

MEKANIKA TEKNIK



Penulis :

Yulianti Malik

Priangga Pratama Putra Haryanto

Diah Sarasanty

Masy'ari

Riyani Prima Dewi

Jan Setiawan

Mustofa

Habibi Santoso

MEKANIKA TEKNIK

Yulianti Malik
Priangga Pratama Putra Haryanto
Diah Sarasanty
Masy'ari
Riyani Prima Dewi
Jan Setiawan
Mustofa
Habibi Santoso



PT GLOBAL EKSEKUTIF TEKNOLOGI

MEKANIKA TEKNIK

Penulis :

Yulianti Malik
Priangga Pratama Putra Haryanto
Diah Sarasanty
Masy'ari
Riyani Prima Dewi
Jan Setiawan
Mustofa
Habibi Santoso

ISBN : 978-623-198-087-8

Editor : Ari Yanto, M.Pd

Penyunting : Tri Putri Wahyuni, S.Pd

Desain Sampul dan Tata Letak : Atyka Trianisa, S.Pd

Penerbit : PT GLOBAL EKSEKUTIF TEKNOLOGI

Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022

Redaksi :

Jl. Pasir Sebelah No. 30 RT 002 RW 001
Kelurahan Pasie Nan Tigo Kecamatan Koto Tengah
Padang Sumatera Barat
Website : www.globaleksekutifteknologi.co.id
Email : globaleksekutifteknologi@gmail.com

Cetakan pertama, 16 Februari 2023

Hak cipta dilindungi undang-undang
Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan
dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT dalam segala kesempatan. Sholawat beriring salam dan doa kita sampaikan kepada Nabi Muhammad SAW. Alhamdulillah atas Rahmat dan Karunia-Nya penulis telah menyelesaikan Buku Mekanika Teknik ini.

Buku ini membahas Klasifikasi bahan teknik, Sifat-sifat bahan teknik, Macam besi tuang dan karakteristiknya, Klasifikasi aluminium dan paduannya, Karakteristik tembaga dan magnesium serta aplikasinya di industry, Nickel, titanium, dan macam-macam logam non ferro lainnya serta karakteristiknya, Bahan keramik-komposit, karakteristiknya serta aplikasinya di industry, Fenomena korosi dan pencegahannya.

Proses penulisan buku ini berhasil diselesaikan atas kerjasama tim penulis. Demi kualitas yang lebih baik dan kepuasan para pembaca, saran dan masukan yang membangun dari pembaca sangat kami harapkan.

Penulis ucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung dalam penyelesaian buku ini. Terutama pihak yang telah membantu terbitnya buku ini dan telah mempercayakan mendorong, dan menginisiasi terbitnya buku ini. Semoga buku ini dapat bermanfaat bagi masyarakat Indonesia.

Padang, 16 Februari 2023

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TBEL.....	vii
BAB 1 KLASIFIKASI MATERIAL	1
1.1 Pendahuluan.....	1
1.2 Kelompok Material Teknik.....	3
1.2.1 Material/Bahan Logam	7
1.2.2 Material/ Bahan Non Logam.....	10
DAFTAR PUSTAKA.....	13
BAB 2 SIFAT-SIFAT BAHAN TEKNIK.....	15
2.1 Pendahuluan.....	15
2.2 Sifat Mekanis.....	17
2.3 Sifat Fisik.....	30
2.4 Sifat Kemis	31
2.5 Sifat Teknologis.....	31
DAFTAR PUSTAKA.....	32
BAB 3 MACAM BESI TUANG (CAST IRON) DAN KARAKTERISTIKNYA.....	33
3.1 Pendahuluan.....	33
3.2 Komposisi Berbagai Jenis Besi Cor	36
3.3 <i>Grey Cast Iron</i>	37
3.4 <i>Malleable Cast Iron</i>	40
3.5 <i>Mottled Iron</i>	45
3.6 <i>Toughened Cast Iron</i>	45
3.7 <i>White Cast Iron</i>	45
3.8 <i>Ductile Cast Iron</i>	46
3.9 <i>Chilled Cast Iron</i>	48
DAFTAR PUSTAKA.....	49
BAB 4 KLASIFIKASI ALUMINIUM DAN PADUANNYA.....	51
4.1 Aluminium	51

4.2 Paduan Aluminium	51
4.3 Paduan Aluminium Al-Mg-Si.....	61
4.4 Mekanisme Peningkatan Sifat Paduan Aluminium.....	62
DAFTAR PUSTAKA.....	68
BAB 5 KARAKTERISTIK TEMBAGA DAN MAGNESIUM SERTA APLIKASINYA DI INDUSTRI.....	69
5.1 Pendahuluan.....	69
5.2 Sifat Fisik Tembaga.....	70
5.2.1 Konduktivitas Listrik dan Panas Tembaga serta Implementasinya di Industri.....	72
5.2.2 Sifat Kimia Tembaga dan Pemanfaatannya di Industri	75
5.2.3 Sifat Mekanik Tembaga dan Pemanfaatannya di Industri	78
5.2.3 Sifat Antimicrobial Tembaga dan Pemanfaatannya di Dunia Medis	80
5.3 Sifat Fisik Magnesium.....	82
5.4 Manfaat Magnesium.....	84
DAFTAR PUSTAKA.....	87
BAB 6 NIKEL, TITANIUM DAN LOGAM NON-FERROUS LAINNYA SERTA KARAKTERISTIKNYA	91
6.1 Nikel.....	91
6.1.1 Karakteristik Nikel.....	92
6.1.2 Aplikasi Nikel	93
6.2 Titanium	95
6.2.1 Karakteristik Titanium	95
6.2.2 Aplikasi Titanium	97
6.3 Tembaga.....	98
6.3.1 Karakteristik Tembaga.....	99
6.3.2 Aplikasi Tembaga	100
6.4 Seng, Timbal, Logam Mulia dan Logam Tanah Jarang.....	102
6.4.1 Seng dan Karakteristiknya	102
6.4.2 Timbal dan Karakteristiknya.....	102

6.4.3 Logam Mulia	103
6.4.4 Logam Tanah Jarang	105
DAFTAR PUSTAKA.....	108
BAB 7 BAHAN KERAMIK-KOMPOSIT:	
KARAKTERISTIK DAN APLIKASINYA DI INDUSTRI	111
7.1 Pendahuluan.....	111
7.2 Konsep Dasar	112
7.2.1 Definisi Keramik.....	112
7.2.2 Definisi Komposit	113
7.3 Klasifikasi Bahan Keramik-Komposit	114
7.3.1 Klasifikasi Keramik.....	114
7.3.2 Klasifikasi Komposit	115
7.4 Sifat dan Karakteristik	117
7.4.1 Sifat dan Karakteristik Keramik.....	117
7.4.2 Sifat dan Karakteristik Komposit	123
7.5 Aplikasi Keramik-Komposit di Industri.....	126
7.5.1 Aplikasi Keramik.....	126
7.5.2 Aplikasi Komposit	127
DAFTAR PUSTAKA.....	129
BAB 8 FENOMENA KOROSI DAN PENCEGAHANNYA	133
8.1 Pendahuluan.....	133
8.2 Jenis - jenis Korosi	135
8.3 Faktor-faktor yang Berpengaruh pada Korosi.....	137
8.4 Dampak korosi	138
8.5 Faktor penyebab korosi	140
8.6 Pengendalian korosi.....	140
DAFTAR PUSTAKA.....	146
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 : Evolusi Material Teknik.....	3
Gambar 1.2 : Spektrum Pengetahuan Material	5
Gambar 1.3 : Diagram Material Teknik.....	6
Gambar 2.1 : Tipe Pembebanan Pada Bahan	18
Gambar 2.2 : Spesimen Uji Tarik.....	18
Gambar 2.3 : Menghitung Modulus Elastisitas Yang Perubahannya Tidak Linier	21
Gambar 2.4 : Hubungan gaya dengan jarak atom.....	22
Gambar 2.5 : Batang Yang Mengalami Tarikan	23
Gambar 2.6 : Kurva regangan – tegangan.....	24
Gambar 2.7 : Tegangan Tarik Maksimum.....	25
Gambar 2.8 : Kurva Regangan – Tegangan Untuk Material Ulet Dan Rapuh.....	26
Gambar 2.9 : Modulus Rsilience.....	27
Gambar 3.1 : Fase pendinginan besi dan karbon	34
Gambar 4.1 : Diagram <i>phase</i> Al-Si.....	57
Gambar 4.2 : Ilustrasi penghalusan butir aluminum	59
Gambar 4.3 : Struktur eutektik paduan Al-Si.....	60
Gambar 4.4 : Hipotesis diagram <i>phase</i> untuk paduan pengeras endapan dari komposisi C_0	65
Gambar 4.5 : Skema siklus pemanasan selama <i>precipitation hardening</i>	66
Gambar 5.1 : Tabel Periodik Unsur	70
Gambar 5.2 : konduktivitas listrik dengan pekerjaan dingin tembaga dan paduan tembaga.....	73
Gambar 5.3 : Hubungan antara konduktivitas termal dan listrik pada 20°C.....	75
Gambar 5.4 : Warna-waran paduan tembaga.....	76
Gambar 5.5 : Ilustrasi (a) Kurva rolling dingin dan (b) Kurva pengerolan dingin tembaga dan paduan tembaga.....	79

Gambar 7.1 : Tipe Fase Penguat Kontinyu: (a) Searah, (b) Selang-seling, dan (c) Menyilang.....	116
Gambar 7.2 : Tipe Fase Penguat Diskontinyu : (a) Potongan-potongan dan (b) Bentuk Tikar	117
Gambar 7.3 : Perilaku Tegangan-Regangan Aluminium Oksida dan Kaca.....	119
Gambar 7.4 : Konduktivitas Listrik Beberapa Jenis Bahan	122
Gambar 8.1 : Logam Korosi.....	133
Gambar 8.2 : Korosi Logam karena kontak dengan air	134
Gambar 8.3 : Korosi pada sambungan pipa air	139
Gambar 8.4 : Korosi pada konstruksi.....	139
Gambar 8.5 : Sistem proteksi katodik.....	143

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 : Representasi, aplikasi, dan sifat untuk setiap kategori material.....	7
Tabel 3.1 : Komposisi Bahan Kimiawi dari Berbagai Jenis Besi Tuang.....	36
Tabel 3.2 : Karakteristik <i>Grey Cast Iron</i>	37
Tabel 3.3 : Karakteristik Jenis-Jenis <i>Malleable Cast Iron</i>	43
Tabel 3.4 : Karakteristik <i>Malleable Cast Iron</i>	43
Tabel 3.5 : Karakteristik Tensile, Elongation, dan Kekerasan <i>Grade Malleable Cast Iron</i>	44
Tabel 3.6 : Karakteristik <i>White Cast Iron</i>	46
Tabel 3.7 : Karakteristik <i>Ductile Cast Iron</i>	47
Tabel 4.1 : Karakteristik dari aluminium pada 298.15 K.....	52
Tabel 4.2 : Standar penomoran paduan aluminium tempa	53
Tabel 4.3 : Standar penomoran paduan aluminium cor	54
Tabel 4.4 : Standarisasi penomoran kekerasan paduan aluminium.....	55
Tabel 4.5 : Kadar kandungan silikon dalam paduan aluminium cor	58
Tabel 4.6 : Rekomendasi proses <i>heat treatment</i> khusus untuk paduan aluminium A356.0	63
Tabel 4.7 : Sifat mekanik khusus untuk paduan aluminium A356.0.....	63
Tabel 5.1 : Sifat Fisik Umum Tembaga	71
Tabel 5.2 : Sifat Fisik Umum Magnesium	84
Tabel 6.1 : Bentuk bijih mineral nikel	91
Tabel 6.2 : Paduan non-ferrous mengandung nikel.....	94
Tabel 6.3 : Paduan titanium berdasarkan strukturnya	96
Tabel 6.4 : Paduan titanium dan aplikasinya	98
Tabel 6.5 : Kandungan mineral tembaga	99

Tabel 6.6 : Elemen logam tanah jarang	105
Tabel 7.1 : Klasifikasi Keramik Berdasarkan Fungsinya	116
Tabel 7.2 : Kekerasan Beberapa Tipe Keramik	120
Tabel 7.3 : Sifat Mekanik Beberapa Jenis Keramik	120
Tabel 7.4 : Konduktivitas Termal dan Koefisien Ekspansi Termal Beberapa Jenis Keramik	122

BAB 1

KLASIFIKASI MATERIAL

Oleh Yulianti Malik

1.1 Pendahuluan

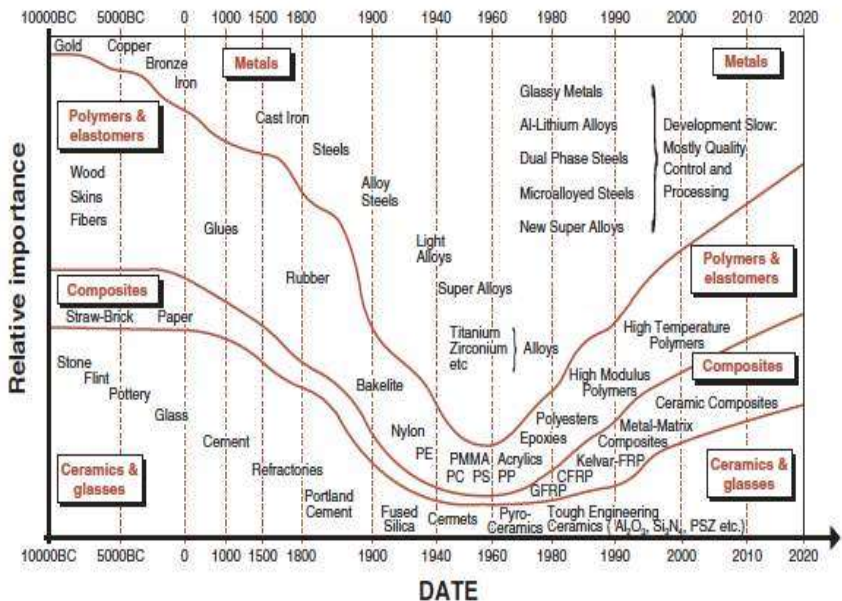
Material atau bahan merupakan salah satu bagian dalam kehidupan manusia yang tidak dapat dipisahkan serta menjadi sejarah dalam perkembangan peradaban manusia. Hal ini karena dalam aktivitas untuk menunjang kehidupannya manusia senantiasa membutuhkan material. Perkembangan material dari zaman dahulu telah melewati berbagai periode yang dikenal dengan Zaman Batu, Zaman Perunggu dan Zaman Besi. Pada masa kini perkembangan material ditandai dengan maraknya pemanfaatannya melalui teknologi-teknologi mutakhir untuk menghasilkan material baru yang memiliki kinerja tertentu. (Vlack, 2001)

Manusia memanfaatkan material dalam kehidupannya untuk dapat menghasilkan sesuatu yang dapat difungsikan sehingga dapat membantu berbagai macam aktivitasnya seperti menebang kayu, membajak sawah, memasak, dll. Beberapa jenis material telah lama dikenal oleh manusia sejak lama, sesuai dengan perkembangan zamannya. Material logam mulai dikenal dan digunakan oleh manusia sejak 3000 SM. Beberapa jenis logam telah dimanfaatkan oleh manusia untuk berbagai macam alat/ perkakas yang dapat membantu dan memudahkan aktivitas manusia, seperti tembaga yang telah dipergunakan sejak 3200-2300 SM, oleh karenanya disebut Zaman Tembaga. Perunggu pada kisaran waktu 2300-700 SM dan zaman ini disebut sebagai Zaman Perunggu. Selanjutnya penggunaan logam semakin lebih meluas ke berbagai aspek kehidupan manusia terutama setelah

ditemukannya besi sebagai materi logam yang lebih kuat daripada tembaga dan perunggu, zaman ini kemudian disebut sebagai Zaman Besi dan dimulai pada kisaran tahun 700-1 SM. Zaman sekarang ini telah terdapat banyak jenis material logam yang dikembangkan dengan cara memadukan berbagai jenis logam berbeda. (Anonim, 2011)

Peranan material dalam menunjang kehidupan manusia yang telah melewati berbagai zaman, tentu juga mengalami penyesuaian atau berevolusi. Perkembangan material menyesuaikan dengan kebutuhan manusia dan kemampuan berpikir manusia di setiap zaman. Evolusi material mulai dari zaman batu, zaman perunggu, maupun zaman besi pun berkembang berdasarkan kemampuan dan pemikiran manusia di era tersebut. Saat ini dengan kemajuan peradaban yang berkembang pesat, kita mengenal berbagai jenis barang yang dihasilkan melalui penemuan-penemuan material baru maupun rekayasa material seperti jam tangan dari titanium, raket tenis berlapis serat karbon, sepeda gunung komposit matrix logam, helm kecelakaan poliether-etil-keton.

Evolusi material seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.1. dimulai dari Bahan pra-sejarah (<10.000 SM, Zaman Batu), dimana bahan yang dianggap penting adalah keramik, gelas, polimer alami, dan komposit. Senjata yang selalu menjadi puncak teknologi, terbuat dari kayu dan batu api. Bangunan dan jembatan tersusun dari batu dan kayu. Kemudian berkembang dengan pengembangan termo-kimia dasar yang memungkinkan ekstraksi tembaga dan perunggu (Zaman Perunggu, 4000-1000 SM), hingga ditemukannya besi dan dikenal sebagai Zaman Besi, (1000 SM-1620 M). Sejak tahun 1960 perubahan pada tingkat pengembangan logam baru paduan mulai melambat, sedangkan polimer dan komposit di industri mengalami perkembangan yang sangat pesat. Demikian juga untuk penggunaan keramik sebagai material yang terus berkembang. (Klaten, 2021)



Gambar 1.1 : Evolusi Material Teknik
(Sumber : (Klaten, 2021))

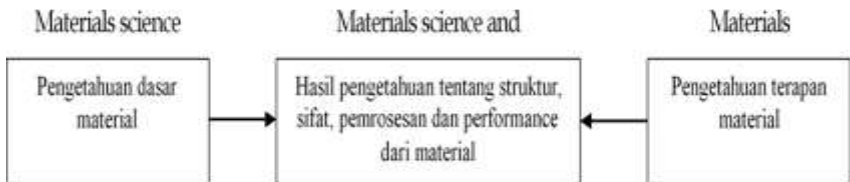
1.2 Kelompok Material Teknik

Pada perkembangan teknologi dewasa ini, khususnya pada bidang teknik, keperluan bahan yang terbuat dari logam dan paduannya terutama logam *ferrous* memegang peranan sangat penting, akan tetapi bahan-bahan lainya juga tidak bisa diabaikan. Perkembangan bahan *ferrous* telah mencapai kemajuan yang sangat pesat, dengan terlihat banyaknya besi atau baja yang telah diproduksi dan dengan kualitas yang semakin tinggi. Tetapi perkembangan teknologi juga menuntut pula penggunaan berbagai jenis logam non *ferrous* seperti tembaga, aluminium, seng nikel dan lainnya. Penggunaan bahan dalam perkembangan teknologi maju misalnya memerlukan sifat kekuatan yang tinggi seperti tambahan serat grafit, serat glass dan beberapa serat logam lainya. Bahan-

bahan non logam sering kali juga digunakan karena bahan-bahan tersebut mempunyai cirri-ciri khas yang tidak dimiliki oleh bahan logam. Juga perkembangan teknologi menuntut adanya pengantian logam dengan bahan lain seperti plastik, yang sudah banyak digunakan dalam kontruksi. Selain itu, bahan dari keramik juga sering digunakan mulai dari berbagai abrasive, pahat potong, batu tahan api, dan sebagainya. Adanya penemuan beberapa serat maka dapat mendorong timbulnya berbagai macam bahan-bahan komposit, erupkan kombinasi dari dua atau lebih bahan-bahan dengan sifat yang berbeda dan menghasilkan bahan yang memiliki sifat lebih baik dari sifat bahan indunya. Komposit bisa didapat dari kombinasi dari logam dengan keramik, logam dengan plastik, keramik dengan plastik dan lainnya. Bahan-bahan yang memiliki sifat atau ciri-ciri khas yang dapat dimanfaatkan oleh para ahli teknik dalam memperlancar melaksanakan tugas dan rekayasa keteknikannya biasa juga disebut sebagai bahan teknik. (Dr.Ir. I KT Suarsana, 2017)

Material adalah sesuatu yang disusun atau dibuat oleh bahan yang dapat digunakan mulai dari transportasi hingga makanan, Ilmu material/bahan merupakan pengetahuan dasar tentang struktur, sifat-sifat dan pengolahan bahan. Material dapat didefinisikan sebagai substansi yang dibuat atau diramu. Dalam ilmu pengetahuan material, material ada yang disebut *materials science* dan *materials engineering*. *Materials science* menitikberatkan kepada pengetahuan dasar tentang struktur internal, sifat dan pemrosesan material, sedangkan *materials engineering* menitikberatkan pada masalah penggunaan dari prinsip dan pengetahuan terapan tentang material sehingga material dapat diubah menjadi produk yang dibutuhkan oleh manusia. Penggunaan kombinasi pengetahuan material, yaitu *materials science* dan *materials engineering* memungkinkan untuk mengubah material menjadi produk yang dibutuhkan oleh

manusia. Hubungannya kombinasi pengetahuan tersebut dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 1.2 : Spektrum Pengetahuan Material

(Sumber : (Darma Firmansyah U, 2015))

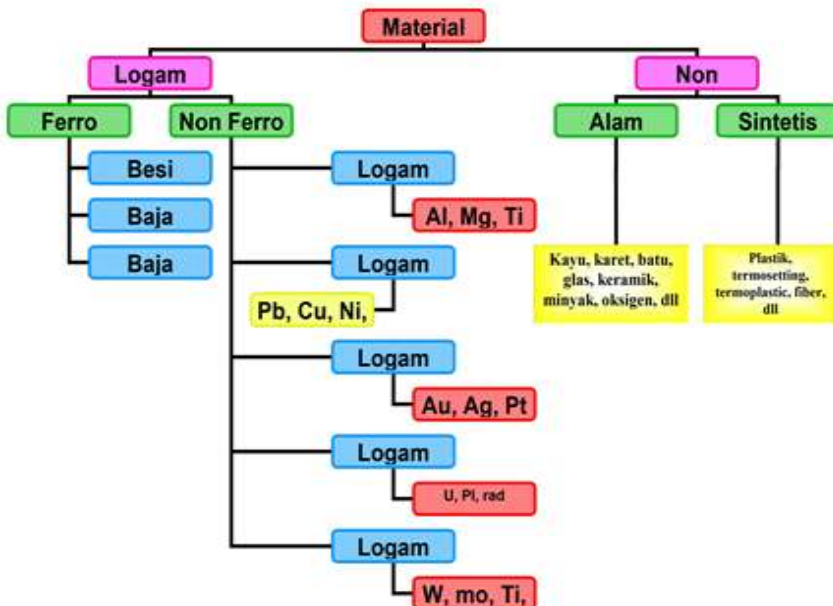
Material teknik dapat digolongkan dalam kelompok logam dan bukan logam. Selain dua kelompok tersebut ada kelompok lain yang dikenal dengan nama metaloid (menyerupai logam) yang sebenarnya termasuk bahan bukan logam. Logam dapat digolongkan pula dalam kelompok logam ferro yaitu logam yang mengandung unsur besi, dan logam non ferro yaitu logam yang tidak mengandung unsur besi. (Siswanto, 2016)

Material juga dapat didefinisikan sebagai sesuatu yang ada di mana saja, kapan saja, dan dalam keadaan apa saja. Secara umum *materials engineering* atau material teknik dapat diklasifikasikan kedalam 3 golongan utama, yaitu:

