawa kimia dibuat dari jelaga seperti partikel-partikel pelumas padat. *Fullerenes* juga bisa berubah menjadi superconductor ketika dicampurkan dengan logam-logam.

Meskipun getas, *graphite* memiliki konduktivitas termal dan elektrik yang tinggi, dan tahan terhadap *thermal shock* dan temperatur tinggi. Sifat-sifat tersebut penting untuk material yang digunakan sebagai elektrode, elemen-elemen pemanas, bagian dapur dan pelengkapan temperatur tinggi, material cetakan.

Grafit telah digunakan sebagai serat dalam material komposit dan *reinforced plastic*. Suatu karakteristik grafit adalah tidak reaktif sehingga digunakan sebagai saringan dari fluida korosif.

9.3.5 Intan (Diamond)

Intan (diamond) merupakan bentuk karbon yang memiliki struktur ikatan kovalen dan kekerasannya berkisar 7000 HK sampai 8000 HK. Karakteristik ini menjadikan diamond penting sebagai material perkakas pemotong, baik dalam bentuk kristalin tunggal maupun *polycrystalline*, sebagai material abrasif (roda gerinda) untuk material keras. Intan juga digunakan sebagai *die* untuk operasi tarik membentuk kawat. Intan sintetik atau industri pertama kali dibuat pada tahun 1955 dan telah digunakan secara luas di industri. Intan sintetik identik dengan intan alami dan memiliki sifat yang lebih karena telah dibersihkan pengotor. Intan sintetik memiliki konduktivitas elektrik hingga 50 kali lebih tinggi daripada intan alami, dan 10 kali lebih tahan terhadap bahaya laser.

9.4. Penutup

9.4.1. Bahan Diskusi dan Tugas

1. Jelaskan jenis-jenis keramik ?
2. Jelaskan mengapa grafite lemah terhadap goresan ?
3. Jelaskan teknik meningkatkan sifat mekanis dari kaca ?

9.5. Daftar Pustaka

1. Van Vlack, Ilmu dan Teknologi Bahan, Edisi ke 5, Erlangga, 1989 (Terjemahan)
2. Callister, W.D, Jr 2003. "Material Science and Engineering an Introduction" John Wiley & Sons (Asia) Pte.Ltd., Singapore.
3. Gibson, R.F. 1994."Principles of composite material mechanics". New York : Mc Graw – Hill.
4. Hafli, T., Zulfikar, 2008, "Pengantar Pemilihan Bahan dan Proses", Unimal Press.

9.6. Senarai

1. Keramik juga terdapat dalam bentuk kristal tunggal atau bentuk polycrystalline yang terdiri atas banyak butiran (grain).
2. Intan sintetik memiliki konduktivitas elektrik hingga 50 kali lebih tinggi daripada intan alami, dan 10 kali lebih tahan terhadap bahaya laser.
3. Keramik-keramik kaca terdiri dari beberapa oksida dan sifat-sifat merupakan suatu kombinasi gelas dan keramik.

This page is intentionally left blank

BAB 10

KOMPOSIT

10.1. Deskripsi Singkat

Tujuan dari mempelajari Bahan Teknik adalah untuk dapat mengetahui jenis dan sifat serta penggunaan material teknik, khususnya yang berkaitan dengan teknik mesin. Dalam bab ini akan dipelajari tentang jenis jenis komposit

10.2. Tujuan Instruksional Khusus

Setelah materi ini diajarkan mahasiswa dapat mengetahui jenis komposit secara makro dan mikroskopis.

10.3. Penyajian

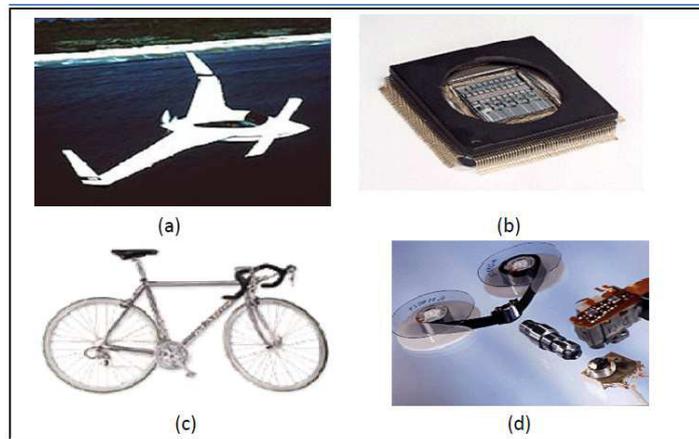
Kajian yang dilakukan Ashby (1987) menunjukkan komposit alam seperti kayu berserat, jerami, telah ditemukan sejak ribuan tahun sebelum masehi. Komposit buatan manusia di mulai dengan pembuatan bata berserat jerami, kertas, namun perkembangan selanjutnya adalah sangat lambat jika dibandingkan dengan bahan struktur lainnya seperti logam, polimer dan keramik.