- a. Metal/logam (*metallic*)
- b. Keramik (*ceramic*)
- c. Polimer/plastik (*polymeric/plastic*)

Ketiga kelompok tersebut dibedakan dalam hal yaitu sifat fisik, sifat mekanik dan sifat elektriknya. Selain ketiga material tersebut juga terdapat material komposit (*composite materials*) yang merupakan gabungan dari dua bahan atau lebih pada skala makro yang masing-masing sifat bahan pembentuk tetap dan material elektronik (*electronic materials*) merupakan material

husus untuk komponen listrik saat ini menjadi salah satu material yang penting dalam bidang keteknikan. (W.D. Callister, 2018). Disisi lain, ada juga yang mengelompokkan jenis material selain logam, keramik dan polimer, maupun material komposit dan elektronik juga terdapat jenis material lainnya seperti semikonduktor, dan biomaterial (Sofyan, 2021). Selengkapnya klasifikasi material dapat digambarkan seperti pada diagram berikut:



Gambar 1.3 : Diagram Material Teknik
(Sumber: (Siswanto, 2016))

Selain dibuat atau dihasilkan dalam parannya material juga harus dapat dimanfaatkan atau diaplikasikan. Dalam pengaplikasiannya material khususnya di bidang teknik, material harus disesuaikan dengan sifat-sifat yang dimiliki oleh material. Beberapa aplikasi material berdasarkan jenis dan sifatnya dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 1.2 : Representasi, aplikasi, dan sifat untuk setiap kategori material

Material	Contoh Aplikasi	Sifat
Logam dan Paduannya Besi cor kelabu	Blok mesin mobil	Castable, machinable, vibration damping
Ceramics and Glasses $\text{SiO}_2\text{-Na}_2\text{O-CaO}$	Kaca jendela	Optically transparent, thermally insulating
Polymers Polyethylene	Kemasan makanan	Mudah dibentuk menjadi tipis, fleksibel, airtight film
Semiconductors Silicon	Transistors dan integrated circuits (IC)	Sifat listrik yang unik
Composites Tungsten carbide - cobalt (WC-Co)	Carbide cutting tools for machining	High hardness, yet good shock resistance

Sumber: (W.D. Callister, 2018)

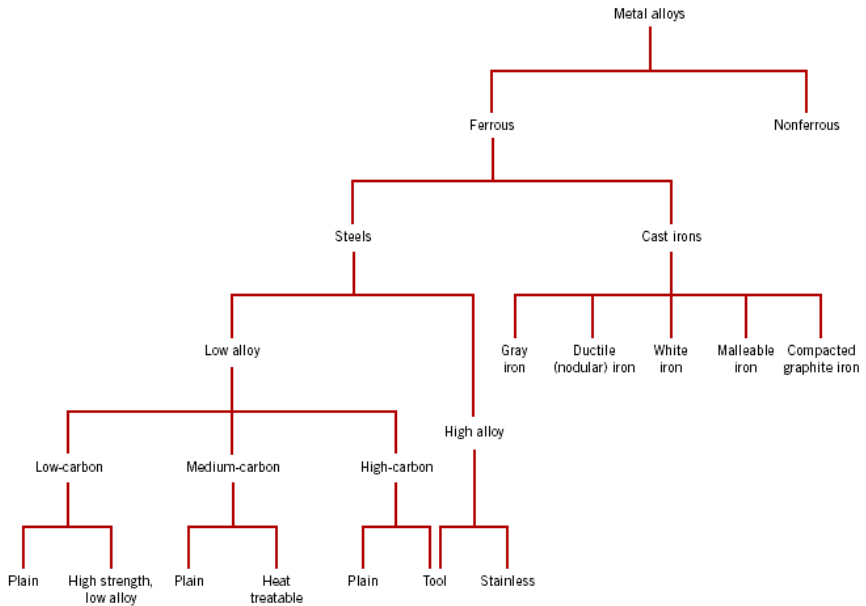
1.2.1 Material/Bahan Logam

Material logam tersusun dari atom-atom logam yang merupakan unsur terbanyak di dalam tabel periodik. Pada bahan logam atom-atomnya saling berikatan dalam bentuk ikatan logam, di mana elektron valensinya bebas bergerak sehingga material ini memiliki konduktivitas listrik dan termal yang baik, serta tidak

tembus cahaya. Logam memiliki kekuatan yang cukup tinggi, namun cukup ulet (dapat dideformasi/diubah bentuk). Contoh logam adalah besi, baja, aluminium, tembaga, emas, perak, dan lain-lain. (Sofyan, 2021).

Material logam memiliki konduktor panas dan listrik yang sangat baik. Selain itu, material ini juga memiliki sifat-sifat mekanis yang unggul dibandingkan dengan jenis material yang lain. Ada beragam jenis material logam yang ada saat ini, seperti yang terlihat di tabel periodik unsur, material logam menempati mulai dari golongan IA dan IIA serta golongan B (logam transisi). Dari sekian banyak jenis logam, ada beberapa logam yang mendapatkan porsi besar di dalam aplikasi-aplikasi dunia rekayasa (*engineering*). Logam-logam tersebut diklasifikasikan ke dalam istilah ferrous dan nonferrous. (Anonim, 2011)

Logam merupakan bahan yang disusun oleh banyaknya kristal-kristal (polikristalin) dengan berbagai ukuran ($10^{-1} - 10^{-4}$ cm). Logam murni memiliki kekuatan yang rendah sehingga jarang digunakan dalam bidang teknik. Agar dapat digunakan maka logam murni perlu dipadukan dengan logam lain yang disebut dengan logam paduan (alloy). Oleh karena itu, bahan yang disebut bahan logam dalam bidang teknik umumnya berupa bahan paduan (Agung Kristanto, 2010). Klasifikasi material logam dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 1.4 : Skema Pembagian Bahan Logam Paduan
(Sumber: (Agung Kristanto, 2010))

Logam dan paduannya secara umum dibagi atas dua kelompok, yaitu :

- Logam besi (*ferro*) dan paduannya, dimana mengandung kebanyakan unsur besi. Contoh baja dan besi cor. Logam besi terbagi menjadi dua kelompok, besi dan baja. Besi dan baja dibedakan pada kandungan karbonnya, besi mengandung karbon lebih besar dari 2 % ; baja mengandung karbon lebih kecil dari 2 %.
- Logam bukan besi (*non ferro*), dimana tidak mengandung unsur besi atau mengandung unsur besi, namun sedikit. Contoh aluminium, tembaga, seng, titanium dan nikel. Logam bukan besi terbagi menjadi dua kelompok, logam berat dan logam ringan. Keduanya dibedakan pada berat jenisnya, logam

berat mempunyai berat jenis lebih besar dari $4,5 \text{ gr/cm}^3$; logam ringan mempunyai berat jenis hingga $4,5 \text{ gr/cm}^3$. (Darma Firmansyah U, 2015)

1.2.2 Material/ Bahan Non Logam

Selain bahan logam, dalam bidang teknik juga membutuhkan bahan lain yaitu bahan non logam. Material non logam selain digunakan sebagai bahan pengganti logam untuk beberapa keperluan juga sangat dibutuhkan sebagai bahan utama sesuai dengan kemampuan yang dimiliki dan sifat-sifatnya yang khas untuk berbagai keperluan. Bahan non logam untuk teknik diklasifikasikan menjadi 2 kelompok yaitu:

- a) Bahan alam (*natural material*)
- b) Bahan tiruan (*cyntetic materual*)

Bahan alam merupakan bahan baku prorduk yang diperoleh dan digunakan secara langsung dari bahan alam, oleh karena itu produk akhir yang menggunakan bahan baku ini akan memiliki sifat yang sama dengan bahan asalnya, yang termasuk dalam kelompok ini antara lain oksigen, nitogen, senyawa karbon, senyawa fosforus, kayu, batu, karet, keramik, kulit, dan lain-lain. (Siswanto, 2016)

Keramik dan karet sering dijumpai pengaplikasiannya dalam bidang teknik. Keramik adalah material non organik dan non logam yang merupakan campuran antara elemen logam dan non logam yang tersusun oleh ikatan-ikatan ion. Bahan mentah keramik yang banyak dikenal orang adalah tanah liat. Kelas keramik yang lain adalah keramik tahan api (*refractory ceramic*). Keramik tahan api ini mampu tahan pada temperatur tinggi tanpa meleleh dan mengalami perubahan komposisi kimia. Keramik tahan api biasanya digunakan sebagai bahan isolator panas pada dinding dapur pemurnian logam, proses produksi kaca, dan pembangkit tenaga listrik. Kaca (*glass*) termasuk salah satu

anggota keramik. Aplikasi kaca yang sudah dikenal luas adalah wadah (botol, gelas), lensa, kaca-serat(*fiberglass*). Kaca adalah material silikat nonkristalin yang mengandung oksida-oksida lainnya khususnya CaO , Na_2O , K_2O , dan Al_2O_3 yang mempengaruhi sifat-sifat kaca. Pada kaca soda-kapur (*soda-lime glass*) mengandung kira-kira 70% SiO_2 sedangkan oksida utama yang lain adalah Na_2O (soda) dan CaO (kapur/lime). Dua Sifat utama bahan kaca adalah sifat tembus pandang optikal dan relatif mudah dibentuk pada proses pabrikasinya. Karet (*rubber*) yang terdiri atas karet alam (*natural rubber*) yaitu bahan elastis yang terkandung dalam getah suatu tanaman tertentu dan karet sintetis (*synthetic rubber*). (Agung Kristanto, 2010)

Bahan-bahan tiruan (*syntetic materials*) biasanya diperoleh dari senyawa kimia dengan komposisi berbagai unsur akan diperoleh suatu sifat tertentu secara spesifik atau sifat yang menyerupai sifat bahan alam. Bahan ini dikenal sebagai bahan plastic (*plastics materrials*). *Materials plastics* yang terbentuk dari ikatan rantai atom-atom serta terdiri atas “beberapa unit” ikatan rantai atom-atom tersebut. Oleh karena itu proses pengikatan dengan molekul-molekul kecil ini dikenal sebagai “Polymerization”. (Siswanto, 2016). Polimer adalah molekul besar yang tersusun atas unit terkecil yang berulang dan teratur. Unit terkecil tersebut dinamakan monomer. Material ini bersifat isolator, tahan korosi namun tidak tahan temperature tinggi, mudah dibentuk, viskoelastis dan nonkristalin. Polimer alam adalah molekul besar yang terjadi secara alami dan terdapat di alam, sebagai contoh adalah shellac, amber, karet alam, protein, DNA, dan juga selulosa. (Anonim, 2011). Polimer dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu (1) polimer alam dan (2) polimer sintetis. Pada umumnya polimer sintetis merupakan molekul besar yang monomernya merupakan turunan rantai karbon dari minyak bumi meskipun ada juga yang bukan berupa rantai karbon, sebagai contoh adalah karet sintetis, Bakelite, neoprene, nylon, PVC, polystyrene, polyethylene,

polypropylene, polyacrylonitrile, PVB, silicone, dan sebagainya. Karet sintetis merupakan material yang diturunkan dari bahan-bahan mentah seperti kokas, batu kapur, minyak tanah, gas alam, garam, alkohol, sulfur, amonia, dan aspal cair.

Plastik adalah bahan sintetis berasal dari minyak mineral, gas alam, atau dibuat dari bahan asal batu bara, batu kapur, udara, air dan juga dari binatang dan tumbuh-tumbuhan. Pengolahannya dapat dikerjakan pada proses panas dan tekanan. Sifat-sifat plastik pada umumnya seperti tahan korosi oleh atmosfer ataupun oleh beberapa zat kimia, berat jenis cukup rendah, sehingga dapat mengapung dalam air, cukup ulet dan kuat, tetapi kekuatannya di bawah logam. Sifat mekanik dari plastik adalah tidak mudah pecah dan rapuh. Beberapa bahan plastik koefisien geseknya sangat rendah sehingga sering digunakan sebagai bantalan kering pada konstruksi. (Siswanto, 2016)

DAFTAR PUSTAKA

- Agung Kristanto, S. M., 2010. *Diktat Kuliah MATERIAL TEKNIK*. Yogyakarta: Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik Industri-Universitas Ahmad Dahlan .
- Anonim, 2011. *Material Maju dan Terbarukan*. s.l.:s.n.
- Darma Firmansyah U, S. M. d. A. S. S. M., 2015. *Modul Kuliah PENGETAHUAN BAHAN*. Bandung: Politeknik Manufaktur Bandung.
- Dr.Ir. I KT Suarsana, M., 2017. *Diktat ILMU MATERIAL TEKNIK*. Denpasar: Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Udayana.
- Klaten, S., 2021. *Pemilihan Material dan Proses*. Cilegon: Program Studi Teknik Mesin, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
- Siswanto, A. K. S. d. R., 2016. *Diktat Bahan Kuliah Material Teknik*. Banjarmasin-Kalimantan Selatan: Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik - Universitas Lambung Mangkurat.
- Sofyan, B. T., 2021. *Pengantar Material Teknik Edisi II*. Sentul, Bogor - Jawa Barat: UNHAN RI PRESS.
- Vlack, L. H. V., 2001. *Elemen-Elemen Ilmu dan rekayasa Material (judul asli Element of Material Science and Engineering, 6th Ed.)*. Bandung: Penerit ERLANGGA.
- W.D. Callister, J. a. D. R., 2018. *Structures and Properties of Ceramics, Materials Science and Engineering- An Introduction 2nd Edition*. USA: John Wiley & Son.

BAB 2

SIFAT-SIFAT BAHAN TEKNIK

Oleh Priangga Pratama Putra Haryanto

2.1 Pendahuluan

Teknik mesin umumnya lebih lazim dalam kemajuan teknologi saat ini karena membutuhkan bahan yang terbuat dari logam dan paduannya, terutama logam besi, yang memainkan peran penting. Namun, bahan lain tidak bisa diabaikan. Karena tidak memiliki karakteristik bahan logam, bahan non-logam juga sering digunakan. Plastik yang sudah banyak digunakan dalam konstruksi mesin, juga harus digunakan sebagai pengganti logam karena kemajuan teknologi. Bahan dari keramik, misalnya, digunakan antara lain pahat potong, batu tahan api, dan berbagai bahan abrasif. Terlihat banyak besi atau baja yang telah diproduksi, dan kualitas besi atau baja tersebut semakin baik. Perkembangan bahan besi telah berkembang sangat cepat. Namun, kemajuan teknologi mengharuskan penggunaan berbagai logam non-besi, antara lain nikel, seng, tembaga, dan aluminium. Penambahan serat kaca, serat logam, dan serat grafit hanyalah beberapa contoh sifat kekuatan tinggi yang diperlukan untuk penggunaan bahan dalam kemajuan teknologi mutakhir. Penemuan banyak serat memiliki potensi untuk mendorong pengembangan berbagai bahan komposit, sehingga terciptanya bahan dengan sifat unggul dari bahan induknya dan kombinasi dari dua atau lebih bahan dengan sifat berbeda. Logam dan keramik, logam dan plastik, keramik dan plastik, dan kombinasi lainnya dapat menghasilkan komposit.

Memilih material untuk suatu proyek tidaklah sulit jika tidak harus mudah didapatkan, mudah dikerjakan, atau mudah diproses agar menghasilkan kualitas yang memenuhi spesifikasi

dengan harga yang murah. Padahal, prinsip pemilihan material yang sederhana hanya perlu mempertimbangkan persyaratan properti desain konstruksi bersamaan dengan properti kemampuan material. Hanya saja, mencari tahu persyaratannya masih sulit. Mungkin informasi bahan yang tersedia kurang lengkap atau informasi sifat bahan kurang lengkap. Terlepas dari kenyataan bahwa informasinya komprehensif, mungkin ditemukan bahwa tidak ada materi yang dapat memenuhi semua persyaratan. Dalam hal ini, untuk mendapatkan pilihan terbaik, perlu diadakan pemilihan ulang dengan menurunkan persyaratan sekali lagi. Dengan memprioritaskan bahan yang sering digunakan dalam konstruksi yang serupa, misalnya, proses pemilihan bahan seringkali dapat disederhanakan. Misalnya, teknik pemesinan baja karbon akan diberikan prioritas utama karena pekerja konstruksi biasanya banyak menggunakan baja karbon, mudah didapat, dan murah. Jika baja karbon tidak memenuhi persyaratan, bahan lain, seperti baja, dapat dipertimbangkan. paduan, paduan non-ferrous, besi cor.

Mengetahui sifat-sifat bahan teknik yang dapat digunakan diperlukan untuk membuat penggunaan yang tepat dari bahan-bahan tersebut. Secara alami, sifat-sifat ini sangat beragam karena sifat-sifat ini dapat dilihat dari berbagai sudut pandang dan bidang ilmiah. Misalnya, sekelompok sifat kimia dapat diperoleh dari perspektif kimia, begitu juga dengan fisika dan seterusnya. Tentu saja, saat memilih bahan untuk tujuan tertentu, tidak semua sifat yang disebutkan di atas harus diperhitungkan. Selain sejumlah sifat kimia, sifat termal, dan sifat fisik, sifat mekanik biasanya memainkan peran yang sangat penting dalam bidang teknik mesin. Dalam bidang teknik, korosi merupakan masalah yang sangat serius yang akan dibahas tersendiri. Kepadatan, atau berat jenis, adalah salah satu sifat fisik yang terkadang harus diperhitungkan. Karena struktur mikro terkait erat dengan sifat lain seperti kekuatan, keuletan, ketahanan korosi, dan sebagainya, biasanya

memerlukan penelitian khusus. Sifat termal jelas penting untuk komponen yang nantinya akan dipanaskan. Seringkali, panas spesifik, konduktivitas termal, dan ekspansi termal harus dipertimbangkan.

Semua struktur dan partikel logam akan terpengaruh oleh gaya eksternal saat digunakan, yang dapat menyebabkan tekanan dan deformasi. Penting untuk memahami bahan yang cocok untuk suatu tujuan dari berbagai rencana untuk melindungi dari pengaruh tekanan ini dan menjaganya dalam batas pemuatan yang diizinkan. Sifat unik material kekerasan, keuletan, ketangguhan, dll. Harus berfungsi sebagai dasar untuk produksi barang jadi atau setengah jadi. Eksperimen yang dilakukan pada berbagai kondisi beban, arah beban, dan waktu pembebanan memberikan dasar untuk pemahaman yang komprehensif tentang sifat-sifat khusus ini.

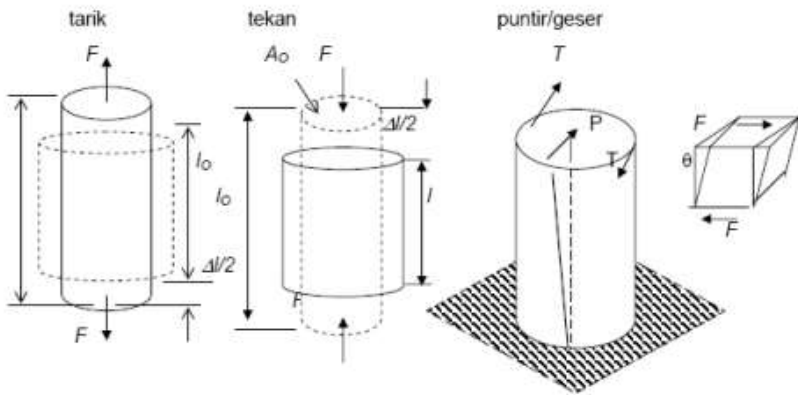
Material dapat diuji propertinya menggunakan beban statis atau dinamis, atau keduanya. Beban statis adalah eksperimen di mana beban meningkat secara bertahap dan teratur. Misalnya, dalam percobaan yang melibatkan tarik, torsi, lentur, dan kompresi. Ketika beban dinaikkan dengan cepat dan tiba-tiba, percobaan dengan beban dinamis dilakukan. Ketika beban diterapkan berulang kali dan arah serta besarnya perubahan beban, kondisi ini dikenal sebagai percobaan berulang atau kelelahan. Ini adalah kombinasi dari beban statis dan beban dinamis.

2.2 Sifat Mekanis

Sifat mekanik material meliputi: hubungan antara respon material terhadap beban dan deformasinya. Aspek mekanis: berkaitan dengan kekakuan, keuletan, kekuatan, dan kekerasan.

1. Stress dan Strain

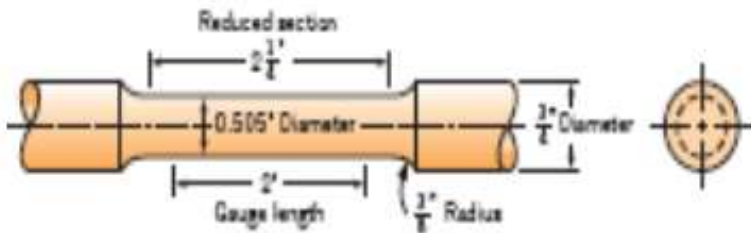
Stress = tegangan. Strain = regangan. Bahan dapat dibebani dengan 3 cara: tarik, tekan, geser (gunting).



Gambar 2.1 : Tipe Pembebanan Pada Bahan

2. Uji Tarik

Bertujuan untuk mengetahui ketahanan material terhadap gaya tarik dan merupakan salah satu pengujian tegangan-regangan mekanik. Bahan uji ditarik sampai putus selama pengujian.



Gambar 2.2 : Spesimen Uji Tarik

3. Uji Tekan

Gaya tekan diterapkan pada zat uji. Hanya tanda beban yang negatif (tekan), tetapi rumus tegangan dan regangan identik dengan yang digunakan dalam uji tarik. Nilai negatif akan dikembalikan oleh tes. Rumus untuk tegangan geser adalah sebagai berikut.

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

F = gaya yang diberikan

A₀ = luas bidang permukaan.

4. Regangan Geser

Regangan geser dilambangkan γ merupakan tangen θ . Adapun rumus Regangan Teknik adalah sebagai berikut.

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

l₀ = panjang mula – mula

l_i = panjang akhir

Δl = pertambahan panjang

ε = %

Tegangan Teknik

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

F = beban yang diberikan
(lb atau N)

A₀ = luas penampang bahan
sebelum dibebani
(in² atau m²)

σ = psi, MPa.

5. Torsi

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

6. Deformasi Elastis

Jumlah tegangan menentukan berapa banyak material yang mengalami deformasi atau peregangan. Stres dan regangan sebanding dengan hubungan di sebagian besar logam.

$$\sigma = E \cdot \epsilon$$

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

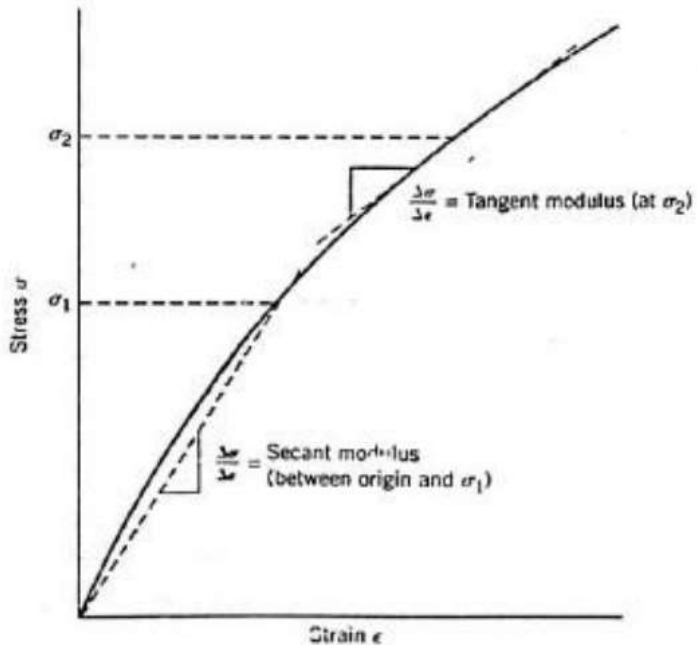
Dikenal dengan HUKUM HOOKE

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. Deformasi elastis adalah tidak permanent, artinya jika beban dilepaskan maka bahan kembali ke bentuk semula.

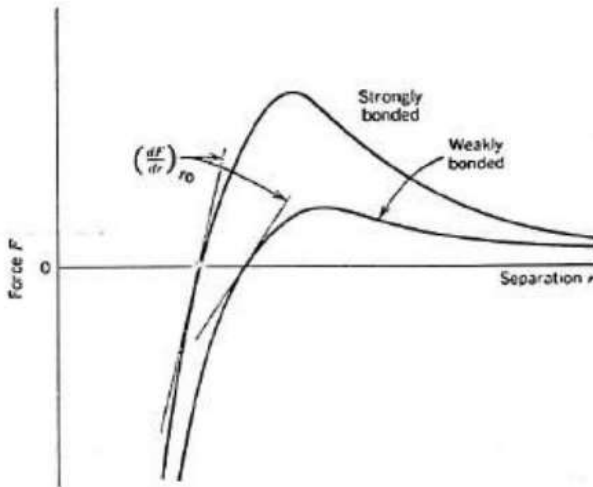
7. Deformasi Elastis Non-Linear

Modulus elastisitas dicari dengan modulus tangen atau modulus secant.



Gambar 2.3 : Menghitung Modulus Elastisitas Yang Perubahannya Tidak Linier

Deformasi elastis adalah perubahan jarak antar atom pada skala atom. Oleh karena itu, resistansi atom yang terikat adalah modulus elastisitas.



Gambar 2.4 : Hubungan gaya dengan jarak atom

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

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:

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

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

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

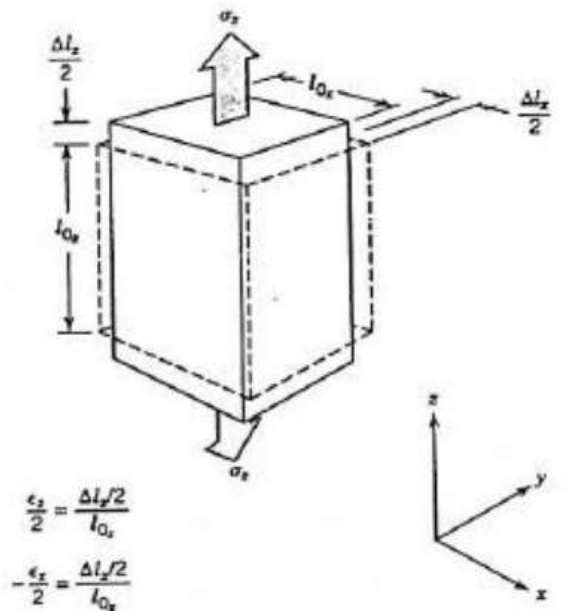
$$E = 16 \times 10^6$$

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

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

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

8. Sifat Elastis Bahan



Gambar 2.5 : Batang Yang Mengalami Tarikan

Jika tegangan pada sumbu z

- Arah sb z perpanjangan
- Arah sb x perpendekan
- Arah sb y perpendekan

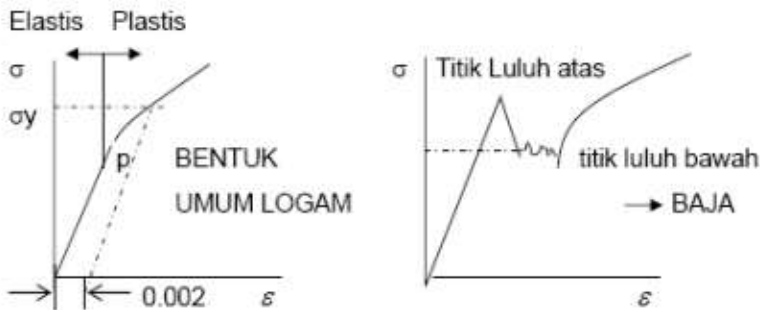
Perbandingan antara regangan tegak lurus terhadap regangan aksial disebut rasio poisson, ν .

$$\nu = \frac{-\epsilon_X}{\epsilon_Z} = -\frac{\epsilon_Y}{\epsilon_Z}$$

Bahan isotropik, ν biasanya = 1/4. Metal dan campurannya, $\nu = 0.25$ s/d 0.35

9. Deformasi Plastis

Deformasi elastis hanya terjadi hingga regangan 0,002 pada sebagian besar logam. Tegangan tidak lagi sebanding dengan regangan pada suatu bahan ketika deformasinya melampaui batas elastisnya. Wilayah plastik mengacu pada wilayah ini.



Gambar 2.6 : Kurva regangan – tegangan

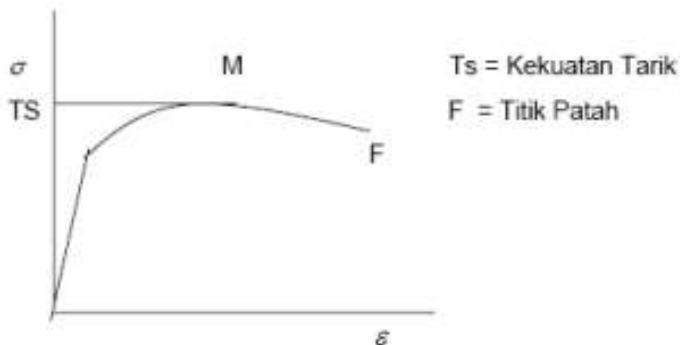
Saat beban dilepas, material tidak dapat berubah bentuk di wilayah plastik. Dari sudut pandang mikroskopis, deformasi plastis menghasilkan pembentukan ikatan baru dengan atom lain dan putusnya ikatan atom dengan atom terdekat. Atom-atom ini tidak kembali ke ikatan awalnya saat beban dilepaskan.

10. Luluh dan Kekuatan Luluh

Titik di mana logam mudah mengalami deformasi plastis adalah titik luluh. Titik luluh ditetapkan pada awal transisi dari keadaan linier ke keadaan melengkung dari grafik σ - ϵ . Batas proporsional (titik p pada gambar) adalah nama yang diberikan untuk titik ini. Faktanya, tidak mungkin untuk secara akurat menentukan poin ini p. Dengan skor $\epsilon = 0,002$, garis lurus paralel digunakan untuk mencapai kesepakatan dengan kurva ϵ . Perpotongan garis ini dengan kurva σ - ϵ didefinisikan sebagai kekuatan luluh τ_y .

11. Kekuatan Tarik

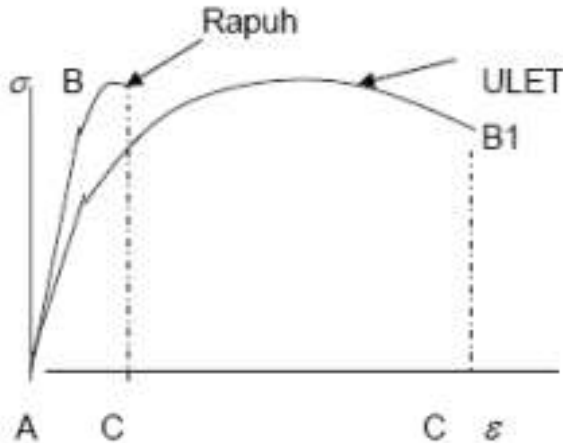
Dengan deformasi plastis yang berlanjut setelah titik luluh, tegangan terus meningkat hingga maksimum dan kemudian menurun hingga patah. Tegangan maksimum pada kurva σ - ϵ adalah kekuatan tarik. Ini mengacu pada tegangan tarik maksimum yang dapat ditahan oleh struktur.



Gambar 2.7 : Tegangan Tarik Maksimum

12. Keuletan

Mengungkapkan tingkat deformasi plastis pada fraktur. Bahan rapuh adalah bahan yang menunjukkan sedikit atau tidak ada deformasi plastis.



Gambar 2.8 : Kurva Regangan – Tegangan Untuk Material Ulet Dan Rapuh

Keuletan bisa dirumuskan sebagai persen perpanjangan atau persen pengurangan luas.

$$\% EL = \frac{(l_F - l_0)}{l_0} \times 100$$

$$\% AR = \left(\frac{A - A_F}{A_0} \right) \times 100$$

l_F = panjang patah

l_0 = panjang awal

$\% AR$ = $\%$ perubahan penampang

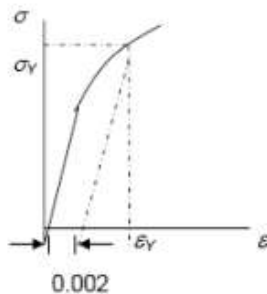
$\% EL$ = $\%$ perpanjangan

A_0 = luas penampang mula-mula

A_F = luas penampang pada saat patah
 Bahan dianggap rapuh jika regangan pada saat patah kira-kira 5%.

13. Modulus Resilience

Ur: apakah jumlah energi tarik yang dibutuhkan per satuan volume untuk menekankan material dari kondisi tanpa beban ke titik luluh.



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

Daerah elastis linier :

$$U_r = \frac{1}{2} \sigma_Y \epsilon_Y \text{ (J/m}^3\text{)}$$

$$U_r = \frac{1}{2} \sigma_Y \epsilon_Y = \frac{1}{2} \sigma_Y \left(\frac{\sigma_Y}{E} \right) = \frac{\sigma_Y^2}{2E}$$

Gambar 2.9 : Modulus Resilience

Bahan dengan tegangan luluh (σ_Y) yang tinggi dan modulus elastisitas yang rendah dikatakan memiliki sifat kelenturan. Contoh: pegas yang terbuat dari paduan.

14. Ketangguhan

Adalah kemampuan bahan untuk menyerap energi sampai patah.

Satuan ketangguhan = satuan resilience

bahan ulet = bahan tangguh

bahan getas = bahan tidak tangguh

15. Kekerasan

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

Macam- macam uji kekerasan:

- Uji kekerasan rockwell
- Uji kekerasan brinell
- Uji kekerasan vicker
- Uji kekerasan knop

a. Uji Kekerasan Rockwell

Metode yang paling umum digunakan karena simple dan tidak menghendaki keahlian khusus. Digunakan kombinasi variasi indenter dan beban untuk bahan metal dan campuran mulai dari bahan lunak sampai keras.

Indenter: - bola baja keras ,ukuran 1/16, 1/8, 1/4 , 1/2 inci - kerucut intan

Hardness number (nomor kekerasan) ditentukan oleh perbedaan kedalaman penetrasi indenter, dengan cara memberi beban minor diikuti beban major yang lebih besar. Berdasarkan besar beban minor dan major, uji kekerasan rockwell dibedakan atas 2:

- Rockwell
- Rockwell superficial bahan tipis

Uji kekerasan rockwell:

- Beban minor: 10 kg
- Beban major: 60, 100, 150 kg

Uji kekerasan rockwell superficial:

- Beban minor: 3 kg
- Beban major: 15, 30, 45, kg

b. Uji Kekerasan Brinell

Indentor:

- Bola baja keras; diameter 2,5, 5, 10 mm
- Tungsten carbide; diameter 2,5, 5, 10 mm
- Beban: 500 - 3000 kg, step 500 kg

Angka kekerasan brinell adalah fungsi beban dan diameter lobang hasil penekanan.

$$BHN = \frac{P}{(\pi D/2)(D - \sqrt{D^2 - d^2})} = \frac{P}{\pi D t}$$

P = Beban

D = diameter indentor

d = diameter bekas penekanan

t = kedalaman penekanan

c. Uji Kekerasan Vicker

Indeter: intan piramid dengan diagonal sama panjangnya.

Beban: 1 - 1000 gr

Hasil test berupa lekukan diperiksa dengan mikroskop

HV = hardness number vickers (VHN)

$$VHN = \frac{2P \sin(\theta/2)}{L^2} = \frac{1.854P}{L^2}$$

Dimana:

P = Beban

L = panjang diagonal rata-rata

θ = Sudut indentor 136°

d. Uji Kekerasan Knoop

Knoop digunakan untuk uji kekerasan mikro daerah kecil dri spesimen

Indentor: intan pyramid dengan diagonal yang berbeda panjangnya

Beban: 1 - 1000 gr

Hasil test berupa lekukan diperiksa dengan mikroskop

HK = hardness numberknoop (KHN)

$$KHN = \frac{P}{A_p} = \frac{P}{L^2 C}$$

Dimana:

P = Beban

L = panjang diagonal rata-rata

A_p = proyeksi luasan bekas penekanan

C = Konstanta, tergantung indentor keluaran pabrik yang bersangkutan

2.3 Sifat Fisik

Sifat fisis suatu logam adalah bagaimana keadaan logam itu apabila mengalami peristiwa fisika. Misalnya keadaan saat terkena pengaruh panas dan pengaruh listrik. Karena pengaruh panas yang diterimanya pada suhu tertentu, bahan akan mencair atau hanya mengalami perubahan bentuk dan ukurannya. Dari sifat fisis ini, dapat ditentukan titik cair suatu bahan dan titik didihnya, sifat menghantarkan panas, keadaan pemuatan pada waktu menerima panas, perubahan bentuknya karena panas, dsb. Pengaruh panas yang diterima oleh suatu bahan dapat merubah sifat dapat berhubungan dengan sifat mekanis suatu bahan tersebut, bahkan karena panas yang diterima oleh suatu bahan dapat merubah sifat mekanis bahan tersebut. Misalnya dalam proses penyepuhan, bahan yang dipanaskan pada suhu tertentu akan kemudian didinginkan dengan mendadak, bahan tersebut akan menjadi keras atau apabila bahan dipanaskan kemudian didinginkan dengan perlahan-lahan bahan tersebut menjadi lunak. Sifat fisis juga dapat

diartikan suatu sifat yang dimiliki oleh suatu bahan yang tidak terpengaruh oleh keadaan luar, misalnya warnanya dll.

2.4 Sifat Kemis

Sifat kemis atau sifat kimia adalah bagaimana kondisi bahan tersebut mampu menahan adanya zat kimia yang dikenakan pada bahan tersebut. Misalnya apakah bahan itu larut atau terjadi reaksi apabila terkena larutan asam, basa, dan garam. Apakah terjadi oksidasi bila terkena larutan atau bahan lain. Kelarutan bahan tersebut terhadap zat kimia berhubungan erat dengan ketahanan bahan terhadap pencernaan logam oleh keadaan sekitar. Apabila logam berkorosi, logam akan berubah kedalam garamnya, oksida, atau hidroksidanya. Karena peristiwa korosi disebabkan oleh reaksi kimia langsung dan elektro kimia, maka sifat-sifat kimia dari suatu logam sangat perlu diketahui dalam hal pemilihan bahan untuk suatu konstruksi.

2.5 Sifat Teknologis

Sifat teknologis merupakan kemampuan suatu bahan dalam proses pengerjaannya secara teknis. Sifat-sifat itu meliputi: kemampuan bahan itu untuk dilas, kemampuan untuk dikerjakan dengan mesin, kemampuan untuk bahan tuangan, dan kemampuan untuk penempaan. Sifat-sifat teknologis dari suatu bahan itu perlu diketahui sebelum pengolahan bahan dilakukan, misalnya: mampukah bahan itu dikerjakan dengan mesin bubut dengan hasil yang baik, dapatkah bahan itu dituang atau dicor tanpa penyusutan ukuran yang berarti dsb.

DAFTAR PUSTAKA

BAB 3

MACAM BESI TUANG (*CAST IRON*) DAN KARAKTERISTIKNYA

Oleh Diah Sarasanty

3.1 Pendahuluan

Besi tuang diperoleh dari besi kasar yang dilebur kembali dengan kokas dan batu kapur. Besi tuang memiliki banyak sifat teknik sehingga dapat digunakan dalam industri seperti untuk perlengkapan sanitasi, kursi rel, dan cetakan pengecoran. Besi tuang sebagai bahan konstruksi, memiliki karakteristik kuat dalam kompresi dan sebaliknya rapuh dalam tarikan, dengan kecenderungan pengembangan cacat selama proses pengecoran. Oleh karena itu besi tuang merupakan bahan yang menunjukkan karakteristik variabel mekanik dan respons pemuatan layanan dengan kebutuhan penjelasan untuk pemahaman potensi yang lebih baik terkait masalah layanan dan penggunaan (Gagg & Lewis, 2011). Dalam proses *blast furnace*, bijih besi akan bereaksi dengan karbon monoksida untuk membentuk paduan besi dan 2–5% karbon. Kandungan karbon yang tinggi dari besi tuang bermanfaat selama pengecoran berikutnya karena memungkinkan besi tuang mengalir lebih mudah. Namun sifat ini akan menimbulkan efek negatif pada sifat mekanik dari bahan jadi. Selama fase pendinginannya, besi dan karbon terpisah menjadi kristal grafit bersudut, yang berfungsi sebagai penambah tegangan internal yang menjadikan besi tuang rapuh disajikan dalam Gambar 3.1.



Gambar 3.1 : Fase pendinginan besi dan karbon
(Sumber : (Gagg & Lewis, 2011))

Selama proses pengecoran, banyak cacat lain yang dapat terjadi pada besi tuang. Pada pendinginan, penyusutan akan sangat besar secara linier hingga 1,4%. Hal ini dapat menciptakan tekanan tarik, sehingga semakin mengurangi resistensi material terhadap gaya tarik eksternal. Efek pengecoran tambahan yang mungkin terjadi selama pengecoran seperti bahan yang lebih kasar, lebih lemah di bagian tengah, dan interupsi dalam pengecoran dan sisa tegangan yang disebabkan oleh laju diferensial pendinginan. Produsen besi tuang awal tidak memiliki konsep metalurgi, dengan permintaan yang terus meningkat menghasilkan metode manufaktur yang kurang sesuai. Hubungan antara tegangan dan regangan, besi tuang memiliki hubungan nonlinier, tidak memiliki hasil titik, dan tidak tegangan yang mengeras. Oleh karena itu kekuatan *ultimate* dan kekuatan putus sama sehingga merupakan bahan yang rapuh dalam ketegangan. Salah satu ciri dari kegagalan getas adalah menjadi dua bagian yang patah untuk menghasilkan bentuk yang sama seperti komponen aslinya pada casing dari bahan kondisi *ductile* (Kępczak & Witkowski, 2022).

Besi tuang adalah salah satu bahan industri dengan biaya produksi yang rendah, serta kemudahan dalam membentuk detail pada dunia industri. Besi tuang umumnya banyak paduan

komponen iron dengan kandungan karbon. Struktur besi tuang diklasifikasikan berdasarkan komposisi matriks logam dan secara morfologi grafitnya yaitu ada beberapa jenis diantaranya

1. Ferit
2. Perlit
3. Karbida, dll.

Sifat mekanis pada dasarnya bergantung pada komposisi matriks dan pada bentuk grafit (*flaky*, *spheroidal*, *vermicular*, etc.), ukuran dan *density* . Salah satu jenis besi cor grafit serpihan sering digunakan untuk komponen mekanik pada *bearing*, *brakeshoes*, dll karena dari ketahanan ausnya yang tinggi dan kapasitas redamannya. Serpihan grafit besi adalah bahan yang ideal untuk cakram rem mobil karena memiliki sifat redaman dan konduktivitas termal yang sangat baik hanya karena grafit yang terkelupas. Metode standar untuk menentukan sifat mekanik uji kekerasan, di mana lekukan dibuat dari permukaan ke inti. Metode ini merusak dan memakan waktu. Karena pemeriksaan sifat non destruktif yang mudah ini besi tuang sangat diinginkan. Berbagai evaluasi non destruktif teknik telah diuji sejauh metode alternatif penurunan potensial arus bolak-balik, gelombang akustik laser, hamburan balik ultrasonik , fotothermal radiometri (Mymrin et al., 2021).

Parameter teknik memberikan indikasi korelasi yang baik antar parameter fisik dan kekerasan yang diukur. Pengukuran magnetik juga sering digunakan untuk karakterisasi perubahan bahan feromagnetik, karena magnetisasi proses ion terkait erat dengan struktur mikro. Ini membuat pendekatan magnetik menjadi indikator yang jelas untuk non-pengujian destruktif, untuk deteksi dan karakterisasi apa pun cacat pada bahan dan produk yang terbuat dari bahan tersebut. Pengerasan dan pembuatan besi tuang diproduksi dari proses peleburan ulang seperti yang disebutkan di atas. Proses ini berlangsung di tungku yang disebut

tungku pasangan. Tungku ini tingginya 5 meter dan berbentuk silinder dengan diameter 1 m. Bahan mentah *pig iron*, *coke* dan *lime stone* dimasukkan dari pintu pengisian *chamber* yang disediakan di bagian atas. *Air blast* dimasukkan ke dalam *chamber* menggunakan air blast inlet yang menghilangkan kotoran yang ada di *pig iron*. Oleh karena itu, besi tuang murni diperoleh dari bagian bawah dan dituangkan ke dalam cetakan dengan bentuk yang diinginkan. Jenis besi tuang yang digunakan sebagai Material Bangunan pada Pekerjaan Konstruksi. Berikut jenis besi tuang yang digunakan sebagai bahan bangunan dalam konstruksi dan kegunaannya (Gagg & Lewis, 2011):

1. *Grey cast iron*
2. *Malleable cast iron*
3. *Mottled cast iron*
4. *Toughened cast iron*
5. *White cast iron*
6. *Ductile cast iron*
7. *Chilled cast iron*

3.2 Komposisi Berbagai Jenis Besi Cor

Berbagai jenis besi cor terdiri dari jumlah konstituen yang berbeda yang ditunjukkan pada tabel di bawah ini(Singh, 2016):

Tabel 3.1 : Komposisi Bahan Kimiawi dari Berbagai Jenis Besi Tuang

Cast Iron Type	Komposisi Bahan Kimiawi dari Berbagai Jenis Besi Tuang			
	Carbon	Silika	Manganese	Sulphur
Grey cast iron	2.5-4.0	1-3	0.2-1	0.02-0.25
White cast iron	1.8-3.6	0.5-1.9	0.25-0.8	0.06-0.2
Ductile cast iron	3-4	1.8-2.8	0.1-1.0	0.01-0.03
Malleable cast iron	2.0-2.9	0.9-1.9	0.15-1.2	0.02-0.2
Mottled cast iron	2.5-4.0	1.0-3.0	0.2-1.0	0.01-0.03
Grey cast iron	Carbon	Silika	Manganese	Sulphur

Sumber : (Singh, 2016)

Sifat-sifat besi tuang adalah sebagai berikut :

1. Ketahanan korosi yang baik, sehingga dapat digunakan untuk pipa pembawa air dll.
2. Tidak tertarik magnet.
3. Gravitasi spesifik adalah 7,5.
4. Titik lebur sekitar 1250oC.
5. Kekuatan tariknya sekitar 150 N/mm² dan kekuatan tekannya sekitar 600 N/mm². Jadi bagus dalam kompresi.
6. Menjadi lunak saat ditempatkan di air asin dan menyusut saat didinginkan.
7. Itu tidak dapat berguna untuk menempa pekerjaan karena kurangnya plastisitas.

3.3 Grey Cast Iron

Seperti namanya, besi tuang jenis ini warnanya abu-abu. Besi tuang tersebut memiliki struktur kristal kasar. Titik leburnya sangat rendah sehingga memiliki kekuatan yang lemah dan hanya digunakan untuk tujuan pengecoran. *Grey cast iron* adalah istilah luas yang digunakan untuk sejumlah besi tuang yang memiliki struktur mikro ditandai dengan adanya grafit serpihan dalam besi matriks. Kandungan besi ini terdiri atas 2,5% hingga 4% karbon, 1% hingga 3% silikon, dan beberapa penambahan mangan mulai dari 0,1% sampai 1,2%. Merupakan salah satu paduan besi yang paling banyak digunakan. Kekuatan besi tuang abu-abu tergantung pada matriks di mana grafit (karbon bebas) yang berkisar dari ferit hingga perlit dan berbagai kombinasi kedua fase. Serpihan grafit besar mengurangi kekuatan dan keuletan, jadi inokulan digunakan untuk membuat serpihan halus (Singh, 2016).