Memasuki abad ke 20 komposit mulai berkembang dengan penemuan plastik yang diperkuat serat kaca, serat karbon, serat Kevlar R, komposit matriks logam dan komposit keramik. Ashby memperkirakan hingga abad 21, kedudukan komposit masih akan berkembang, menduduki tahap ke dua setelah polimer dalam penggunaan bahan struktur.

10.3.1 Komposit

Komposit telah digunakan secara luas. Gambar 10.1 memperlihatkan beberapa dari aplikasi komposit. Komposit structural dibentuk dari serat gelas yang meyatu dalam matrik resin polimeric telah digunakan pada pesawat kecepatan tinggi (gambar

10.1a). Sepeda gunung (gambar 10.1c) yang menggunakan bahan komposit memiliki keunggulan lebih ringan hingga 16 pounds, namun sifat kekakuan juga terpenuhi. Komposit juga telah digunakan dalam pembuatan paket mikroelektronik (10.1b dan 10.1d).



10.3.2 Perbedaan Komposit Dan Paduan

Dalam ilmu logam, material dasar (base material) dapat tentukan sifat-sifatnya untuk suatu tujuan tertentu dengan mengkombinasikan material logam dasar tersebut dengan material lain, yang dikenal dengan paduan. Demikian juga dengan komposit merupakan hasil kombinasi beberapa material dasar dan lahir berbagai material baru.

Komposit dan paduan memiliki keserupaan yaitu sama-sama terbentuk dari kombinasi dua atau lebih material dasar. Namun, komposit merupakan material kombinasi yang tidak dapat dicapai dengan cara-cara seperti pembuatan paduan. Pada umumnya sifat-sifat yang diinginkan dari suatu komposit adalah sifat mekanik komposit itu. Meskipun secara struktur kelas kristalnya berbeda, namun kombinasi tersebut akan memberikan sifat mekanik yang lain.

Komposit merupakan dua atau lebih bahan yang digabung atau dicampur secara "makroskopik". Kata kunci makroskopik membedakan antara komposit dan paduan yang penggabungan unsur-unsurnya secara "mikroskopik". Banyak bahan yang mempunyai dua atau lebih bahan penyusun tidak dianggap sebagai komposit jika satuan struktur yang terbentuk lebih cenderung pada tingkat mikroskopik daripada tingkat makroskopik. Dengan demikian, paduan-paduan logam dan campuran-campuran polimer biasanya tidak diklasifikasikan sebagai komposit .

Misalnya, pada paduan dikenal perlit yaitu susunan lapisan selang-seling antara α - Fe yang bersifat lunak dengan Fe_3C cementite yang bersifat keras. Kombinasi α - Fe dan Fe_3C akan memberikan sifat mekanik dengan *ductility* dan kekuatan yang sangat tinggi. Hal yang sama juga terjadi pada komposit yang terbuat dari polimer dan serat akan menghasilkan material yang keras dan kuat dibandingkan material dasarnya (polimer).

Struktur beton bertulang merupakan salah satu contoh komposit yang banyak digunakan sebagai penyangga bangunan. Semen berfungsi sebagai matriks dan besi sebagai penguat (tulangan). Keunggulan bahan komposit adalah terbentuknya struktur baru yang merupakan penggabungan sifat-sifat unggul dari masing-masing unsur

pembentuknya. Komposit digunakan karena mempunyai sifat-sifat yang diinginkan yang tidak dapat diperoleh dari bahan-bahan penyusun jika bekerja sendiri-sendiri.

10.3.3 Konsep Dasar

Komposit adalah material multi fasa. Namun kebanyakan komposit tersusun dari dua fasa. Salah satu fasa penyusun komposit disebut dengan “matrik” yang secara kontinu mengisolasi fasa lainnya yang dikenal dengan ”fasa sebaran (penguatan)”. Fasa penguatan atau sebaran dapat dalam bentuk partikel, serat, atau lembaran. Material penguat dan matrik dapat berupa logam, keramik atau polimer. Biasanya, material-material penguatan adalah material-material yang kuat namun ringan. Sedangkan material untuk matrik merupakan material yang memiliki sifat liat atau dapat dibentuk.

Komposit terdiri dari dua atau lebih bahan-bahan yang terpisah, dikombinasikan dalam berbagai komponen logam, polimer dan keramik. Matriks berfungsi sebagai pelindung, penyokong dan pengikat fasa penguat. Komposit dikenal sebagai bahan teknologi dan bukanlah bahan struktur konvensional, melainkan bahan struktur diperoleh sebagai hasil teknologi pemrosesan bahan. Penemuan teknologi bahan komposit memungkinkan penggunaan bahan industri disesuaikan dengan keperluan yang semakin menantang dalam bidang teknik.

Bahan komposit sangat berpotensi karena dapat memberikan gabungan sifat-sifat yang berbeda-beda pada penggunaan yang tidak akan diperoleh melalui penggunaan logam, polimer dan keramik khususnya tentang sifat kekuatan spesifik serta kekakuan spesifik. Sifat-sifat dari komposit sangat tergantung kepada sifat-sifat dari fasa-fasa pembentuknya, jumlah relatif masing-masing fasa, bentuk dari fasa, ukuran fasa dan distribusi ukuran dari fasa-fasa dan sebarannya.