Besi tuang abu-abu dinamai berdasarkan permukaan retak abu-abunya, yang terjadi karena serpihan grafit membelokkan celah yang lewat dan memulai yang baru yang tak terhitung jumlahnya retak saat material pecah. Besi cor putih keras dan rapuh. Pemeran abu-abu besi lebih lunak dengan struktur mikro

grafit dalam austenit yang diubah matriks sementit. Serpihan grafit, yang berbentuk mawar dalam tiga dimensi, memiliki kepadatan rendah dan karenanya mengkompensasi pembekuan kontraksi, sehingga memberikan coran yang baik yang bebas dari porositas. Serpihan grafit memiliki karakteristik redaman yang baik dan baik machinability karena grafit bertindak sebagai pemecah chip dan melumasi alat pemotong. Dalam aplikasi yang melibatkan keausan, grafit bermanfaat karena itu membantu mempertahankan pelumas. Namun, serpihan grafit juga merupakan pemusat tegangan, menyebabkan ketangguhan yang buruk. Tegangan tarik yang direkomendasikan diterapkan oleh karena itu hanya seperempat dari kekuatan tarik ultimatnya yang sebenarnya (Akdemir, Kuş, & Şimşir, 2011).

Belerang dalam besi tuang diketahui mendukung pembentukan serpihan grafit. Grafit dapat diinduksi untuk mengendap dalam bentuk bulat dengan menghilangkannya belerang dari lelehan menggunakan sejumlah kecil kalsium karbida. Ini diikuti dengan sedikit penambahan magnesium atau cerium, yang meracuni arah pertumbuhan yang disukai dan mengarah ke pertumbuhan isotropik, menghasilkan spheroid dari grafit. Perawatan kalsium diperlukan sebelum penambahan magnesium karena yang terakhir juga memiliki afinitas untuk belerang dan oksigen, tetapi kemampuan spheroidisasinya bergantung pada keberadaannya dalam larutan dalam cairan besi. Magnesium sering ditambahkan sebagai paduan dengan besi dan silikon (Fe, Si, Mg) bukan sebagai magnesium murni. Namun, magnesium cenderung mendorong pengendapan sementit, jadi silikon dalam bentuk ferrosilikon juga ditambahkan untuk memastikan pengendapan karbon sebagai grafit. Ferrosilikon adalah inokulan dalam sistem. Besi cor kelabu sejauh ini merupakan bentuk besi cor tertua dan paling umum. Sebagai Akibatnya, dianggap oleh banyak orang sebagai satu-satunya bentuk besi tuang, dan istilahnya besi cor dan besi abu-abu

digunakan secara bergantian. Namun, satu-satunya properti besi abu-abu yang umum diketahui kerapuhan dis juga ditugaskan untuk "cor besi" dan karenanya ke semua besi tuang. Besi abu-abu dinamakan demikian karena patahannya penampilan abu-abu. Besi ini mengandung karbon dalam bentuk grafit serpihan dalam matriks yang terdiri dari ferit, perlit, atau campuran keduanya (Liu *et al.*, 2020).

Fluiditas besi abu-abu cair dan pemuaian selama pemadatan karena pembentukan grafit membuat logam ini ideal untuk produksi ekonomis pengecoran rumit yang bebas penyusutan seperti mesin blok. Bentuk grafit yang seperti serpihan pada besi abu-abu memberikan pengaruh yang dominan pada sifat mekaniknya. Serpihan grafit bertindak sebagai pemicu stres, yang mungkin prematur menyebabkan aliran plastik lokal pada tekanan rendah dan memulai fraktur matriks pada tekanan yang lebih tinggi. Akibatnya, besi abu-abu tidak menunjukkan perilaku elastis dan gagal dalam ketegangan tanpa deformasi plastis yang signifikan tetapi sangat baik karakteristik redaman. Kehadiran serpihan grafit juga memberikan besi abu-abu machinability yang sangat baik dan sifat *self-lubricating*. Spesifikasi ASTM A-48 mencantumkan beberapa kelas besi cor kelabu berdasarkan kekuatan tekanan. Rentang kekuatan tarik 20 hingga 60 ksi diidentifikasi. Pemeran besi di atas kekuatan tarik 40 ksi dianggap besi kekuatan tinggi (Liu *et al.*, 2020).

Kekuatan tekan jauh lebih penting daripada kekuatan tarik untuk banyak aplikasi, dan dalam banyak kasus, besi cor kelabu berkinerja lebih baik daripada baja dalam aplikasi pemuatan kompresi (Singh, 2016).

Tabel 3.2 : Karakteristik *Grey Cast Iron*

Karakteristik Besi Tuang Kelabu		
Komposisi Kimia Besi Tuang Kelabu ASTM 40	C=2,7 – 4,0%, Mn=0,8%, Si=1,8 – 3%, S=0,07% max, P=0,2% max	
Karakteristik Sifat Fisik Dan Mekanik Besi Tuang Kelabu		
Density	7,06 x 10 ³ – 7,34 x10 ³	kg/m ³
Modulus Elastisitas	124	Gpa
Thermal Expansion (20°C)	9,0 x 10 ⁻⁶	C ⁻¹
Specific Heat Capacity (25°C)	490	J/(kg x K)
Konduktivitas Thermal	53,3	W/(m x K)
Resistivitas Listrik	1,1 x10 ⁻⁷	Ohm x m
Kuat Tarik	276	MPa
Elongasi	1	%
Kekerasan	180 – 302	HB, Hardness Brinel

Sumber : (Liu et al., 2020)

3.4 Malleable cast iron

Malleable cast iron adalah besi tuang dalam matriks perlitik dengan mengubah struktur karbida mengembangkan struktur kasaragregat grafit bulat dalam matriks yang dapat berupa *ferritic* atau *pearlitic*, tergantung pada komposisi dan perlakuan panas. Ada dua jenis *malleable cast iron* yaitu *blackheart* dan *whiteheart*. *Malleable cast iron* memiliki sejarah panjang, *whiteheart* telah dikembangkan pada tahun 1722 oleh ahli metalurgi Perancis, Reaumur, sedangkan besi *blackheart* dikembangkan di Amerika Serikat pada tahun 1820.

Whiteheart pada dasarnya disebut sebagai besi cor putih dan dibuat lunak dalam media pengoksidasi yang selama perlakuan panas, substansial dekarburisasi terjadi, dan karbon yang tersisa diendapkan dalam bentuk nodul grafit. Jenis besi ini biasanya mengandung sekitar 0,6% hingga 1,3% silikon, yang cukup untuk mengindikasikan dekomposisi sementit selama perlakuan panas tetapi tidak cukup untuk menghasilkan serpihan grafit selama pengecoran. Besi putih lunak dibuat dengan memanaskan sampai suhu 900°C (1650°F) untuk menghilangkan karbon dari permukaan besi(Wheeler, 1899).

Blackheart memiliki matriks ferit dengan nodul temper yang diselingi karbon. Di Amerika Serikat, istilah besi lunak cupola digunakan untuk jenis besi lunak hitam, diproduksi dari tungku kubah dan digunakan untuk pemasangan pipa. Kekuatan dan keuletan gradenya sangat rendah; karenanya tidak terlalu umum digunakan sebagai bahan struktural. *Malleable cast iron* banyak digunakan untuk otomotif dan komponen pertanian, alat kelengkapan pipa, katup dll. Tetapi sejak pengembangan dari *ductile iron* grafit bulat penggunaannya telah menurun, karena biaya tinggi dari perawatan yang membutuhkan peralatan tungku mahal. *Malleable cast iron* masih banyak digunakan untuk *fitting* pipa kecil, *fitting* listrik dan perangkat keras pembangun, terutama untuk pengecoran yang kemudian digalvanisasi (Vértesy, Uchimoto, Takagi, Tomáš, & Kage, 2015).

Karbon dalam kelas besi tuang ini tidak beraturan dengan nodul grafit berbentuk bukan serpihan. Berupa gips besi putih yang telah diberi perlakuan panas mengubah besi karbida menjadi tidak beraturan. Bentuk grafit ini disebut karbon temper karena terbentuk dalam keadaan padat selama perlakuan panas. Besi tuang ini dianggap metastabil, karena masih ditemukan *cementite* dalam perlakuan panas dapat menyebabkannya berubah menjadi besi dan karbon. Pelunakan dilakukan untuk mengubah semua karbon gabungan dalam besi putih menjadi tidak beraturan nodul

grafit dan ferit. Dua tahapan dilakukan sekitar 899°C (1650°F) hingga 927°C (1700°F) hingga 72 jam..

Besi lunak diklasifikasikan menjadi tiga kelas(Singh, 2016):

1. Feritik lunak

Matriks feritik yang tangguh mengelilingi karbon temper yang dihasilkan sehingga besi cor lunak memiliki lebih tinggi kekuatan dan keuletan dibandingkan *grey cast iron*.

2. Perlit lunak

Besi lunak perlit telah menggabungkan karbon dalam matriks, yang menghasilkan kekuatan dan kekerasan yang lebih tinggi daripada besi lunak feritik. Prosesnya melibatkan pengendalian kandungan karbon dan perlakuan panas siklus; beberapa karbon dapat dipertahankan sebagai karbida besi yang terdistribusi halus. Ini karbon gabungan meningkatkan kekuatan dan kekerasan.

3. Martensitik lunak

Besi lunak martensitik awalnya diproduksi sebagai besi perlitik. Selanjutnya dipadamkan dan ditempa untuk membuatnya menjadi besi martensit yang dapat ditempa. Kelenturan adalah sifat yang membantu bahan mengalami bentuk apa pun tanpa pecah atau retak. Oleh karena itu, besi tuang lunak digunakan untuk membuat berbagai jenis bahan. Ini memiliki ketahanan korosi yang baik. Proses pembuatannya melibatkan dua langkah. Pada langkah pertama, dituang dan didinginkan seperti besi tuang biasa dan kemudian dipanaskan lagi hingga 1050°C dan direndam dalam air dalam waktu lama (beberapa jam atau hari). Oleh karena itu, kandungan karbon sedikit berkurang dan kandungan grafit diendapkan sebagai karbon temper. Ini mengurangi kerapuhan besi cor. Jadi, bisa dikerjakan dengan mudah menggunakan mesin yang digunakan untuk membuat alat kelengkapan pipa, pengencang, mobil dll. Berikut adalah karakteristik untuk *Malleable cast iron*(Wheeler, 1899)

Tabel 3.3 : Karakteristik Jenis-Jenis *Malleable Cast Iron*

Ferritic	5% Si Iron	Heat Resistant
	High (15%) Silicon Iron	Corrosion Resistant as can be found in ASTM A 518, Grade 1, 2 and 3.
Austenitic	18% Ni (Ni-Resist) 18% Ni, 5% Si	Corrosion and Heat Resistant as can be found in ASTM A 439 Heat and Corrosion Resistant ASTM A 439
Acicular	High Strength	Wear Resistant

Sumber: (Wheeler, 1899)

Tabel 3.4 : Karakteristik *Malleable Cast Iron*

Malleable Cast Iron ASTM A220		
Komposisi Kimia: Malleable Cast Iron ASTM A220	C=2 - 2,7%, Mn=0,25 - 1,25%, Si=1 - 1,75%, S=0,03 - 0,18%, P=0,05%max	
Karakteristik Sifat Fisik Dan Mekanik Besi Taung ASTM A220		
Density	7,2 x 10 ³ - 7,45 x 10 ³	kg/m ³
Modulus Elastisitas	172	Gpa
Thermal Expansion (20°C)	11,9 x 10-6	C ⁻¹
Resistivitas Listrik		Ohm x m
Kuat Tarik	586	MPa
Elongasi	3	%
Kekerasan	217-269	HB, Hardness Brinel

Sumber : (Mymrin et al, 2021)

Tabel 3.5 : Karakteristik Tensile, Elongation, dan Kekerasan *Grade Malleable Cast Iron*

<i>Grade</i>	<i>Tes Bar Dia (mm)</i>	<i>Tensile strength (min) (N/mm²)</i>	<i>Elongation</i>	<i>0,2% Proof Stress (min) (N/mm²)</i>
EN-GJMB-300-6	12 or 15	300	6	-
EN-GJMB-350-10	12 or 15	350	10	200
EN-GJMB-450-6	12 or 15	450	6	270
EN-GJMB-500-5	12 or 15	500	5	300
EN-GJMB-550-4	12 or 15	550	4	340
EN-GJMB-600-3	12 or 15	600	3	390
EN-GJMB-650-2	12 or 15	650	2	430
EN-GJMB-700-2	12 or 15	700	2	530
EN-GJMB-800-1	12 or 15	800	1	600
International Standard ISO 5922-1981				
Blackheart				
B30-06	12 or 15	300	6	
B32-12	12 or 15	320	12	190
B35-10	12 or 15	350	10	200
Pearlitic				
P45-06	12 or 15	450	6	270
P50-05	12 or 15	500	5	300
P55-04	12 or 15	550	4	340
P60-03	12 or 15	600	3	390
P65-02	12 or 15	650	2	430
P70-02	12 or 15	700	2	530
P80-01	12 or 15	800	1	600

Sumber : (Singh, 2016)

3.5 Mottled Iron

Mottled iron adalah besi tuang tingkat sedang yang sifat-sifatnya berada di antara besi tuang kelabu dan besi tuang putih. Ini memiliki sejumlah kecil grafit dalam komposisinya. Jadi, rekahan tipe *mottled* dikembangkan dalam struktur mikronya. Pada *white cast iron*, karbon terutama muncul dalam bentuk sementit (Fe_3C), dan pada *grey cast iron* sebagai grafit (karbon kristal). Ketika campuran kedua bentuk hadir, bahan tersebut dikategorikan sebagai *mottled iron*. Besi tuang berbintik akan memiliki kekerasan di antara kedua bahan tersebut. Seperti yang dijelaskan, kekerasan yang lebih rendah sesuai dengan ketangguhan yang lebih tinggi dan kerapuhan yang lebih rendah, bersama dengan sifat peredam getaran karena adanya grafit serpihan, yang menjadikan produk besi yang terbuat dari besi *mottled iron* jauh lebih tahan lama daripada yang terbuat dari besi tuang putih (Singh, 2016) (Vértesy et al., 2015).

3.6 Toughened Cast Iron

Besi cor yang dikeraskan adalah kombinasi dari besi tuang dan besi tempa. Untuk mendapatkan besi tempa ini besi tuang dan besi tuang dilebur menjadi satu. Komposisi besi tempa sekitar 0,15 sampai 0,25 berat besi tuang (Singh, 2016).

3.7 White Cast Iron

White cast iron banyak digunakan karena memiliki persyaratan mekanik yang tinggi dan ketahanan aus tetapi memiliki ketangguhan terbatas. Ketahanan ausnya terkait langsung dengan struktur mikro dan penambahan unsur paduan. Bahan-bahan ini telah sering digunakan selama berabad-abad dan banyak penelitian tentang karakteristik metalurgi dan perilaku keausan telah dilakukan. Ketahanannya yang tinggi terhadap keausan terutama terkait dengan struktur mikronya terbentuk setelah pengerasan oleh matriks martensit, dengan kejadian besar karbida

primer dan eutektik tipe M7C3. Titik leburnya tinggi jadi, dari segi kekuatan lebih baik tetapi tidak digunakan untuk tujuan pengecoran yang halus. Karena kekuatannya yang berat, itu tidak dapat digunakan dengan mudah(Silva, Melo, Pinheiro, & Silva, 2020)(Vértesy *et al.*, 2015).

Tabel 3.6 : Karakteristik *White Cast Iron*

Karakteristik <i>White Cast Iron</i>		
Komposisi Kimia	C=2,5%, Mn=0,4%, Cr=17%, Si=1,3%, Ni+Cu=1,5%,Cr=1%,P=0,15%, S=0,15%, Mo=0,5%	
Karateristik Sifak Fisik Dari Besi Tuang Putih		
Density	7,7 x 10 ³	kg/m ³
Modulus Elastisitas	179	GPa
Thermal Expansion (20 C)	9,0 x 10-6	C ⁻¹

Sumber : (Silva et al., 2020)

3.8 Ductile Cast Iron

Besi *ductile cast iron* juga disebut sebagai besi grafit bulat. Proses pembuatannya sangat mudah dibandingkan jenis lainnya. Proses pembuatannya terdiri dari perawatan mangan yang membantu meningkatkan kandungan karbon dan menentang pembentukan grafit dalam bentuk serpihan. Ini memiliki sifat teknik yang sangat baik daripada besi tuang yang dapat ditempa. Besi cor ulet memiliki ketahanan korosi yang sangat baik, kekuatan dan daya tahan tinggi. Jadi, penggunaan besi ulet mendominasi jenis lainnya. Ini digunakan untuk membuat pipa saluran pembuangan, pipa pengangkut air dll (Konoplyuk, Abe, Uchimoto, Takagi, & Kurosawa, 2005).

Seperti diketahui mekanik serta elektromagnetik sifat *ductile cast iron* sangat bergantung pada struktur matriks, bentuk,

ukuran dan jumlah presipitasi grafit. Rasio perlit-ferit secara kritis menentukan kekerasan, kekuatan tarik dan luluh, dampak properti. Seiring dengan nilai besi cor ferit ini secara magnetis lebih lembut daripada yang perlit dan memiliki konduktivitas yang lebih tinggi, oleh karena itu, arus eddy menjadi dihasilkan dalam besi cor oleh arus ac harus berubah impedansi kumparan sesuai dengan variasi karakteristik mekanik tersebut di atas. komposisi metode besi tuang ulet menunjukkan hasil yang baik kelayakan untuk penilaian kekerasan dan kekuatan tarik.

Tabel 3.7 : Karakteristik *Ductile Cast Iron*

Ductile Cast Iron ASTM A536		
Komposisi Besi Cor Nodular ASTM A536	C=3,5 – 3,9%, Mn=0,15 – 0,35%, Si=2,25 -2,75%, S=0,01 – 0,025%, P=0,05%max	
Karakteristik Sifat Fisik Dan Mekanik Besi Cor Nodular, Ulet ASTM A536		
Density	6,64 x 10 ³ - 7,2 x 10 ³	kg/m ³
Modulus Elastisitas	172	Gpa
Thermal Expansion (20°C)	11,6 x 10-6	C ⁻¹
Specific Heat Capacity (25°C)	506	J/(kg x K)
Konduktivitas Thermal	32,3	W/(m x K)
Resistivitas Listrik	6,0 x 10-7	Ohm x m
Kuat Tarik	496	Mpa
Elongasi	18	%
Kekerasan	130 – 217	HB, Hardness Brinel

Sumber : (Konoplyuk et al., 2005)

3.9 Chilled Cast Iron

Besi tuang ini terdiri dari dua lapisan dimana satu lapisan memiliki sifat besi cor putih dan lapisan lainnya memiliki sifat besi cor kelabu. Jenis besi ini digunakan untuk proses pengecoran dimana lapisan besi tuang kelabu disediakan di permukaan dalam dan lapisan besi tuang putih disediakan di permukaan luar. Karenanya cetakan pengecoran bertahan lebih lama. Bagian-bagian mesin juga dibuat menggunakan besi tuang dingin.

Ketika area terlokalisasi dari besi tuang kelabu didinginkan dengan sangat cepat dari lelehan, tuang besi terbentuk di tempat yang telah didinginkan. Jenis besi cor putih adalah disebut *chilled cast iron*. Pengecoran *chilled cast iron* dapat diproduksi dengan menyesuaikan komposisi karbon dari besi cor putih sehingga laju pendinginan normal pada permukaan cukup cepat untuk menghasilkan besi cor putih sedangkan pendinginan lebih lambat di bawah tingkat permukaan akan menghasilkan besi abu-abu (Fraś, Górny, Kapturkiewicz, & López, 2008).

Kedalaman dingin yang berkurang dan kekerasan zona dingin yang meningkat dengan meningkatnya kandungan karbon. Chromium dalam jumlah kecil sering digunakan untuk mengontrol kedalaman dingin karena pembentukan karbida kromium. Chromium digunakan dalam jumlah 1% hingga 4% dalam besi dingin untuk meningkatkan kekerasan dan meningkatkan ketahanan abrasi. Dia juga menstabilkan karbida dan menekan pembentukan grafit dalam berat bagian. Ketika ditambahkan dalam jumlah 12% sampai 35%, kromium akan memberikan ketahanan terhadap korosi dan oksidasi pada suhu tinggi (Kumruoğlu, 2009).

DAFTAR PUSTAKA

- Akdemir, A., Kuş, R., & Şimşir, M. 2011. Investigation of the tensile properties of continuous steel wire-reinforced gray cast iron composite. *Materials Science and Engineering A*, 528(10–11), 3897–3904. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2011.01.107>
- Fraś, E., Górny, M., Kapturkiewicz, W., & López, H. 2008. Chilling Tendency and Chill of Cast Iron. *Tsinghua Science and Technology*, 13(2), 177–183. [https://doi.org/10.1016/S1007-0214\(08\)70031-2](https://doi.org/10.1016/S1007-0214(08)70031-2)
- Gagg, C. R., & Lewis, P. R. 2011. The rise and fall of cast iron in Victorian structures - A case study review. *Engineering Failure Analysis*, 18(8), 1963–1980. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2011.07.013>
- Kępczak, N., & Witkowski, B. 2022. Modal Assurance Criterion as an iron cast and hybrid machine tool's body comparison tool. *Journal of Manufacturing Processes*, 79(April), 881–886. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2022.05.031>
- Konoplyuk, S., Abe, T., Uchimoto, T., Takagi, T., & Kurosawa, M. 2005. Characterization of ductile cast iron by eddy current method. *NDT and E International*, 38(8), 623–626. <https://doi.org/10.1016/j.ndteint.2005.02.008>
- Kumruoğlu, L. C. 2009. Mechanical and microstructure properties of chilled cast iron camshaft: Experimental and computer aided evaluation. *Materials and Design*, 30(4), 927–938. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2008.07.008>
- Liu, Y., Martín-Torres, M., Mei, J., Sun, W., Shao, A., & Chen, K. 2020. Cast a different iron: Grey and mottled cast iron production in early China. *Journal of Cultural Heritage*, 46, 184–192. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2020.05.005>

- Mymrin, V., Pedroso, D. E., Pedroso, C. L., Avanci, M. A., Rolim, P. H. B., Carvalho, K. Q., & Catai, R. E. 2021. Physical-chemical processes of sustainable construction materials structure formation with iron ore processing tailings and aluminum anodizing sludge. *Construction and Building Materials*, 298, 123698.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123698>
- Silva, A. E. da, Melo, I. N. R. de, Pinheiro, I. P., & Silva, L. R. da. 2020. Characterisation and machinability of high chromium hardened white cast iron with and without the addition of niobium. *Wear*, 460–461(August), 203463.
<https://doi.org/10.1016/j.wear.2020.203463>
- Singh, R. 2016. Cast Iron. *Applied Welding Engineering*, 65–81.
<https://doi.org/10.1016/b978-0-12-804176-5.00007-4>
- Vértesy, G., Uchimoto, T., Takagi, T., Tomáš, I., & Kage, H. (2015). Nondestructive characterization of flake graphite cast iron by magnetic adaptive testing. *NDT and E International*, 74, 8–14. <https://doi.org/10.1016/j.ndteint.2015.04.004>
- Wheeler, E. C. 1899. Malleable Cast Iron. *Journal of the American Society for Naval Engineers*, 11(1), 161–172.
<https://doi.org/10.1111/j.1559-3584.1899.tb02456.x>

BAB 4

KLASIFIKASI ALUMINIUM DAN PADUANNYA

Oleh Masy'ari

4.1 Aluminium

Aluminium atau aluminum dengan simbol kimia *Al*, nomor atom 13 dan massa atom relatif 26.981538 adalah elemen kedua dari grup IIIA dari tabel periodik *Mendeleev*. Aluminium murni merupakan logam berwarna putih seperti perak, ringan (2698 kg.m^{-3}) dan mempunyai titik leleh rendah ($660.323 \text{ }^{\circ}\text{C}$) (Cardarelli, 2005).