10.3.4 Klasifikasi Komposit

Material komposit dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

10.3.4.1 Komposit Partikel (*Particles Composite*)

Komposit partikel adalah komposit yang diperkuat oleh partikel. Partikel penguat terdiri dari satu atau lebih dan terserak dalam/diikat oleh matriks yang berbeda fasa. Partikel bukan serat dan tidak mempunyai ukuran panjang. Komposit partikel dapat berupa :

1. partikel logam dalam matriks logam,
2. partikel logam dalam matriks bukan logam seperti polimer, dan keramik,
3. partikel polimer dalam matriks polimer atau
4. partikel keramik dalam matriks polimer.

Dari segi ukuran, partikel dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok, yaitu :

1. Kelompok partikel besar (> 1mm)

Interaksi antara matriks-partikel tidak bisa dibicarakan pada tingkat atom atau molekul, tetapi lebih kepada mekanika rangkaian kesatuan. Partikel cenderung memelihara pergerakan rantai molekul fasa matriks. Fasa partikel lebih keras dan lebih kaku daripada fasa matriks. Partikel merubah atau memperbaiki

sifat-sifat bahan. Kekuatan ikatan antarmuka partikel-matriks (menyerupai komposit diperkuat serat) menentukan tingkat penguatan atas sifat mekanik. Contoh : beton (campuran semen dengan kerikil).

2. Kelompok partikel kecil (0,01 ~ 0,1 mm)

Interaksi antara matriks-partikel bisa dibicarakan pada tingkat atom atau molekul. Partikel kecil menahan pergerakan dislokasi sehingga menguatkan komposit. Ukuran partikel kecil (fasa terserak) mencapai 0,01~0,1 μm . Penguatan relatif akan terjadi jika fasa terserak (partikel) tersebar secara merata pada matriks. Komposit partikel kecil lebih kuat dan kaku dibandingkan komposit partikel besar. Untuk penguatan komposit hanya diperlukan partikel dalam jumlah kecil (beberapa persen saja). Komposit partikel dalam bentuk fasa terserak dapat berupa logam, bukan logam dan bahan oksida.

Komposit jenis ini tidak lembut dan proses penuaan seperti pada paduan terjadi penuaan mendadak. Sebagai contoh : kekuatan paduan nikel pada temperatur tinggi dapat ditingkatkan dengan penambahan 3% thorium sebagai partikel yang dikenal sebagai Thorium-serakan nikel (TD). Komposit partikel kecil lebih tahan terhadap aus namun lebih lemah dibandingkan dengan komposit serat. Berbeda halnya dengan komposit matriks keramik. Komposit keramik menyimpang dari keadaan umum komposit, yaitu keramik bahan yang keras dan getas (matriks biasanya bahan lunak dan liat). Dengan mekanisme penguatan tertentu, partikel sebagai fasa terserak dalam matriks keramik berfungsi mencegah perambatan mikroretak yang terjadi. Pada umumnya, komposit matriks logam diperkuat oleh partikel logam.

Hal ini dapat meningkatkan kekuatan logam dan ketahanan terhadap temperatur yang tinggi. Matriks dari logam lunak seperti aluminium, tembaga, perak, magnesium dan titanium terdiri dari partikel logam penguat dari logam keras seperti tungsten, chromium, dan titanium. Kesulitan dalam pembuatan menyebabkan harga masih tinggi untuk komposit logam. Sebagai contoh: dawai filamen Tungsten diperkuat serakan Thorium dan serbuk aluminium tersinter (10% serakan alumina). Kekuatan tarik pada temperatur kamar sebesar 390 MPa dibandingkan aluminium murni yang memiliki kekuatan tarik sebesar 90 Mpa.

Bahan komposit keramik dan logam banyak digunakan untuk pahatpotong kecepatan tinggi (high speed cutting tool), pipa proteksi termokopel serta piranti-piranti lainnya yang memerlukan temperatur tinggi dan tahan aus (abrasi). Komposit ini juga sulit dalam pembuatannya sehingga harganya masih cukup tinggi.

10.3.4.2 Hukum Pencampuran (Rule Of Mixtures)

Hukum pencampuran banyak diaplikasikan pada komposit diperkuat partikel. Bilamana pada alloy terjadi suatu proses ikatan kimia, maka pada komposit hanya terjadi proses ikatan adhesi. Komposit-komposit dengan partikel besar menggunakan ketiga jenis material : metal, polimer dan keramik sebagai matriksnya.

Apabila komposit (C) tersusun dari dua material yaitu **M** sebagai *matriks* dan **P** sebagai *penguat* maka secara teoritis sifat-sifat hasil pencampuran kedua material tersebut memiliki sifat diantara sifat dari masing-masing material yang bercampur.

Modulus elastis E dari komposit berada diantara nilai batas atas dan bawah. Nilai batas atas dan bawah dapat dihitung sebagai berikut :

$$\text{Batas atas} \quad : E_k = E_m \theta_m + E_p \theta_p$$

$$\text{Batas bawah} \quad : E_k = \frac{E_m \cdot E_p}{E_p V_m + E_m V_p}$$

Dimana nilai E adalah modulus Young dan θ adalah fraksi volume.

10.3.4.3. Komposit Serat (Fibers Composite)

Komposit serat merupakan komposit yang diperkuat serat. Fasa penguat berbentuk serat dalam/dan diikat oleh matriks. Diameter serat antara 0,01~10 μm dengan perbandingan panjang dan diameter (L/d) lebih besar dari 103. Berdasarkan ukuran panjang serat, serat dapat dikategorikan menjadi dua kelompok, yaitu : serat panjang atau kontinu dan serat pendek.

Ukuran serat menentukan kemampuan bahan komposit menerima gaya luar. Semakin panjang ukuran serat maka semakin efisien dalam menerima gaya yang searah dengan serat. Semakin panjang serat maka semakin besar kemungkinan menghilangkan retak sepanjang batas pertemuan (antara muka) serat dengan matriks sehingga serat mencegah cacat permukaan. Campuran yang telah dikenal dan paling banyak digunakan dalam bidang teknik, yaitu campuran bahan serat (kuat, keras dan rapuh) dengan matriks (mulur dan lembut).

Efisiensi dalam menerima beban merupakan keunggulan bahan komposit serat. Beban dilimpahkan kepada serat oleh matriks. Di ujung serat, beban tersebut dipindahkan kembali kepada matriks dan selanjutnya akan kembali dialihkan/didistribusikan ke serat yang lain. Namun, sifat mekanik tidak hanya tergantung kepada sifat daripada serat, tetapi juga tergantung pada arah serat terhadap beban dan penyebaran serat (serat pendek) terhadap fasa matriks.

10.3.4.4. Fungsi Serat

Serat berfungsi sebagai unsur penguat kepada matriks. Ikatan antarmuka antara serat dengan matriks sangat menentukan kekuatan Komposit. Biasanya matriks mempunyai kerapatan/densitas, kekakuan dan kekuatan yang jauh lebih rendah dari pada serat. Namun gabungan matriks dengan serat bisa mempunyai kekuatan dan kekakuan yang tinggi, tetapi masih mempunyai kerapatan yang rendah.

Kemajuan di bidang teknologi dewasa ini telah mengarah kepada penggunaan komposit dengan fasa penguat serat. Sebagai contoh keunggulan bahan komposit berbanding bahan/unsur pembentuknya adalah : retak plastik 8,688 Mpa, kaca 0,0276 Mpa. Gabungan keduanya dalam bentuk struktur baru komposit "plastik diperkuat serat kaca" (glass fibre reinforced plastic/GFRP). Menghasilkan kekuatan retak berlipat ganda yaitu 6.895 Mpa. Kekuatan dan sifat menyeluruh dapat ditingkatkan dengan memasukkan fasa terdispersi (terserak) kedalam matriks.

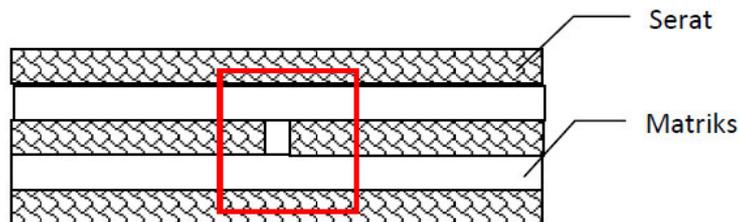
10.3.4.5. Orientasi Serat

Kekuatan dari komposit yang diperkuat serat juga dipengaruhi orientasi serat, fraksi serat, distribusi serat serta jenis seratnya. Orientasi serat dapat dibagi menjadi dua, yaitu : serat paralel dan satu arah dan serat random. Orientasi serat merupakan faktor penentu kekuatan komposit diperkuat serat. Kekuatan tangguh komposit serat adalah kemampuan menahan beban searah orientasi sedangkan kekuatan lemah merupakan kemampuan menahan beban tegak lurus orientasi serat. Kekuatan tangguh merupakan nilai batas atas sedangkan kekuatan lemah merupakan atas bawah.