Di lihat dari sifat mekaniknya, aluminium murni merupakan logam yang ulet dan lunak, dan mempunyai sifat mampu bentuk yang baik. Selain itu, sifat mekanik dari aluminium juga dapat diperbaiki dengan cara pengerjaan dingin atau menambah unsur paduan seperti, *manganese, silicon, copper, magnesium*, atau *zinc*. Selain sifat mekanis, aluminium juga mempunyai beberapa kelebihan, seperti kuat pada temperatur rendah dibandingkan pada temperatur kamar dan tidak mengurangi sifat uletnya. Berikut adalah karakteristik dari aluminium murni seperti yang disajikan pada Tabel 4.1.

4.2 Paduan Aluminium

Aluminium dan paduan aluminium umumnya tersedia dalam bentuk komersial. Lembaran paduan aluminium dapat berbentuk, *drawn, stamped*, atau *spun*. Hampir semua paduan aluminium hasil tempa atau cor dapat dilas, *brazing*, atau disolder dan permukaan aluminium juga dapat dilapisi dengan cara

mekanik dan kimia. Karena mempunyai sifat konduktivitas listrik yang tinggi, paduan aluminium juga digunakan sebagai konduktor listrik. Selain itu, sifat mekanis aluminium dapat diperbaiki dengan cara menambahkan unsur paduan, *strain hardening*, perlakuan panas atau kombinasi dari ketiga teknik tersebut. Tembaga, *magnesium*, mangan, silikon dan seng adalah unsur-unsur yang dapat digunakan sebagai unsur utama dalam paduan aluminium.

Tabel 4.1 : Karakteristik dari aluminium pada 298.15 K (Cardarelli, 2005).

<i>Property</i>	<i>Value</i>
<i>Density</i>	2699 kg/m ³
<i>Melting point</i>	660.323 °C
<i>Ultimate tensile strength</i>	40 – 50 MPa
<i>Yield strength 0.2%</i>	15 – 20 MPa
<i>Modulus of elasticity</i>	70.2 GPa
<i>Shear modulus</i>	27.8 GPa
<i>Brinell hardness</i>	15 – 28 HB
<i>Vickers hardness</i>	130 HV
<i>Charpy impact value</i>	26 – 31 J
<i>Elongation</i>	50 – 70%
<i>Poisson’s ratio. (ν)</i>	0.345
<i>Electricity resistivity</i>	2.6548 μΩ.cm
<i>Thermal conductivity</i>	237 W.m ⁻¹ .K ⁻¹
<i>Coefficient of linear thermal expansion</i>	23.03 x 10 ⁻⁶ K ⁻¹
<i>Specific heat capacity</i>	903 J.kg ⁻¹ .K ⁻¹

Sedangkan krom, timah, nikel, dan elemen lainnya digunakan untuk tujuan khusus sebagai unsur paduan tambahan. Pengotor seperti besi dapat mempengaruhi kinerja dari paduan aluminium dan harus dipertimbangkan dalam penggunaannya.

Sementara itu, khusus untuk aluminium murni dapat diperkuat dengan paduan mangan dalam jumlah kecil (sampai 1.25%) dan *magnesium* (sampai dengan 3.5%). Paduan dan aluminium murni selanjutnya dapat dikeraskan dengan pengerjaan dingin dengan kekuatan tarik sampai 200 MPa atau bahkan sampai 300 MPa. Kekuatan yang lebih tinggi juga dapat dicapai dalam paduan dengan cara *heat treatable*.

1. Sistem Penomoran Paduan Aluminum

Sistem penomoran paduan aluminium yang paling banyak digunakan oleh beberapa negara diperkenalkan oleh *Aluminium Association* (AA) dan *Arlington*. Menurut standar tersebut, aluminium berbasis paduan dibagi menjadi dua kelompok besar, yaitu paduan tempa (*wrought alloys*), seperti pengerjaan mekanik (*mechanically worked*) dan paduan cor (*cast alloys*).

Paduan aluminium tempa memiliki identifikasi yang sistematis sesuai dengan jenis unsur paduan, seperti yang terlihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 : Standar penomoran paduan aluminium tempa (Cardarelli, 2005).

<i>Series</i>	<i>Designation</i>
1XXX	<i>Commercially pure aluminum (i.e., 99.00 wt.% or greater)</i>
2XXX	<i>Al-Cu and Al-Cu-Mg alloys</i>
3XXX	<i>Al-Mn alloys</i>
4XXX	<i>Al-Si alloys</i>
5XXX	<i>Al-Mg alloys</i>
6XXX	<i>Al-Mg-Si alloys</i>
7XXX	<i>Al-Zn-Mg and Al-Zn-Mg-Cu alloys</i>
8XXX	<i>Other alloying elements</i>
9XXX	<i>Unused series</i>

Digit pertama : unsur paduan utama, digit kedua : variasi paduan awal, digit ketiga dan keempat : variasi paduan individu. Sebagai contoh, menurut tabel tersebut, seri pertama 1xxx sesuai dengan aluminium murni 99.00% atau lebih. Dalam seri ini, angka kedua khusus untuk menunjukkan kontrol kemurnian dan dua digit terakhir menunjukkan kandungan minimum aluminium diluar 99% (misalnya, aluminium 1030 yang memiliki 99.30% Al). Untuk seri lain, digit kedua mengacu pada modifikasi paduan dan dua digit terakhir mengidentifikasi paduan (biasanya dari sebutan komersial sebelumnya). Sebagai contoh misalnya, paduan aluminium yang sebelumnya 75S, sekarang disebut sebagai 7075. Nomor ini diikuti oleh penunjukan kekerasan yang diidentifikasi dari perlakuan panas dan mekanik. Sedangkan paduan aluminium cor juga memiliki penomoran yang sama dengan material paduan aluminium tempa. Biasanya diidentifikasi sebagai 2xx.0, 3xx.0, 4xx.0, 5xx.0, dll. Adapun tabel paduan aluminium cor dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 : Standar penomoran paduan aluminium cor (Cardarelli, 2005).

<i>Series</i>	<i>Designation</i>
1XX.X	<i>Commercially pure aluminum (i.e., 99.00 wt.% or greater)</i>
2XX.X	<i>Al-Cu and Al-Cu-Mg alloys</i>
3XX.X	<i>Al-Cu-Si-Mg alloys</i>
4XX.X	<i>Al-Si alloys</i>
5XX.X	<i>Al-Mg alloys</i>
6XX.X	<i>Al-Mg-Si alloys</i>
7XX.X	<i>Al-Zn alloys</i>
8XX.X	<i>Al-Sn alloys</i>
9XX.X	<i>Other alloying element</i>

Digit pertama : paduan unsur utama, digit kedua dan ketiga : penunjukan paduan spesifik, digit keempat : coran (0) atau batangan (1,2).

2. Sistem Penomoran Kekerasan Paduan Aluminium

Selain sistem penomoran untuk standarisasi paduan aluminium, juga terdapat sistem penomoran kekerasan yang digunakan untuk semua bentuk paduan aluminium tempa dan cor, seperti yang terlihat pada Tabel 4.4.

3. Pengaruh Unsur Paduan pada Paduan Aluminium Cor

Untuk tujuan pemahaman, efek dan pentingnya unsur-unsur yang terdapat dalam paduan aluminium cor, maka unsur-unsur tersebut dapat diklafisikansikan menjadi empat kelompok besar, yaitu unsur mayor, minor, unsur pengubah struktur mikro dan pengotor.

Tabel 4.4 : Standarisasi penomoran kekerasan paduan aluminium (Cardarelli, 2005).

<i>Letter</i>	<i>Description</i>
F	<i>As manufactured or fabricated</i>
O	<i>Annealed</i>
H	<i>Strain hardened (wrought products only) :</i> <i>H1x: Strain hardened only</i> <i>H2x: Strain hardened only and partially annealed to achieved required temper</i> <i>H3x: Strain hardened only and stabilized by low-temperature heat treatment to achieve required temper</i> <i>H12, H22, H32: Quarter hard, equivalent to about 20–25% cold reduction</i> <i>H14, H24, H34: Half hard, equivalent to about 35% cold reduction</i> <i>H16, H26, H36: Three quarter hard, equivalent to about</i>

50–55% cold reduction

H18, H28, H38: Fully hard, equivalent to about 75% cold reduction

W *Solution heat treated*

T *Thermally treated to produce stable tempers other than F, H, and O. Usually solution heat treated, quenched, and precipitation hardened.*

T1: Cooled from elevated-temperature shaping process and aged naturally to a substantially stable condition

T2: Cooled from elevated-temperature shaping process, cold worked, and aged naturally to a substantially stable condition

T3: Solution heat treated, cold worked, and aged naturally to a substantially stable condition

T4: Solution heat treated and aged naturally to a substantially stable condition

T5: Cooled from elevated-temperature shaping process, and then aged artificially

T6: Solution heat treated, then aged artificially

T7: Solution heat treated, then stabilized (overaged)

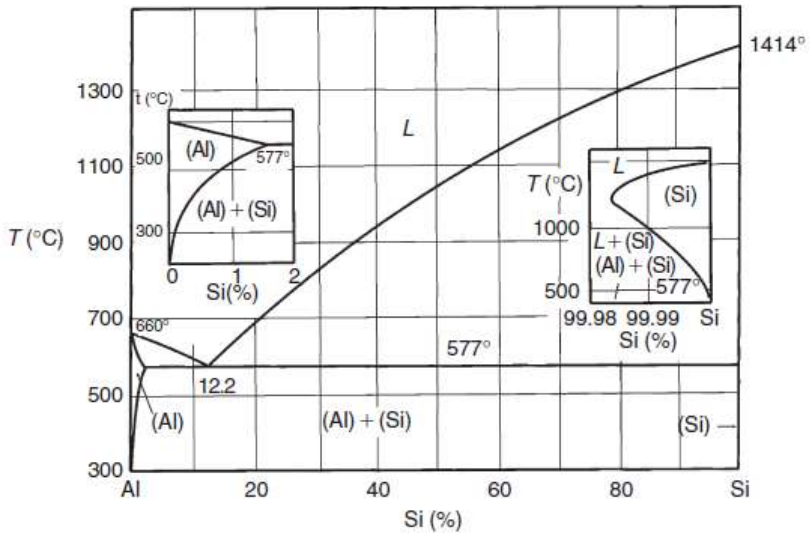
T8: Solution heat treated, cold worked, then aged artificially

T9: Solution heat treated, aged artificially, then cold worked

T10: Cooled from an elevated- temperature shaping process, artificially aged, then cold worked

a. Unsur Mayor

Silicon (Si), sebagian besar paduan aluminium cor mengandung silikon sebagai unsur paduan utama. Unsur ini bersama dengan aluminium membentuk eutektik pada 11.7% Si, 577 °C (Brown, 1999), seperti yang terlihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 : Diagram *phase* Al-Si (Zolotarevsky, dkk, 2007)

Penambahan unsur silikon dapat meningkatkan karakteristik kemampuan cor, seperti fluiditas, *feeding* dan ketahanan *hot tear*. Pada tahap kaya akan kandungan silikon, paduan aluminium meningkat kekerasannya, namun pada sisi lain keuletan dan sifat mampu mesinnya berkurang. Tabel 4.5 memperlihatkan kadar kandungan silikon dalam paduan aluminium cor yang sering digunakan.

Jika paduan eutektik memiliki fluiditas yang tinggi, sehingga baik untuk coran tipis, sedangkan untuk memperoleh kekuatan yang tinggi diperlukan kandungan paduan silikon yang rendah. Untuk paduan hipereutektik yang memiliki sifat mampu mesin kurang baik, paduan ini banyak digunakan untuk aplikasi ketahanan aus, seperti untuk piston.

Tabel 4.5 : Kadar kandungan silikon dalam paduam aluminium cor (Brown, 1994).

<i>Alloy</i>	<i>Si Content</i>	<i>BS Alloy</i>	<i>Typical Freezing Range (°C)</i>
<i>Low Silicon</i>	4 – 6%	LM4	625 – 525
<i>Medium Silicon</i>	7.5 – 9.5%	LM25	615 – 550
<i>Eutectic Alloys</i>	10 – 13%	LM6	575 – 565
<i>Special Hypereutectic Alloys</i>	>16%	LM30	650 – 505

Copper (Cu), meningkatkan kekuatan, kekerasan, sifat mampu mesin dan konduktivitas termal. Perlakuan panas lebih efektif pada 4-6%Cu, namun kandungan tembaga ini dapat menurunkan sifat mampu cor, ketahanan terhadap *hot tear* maupun korosi (Brown, 1999).

Magnesium (Mg), penambahan 0.25-05%Mg dalam paduan Al-Si memungkinkan untuk dikeraskan dengan perlakuan panas, sehingga dapat meningkatkan sifat mekanik melalui pengendapan Mg_2Si yang terbentuk secara halus dan merata atau yang kita kenal dengan rumpun paduan 356. *Proof strength* nya juga hampir mencapai dua kali lipat. Kemudian penggunaan Mg sekitar 1% biasanya digunakan pada paduan silikon piston. Pada tingkat yang lebih tinggi lagi sekitar 3-6%Mg, dengan kandungan Si yang rendah dapat memperbaiki karakteristik anodisasi dan memperindah penampilan permukaan komponen. Kandungan Mg yang dijaga tetap rendah pada *pressure die casting* dapat menghindari kegetasan. Namun adanya unsur Mg dalam paduan aluminium ini juga dapat meningkatkan kerugian oksidasi pada kondisi aluminium cair (Brown, 1999).

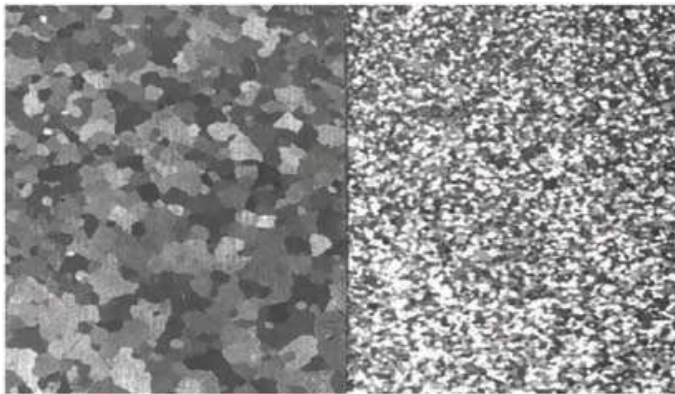
b. Unsur Minor

Nickel (Ni), apabila dipadukan dengan tembaga, pada suhu tinggi dapat meningkatkan kekuatan dan kekerasan, seperti pada paduan aluminium berbasis 2xxx dan 3xxx.

Tin (Sn), penambahan unsur Sn dalam paduan aluminium cor berbasis 8xx bertujuan untuk mengurangi gesekan, sehingga dapat diaplikasikan pada bantalan dan *bushing*. Pada tahap ini paduan Sn mencair pada suhu yang sangat rendah (227.7 °C).

c. Unsur Pengubah Struktur Mikro

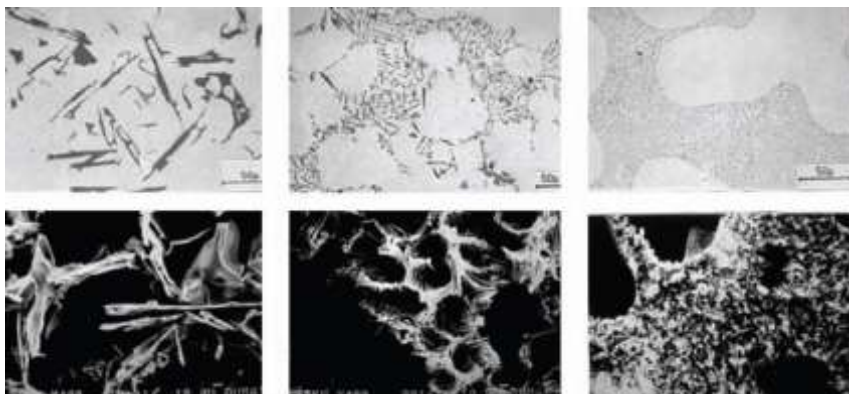
Titanium dan **Boron (Ti, B)**, unsur paduan ini digunakan untuk memperbaiki butiran aluminium primer. *Titanium* itu sendiri, jika ditambahkan sebagai unsur paduan utama paduan aluminium titanium membentuk $TiAl_3$, yang berfungsi untuk membentuk atom dendrit aluminium primer. Gambar 4.2 adalah ilustrasi penghalusan butir akibat penambahan Ti-B. Efisiensi penghalusan butir lebih baik apabila *titanium* dan *boron* digunakan secara bersama-sama.



Gambar 4.2 : Ilustrasi penghalusan butir aluminium
(Apelian, 2009)

Untuk mencapai tujuan ini biasanya digunakan tambahan unsur *titanium* 5% dan 1% *boron* sebagai unsur utama paduan aluminium. Kedua unsur tersebut akan membentuk TiB_2 dan $TiAl_3$ yang secara bersama-sama efektif menghaluskan butiran dari pada hanya dengan $TiAl_3$. Untuk lebih meningkatkan efisiensi penghalusan butiran paduan Al-Si, maka rasio penambahan Ti : B mendekati 1.5 : 1. Ini adalah untuk kasus khusus, yang hanya berlaku untuk paduan yang berbasis 3xxx dan 4xxx dan tidak untuk paduan yang lain (Apelian, 2009).

Strontium dan **Sodium**, pada kadar 0.008-0.04% *strontium*, unsur ini dapat mengubah struktur eutektik paduan Al-Si, begitu juga dengan unsur *sodium* yang digunakan untuk mengubah struktur eutektik (Brown, 1999). Gambar 4.3 berikut ini, adalah contoh hasil perubahan struktur eutektik pada paduan Al-Si.



Gambar 4.3 : Struktur eutektik paduan Al-Si (Apelian, 2009).

Manganese (Mn), pada pemakaian di atas 0.5% dapat meningkatkan kekuatan hasil coran. Mn mengontrol pembentukan fasa intermetalik besi di dalam paduan,

yang menyebabkan terjadinya peningkatan keuletan dan karakteristik *shrinkage* (Brown, 1999).

d. Unsur Pengotor

Iron (Fe), kandungan 0.9-1.0% digunakan dalam *pressure die casting* untuk mencegah pelekatan pada *die*. Kandungan Fe yang tinggi menurunkan keuletan, ketahanan kejut dan sifat mampu mesin. Adanya unsur Fe ini juga dapat menurunkan sifat mampu cor, karena unsur ini membentuk *phase* pengotor dengan *manganese* dan *chromium*, dan lain-lain. Sehingga penggunaan Fe pada paduan yang di proses selain dengan *pressure die casting* terbatas di bawah 0.8% (Brown, 1999).

Zinc (Zn), apabila kombinasi tembaga dan magnesium ditambahkan dalam paduan aluminium, maka dapat memperbaiki karakteristik dari paduan tersebut, yaitu dengan perlakuan panas dan *natural ageing*. Kedua unsur ini juga dapat meningkatkan fluiditas, namun dapat menyebabkan terjadinya *shrinkage* (Brown, 1999).

4.3 Paduan Aluminium Al-Mg-Si

Paduan aluminium Al-Mg-Si adalah salah satu sistem paduan yang dibentuk berdasarkan paduan aluminium tempa seri 6XXX. Dalam sistem paduan yang *heat treatable* ini, kandungan *magnesium* umumnya berkisar antara 0.6–1.2% Mg dan silikon 0.4–1.3% Si (Totten, 2003).

Selain dibentuk berdasarkan paduan aluminium tempa, paduan Al-Si-Mg juga dapat dibentuk berdasarkan paduan aluminium cor seri A356.0. Pada sistem paduan ini kandungan silikon berkisar antara 6.5–7.5% Si, sedangkan *magnesium* sekitar 0.25–0.45% Mg (Zolotarevsky, 2007). Paduan aluminium A356.0 memiliki *elongation* yang lebih besar, dengan kekuatan dan keuletan lebih tinggi dibandingkan dari aluminium paduan yang

lain, seperti seri 356.0. Paduan aluminum A356.0 yang tergolong paduan bersifat *heat treatable* (Tabel 2.6) ini memiliki sifat mekanik (Tabel 2.7) dan beberapa karakteristik, diantaranya yaitu:

- 1 *Castability*, paduan ini memiliki karakteristik mampu cor yang sangat baik.
- 2 *Machinability*, paduan A356.0 memiliki sifat mampu mesin yang baik.
- 3 *Finishing*, permukaannya dapat dilapisi dengan cara electroplating.
- 4 *Weldability*, umumnya semua metode pengelasan sangat baik jika disambung dengan paduan ini, kecuali brazing.
- 5 *Corrosion resistance*, paduan ini memiliki sifat ketahanan yang baik terhadap korosi.

4.4 Mekanisme Peningkatan Sifat Paduan Aluminium

Secara umum, kekuatan paduan aluminum dapat ditingkatkan dengan beberapa metode, yaitu :

1. *Solid-Solution Hardening*

Adalah suatu proses yang dapat meningkatkan kekuatan tarik dan tegangan luluh, yang dihasilkan akibat adanya unsur paduan yang larut padat.

Tabel 4.6 : Rekomendasi proses *heat treatment* khusus untuk paduan aluminium A356.0 (ASTM Standard, 2004)

<i>Alloy</i>	<i>Final Temper</i>	<i>Solution Heat Treatment</i>		<i>Precipitation Heat Treatment</i>	
		<i>Metal Temp. $\pm 5^{\circ}\text{C}$</i>	<i>Time at Temp. h</i>	<i>Metal Temp. $\pm 5^{\circ}\text{C}$</i>	<i>Time at Temp. h</i>
A356.0	T6	540	4 - 12	155	2 - 5
	T61	540	4 - 12	room temp.	8
				then 155	6 - 12
	T7	540	4 - 12	225	8
	T71	540	4 - 12	245	3 - 6

Tabel 4.7 : Sifat mekanik khusus untuk paduan aluminium A356.0 (ASM Handbook, 2000).

<i>Property</i>		<i>Value</i>
<i>Casting Process & Temper</i>		PM – T6
<i>Tension</i>	<i>Ultimate Strength (MPa)</i>	285
	<i>Yield Strength (MPa)</i>	205
	<i>Elongation (in 5 D, %)</i>	12
<i>Shearing Strength (ksi)</i>		-
<i>Brinell Hardness (500 kg load on 10 mm ball)</i>		80

Unsur-unsur dalam larutan tersebut kemudian mengalami distorsi elastis dalam kisi induk sehingga menjadi penghalang dari pergerakan dislokasi. Meskipun sebagian besar unsur dapat dipadukan dengan aluminium, namun hanya beberapa unsur yang relatif mempunyai kelarutan padat yang cukup baik memberikan pengaruh dalam proses pengerasan. Kemudian penguatan dari atom-atom terlarut

timbul akibat adanya perbedaan ukuran atom antara atom terlarut dan pelarut atau dari perbedaan modulus elastisitas.