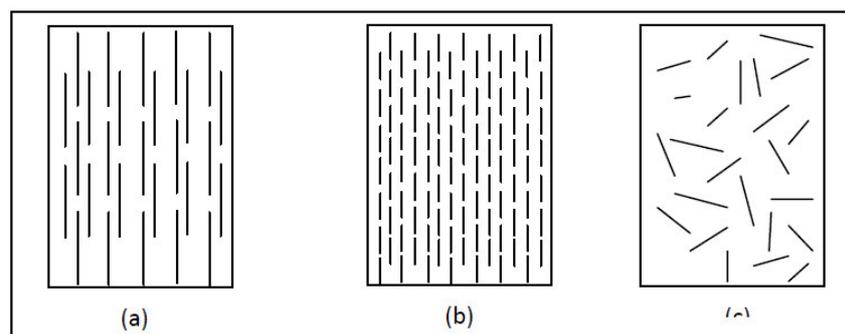
Matriks akan berfungsi sebagai pengikat serat yang menyokong dan melindungi serat (penguat), serta akan mendistribusikan beban yang di alami secara merata di antara serat-serat. Fungsi penting selanjutnya apabila ada serat yang putus, beban serat tersebut akan dipindahkan kembali kepada matriks untuk selanjutnya akan didistribusikan kepada serat-serat yang lain (Gambar 10.2). Sehingga beban tetap terdistribusi secara merata pada struktur komposit.

Fenomena ini telah menjadikan salah satu dari keunggulan bahan Komposit tersebut. Ada beberapa macam model orientasi pada model, yaitu :

1. Kontiniu dan searah ; serat panjang (Gambar 10.3 a),
2. Tidak kontiniu dan searah ; serat pendek (Gambar 10.3 b),
3. Tidak kontiniu dan acak, serat pendek (Gambar 10.3 c) Serat Matriks



Gambar 10.2 Pengaruh serat putus terhadap tegangan matrik dan serat



Gambar 10.3 Orientasi serat dalam matriks

Dari ketiga orientasi serat pada Gambar 10.3, orientasi (a) memberikan kekuatan paling tinggi jika ditarik pada arah panjang serat. Komposit ini mempunyai sifat mekanik yang berbeda pada arah melintang dan tegak (anisotropik). Untuk serat panjang, umumnya tersusun lurus dalam matriks dan dapat diarahkan sesuai arah pembebanan yang diterima. Hal ini menjadikan sangat kuat, namun lemah terhadap pembebanan arah tegak lurus serat. Sebagai contoh : Besi dalam concrete, serat dalam

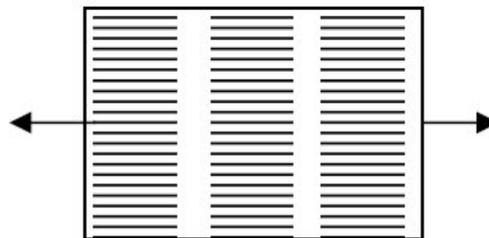
polimer. Untuk serat pendek, serakan lurus beraturan atau dalam keadaan acak/arah tidak beraturan.

10.3.4.6. Komposit serat kontinue dan terarah.

Misalkan stress diberikan pada arah memanjang (longitudinal) dimana ikatan antara serat dan matriks seperti Gambar 10.4. Deformasi pada matriks dan serat adalah sama (ISO-STRAIN) maka dalam hal ini dapat dianggap matriks pada komposit akan memindahkan sebagian tegangan beban kepada fasa sebarannya (fibrousnya) yaitu isostrain yang terjadi.

$$F_k = F_m + F_s$$

Dimana F_k adalah gaya pada komposit, F_m adalah gaya pada matriks dan F_s adalah gaya pada serat.



Gambar 10.4 Gaya pada serat searah

Dengan perkataan lain, beban yang dialami oleh komposit adalah sama dengan jumlah beban yang dialami oleh matriks dan seratnya.

Bila $\tau = F/A$, maka

$$\sigma_k \cdot A_k = \sigma_m \cdot A_m + \sigma_s \cdot A_s ,$$

dimana A = luas penampang masing-masing, atau dapat juga ditulis :

$$\sigma_k = \frac{\sigma_m \cdot A_m + \sigma_s \cdot A_s}{A_k} = \frac{\sigma_m \cdot A_m}{A_k} + \frac{\sigma_s \cdot A_s}{A_k}$$

Maka perbandingan A_m / A_k dan A_s / A_k adalah fraksi luas, masing-masing untuk matriks dan serat. Sehingga dalam hal ini, bila panjang komposit, matriks dan serat adalah sama, maka A_m / A_k tentunya sama dengan fraksi volume dari matriks (δ_m) dan A_s / A_k sama dengan fraksi volume dari serat (δ_s), secara matematis dapat ditulis sebagai berikut :

$$A_m / A_k = (\delta_m) \text{ dan } A_s / A_k = (\delta_s)$$

10.3.5 Kekuatan Komposit Serat

Tujuan utama yang ingin didapat dari komposit ini adalah didapat material yang berkekuatan tinggi, kaku akan tetapi ringan (low density). Sifat mekanik dari material ini tidak tergantung hanya pada sifat-sifat seratnya saja tetapi juga bagaimana matriks pada komposit memindahkan sebagian tegangan beban kepada seratnya (fasa sebarannya). Hal ini sangat ditentukan oleh ikatan antar-muka (interface) antara serat

dan matriksnya. Disini terdapat panjang kritis serat sebagai fungsi kekuatan dan kekakuan efektif.

Panjang kritis serat (IC) tentunya tergantung pada diameter serat (d) dan kekuatan tariknya (σ_f) serta kuat ikatan antara serat dan matriks (τ_c) dalam suatu material komposit, yang dinyatakan dalam suatu persamaan sebagai berikut :

$$l_c = \frac{\sigma_f \cdot d}{\tau_c}$$

Persamaan tersebut berlaku untuk $l \approx 20$ s/d $150 \text{ } \emptyset$. Berdasarkan hal tersebut, serat dengan ukuran panjang $l \gg \gg IC$ (misalnya $1-15 IC$) disebut dengan nama serat kontinue. Sedangkan serat dengan $l < IC$ disebut serat discontinue (serat pendek).

$l \ll \ll IC$ dapat dipandang sebagai partikel yang kompositnya disebut sebagai komposit-partikular. Matriks dengan serat saling bekerjasama di dalam mengatasi gaya-gaya yang bekerja pada komposit. Gaya yang diterima matriks akan diteruskan kepada serat secara merata, jika ada serat yang putus. Gaya pada serat yang putus akan dikembalikan kepada matriks dan selanjutnya didistribusikan kepada serat-serat lain.

Penguat serat sangat efektif bila :

1. l/d yang besar dengan perbandingan lebih besar 103.
2. Serat lebih kuat dan kaku daripada bulk. Rentang diameter 6-10 μm .
3. Penempatan orientasi serat dapat disesuaikan dengan keperluan pada penggunaan.

Kajian Griffith (1920) membuktikan semakin tipis sebuah batang atau serat akan semakin kuat. Kesimpulan Griffith adalah:

1. Diameter yang sangat kecil, kekuatan serat mencapai kekuatan Kohensif teoritis antara lapisan-lapisan batas atom.
2. Diameter besar, kekuatan serat menurun mendekati kekakuan bulk kaca.

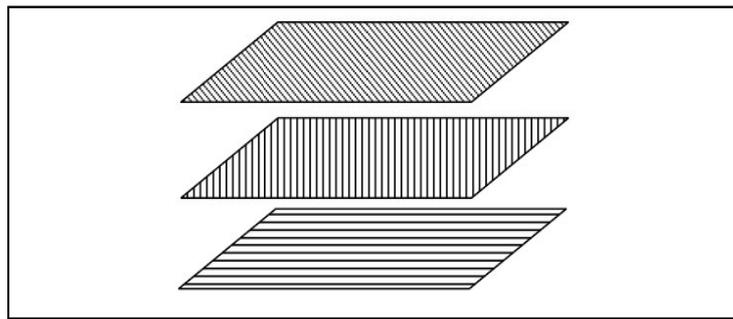
Ada beberapa kerugian penggunaan penguat dalam bentuk serat, diantaranya :

1. Tidak dapat mendukung beban tekan longitudinal.
2. Sifat mekanik transversal tidak begitu baik
3. Tanpa matriks, tidak bisa digunakan sebagai bahan struktur.

10.3.6 Komposit Struktur/Laminat

Komposit laminat merupakan susunan beberapa lamina dimana arah utama bahan ditujukan kepada berbagai arah dalam lamina tersebut. Komposit jenis ini paling kurang disusun dari dua susunan lembaran bahan (lamina) berlainan dan berdekatan (Gambar 10.5). Komposit yang terbentuk dari susunan lamina mendapatkan sifat-sifat unggul masing-masing bahan pembentuk (lamina).

Lamina merupakan susunan rata atau lengkung serat satu arah atau serat terjalin dalam matriks. Laminat dapat terdiri dari beberapa susunan lamina. Arah utama serat dalam lamina dapat diarahkan ke berbagai arah untuk mendapatkan kekuatan komposit pada berbagai arah yang dikehendaki.



Gambar 10.5 Susunan lamina

Komposit struktur laminat terdiri atas susunan fasa penguat dan matriks dalam bentuk lamina. Susunan laminat bisa dalam arah searah dan tegak lurus/dalam arah tidak beraturan. Struktur laminat merupakan penguat dalam bentuk lamina/lapisan diantara matriks. Struktur susunan panel merupakan penguat dalam bentuk panel tersusun diantara matriks (dapat berlapis-lapis). Rasio kekakuan bengkok yang sangat tinggi terhadap serat banyak digunakan dalam struktur aerospace (angkasa luar). Fleksibel dalam disain, memiliki konfigurasi yang menarik. Penguatan tidak hanya pada struktur, tetapi juga bahannya.

10.3.7 Fasa Pembentuk Komposit

Fasa pembentuk komposit merupakan fasa penguat dan fasa matrik (berbeda fasa). Fasa penguat adalah partikel, serat dan laminat. Partikel bahan keras dan rapuh dikelilingi oleh matriks yang lembut dan mulur. Struktur menyerupai logam dan paduan, namun pada komposit, perubahan fasa tidak terjadi untuk mendapatkan partikel. Agar efektif terjadi penguatan, maka diameter partikel antara $0,01 \sim 0,1 \mu\text{m}$ dan disebut juga fasa terserak. Pada kondisi ini dapat meningkatkan kekuatan komposit partikel. Sedangkan untuk diameter $> 0,1 \mu\text{m}$ fasa terserak, ada kemungkinan penurunan kekuatan terjadi pada komposit partikel.