2. *Grain Size Strengthening*

Ukuran butir dapat memberikan efek kekuatan terhadap paduan aluminium, hal ini dapat dilihat dari persamaan *Hall-Petch* (Totten, 2003), yaitu :

$$\sigma_y = \sigma_0 + k d^{-1/2} \dots\dots\dots (1)$$

dengan :

σ_y = tegangan luluh paduan

σ_0 = tegangan luluh awal

k = konstanta

d = ukuran diameter rata-rata butiran

Sehingga penguatan yang cukup besar dapat dicapai dengan ukuran butir yang sangat halus, seperti yang telah ditunjukkan oleh persamaan *Hall-Petch*.

3. *Work or Strain Hardening*

Sifat logam dapat berubah dengan proses pengerjaan dingin. Dimana pengerjaan dingin digunakan secara ekstensif untuk meningkatkan kekuatan paduan yang *nonheat-treatable*. Selain itu, pengerjaan dingin juga dapat meningkatkan kekuatan yang diperoleh melalui *solid-solution* dan *dispersion hardening*.

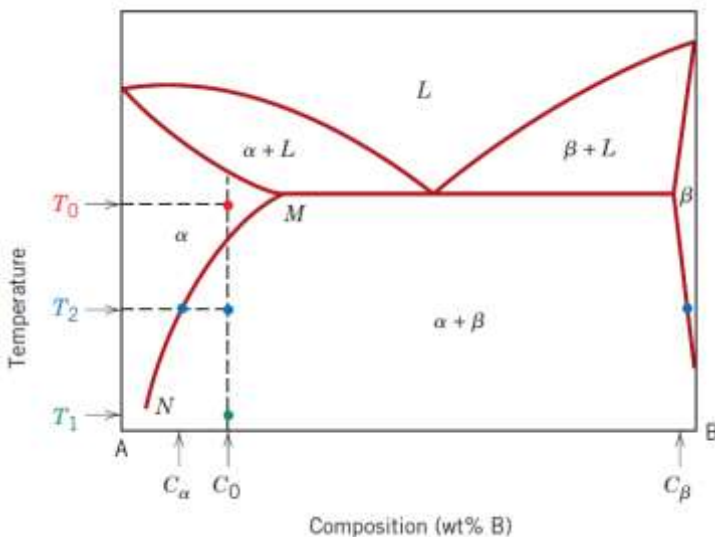
4. *Precipitation Hardening*

Adalah suatu metode perlakuan panas termasuk di dalamnya *quenching* (pendinginan cepat) dan *aging* (penuaan) yang banyak digunakan untuk meningkatkan sifat mekanik dari paduan aluminium. Proses peningkatan sifat mekanik ini

terjadi sebagai akibat adanya fasa kedua (presipitat) yang terdistribusi secara merata dan halus di dalam matrik paduan.

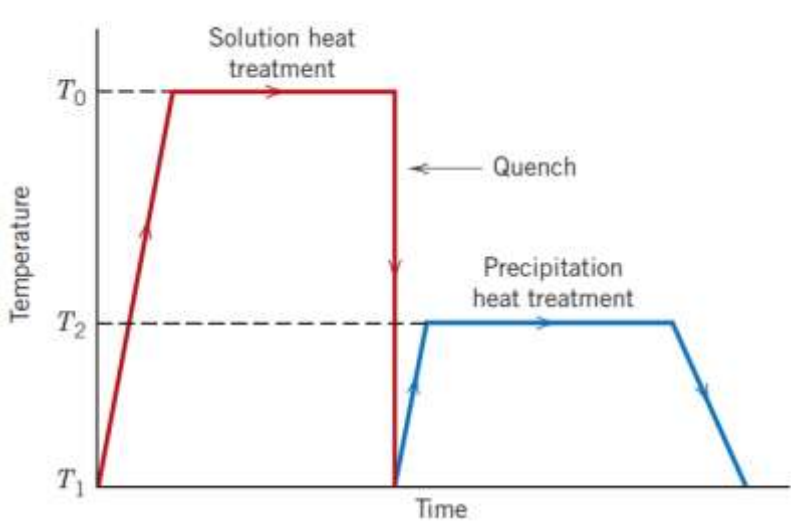
Dari keempat metode tersebut, *precipitation hardening* adalah salah satu metode yang dapat digunakan untuk meningkatkan sifat mekanik paduan aluminium cor, seperti A356.0 (Al-Si-Mg) yang bersifat *heat treatable*, dengan cara perlakuan panas.

Karena hasil proses pengerasan endapan dihasilkan dari pertumbuhan sebuah partikel *phase* baru, maka untuk mempermudah penjelasan tentang prosedur perlakuan panas digunakan diagram *phase*. Walaupun, dalam prakteknya banyak paduan penguat endapan mengandung dua atau lebih unsur paduan, pembahasan ini kemudian disederhanakan dengan mengacu pada sistem biner, seperti yang ditunjukkan oleh sistem hipotesis diagram *phase* A-B pada Gambar 4.4 berikut ini.



Gambar 4.4 : Hipotesis diagram *phase* untuk paduan penguat endapan dari komposisi C_0 (Callister, 2017).

Adapun prosedur dan siklus pemanasan pengerasan endapan, dapat dilihat pada Gambar 4.5 berikut ini.



Gambar 4.5 : Skema siklus pemanasan selama *precipitation hardening* (Callister, 2017).

a. *Solution Heat Treatment*

Pengerasan endapan dilakukan dengan dua perlakuan panas yang berbeda. Yang pertama adalah *solution heat treatment*, di mana semua atom terlarut yang dilarutkan membentuk larutan padat *phase* tunggal. Pada tahap ini paduan dipanaskan sampai pada *phase* α , dengan temperatur T_0 , kemudian ditahan beberapa saat sampai semua *phase* β dan akhirnya larut sempurna sehingga fasanya α seluruhnya. Pada titik ini, paduan hanya terdiri dari *phase* α dengan komposisi C_0 .

b. *Quenching*

Prosedur ini diikuti dengan pendinginan cepat atau pendinginan sampai temperatur T_1 (temperatur kamar), agar tidak terjadi difusi, sehingga strukturnya tetap α . Pada kondisi ini paduan masih relatif lunak dan lemah.

c. *Precipitation Heat Treating*

Untuk perlakuan panas kedua, larutan padat lewat jenuh α dipanaskan kembali pada temperatur daerah fasa ($\alpha + \beta$) atau T_2 . Pada tahap ini mulai terbentuk endapan β sebagai partikel halus dan terdistribusi secara merata dalam paduan, dengan komposisi C_β yang disebut dengan proses penuaan (*aging*). Setelah waktu *aging* pada temperatur T_2 , paduan didinginkan sampai temperatur kamar, pada kondisi ini biasanya laju pendinginan bukan merupakan pertimbangan penting. Selanjutnya karakter kekuatan dan kekerasan dari partikel-partikel β ini tergantung temperatur endapan T_2 dan waktu *aging* pada temperatur T_2 . Kedua tahap perlakuan panas tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.5 sebelumnya.

DAFTAR PUSTAKA

- ASM Handbook, 2000, "Introduction to Aluminum Alloys and Tempers", ASM International.
- ASTM Standard, 2004, "Standard Practice for Heat Treatment of Aluminum-Alloy Castings from All Processes".
- Apelian, D., 2009, "Aluminium Cast Alloys: Enabling Tools for Improved Performance", NADCA.
- Brown, J.R., 1999, "Foseco Non-Ferrous Foundryman's Handbook", 11th edition, Butterworth Heinemann.
- Cardarelli, F., 2005, "Materials Handbook", A Concise Desktop Reference 2 ed., Springer.
- Callister, Jr., William, D., 2017, "Materials Science and Engineering an Introduction", 10 th., John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Totten, G.E., and MacKenzie, D.S., 2003, "Handbook of Aluminum", Vol. 1 Physical Metallurgy and Processes, Marcel dekker, Inc, New York.
- Zolotarevsky, V.S., Belov, N.A., and Galzoff, M.V., 2007, "Casting Aliminum Alloys", ISBN-13: 978-0-08-045370-5, Elsevier Ltd.

BAB 5

KARAKTERISTIK TEMBAGA DAN MAGNESIUM SERTA APLIKASINYA DI INDUSTRI

Oleh Riyani Prima Dewi

5.1 Pendahuluan

Tembaga dan paduan tembaga banyak digunakan dalam berbagai produk sehari-hari yang membantu dan meningkatkan taraf kehidupan kita sehari-hari. Tembaga memiliki konduktivitas listrik dan termal yang sangat baik, kemudahan dalam mengubah bentuk yang baik, dan memiliki ketahanan yang luar biasa terhadap korosi dan titik leleh yang tinggi, serta pada umumnya bersifat nonmagnetik. Sifat lainnya ialah dapat dengan mudah disolder dan dibrazing, mudah dilas dengan berbagai metode seperti gas, busur, dan resistansi. Lebih dari itu, tembaga sangat mudah dipoles dan digosok untuk mendapatkan tekstur dan kilau yang diinginkan. Tembaga murni digunakan secara luas untuk kawat dan kabel listrik, kontak listrik dan berbagai bagian lain yang diperlukan untuk mengalirkan arus listrik. Tembaga dan kuningan, perunggu, dan nikel tembaga tertentu digunakan secara ekstensif untuk radiator otomotif, penukar panas, sistem pemanas rumah, pengumpul surya, dan berbagai aplikasi lain yang memerlukan konduksi cepat panas melintasi atau sepanjang bagian logam. Karena kemampuannya yang luar biasa untuk menahan korosi, tembaga, kuningan, perunggu, dan nikel tembaga juga digunakan untuk pipa, katup, dan perlengkapan dalam sistem yang mengalirkan air minum, atau cairan berair lainnya di industri, dan gas industri.

Paduan tembaga juga cocok untuk meminimalkan tingkat bakteri pada permukaan sentuh. Karena kemampuan bawaannya untuk membunuh 99,9% bakteri dalam waktu dua jam, lebih dari 280 paduan tembaga telah diberikan registrasi kesehatan masyarakat oleh Badan Perlindungan Lingkungan AS (EPA). Registrasi yang belum pernah ada sebelumnya ini mengakui kemampuan tembaga untuk terus membunuh bakteri di antara pembersihan rutin, dan membantu mengurangi bakteri penyebab infeksi pada permukaan sentuh di rumah sakit, sekolah, kantor, dan tempat umum lainnya.

5.2 Sifat Fisik Tembaga

Atomic Number -- 29

Element Symbol -- Cu

Element's Name -- Copper

Atomic Weight -- 63.546

Gambar 5.1 : Tabel Periodik Unsur
(Sumber: Cooper Development Association, 2010)

Tembaga dengan nomor atom 29 memiliki berat atom 63,54 dan menunjukkan struktur kristal kubik berpusat pada muka (*face-centered cubic*). Tembaga adalah elemen transisi dan, sebagai logam mulia, ia memiliki sifat bawaan yang mirip dengan perak dan emas. Tembaga murni memiliki sifat Konduktivitas, kelenturan, ketahanan korosi, dan biofungsionalitas yang sangat baik (Breedis,

1993). Tembaga memiliki kelarutan yang tinggi terhadap unsur lain seperti nikel, seng, timah dan aluminium.

Tabel 5.1 : Sifat Fisik Umum Tembaga

Sifat-Sifat	Nilai	Satuan/Units
Nomor Atom	29	
Berat atom	63,54	
Densitas	8,92	g/cm ³
Titik leleh	1083	°C
Titik didih	2595	°C
Panas Laten dari Fusi	205	J/g
Koefisien Linear Ekspansi Termal pada: 25°C - 100°C	16,8 x 10 ⁻⁶	cm/cm°C
Kapasistas termal pada suhu 20°C	0,386	J/g°C
Kapasistas termal pada suhu 100°C	0,393	J/g°C
Konduktifitas termal pada suhu 20°C	3,94	Wcm/cm ² °C
Konduktifitas termal pada suhu 100°C	3,85	Wcm/cm ² °C
Konduktivitas Listrik pada suhu 20°C (Annealed)	58,0 – 58,9	MS/m(mΩmm ²)
Konduktivitas Listrik pada suhu 20°C (Fully Cold Worked)	56,3	MS/m(mΩmm ²)
Resistivitas Listrik pada suhu 20°C (Annealed)	1,7241 – 1,70	μΩ·cm
Resistivitas Listrik pada suhu 20°C (Fully Cold Worked)	1,78	μΩ·cm
Moudlus Elastisitas pada suhu 20°C (Annealed)	118,0	MPa
Moudlus Elastisitas pada suhu 20°C (Fully Cold Worked)	44,0	MPa

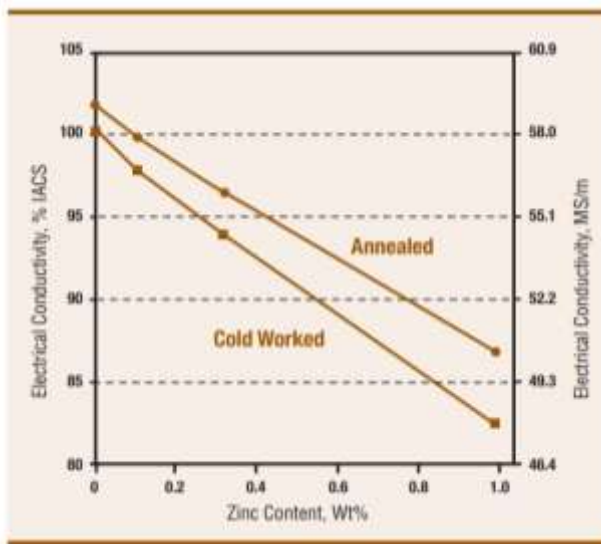
Fase alfa (α) larutan padat ini bertanggung jawab atas daktilitas tinggi yang ditunjukkan oleh paduan tembaga. Penambahan paduan di luar batas kelarutan menghasilkan fase beta (β), yang menunjukkan struktur kubik berpusat pada tubuh (body-centered cubic). Fase β ini memiliki stabilitas suhu tinggi, dan paduan yang memperlihatkan struktur $\alpha+\beta$ memiliki kemampuan pembentukan panas yang sangat baik. Massa jenis tembaga adalah 8,89 g/cc, dan titik leburnya adalah 1083°C. Semua sifat dan karakteristik ini dimodifikasi secara signifikan saat tembaga dicampur (American Society for Metals, 1990). Tabel 5.1 mencantumkan sifat fisik umum tembaga dan Gambar 5.1 menampilkan posisi tembaga pada tabel periodik unsur.

5.2.1 Konduktivitas Listrik dan Panas Tembaga serta Implementasinya di Industri

Variasi pemrosesan termal dan mekanis yang digunakan untuk menghasilkan paduan komersial dapat menyebabkan perubahan besar pada konduktivitas tembaga, dan seringkali paduan dengan kekuatan tertinggi memiliki konduktivitas terendah (Tyler, 1990). Nilai IACS biasanya dipublikasikan sebagai nilai minimum untuk temper yang dianil. Produk temper (pengerjaan dingin) biasanya hanya memiliki nilai 1 hingga 5 persentase di bawah nilai anil. Penurunan konduktivitas listrik dengan pekerjaan dingin diilustrasikan oleh Gambar 2, yang mengilustrasikan konduktivitas listrik dari sampel kawat tembaga dan tembaga-seng yang sepenuhnya anil dan sangat dingin. Paduan dengan resistivitas listrik (R) yang lebih tinggi akan membuang lebih banyak energi, karena panas yang dihasilkan akibat arus listrik (I) sebanding dengan I^2 kali resistansi. Panas yang dihasilkan akan meningkatkan suhu komponen, dengan konsekuensi yang berpotensi merugikan. Paduan konduktivitas termal yang lebih tinggi memungkinkan perancang untuk menghilangkan sebagian dari panas tersebut dengan meminimalkan kenaikan suhu. Dalam beberapa paduan tembaga, konduktivitas termal cenderung terkait

dengan konduktivitas listrik; yaitu, paduan konduktivitas listrik yang lebih tinggi akan cenderung memiliki konduktivitas termal yang lebih tinggi. Aturan praktis ini mempermudah karena konduktivitas termal cukup sulit diukur, sedangkan konduktivitas listrik, atau kebalikannya, resistivitas listrik, mudah diukur. Hubungan yang hampir linier antara konduktivitas termal dan listrik pada 20°C ditunjukkan oleh Gambar 5.3 untuk beberapa paduan tembaga.

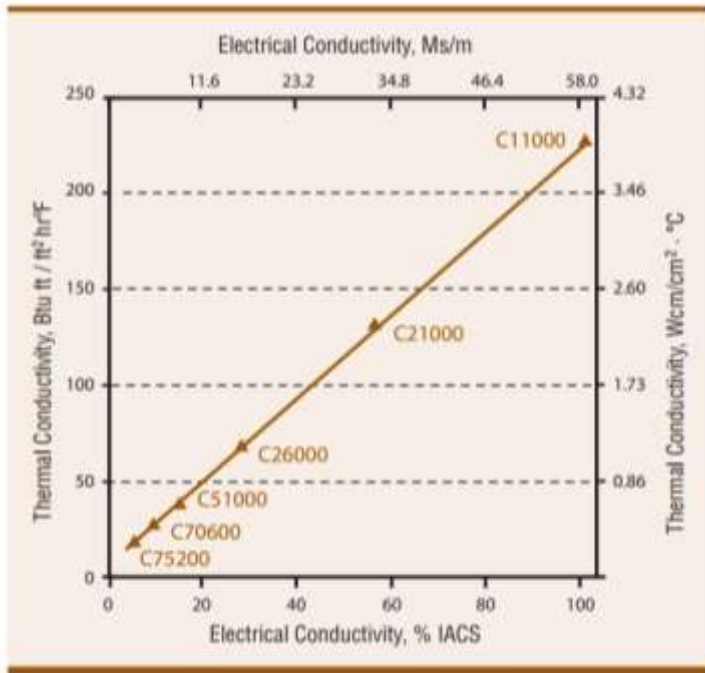
Sebagian besar tembaga yang digunakan untuk transmisi listrik dan interkoneksi memiliki konduktivitas listrik 85% IACS atau lebih. Tembaga murni komersial memiliki 101% IACS seperti halnya beberapa tembaga (murni) bebas oksigen seperti C10100 dan C10200. Perhatikan konduktivitas Tembaga Terdeoksidasi Fosfor yang memiliki kandungan tembaga 99,9%, namun konduktivitasnya hanya 85% IACS.



Gambar 5.2 : konduktivitas listrik dengan pekerjaan dingin tembaga dan paduan tembaga

(Sumber: Cooper Development Association, 2010)

Fosfor adalah salah satu elemen yang sangat menekan konduktivitas. Kisaran konduktivitas paduan tembaga berbeda, tergantung pada elemen paduannya. Paduan tembaga tinggi yang dibuat dengan telurium, zirkonium, magnesium, kromium, dan besi memberikan peningkatan kekuatan dengan konduktivitas dalam kisaran 75% hingga 90%. Kelompok paduan lain, dengan kombinasi elemen termasuk boron, besi, timah, seng, kobalt, magnesium, dan fosfor, memberikan kekuatan yang baik dengan konduktivitas dalam kisaran 50% hingga 75% IACS. Tembaga berilium tertentu, kuningan, kuningan timah, perunggu fosfor, dan paduan tembaga-silikon berkisar antara 25% hingga 50% konduktivitas IACS. Tembaga berilium berkekuatan tinggi, tembaga-nikel-silikon, dan paduan tembaga-nikel-timah, yang dapat diperkuat dengan pengerasan presipitasi, memberikan kekuatan sangat tinggi dengan konduktivitas listrik rendah hingga sedang dalam kisaran dari 10% hingga 25% IACS. Perkembangan terbaru paduan dalam kategori ini telah mengoptimalkan kekuatan tinggi dengan konduktivitas >50% IACS (American Society for Testing Materials, 2010).



Gambar 5.3 : Hubungan antara konduktivitas termal dan listrik pada 20°C

(Sumber: Cooper Development Association, 2010)

5.2.2 Sifat Kimia Tembaga dan Pemanfaatannya di Industri

Sifat kimia yang dibahas pada bab ini adalah mengenai warna dan sifat korosi dari tembaga. Warna khas paduan tembaga dan tembaga membuatnya berharga untuk barang-barang arsitektural dan konsumen serta objek seni. Nada metalik alami paduan tembaga berkisar dari merah ke kuning hingga abu-abu keperakan (Gambar 5.4). Sejumlah warna lain dapat diperoleh dengan pemrosesan kimia atau elektrokimia pada permukaannya. Tembaga dan paduannya sangat tahan terhadap korosi atmosfer, tetapi lama kelamaan akan terbentuk lapisan perubahan warna

atau noda yang dangkal. Semua logam membentuk lapisan oksida saat terpapar ke atmosfer. Ketebalan dan kandungan kimia dari lapisan bervariasi sebagai fungsi dari waktu paparan, kondisi atmosfer, dan kimia paduan dasar. Sebagian besar logam mengembangkan permukaan yang gelap, seperti baja tahan karat, dapat mempersulit untuk melihat warna logam dasar yang mendasarinya.

Copper C11000	Admiralty Metal C44300	Aluminum Bronze C63000	Copper Nickel C70600
Commercial Bronze C22000	Phosphor Bronze C51000	Silicon Aluminum Bronze C64200	Copper Nickel C71500
Red Brass C23500	Phosphor Bronze C52100	Silicon Bronze C65100	Nickel Silver C75200
Brass C34000	Aluminum Bronze C61400	Silicon Bronze C65500	Nickel Silver (Coin) C76500
Cartridge Brass C26000	Aluminum Bronze C62400	Silicon Manganese Aluminum Brass C67400	Tin Bronze C90700
Yellow Brass C27000	Aluminum Bronze C62500	Manganese Bronze C67500	Aluminum Bronze C95400

Gambar 5.4 : Warna-warna paduan tembaga
(Sumber: Cooper Development Association, 2010)

Penampilan warna dasar logam dasar dapat dipertahankan dengan mengaplikasikan lapisan pelindung yang tipis dan bening. Pelapis ini adalah bahan kimia organik yang mengeras pada suhu kamar atau dengan pemanggangan dan biasanya digunakan dalam kendaraan pelarut. Pelapis memang mengganggu dan meniadakan sifat dasar antimikroba dari permukaan paduan tembaga. Film noda yang terbentuk pada paduan tembaga umumnya adalah oksida tembaga yang, ketika tipis, menciptakan warna dasar yang gelap tetapi, seiring waktu, dapat berkembang menjadi film abu-abu. Meskipun oksida semacam itu mengubah tampilan fisik permukaan, oksida tersebut dapat dihilangkan dengan larutan pembersih standar.

Kimia paduan dasar dan kondisi atmosfer menentukan kinetika dan sifat oksidasi permukaan. Beberapa paduan tembaga, nikel tembaga, paduan yang mengandung silikon, dan perak nikel, khususnya, menunjukkan ketahanan terhadap noda dan retensi warna dasar. Aplikasi arsitektural seperti atap dan perangkat keras (set kunci, gagang pintu, pelat tendangan, pegangan tangan, dan lain-lain) memanfaatkan ketahanan korosi atmosfer dari paduan tembaga dan tembaga.