Serat merupakan jenis penguatan yang paling banyak digunakan sebagai penguat dalam konstruksi bahan komposit sebagai bahan struktur. Serat memiliki berbagai kelebihan dibandingkan penguatan partikel, diantaranya lebih kuat, kaku dan kukuh. Agar efektif terjadinya penguatan maka diameter antara $0,01 \sim 10 \mu\text{m}$ dan perbandingan panjang terhadap diameter $> 10^3$. Arah serat harus sesuai terhadap beban. Penguatan serat pada komposit akan semakin besar jika ukuran serat semakin panjang diikat dalam matriks.

Serat terdiri dari serat kaca, karbon, polimer, aramid, boron, Kevlar®, Karbida Silikon, Graphit, serat ash (bambu, jeram). Komposit dasar telah banyak digunakan serat kaca-E, karbon. Komposit maju merupakan komposit yang sering digunakan, seperti Karbon, Polimer Aramid, Kaca-S, Boron, Kevlar Karbida Silikon, Graphit. Secara umum paling banyak digunakan serat kaca-E, karena :

1. Tidak mahal, mudah diperoleh
2. Modulus kekenyalannya lebih tinggi dari matriks polimer
3. Mudah dibuat menjadi serat kekuatan tinggi dalam fasa cair.
4. Komposit matriks polimer diperkuat kaca tahan karat

5. Banyak cara yang bisa dilakukan dalam proses pembuatan komposit plastik diperkuat kaca.

Serat kaca –S mempunyai sifat mekanik yang lebih baik dari kaca-E dan harga sangat mahal. Sehingga jarang digunakan untuk keperluan yang bersifat tidak khusus. Penguat secara prinsip berbentuk laminat yaitu susunan lamina atau dapat juga berbentuk panel susunan berlapis-lapis. Susunan lamina atau panel yang berbeda merupakan gabungan sifat-sifat unggul masing-masing. Lamina dapat disusun dalam berbagai arah untuk memperoleh kekuatan, keringanan, tahan gores, penahan panas, penahan akustik, permukaannya menarik.

Matriks merupakan fasa kedua yang berfungsi untuk melindungi dan mengikat penguat bersama-sama dalam sebuah unit struktur sehingga akan saling menyokong dalam meningkatkan kemampuan atau sifat mekanik komposit. Pada komposit diperkuat serat, matriks berfungsi sebagai pendistribusian transfer beban yang dialami bahan komposit kepada serat. Jika ada serat yang putus, maka matriks akan mengalihkan beban pada serat putus kepada serat lain.

Komponen pengisi dicampur dengan bahan matriks komposit sewaktu proses fabrikasi bahan matriks. Pada umumnya, komponen pengisi dilakukan tidak dengan tujuan untuk meningkatkan sifat mekanik bahan. Tetapi, cenderung untuk merubah karakteristik bahan, dan mengurangi biaya keseluruhan bahan. Seperti partikel kaca untuk mengurangi berat, karbon hitam untuk perlindungan terhadap radiasi sinar ultra violet, tanah liat/mika untuk menurunkan harga dan alumina trihydrate untuk menekan nyala dan asap.

Ada beberapa faktor yang harus diperhatikan :

1. Derajat keserasian yaitu antara komponen pengisi (minor) dengan komponen utama (mayor). Semakin serasi antara keduanya maka akan semakin baik hasilnya (Vaccaro et.al 1997).
2. Kawasan permukaan, distribusi partikel atau serakan yang merata, penyerapan atau reaksi dengan permukaan pengisi dan ukuran serta permukaan partikel.
3. Komposisi, tegangan antaramuka, pemerosesan dan perbandingan kelikatan.

Pada proses penggunaan komponen pengisi umumnya terjadi proses Aglomerasi akibat ketidak serasian kedua komponen yang digabungkan (mayor & minor). Proses Aglomerasi yaitu proses terbentuknya struktur agregat dan aglomerat. Ukuran partikel pengisi yang kecil serta luas permukaan yang kecil menjadikan ikatan hidrogen pada permukaan hidrofilik pengisi. Sehingga bergabungnya beberapa struktur agregat pengisi yang terbentuk yang disebut Aglomerat.

Pada proses Aglomerasi, partikel pengisi (fasa terserak) memiliki diameter 0,01~10 μm adalah skala mikro, sedangkan skala makro untuk partikel mesar besar > 100 μm seperti semen dengan batu kerikil dan skala meso merupakan fasa terserak dengan diameter 10~100 μm .

Zat Penggabung berfungsi untuk meningkatkan derajat ikatan antara muka penguat dengan matriks dan antaramuka komponen utama dengan komponen pengisi pada fasa matriks. Ikatan antar-muka serat dengan matriks umumnya sukar dibentuk. Ada beberapa faktor yang menyebabkan hal ini terjadi, diantaranya:

1. Pembasahan matriks polimer atas permukaan serat kurang baik
2. Terdapatnya lapisan batas antarmuka oleh pengotor (pelumas, antistatik)
3. Adanya difusi lembapan (multilapis air)

Ada beberapa zat penggabung yang penggunaannya dapat meningkatkan kekuatan mekanik dan ketahanan kimia, diantaranya:

1. Silena digunakan sebagai zat penggabung pada komposit berserat gelas.
2. Vinil dan alil digunakan sebagai zat penggabung pada komposit poliester
3. Amino digunakan sebagai zat penggabung pada komposit epoksida.

10.3.8 Perilaku Umum Dan Unsur Komposit

Penggabungan secara Makroskopik akan melahirkan tegangan geser antar permukaan antara fasa-fasa yang digabungkan, utamanya pada komposit yang diperkuat serat. Beban gaya geser dipikul oleh ikatan kimia dan bukan oleh ikatan mekanis. Pada penguatan dengan serat yang tidak kontiniu tegangan geser antar permukaan menjadi faktor penting. Untuk serat putus, tegangan dalam menjadi nol pada titik putus. Beban diteruskan dalam matriks melalui tegangan geser.

Hal yang harus diperhatikan ketika transfer beban menjadi :

1. Ikatan antarmuka fasa penguat dan fasa matriks harus cukup baik untuk mendukung tegangan geser yang terjadi.
2. Peningkatan penguatan efektif bila penguatan kontiniu, atau l/d harus besar (rasio aspek/ perbandingan panjang serat dengan diameter serat) sehingga beban dapat diteruskan melintasi titik perpatahan potensial.
3. Fasa penguat harus memiliki modulus elastisitas (modulus Young) yang lebih tinggi daripada matriks.
4. Regangan yang terjadi pada kedua matriks dan penguat harus sama.

10.4. Penutup

10.4.1. Bahan Diskusi dan Tugas

1. Jelaskan apa yang dimaksud dengan komposit ?
2. Jelaskan fungsi matrik pada komposit
3. Jelaskan apa yang dimaksud dengan komposit partikel?

10.5. Daftar Pustaka

4. Van Vlack, Ilmu dan Teknologi Bahan, Edisi ke 5, Erlangga, 1989 (Terjemahan)
5. Callister, W.D, Jr 2003. "Material Science and Engginering an Introduction" John Wiley & Sons (Asia) Pte.Ltd,. Singapore.
6. Gibson, R.F. 1994."Principles of composite material mechanics". New York : Mc Graw – Hill.

7. Hafli,T,. Zulfikar,.2008, “Pengantar Pemilihan Bahan dan Proses”, Unimal Press.

10.6. Senarai

1. material dasar (base material) dapat tentukan sifat-sifatnya untuk suatu tujuan tertentu dengan mengkombinasikan material logam dasar tersebut dengan material lain, yang dikenal dengan paduan.
2. Matriks merupakan fasa kedua yang berfungsi untuk melindungi dan mengikat penguat bersama-sama dalam sebuah unit struktur sehingga akan saling menyokong dalam meningkatkan kemampuan atau sifat mekanik komposit.
3. Lamina merupakan susunan rata atau lengkung serat satu arah atau serat terjalin dalam matriks. Laminat dapat terdiri dari beberapa susunan lamina. Arah utama serat dalam lamina dapat diarahkan ke berbagai arah untuk mendapatkan kekuatan komposit pada berbagai arah yang dikehendaki



universitas
MALIKUSSALEH

Tujuan dari mempelajari Bahan Teknik adalah untuk dapat mengetahui jenis dan sifat serta penggunaan material teknik, khususnya yang berkaitan dengan teknik mesin. Dalam bab ini akan dimulai dari sejarah penggunaan material dan klasifikasi umum dari material yang terdapat di alam maupun material rekayasa.

Setelah materi ini diajarkan mahasiswa dapat menjelaskan tentang sejarah perkembangan material dan mengetahui klasifikasi material.

Bahan / material merupakan kebutuhan bagi manusia mulai zaman dahulu sampai sekarang. Kehidupan manusia selalu berhubungan dengan kebutuhan bahan seperti pada transportasi, rumah, pakaian, komunikasi, rekreasi, produk makanan dll.

Perkembangan peradaban manusia juga bisa diukur dari kemampuannya memproduksi dan mengolah bahan untuk memenuhi kebutuhan hidupnya. (jaman batu, perunggu dsb). Pada tahap awal manusia hanya mampu mengolah bahan apa adanya seperti yang tersedia di alam misalnya : batu, kayu, kulit, tanah dsb. Dengan perkembangan peradaban manusia bahan - bahan alam tsb bisa diolah sehingga bisa menghasilkan kualitas bahan yang lebih tinggi.

Pada 50 tahun terakhir para saintis menemukan hubungan sifat – sifat bahan dengan elemen struktur bahan. Sehingga bisa diciptakan puluhan ribu jenis bahan yang mempunyai sifat - sifat yang berbeda.

**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MALIKUSSALEH**