Stabilitas kimia yang melekat pada paduan tembaga dan tembaga membuatnya unggul untuk banyak aplikasi. Saluran pasokan air bersih dan perlengkapan pipa, yang membutuhkan ketahanan terhadap korosi oleh berbagai jenis air dan tanah, menggunakan berbagai produk paduan tembaga. Komponen kelautan, seperti jalur suplai air tawar dan air laut, penukar panas, kondensor, poros, batang katup, dan perangkat keras lainnya, memanfaatkan ketahanan paduan tembaga terhadap korosi air asin. Penukar panas dan kondensor di pembangkit listrik tenaga uap dan aplikasi proses kimia menggunakan paduan tembaga, terutama di mana diperlukan ketahanan terhadap bahan kimia aliran proses. Tembaga juga merupakan pilihan yang lebih disukai dalam peralatan proses pabrik industri dan kimia di mana paparan bahan kimia organik dan anorganik menjadi perhatian. Pemilihan paduan tahan yang sesuai membutuhkan pertimbangan banyak faktor. Asosiasi Pengembangan Tembaga telah mengumpulkan banyak pengalaman lapangan dalam bentuk peringkat yang mencantumkan perilaku berbagai paduan tembaga di lingkungan tertentu. Paduan tembaga yang paling banyak digunakan dalam paparan atmosfer adalah C11000, C22000, C23000, C38500 dan C75200. Untuk atap dan flashing, C11000 lebih disukai. Tembaga, seng, timah, dan besi adalah logam yang paling banyak digunakan dalam konstruksi bawah tanah. Data korosi logam-logam ini di berbagai jenis tanah menunjukkan tembaga memiliki ketahanan tertinggi dalam semua kasus. Aplikasi tunggal terbesar dari tabung

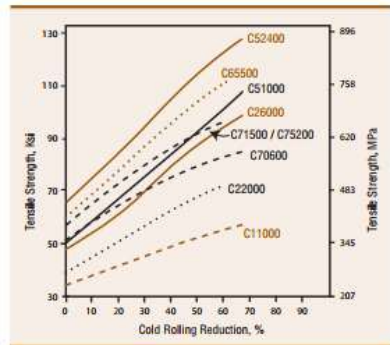
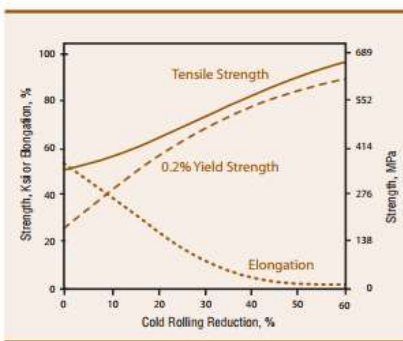
tembaga adalah untuk distribusi air panas dan dingin di rumah dan bangunan lainnya. Tembaga digunakan di mana keandalan jangka panjang adalah yang terpenting. Paduan tembaga dan tembaga tahan terhadap uap murni, kecuali jika ada amonia. Ketika kondensat bersifat korosif, paduan nikel tembaga lebih disukai. Paduan tembaga paling cocok untuk menangani air laut di kapal dan pembangkit listrik tidewater. Tembaga, meskipun cukup berguna, biasanya kurang tahan dibandingkan C44300 (kuningan admiralty), C61300 (aluminium perunggu), C70600 (tembaga nikel 10%) atau C71500 (tembaga nikel 30%). Paduan ini secara inheren tidak larut dalam air laut dan membentuk film produk korosi yang menahan korosi erosi. Meskipun paduan tembaga umumnya dapat digabungkan satu sama lain tanpa percepatan korosi galvanik yang serius, perhatian yang cermat terhadap efek galvanik akan sangat meningkatkan kinerja. Penggunaan tabung *stainless steel* atau titanium dalam sistem paduan tembaga umumnya akan membutuhkan perlindungan katodik untuk mencegah percepatan korosi paduan tembaga yang akan terjadi. Paduan tembaga stabil di berbagai lingkungan yang berpotensi korosif. Resistensi yang melekat pada biofouling menambah kegunaannya sebagai komponen sistem pendingin air laut.

5.2.3 Sifat Mekanik Tembaga dan Pemanfaatannya di Industri

Tembaga terkenal sebagai logam yang lunak dan mudah ditempa. Paduan tembaga menawarkan variasi dan kombinasi sifat mekanik yang luas yang mencerminkan tingkat kemampuan beradaptasi yang tidak tersedia dalam sistem paduan lainnya. Tembaga terutama diperkuat dengan pengerjaan dingin atau dengan penambahan larutan padat yang meningkatkan pengerasan regangan. Dalam kondisi anil, hasil dan kekuatan tarik berbanding terbalik dengan ukuran butir. Penambahan elemen paduan pada tembaga meningkatkan kekuatan tarik, kekuatan luluh dan laju pengerasan kerja. Misalnya, pada kuningan, kekuatan

tarik dan kekuatan luluh keduanya meningkat dengan meningkatnya kandungan seng. Elemen paduan yang berbeda bervariasi dalam keefektifannya dalam meningkatkan kekuatan dan pengerasan kerja, sehingga memberikan spektrum kombinasi properti.

Kurva rolling dingin pada Gambar 5.5(a) mengilustrasikan efek pengerasan kerja pada sifat tarik paduan kuningan C26000 yang dianil, atau lembut. Kekuatan tarik dan luluh akhir meningkat, sementara daktilitas dan perpanjangan tarik turun dengan pengurangan pengerolan dingin. Kurva pengerolan dingin pada Gambar 5.5(b) menunjukkan peningkatan kekuatan tarik dengan reduksi pengerolan dingin dari paduan tembaga tempa yang awalnya dalam temper lunak atau anil. Modulus elastis berkisar antara 16 hingga 20 juta pound per inci persegi (sekitar 110–138 Gpa). Rasio Poisson, sifat material yang menghubungkan regangan dalam arah melintang dalam uji tarik dengan regangan dalam arah memanjang, juga hampir konstan untuk paduan tembaga; biasanya bernilai 0,3 (Tyler, 1990).



(a) (b)
Gambar 5.5 : Ilustrasi (a) Kurva rolling dingin dan (b) Kurva pengerolan dingin tembaga dan paduan tembaga
 (Sumber: Cooper Development Association, 2010)

Kuningan dan perunggu menunjukkan karakteristik pengerasan kerja yang lebih tinggi. Variasi dalam sifat elastis ini, meskipun kurang dari rentang kekuatan dan konduktivitas yang tersedia dalam keluarga paduan, dipengaruhi oleh temper, orientasi butir, dan mode tegangan. Penting untuk diingat bahwa kekakuan merupakan faktor penting dalam desain pegas karena mempengaruhi gaya kontak. Paduan yang diperkuat presipitasi, misalnya, C17200, menawarkan kesempatan untuk membentuk bagian dalam kondisi daktilitas maksimum (larutan anil), dan kemudian meningkatkan kekuatan tarik dengan perlakuan panas presipitasi. Jika fabrikasi komponen menghalangi pendekatan ini, temper yang dikeraskan oleh gilingan memungkinkan komponen dibentuk dari bahan yang dipasok gilingan yang lebih kuat tetapi memiliki nilai daktilitas lebih rendah untuk menghindari penuaan komponen yang disesuaikan.

5.2.3 Sifat Antimicrobial Tembaga dan Pemanfaatannya di Dunia Medis

Louis Pasteur mengembangkan teori kuman penyakit pada abad kesembilan belas. Ini menyatakan bahwa infeksi disebabkan oleh mikroba yang menyerang tubuh manusia (Michels, 2006). Namun, jauh sebelum itu, atribut antimikroba yang bermanfaat dari tembaga, kuningan, dan perunggu telah dikenali. Koleksi Hippocrates, 460 hingga 380 SM, yang disumbangkan oleh bapak kedokteran, merekomendasikan penggunaan tembaga untuk borok kaki yang berhubungan dengan varises. Pliny the Elder, 23 hingga 79 M, menggunakan tembaga oksida dengan madu untuk mengobati cacingan (Noyce, 2006). Suku Aztec berkumur dengan campuran yang mengandung tembaga untuk mengobati sakit tenggorokan. Sebuah studi tahun 1983 (P. Kuhn) mengukur tingkat bakteri pada kenop pintu kuningan dan baja tahan karat di rumah sakit. Hasil menegaskan bahwa kenop pintu kuningan menunjukkan hampir tidak ada pertumbuhan mikroba sementara

kenop pintu stainless steel sangat terkontaminasi (Khun, 1983). Dua dekade kemudian, pengamatan ini mendorong penelitian yang mendalam dan terkontrol secara ilmiah menggunakan protokol uji yang ditentukan oleh Badan Perlindungan Lingkungan AS (EPA) untuk mengukur sifat antimikroba dari paduan tembaga dan tembaga (Faundez, 2004) (Gould, 2009).

Uji laboratorium independen menunjukkan bahwa bakteri penyebab penyakit, termasuk Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA), *E. coli* O157:H7, *Enterobacter aerogenes*, dan spesies lainnya, akan mati saat bersentuhan dengan permukaan paduan tembaga (Michels, 2003). Secara khusus, koloni bakteri yang ditempatkan pada permukaan tembaga (C11000) diamati berkurang lebih dari 99,9% dalam waktu dua jam. Saat menggunakan permukaan paduan tembaga (kuningan, perunggu, nikel tembaga), tingkat pembunuhan agak berkurang, tetapi pengurangan yang lebih besar dari 99,9% selalu diamati dalam dua jam. Hampir tidak ada reduksi yang teramati pada koloni yang ditempatkan pada permukaan stainless steel atau plastik setelah 6 jam. Yang penting, hasil ini ditemukan pada suhu kamar rumah sakit yang biasa ditemui: sekitar 68°F (20°C). EPA meninjau studi ini dan menyimpulkan bahwa paduan tembaga yang tidak dilapisi dan dibersihkan secara teratur membunuh lebih dari 99,9% bakteri penyebab penyakit dalam waktu dua jam kontak dan bahwa bahan padat ini dapat digunakan untuk permukaan yang sering disentuh, menawarkan garis pertahanan kedua melawan bakteri. Penggunaan tembaga antimikroba adalah suplemen untuk praktik pengendalian infeksi rutin yang terdaftar EPA lebih dari 280 paduan tembaga dengan kandungan tembaga minimum 60% sebagai antimikroba (Sasahara. 2008). Saat studi ini berlanjut, pendaftaran EPA untuk paduan tembaga tambahan, yang memengaruhi lebih banyak organisme dan disetujui untuk aplikasi tambahan, diantisipasi. Mereka saat ini tidak terdaftar untuk digunakan dalam aplikasi kontak makanan atau air minum.

Telah dilakukan uji klinis di rumah sakit besar di Amerika Serikat, Chili, Jerman, Inggris, dan Jepang. Permukaan sentuh kritis dalam pengaturan perawatan pasien yang khas telah dikatalogkan dan prototipe peralatan rumah sakit yang terbuat dari paduan tembaga antimikroba telah diproduksi dan dipasang. Permukaan ini termasuk I.V. tiang, rel tempat tidur, meja overbed, perangkat keras pintu, perabot kamar, peralatan medis, perabot kamar mandi dan barang-barang lainnya yang berada di dekat pasien. Peralatan "tembaga" yang dipasang di kamar rumah sakit diseka untuk kontaminasi mikroba dan dibandingkan dengan peralatan non-tembaga yang setara di ruang kontrol. Dampak permukaan tembaga pada kontaminasi permukaan dan, pada akhirnya, tingkat infeksi sedang diselidiki dalam uji coba ini. Data menunjukkan bahwa permukaan tembaga yang dipasang menunjukkan pengurangan kontaminasi mikroba yang tinggi (Weaver, 2009) (Wilks, 2006) (Santo, 2008).

Untuk mempertahankan sifat antimikroba yang melekat pada tembaga, produk tidak boleh dicat, dipernis, dipernis, diberi lilin atau dilapisi dengan cara apa pun. Seperti disinfektan cair dan gas, paduan tembaga antimikroba telah terbukti mengurangi kontaminasi mikroba* tetapi tidak serta merta mencegah kontaminasi silang. Manufaktur, pabrikator, dan pemasok yang memiliki registrasi EPA dapat menggunakan Antimicrobial Copper™ dan tanda Cu+ untuk menunjukkan bahwa produk mereka terbuat dari paduan antimikroba yang terdaftar di EPA.

5.3 Sifat Fisik Magnesium

Magnesium (Mg) merupakan salah satu logam alkali tanah Golongan 2 (IIa) tabel periodik (Gambar 5.1), dan logam struktur paling ringan. Senyawanya banyak digunakan dalam konstruksi dan pengobatan, dan magnesium adalah salah satu elemen penting untuk semua kehidupan seluler.

Dikenal awalnya melalui senyawa seperti garam Epsom (sulfat), magnesita atau magnesita alba (oksida), dan magnesit (karbonat), unsur putih keperakan itu sendiri tidak tersedia atau terjadi secara bebas di alam. Magnesium pertama kali diisolasi pada tahun 1808 oleh Sir Humphry Davy, yang menguapkan merkuri dari amalgam magnesium yang dibuat dengan mengelektrolisis campuran magnesita lembab dan oksida merkuri. Nama magnesium sendiri berasal dari Magnesia, sebuah distrik di Thessaly (Yunani) tempat mineral magnesita alba pertama kali ditemukan.

Magnesium adalah unsur paling melimpah kedelapan di kerak bumi (sekitar 2,5 persen) dan merupakan logam struktural paling banyak ketiga setelah aluminium dan besi. Kelimpahan kosmiknya diperkirakan $9,1 \times 10^5$ atom (pada skala di mana kelimpahan silikon = 106 atom) dalam bentuk karbonat (magnesit, MgCO_3 , dan dolomit, $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) dan di banyak silikat umum, termasuk bedak, olivin, dan sebagian besar jenis asbes. Magnesium juga ditemukan sebagai hidroksida (brucite), klorida (carnalite, $\text{KMgCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), dan sulfat (kieserite). Tak hanya itu, magnesium juga didistribusikan dalam mineral seperti serpentine, chrysolite, dan meerschaum. Air laut mengandung sekitar 0,13 persen magnesium, sebagian besar sebagai klorida terlarut, yang memberikan rasa pahit yang khas.

Magnesium diproduksi secara komersial dengan elektrolisis magnesium klorida cair (MgCl_2), diproses terutama dari air laut dan dengan reduksi langsung senyawanya dengan zat pereduksi yang sesuai—misalnya, dari reaksi magnesium oksida atau dolomit terkalsinasi dengan ferrosilikon (proses Pidgeon). Sifat fisik dari magnesium dijabarkan dalam Tabel 5.2.

Tabel 5.2 : Sifat Fisik Umum Magnesium

Sifat-Sifat	Nilai
Nomor Atom	12
Berat atom	24,305
Titik leleh	650 °C
Titik didih	1090 °C
<i>Specific gravity</i>	1,74 di suhu 20 °C
<i>Oxidation state</i>	+2

Konduktivitas termal dan listrik magnesium dan titik lelehnya sangat mirip dengan aluminium. Sementara aluminium tak tahan oleh basa tetapi tahan terhadap sebagian besar asam, magnesium tahan terhadap sebagian besar basa tetapi tidak tahan oleh sebagian besar asam untuk membebaskan hidrogen (pengecualian penting adalah asam kromat dan hidrofluorik). Pada suhu normal, magnesium stabil di udara dan air karena pembentukan lapisan tipis pelindung oksida, tetapi tak tahan oleh uap. Magnesium adalah agen pereduksi yang kuat dan digunakan untuk menghasilkan logam lain dari senyawanya (misalnya, titanium, zirkonium, dan hafnium).

5.4 Manfaat Magnesium

Dahulu orang-orang menggunakan magnesium untuk pita dan bedak *flash* fotografi, karena dalam bentuk yang halus menyerupai serbuk magnesium terbakar di udara dengan cahaya putih yang kuat (saat ini masih ditemui dalam perangkat peledak dan piroteknik). Karena kepadatannya yang rendah (hanya dua pertiga dari aluminium), magnesium banyak digunakan dalam industri kedirgantaraan. Namun, karena logam murni memiliki kekuatan struktural yang rendah, magnesium terutama digunakan dalam bentuk paduan — terutama dengan 10 persen atau kurang dari aluminium, seng, dan mangan — untuk meningkatkan kekerasan, kekuatan tarik, dan kemampuannya untuk diproses

oleh mesin-mesin mekanik. Teknik pengecoran, penggulungan, ekstrusi, dan penempaan semuanya digunakan dengan paduan, dan pembuatan lebih lanjut dari lembaran, pelat, atau ekstrusi yang dihasilkan dilakukan dengan operasi pembentukan, penyambungan, dan pemesinan normal. Magnesium adalah logam struktural termudah untuk mesin dan sering digunakan ketika sejumlah besar operasi mesin diperlukan. Paduan magnesium memiliki sejumlah aplikasi: digunakan untuk bagian pesawat terbang, pesawat ruang angkasa, mesin, mobil, alat portabel, dan peralatan rumah tangga (Britanica, 2022).

Magnesium hidroksida, $\text{Mg}(\text{OH})_2$, adalah bubuk putih yang diproduksi dalam jumlah besar dari air laut dengan penambahan susu kapur (kalsium hidroksida). Ini adalah bahan baku utama dalam produksi logam magnesium dan telah digunakan sebagai aditif tahan api. Dalam air membentuk suspensi yang dikenal sebagai susu magnesia, yang telah lama digunakan sebagai antasida dan pencakar. Sifat magnesium yang tidak berbau memiliki banyak kegunaan industri — misalnya, sebagai insulator panas untuk boiler dan pipa dan sebagai bahan tambahan dalam makanan, obat-obatan, kosmetik, karet, tinta, dan kaca. Karena magnesium karbonat bersifat higroskopis dan tidak larut dalam air, sifat aditif inilah yang digunakan untuk membuat garam meja mengalir bebas bahkan dalam kondisi kelembapan tinggi.

Aksi asam hidroklorat pada magnesium hidroksida menghasilkan magnesium klorida, MgCl_2 , zat tak berwarna, deliquescent (menyerap air) yang digunakan dalam produksi logam magnesium, dalam pembuatan semen untuk lantai, dan sebagai aditif dalam pembuatan tekstil. MgCl_2 juga digunakan untuk mengentalkan susu kedelai dalam produksi tahu.

Magnesium sulfat, MgSO_4 , adalah zat kristal tidak berwarna yang dibentuk oleh reaksi magnesium hidroksida dengan sulfur dioksida dan udara. Suatu bentuk hidrat dari magnesium sulfat yang disebut kieserite, $\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, terjadi sebagai endapan

mineral. Magnesium sulfat yang disiapkan secara sintetik dijual sebagai garam Epsom, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Dalam industri, magnesium sulfat digunakan dalam pembuatan semen dan pupuk serta dalam penyamakan dan pencelupan; dalam pengobatan itu berfungsi sebagai pencahar. Karena kemampuannya menyerap air dengan mudah, bentuk anhidratnya digunakan sebagai pengering (zat pengering).

Selain penggunaannya di Industri, lebih daripada itu, magnesium sangat penting untuk semua sel hidup, karena ion Mg^{2+} terlibat dengan senyawa polifosfat biologis yang sangat penting, DNA, RNA, dan adenosin trifosfat (ATP). Banyak enzim bergantung pada magnesium untuk fungsinya. Sekitar seperenam potasium dalam sel tubuh manusia, magnesium diperlukan sebagai katalis untuk reaksi enzim dalam metabolisme karbohidrat. Magnesium juga merupakan konstituen penting dari klorofil pigmen hijau, ditemukan di hampir semua tumbuhan, alga, dan cyanobacteria. Fungsi fotosintesis tumbuhan bergantung pada aksi pigmen klorofil, yang mengandung magnesium di pusat sistem cincin kompleks yang mengandung nitrogen (porfirin). Senyawa magnesium ini memungkinkan energi cahaya untuk menggerakkan konversi karbon dioksida dan air menjadi karbohidrat dan oksigen dan dengan demikian secara langsung atau tidak langsung menjadi kunci bagi hampir semua proses kehidupan.

DAFTAR PUSTAKA

- American Society For Metals. 1990. *Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials*. ASM Handbook, Tenth Ed. Vol. 2 (ASM International, Materials Park, OH).
- American Society For Testing Materials (Revised Annually). "Copper and Copper Alloys." *Annual Book of ASTM Standards*, Vol.2.1 (2), (ASTM International, West Conshohocken, PA).
- Anderson, D. & Michels, H. T. 2008. "Antimicrobial regulatory efficacy testing of solid copper alloy surfaces in the USA." *Metal Ions in Biology and Medicine*. Vol. 10:185-190. Eds Ph. Collery, I. Maynard, T. Theophanides, L. Khassanova, T. Collery. J. Libbey (Eurotext, Paris).
- Borough, J. W. 1961. "The Effect of Zinc on the Conductivity of Copper," *Transactions of the Metallurgical Society of the American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers*. Vol. 221:1274.
- Breedis, J. F. & Caron, R. N. 1993. "Copper Alloys (Wrought)." *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*, Fourth Ed. Vol. 7:429-73 (John Wiley & Sons, Inc., Hoboken).
- Copper Development Association. 2010. "The Copper Advantage: A guide to Working with Copper and Copper Alloys". First Edition, New York.
- Faundez, G., Trancoso, M., Navarete, P. & Figueroa, G. 2004. "Antimicrobial activity of copper surfaces against suspensions of *Salmonella enterica* and *Campylobacter jejuni*." *BioMed Central Microbiology*. Vol. 4:19.
- Gould et al. 2009. "The antimicrobial properties of copper surfaces against a range of clinically important pathogens." *Annals of Microbiology*. Vol. 59:1, 151-156.

- Kuhn, P. J. 1983. "Doorknobs: a source of nosocomial infection?" *Diagnostic Medicine*. Nov/Dec.
- Michels, H.T., et al. 2005. "Antimicrobial effects of cast copper alloy surfaces on the bacterium *E. coli* 0157:H7" *AFS Transactions*. Paper 05-009(03):275-287. (American Foundry Society, Schaumburg).
- Michels, H. T., Wilks, S. A., & Keevil, C. W. 2004. "Effects of copper alloy surfaces on the viability of bacterium, *E. coli* 0157:H7." The Second Global Congress Dedicated to Hygienic Coatings & Surfaces. Paper 16. (Paint Research Association, Middlesex).
- Michels, H. T., Noyce, J. O., & Keevil, C. W. 2009. "Effects of temperature and humidity on the efficacy of Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* challenged antimicrobial materials containing silver and copper." *Letters in Applied Microbiology*. Vol. 49:191-195.
- Michels, H. T., Wilks, S. A., & KEEVIL, C. W. 2003. "The antimicrobial effects of copper alloy surfaces on the bacterium *E. coli* 0157:H7." *Proceedings of Copper 2003 - Cobre 2003*. Vol. 1:439-450. (The Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum, Montreal).
- Noyce, J. O., Michels, H. T., & Keevil, C. W. 2007. "Inactivation of Influenza A virus on copper versus stainless steel surfaces." *Applied and Environmental Microbiology*. Vol.73 (8):2748 – 2750.
- Noyce, J. O., Michels, H. T. & Keevil, C. W. 2006. "Potential use of copper surfaces to reduce survival of epidemic Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* in the healthcare environment." *Journal of Hospital Infection*. Vol. 63:289–297.
- Sasahara, T. & Niiyama, N. 2008. "Bactericidal activity and sensitization capacity of copper and its alloys." *Journal of the Japan Research Institute for Advanced Copper-Base Materials and Technologies*. Vol. 47: 1-7

- Hanusa, T.P. 2020. "Magnesium", online: <https://www.britannica.com/science/magnesium>. Diakses tanggal 5 Januari 2023.
- Tyler, D. E. 1990. "Wrought copper and copper alloy products." *Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials*. ASM Handbook, Tenth Ed. Vol. 2:244 (ASM International, Materials Park, OH).
- Weaver, L., MICHELS, H. T., & KEEVIL, C. W. 2008. "Survival of *Clostridium difficile* on copper and steel: Futuristic options for hospital hygiene." *Journal of Hospital Infection*. Vol. 68 (2):145-151.
- Wilks, S. A., Michels, H. T. & Keevil, C. W. 2006. "Survival of *Listeria monocytogenes* on metal surfaces: Implications for cross-contamination. *International Journal of Food Microbiology*. Vol. 111:93-98.
- Wilks, S. A., Michels, H. T., & Keevil, C.W. 2005. "The survival of *Escherichia coli* O157:H7 on a range of metal surfaces." *International Journal of Food Microbiology*. Vol.105:445-454.

BAB 6

NIKEL, TITANIUM DAN LOGAM *NON-FERROUS* LAINNYA SERTA KARAKTERISTIKNYA

Oleh Jan Setiawan

6.1 Nikel

Elemen Nikel (Ni) pertama kali diperoleh ahli kimia dari Swedia yang bernama Axel Fredrik Cronstedt pada tahun 1751. Elemen dengan warna seperti perak-putih ini tersebar di kerak Bumi lebih umum dibandingkan tembaga. Namun, yang kandungannya bernilai ekonomis hanya ditemukan di beberapa lokasi saja. Pada tahun 2021, Indonesia merupakan negara yang memproduksi nikel tertinggi di dunia (U.S. Geological Survey, 2022). Elemen nikel di alam berupa bijih mineral dalam bentuk oksida, sulfida dan silikat. Bijih mineral untuk nikel ditabulasikan pada Tabel 6.1

Tabel 6.1 : Bentuk bijih mineral nikel (Dutta & Lodhari, 2018)

No	Bentuk bijih mineral nikel	Jenis mineral
1	Sulfida	• Millerite (NiS) • Pentlandite $[(\text{Ni},\text{Fe})_{11}\text{S}_{10}]$ • Dalam jumlah kecil berupa campuran nickeliferous pyrrhotite dengan chalcopyrite (Cu_2S, Fe_2S_3)
2	Silikat	Garnierite $[\text{H}_2(\text{Mg},\text{Ni})\text{SiO}_4]$
3	Oksida	• Nickeliferous laterites

No	Bentuk bijih mineral nikel	Jenis mineral
		Nodul laut
4	Tembaga-nikel	Pyrrhotite, pentlandite, chalcopyrite dan pyrite (dimungkinkan juga ada sejumlah limonite dan magnetite)

Proses ekstraksi nikel dari alam serupa dengan proses ekstraksi tembaga. Secara umum langkah proses ekstraksi dapat dikelompokkan menjadi kegiatan (Dutta & Lodhari, 2018),

1. Peningkatan konsentrasi,
2. Perlakuan konsentrat Ni-Cu sulfida, dan
3. Pemurnian.

6.1.1 Karakteristik Nikel (Bolton & Higgins, 2021; Dutta & Lodhari, 2018; Enghag, 2004; Gupta, 2014; Naboychenko dkk., 2009b; Schwartz & L., 2016)

Dalam tabel periodik, Nikel yang disimbolkan dengan Ni berada pada kelompok logam transisi dengan nomor atom 28 yang memiliki konfigurasi elektronnya adalah $[Ar] 3d^8 4s^2$. Bilangan oksidasi nikel yang umum adalah +2. Berat atom relatif sebesar 58,69 amu dan densitasnya sebesar 8,88 g/cm³. Nikel memiliki temperatur leleh dan didih yang tinggi sebesar 1445 °C dan 3075 °C. Nikel merupakan elemen yang tidak beracun. Elemen ini memiliki struktur kristal kubus-*face center cubic* (FCC). Karakteristik mekaniknya tangguh dan daktil. Nikel memiliki ketahanan korosi dan panas yang baik. Alamiahnya elemen nikel bersifat ferro-magnetik. Nikel dapat terlarut dalam asam, namun tidak bereaksi dengan alkali. Dengan keunikan ini, elemen nikel digunakan sebagai unsur pepadu untuk meningkatkan ketahanan korosi dan panas. Apabila elemen nikel dipadu dengan titanium akan mejadi salah satu wujud dari *shape memory alloy*. Paduan ini memiliki kemampuan kembali ke bentuk awal ketika dipanaskan.

Pada saat temperatur turun di bawah temperatur transformasi akan terbentuk struktur martensit, struktur ini akan berubah ke bentuk struktur awalnya ketika paduan tersebut dipanaskan di atas temperatur transformasi.

6.1.2 Aplikasi Nikel (Bolton & Higgins, 2021; Dutta & Lodhari, 2018; Enghag, 2004; Schwartz & L., 2016)

Nikel dimanfaatkan sebagai elemen pemadu yang diaplikasikan dalam berbagai bidang seperti, pemrosesan kimia, penelitian angkasa luar dan reaktor nuklir. Nikel digunakan untuk meningkatkan karakteristik kekuatan dan daktilitas. Nikel murni dapat digunakan sebagai katalis dalam berbagai reaksi seperti *cracking* gas alam dan hidrogenasi minyak nabati. Dalam baja tahan karat (*stainless steel*) kandungan nikel berkisar pada 8% yang menunjukkan karakteristik tahan karat dan temperatur tinggi. Baja dengan kandungan elemen pemadu nikel hingga 5,25% memiliki karakteristik daktil, banyak digunakan dalam berbagai aplikasi struktur. Nikel juga digunakan sebagai elemen pemadu dalam pemanas elektrik dan termokopel. Karakteristiknya yang tidak beracun, nikel juga dimanfaatkan sebagai perangkat penanganan makanan dan peralatan untuk pemrosesan produk farmasi. Bentuk nikel sebagai paduan non-ferrous dijabarkan pada Tabel 6.2

Tabel 6.2 : Paduan non-ferrous mengandung nikel (Dutta & Lodhari, 2018; Gupta, 2014)

No	Paduan	Kandungan dan Karakteristik
1	Inconel	Paduan ini mengandung 80% Ni, 13% Cr dan 7% Fe. Memiliki ketahanan korosi pada temperatur tinggi yang baik. Paduan ini digunakan pada industri pemurnian minyak bumi, susu, sari buah, alkali dan minyak nabati.
2	Nichrome	Paduan ini mengandung 80% Ni, dan 20% Cr. Paduan ini digunakan sebagai termokopel, elemen pemanas dan pengukur regangan.
3	Nimonic	Paduan ini mengandung 76% Ni, 30% Cr, 3% Fe , <1% Ti dan elemen lainnya. Paduan ini merupakan <i>superalloy</i> yang digunakan pada turbin gas, mesin jet dan roket, turbin uap, pembangkit tenaga nuklir dan peralatan petrokimia.
4	Monel	Paduan ini mengandung 67% Ni, 30% Cu dengan Mn, Fe. Memiliki ketahanan korosi dan kekuatan yang baik. Paduan ini dapat digunakan pada industri makanan, kimia, minyak bumi, rumah sakit, perangkat dapur dan kelautan.
5	Cupronickel	Paduan ini mengandung 30% Ni dan 70% Cu. Karakteristiknya memiliki ketahanan korosi yang umum digunakan sebagai tabung penukar panas, bilah turbin uap dan uang logam.
6	<i>German Silver / Nickel Silver</i>	Meskipun menggunakan kata <i>silver</i> , paduan ini tidak mengandung perak sama sekali. Paduan ini dibuat untuk mengganti logam perak yang memiliki harga lebih mahal. Kandungan paduan ini adalah 10-

		30% Ni, 5-30% Zn, 1-10% timbal dan sisanya Cu. Paduan ini mudah dikenai kerja, memiliki ketahanan korosi yang baik. Paduan ini umum digunakan sebagai hiasan, perhiasan, perangkat makan, musik dan peralatan perawatan gigi.
--	--	---

6.2 Titanium

Titanium (Ti) merupakan elemen yang ditemukan oleh mineralogis William Gregor pada tahun 1791. Namun produksi titanium sebagai industri baru mulai pada akhir tahun 1940 yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan rekayasa ruang angkasa. Titanium sendiri merupakan elemen yang sangat banyak berada di kerak Bumi dan 50 kali lebih banyak dari tembaga. Pemrosesan titanium sangat sulit karena titanium lebur akan sangat mudah bereaksi secara kimia dengan bahan lain. Dikarenakan hal ini biaya pemrosesan menjadi lebih tinggi.

6.2.1 Karakteristik Titanium (Bolton & Higgins, 2021; Enghag, 2004; Gopienko & Neikov, 2009; Gupta, 2014; Schwartz & L., 2016)

Titanium memiliki warna putih dengan fraktur permukaan seperti baja. Pada titanium murni, memiliki kekuatan tarik maksimum tidak lebih dari 400 MPa, namun bila dipadu dengan elemen lain seperti Al, Sn dan Mo, kekuatan tariknya meningkat hingga 1400 MPa. Titanium memiliki rasio kekuatan ke berat yang luar biasa berada antara Al dengan baja. Titanium memiliki nomor atom 22 dengan konfigurasi elektro $[Ar] 3d^2 4s^2$. Bilangan oksidasi yang secara umum stabil adalah +4. Memiliki berat atom relatif sebesar 47,88 amu dengan densitasnya sebesar 4,5 g/cm³. Temperatur leleh dan didih titanium berturut-turut sebesar 1667 °C dan 3285 °C. Titanium merupakan elemen polimorf, pada fasa alfa memiliki struktur kristal *hexagonal closes pack* (HCP). Pada

fasa beta akan memiliki struktur kristal kubus-*body centered cubic* (BCC) yang terjadi ketika dipanaskan mulai pada temperatur 882 °C. Penambahan elemen pepadu ke titanium akan mempengaruhi temperatur transformasi dan memperoleh fasa beta ditemperatur ruang. Dengan demikian pada temperatur kamar dapat diperoleh fasa alfa, fasa alfa dengan beta ataupun fasa beta seluruhnya. Kandungan fasa alfa dan beta mempengaruhi karakteristik kekuatan tarik, daktilitas, mulur, kemudahan pengelasan dan membentuk paduan titanium. Karakteristik korosinya sebanding dengan baja tahan karat, keunggulannya titanium tahan terhadap korosi oleh Cl. Adanya oksigen dan nitrogen yang terlarut padat dalam titanium mendorong peningkatan kekuatan tarik dan sedikit menurunkan daktilitasnya. Penambahan Cu-Mn atau Al-Mn dapat meningkatkan kekuatan tarik. Penambahan Sn akan membuat paduan mudah dibentuk dan pengelasan. Penambahan V atau Zr-Mo-Si untuk memperoleh paduan yang memiliki kekuatan tarik yang tinggi dan ketahanan mulur yang baik. Pada Tabel 10.3 diberikan paduan titanium berdasarkan strukturnya.

Tabel 6.3 : Paduan titanium berdasarkan strukturnya (Bolton & Higgins, 2021)

No	Paduan	Kandungan dan Karakteristik
1	Titanium Alpha	Paduan ini terbentuk dengan elemen pepadu Al dan Sn sebagai penstabil fasa alfa. Paduan ini sangat tangguh, mampu mempertahankan kekuatannya pada temperatur tinggi. Namun sulit untuk dibentuk. Secara umum, paduan dengan fasa alfa tidak dapat diberi perlakuan panas untuk meningkatkan kekuatannya.
2	Titanium near-alpha	Paduan ini sebagian besar memiliki fasa alfa namun ada sebagian kecil fasa beta yang terdispersi. Paduan ini terjadi pada

No	Paduan	Kandungan dan Karakteristik
		saat ada penambahan elemen Mo dan V pada fasa alfa. Paduan ini digunakan pada kondisi yang dianil. Paduan ini memiliki ketahanan mulur di atas 450 °C.
3	Titanium <i>Alpha-Beta</i>	Paduan ini dibentuk dengan penambahan agen penstabil beta. Paduan ini dapat diperlakukan larutan padat, pendinginan cepat dan <i>aging</i> untuk meningkatkan kekuatan. Paduan ini memiliki kekuatan Tarik yang tinggi hingga 900 – 1250 MPa dan ketahanan mulur hingga temperature 350 – 400 °C.
4	Titanium <i>Beta</i>	Paduan ini seluruhnya memiliki fasa beta pada temperature kamar karena adanya penambahan elemen penstabil fasa beta yang cukup. Paduan ini dapat dilakukan kerja dingin pada perlakuan larutan padat maupun kondisi dipendinginan cepat, maupun <i>aging</i> untuk meningkatkan kekuatan yang lebih tinggi.

6.2.2 Aplikasi Titanium (Bolton & Higgins, 2021; Gupta, 2014; Schwartz & L., 2016)

Dengan karakteristiknya titanium dan paduan digunakan pada rangka dan komponen mesin pesawat terbang, dan reaktor kimia. Selain itu paduan titanium digunakan pada komponen mesin turbin gas seperti bilah kompresornya. Penggunaan lainnya paduan titanium digunakan juga sebagai bilah *shutter* untuk kamera. Paduan titanium yang tahan korosi dan memiliki kompatibilitas dengan tubuh yang baik digunakan sebagai implan. Paduan yang tahan korosi juga digunakan dalam industri kimia untuk penukar kalor. Pada Tabel 6.4 diberikan beberapa paduan titanium dan penggunaannya.

Tabel 6.4 : Paduan titanium dan aplikasinya (Bolton & Higgins, 2021)

No	Paduan	Aplikasi
1	Titanium murni	Digunakan pada pabrik kimia yang membutuhkan ketahanan korosi terhadap asam dan Cl. System air atau api, instalasi pipa kilang minyak dan gas di lepas pantai.
2	Titanium <i>Alpha</i>	Paduan ini dapat dilakukan pengelasan. Digunakan sebagai bilah kompresor pada pesawat terbang dan <i>ducting</i> , bilah alur turbin.
3	Titanium <i>near-alpha</i>	Rangka pesawat pada bagian sayap, bilah dan piringan mesin jet, dan penukar panas bertekanan tinggi.
4	Titanium <i>Alpha-Beta</i>	Rangka pesawat pada bagian <i>flaps</i> , dan bilah dan piringan mesin jet.
5	Titanium <i>Beta</i>	Komponen pesawat angkasa luar, panel <i>honeycomb</i> dan baut sebagai pengikat berkekuatan tinggi.

6.3 Tembaga

Tembaga merupakan logam *non-ferrous* yang memiliki peran penting. Logam ini sangat bermanfaat sebagai paduan bersama Zn dan Sn, dan juga memiliki karakteristik yang unik meskipun dalam keadaan tidak diberikan elemen penguat. Di alam, tembaga berbentuk tembaga sulfida bersama atau tidak dengan sulfida lainnya. Kandungan mineral tembaga yang umum diberikan pada Tabel 10.5. Umumnya bijih sulfida tembaga yang komersial adalah mineral *chalcopyrite*.

Tabel 6.5 : Kandungan mineral tembaga (Bolton & Higgins, 2021)

No	Nama mineral	Kandungan Tembaga
1	Chalcopyrite	CuFeS_2 , 34,5% Cu
2	Chalcocite	Cu_2S , 79,8% Cu
3	Bornite	Cu_5FeS_4 , 55,5% Cu
4	Covellite	CuS , 66,5% Cu
5	Enargite	CuAsS_4 , 48,4% Cu
6	Malachite	$\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$, 57,3%
7	Azurite	$2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$, 55,1% Cu
8	Cuprite	Cu_2O , 88,8% Cu
9	Chrysocolla	$\text{CuSiO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 36,2% Cu

Bijih sulfida dengan kandungan 0,5 – 2% Cu, dianggap layak untuk ekstraksi setelah peningkatan konsentrasi. Berikut ini adalah langkah utama dalam proses ekstraksi tembaga (Bolton & Higgins, 2021; Naboychenko dkk., 2009a),

1. Pengayaan konsentrasi bijih sulfida tembaga,
2. Pemangangan untuk menghilangkan sebagian kandungan sulfur dalam konsentrat tembaga,
3. Peleburan untuk meningkatkan konsentrat tembaga, dan
4. Pemurnian tembaga secara elektrolisis.

6.3.1 Karakteristik Tembaga (Bolton & Higgins, 2021; Enghag, 2004; Gupta, 2014; Schwartz & L., 2016)

Tembaga sebagai logam *non-ferrous* memiliki nomor atom 29 memiliki berat atom relatif sebesar 63,54 amu dengan densitas sebesar 8,96 g/cm³. Konfigurasi elektron dari tembaga adalah [Ar]

$3d^{10} 4s^1$ dengan bilangan oksidasi +1 dan +2. Tembaga memiliki struktur kristal kubus-*face center cubic* (FCC). Logam tembaga dan paduannya memiliki karakteristik daktilitas, mudah dibentuk, kuat, tahan korosi dan panas yang tinggi ($397 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$) serta memiliki daya hantar listrik yang baik ($1,67 \times 10^{-6} \Omega.\text{cm}$). Tembaga merupakan logam non magnetik. Temperatur leleh dari tembaga sebesar 1083°C dan temperatur didihnya sebesar 2562°C . Kekuatan tarik tembaga sebesar 15,75 hingga $17,325 \text{ kg/mm}^2$. Murahness tembaga dibanding emas maupun perak mendorong penggunaan tembaga secara komersial untuk aplikasi kelistrikan lebih luas. Ketidakmurnian dalam tembaga akan menurunkan nilai konduktivitas listrik dan konduktivitas panasnya. Keberadaan fosfor sebesar 0,04% dapat menurunkan hingga 25% konduktivitas listriknya. Tembaga tidak teroksidasi oleh udara. Dalam kondisi suasana korosi yang berat tembaga akan membentuk lapisan tipis oksida yang tahan terhadap korosi. Tembaga sangat tahan terhadap kebanyakan asam dan alkali, selain asam kuat mineral dan amonia. Konduktivitas panas dan ketahanan korosi tembaga yang tinggi digunakan sebagai bahan untuk radiator, boiler dan peralatan pemanas lainnya. Tembaga merupakan elemen renik yang berperan sebagai nutrisi bagi tubuh manusia, meskipun akan beracun apabila kandungannya sangat tinggi.

6.3.2 Aplikasi Tembaga (Bolton & Higgins, 2021; Enghag, 2004; Gupta, 2014; Schwartz & L., 2016)

Tembaga dimanfaatkan secara luas berupa paduan. Paduan yang umum digunakan adalah kuningan (Cu-Zn), perunggu (Cu-Sn) dan paduan Cu-Ni-Zn. Kuningan dengan kandungan Zn mencapai 36% dikenal sebagai α -kuningan. Untuk kandungan Zn antara 37% hingga 45% dikenal sebagai α - β -kuningan. Sedangkan kandungan Zn lebih dari 45% dikenal sebagai β -kuningan. Kuningan digunakan untuk aplikasi titik steker, stop kontak,udukan lampu,

dudukan sekring, saklar, bilah saklar dan kontak geser untuk rheostats. Kuningan yang dikenal sebagai *shape memory alloy* mengandung 55-80% Cu, 2-8% Al dan sisanya Zn.

Perunggu memiliki kekuatan mekanik, ketahanan fatik dan ketahanan korosi yang lebih tinggi dari logam Cu. Paduan Cu-Ni dengan kandungan Cu antara 50 – 70 % memiliki karakteristik daktilitas yang baik dan ketahanan korosi yang tinggi. Namun konduktivitas listriknya lebih rendah dari tembaga murni. Perunggu umumnya dibuat melalui proses tempa. Perunggu berilium digunakan untuk pegas penghantar arus, kontak geser, pisau dan bilah saklar. Perunggu fosfor untuk membuat pegas dan *bushing*. Untuk perunggu cadmium digunakan untuk membuat segmen komutator. Perunggu silikon digunakan sebagai bejana bertekanan, layar penyaring dan komponen kelautan. Perunggu nikel digunakan sebagai komponen katup dan pompa untuk boiler umpan air. Perunggu aluminium serupa dengan perunggu saja. Perunggu ini digunakan sebagai lembaran atau tabung untuk kondenser dan penukar panas. Selain itu digunakan juga sebagai komponen katup, pompa dan roda gigi.

Paduan tembaga lainnya antara lain (Bolton & Higgins, 2021),

1. Monel merupakan paduan tembaga yang mengandung 68% Ni, digunakan sebagai katup dan penukar panas. Diaplikasikan pada industri makanan dan pada temperatur tinggi kecuali dalam lingkungan SO₂ atau oksidasi.
2. Tembaga cadmium yang mengandung 1% Cd, diaplikasikan pada telepon dan kabel atas.
3. Tembaga arsenik yang mengandung 0,4% As, diaplikasikan pada temperatur tinggi dan produksi uap.

6.4 Seng, Timbal, Logam Mulia dan Logam Tanah Jarang

Pada bagian ini akan dibahas secara ringkas mengenai seng (Zn), timbal (Pb), dan beberapa logam mulia dan logam tanah jarang.

6.4.1 Seng dan Karakteristiknya (Bolton & Higgins, 2021; Frishberg, 2009; Gupta, 2014; Schwartz & L., 2016)

Seng merupakan logam *non-ferrous* dengan nomor atom 30. Elemen ini memiliki konfigurasi elektronnya $[Ar] 3d^{10} 4s^2$, bilangan oksidasinya +2 dan memiliki struktur kristal HCP. Elemen ini memiliki berat atom relatif sebesar 65,38 amu dan densitas sebesar $7,14 \text{ g/cm}^3$. Elemen ini memiliki temperatur leleh sebesar $419,527^\circ\text{C}$ dengan temperatur didih sebesar 907°C . Elemen ini memiliki konduktivitas listrik yang rendah ($5,916 \times 10^{-6} \Omega\cdot\text{cm}$) dan konduktivitas panas yang baik ($113 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$). Beberapa mineral seng antara lain: *sphalerite* atau *blende* (ZnS , kubus), *smithsonite* (ZnCO_3 , trigonal), *hemomorphite* atau *calamine* ($\text{Zn}_4\text{Si}_2\text{O}_7(\text{OH})_2\cdot\text{H}_2\text{O}$, monoklinik) dan *franklinite* (ZnFe_2O_4 , kubus). Elemen ini memiliki ketahanan korosi yang tinggi dalam lingkungan alam namun terkorosi oleh mirenal dan asam organik dengan pembentukan hidrogen. Logam ini mudah dipadukan dengan besi, lapisan tipis seng dapat diperoleh melalui proses galvanisasi *hot-dip* atau elektro galvanisasi untuk meningkatkan waktu penggunaan baja. Paduan seng secara luas diaplikasikan pada peralatan rumah tangga, otomotif, bangunan dan konstruksi.

6.4.2 Timbal dan Karakteristiknya (Enghag, 2004; Gupta, 2014; Schwartz & L., 2016)

Timbal telah diketahui dan digunakan sejak 7000 – 5000 tahun sebelum masehi. Timbal diperoleh dari bijih dan berbentuk dalam berbagai mineral, dan mineral yang umum adalah *galena* (PbS). Timbal memiliki nomor atom dengan berat atom relatifnya 82 adalah 207,21 amu. Timbal merupakan salah satu logam

komersial yang lunak dengan densitas sebesar 11,36 g/cm³. Temperatur leleh timbal sebesar 327 °C dan temperatur didihnya sebesar 1750 °C. Elemen ini memiliki kekuatan tarik yang rendah (1,575 kg/mm²). Timbal mudah untuk dibuat menjadi lembaran atau menjadi pipa. Proses penggabungan tidak perlu menggunakan bahan tambahan yang dikenal dengan *lead burning*. Namun timbal bersifat beracun dan berbahaya bagi kesehatan manusia. Ketahanan korosi timbal terhadap asam (larut dalam asam nitrat), alkali dan berbagai macam senyawa, pernah dimanfaatkan sebagai pelindung pada berbagai peralatan kimia saat baja tahan karat dan plastik belum dikenal. Ketahanan korosi timbal terhadap asam mineral, banyak digunakan sebagai tangki penyimpan asam sulfur. Kekerasan timbal ditingkatkan dengan menambahkan Sb dan As yang akan digunakan pada peralatan pabrik kimia. Penambahan sejumlah logam lain dalam timbal dapat mengubah dan meningkatkan karakteristik tertentu. Penambahan 0,003 – 0,005% Ag atau Cu secara bersama-sama dapat meningkatkan kekuatan tarik hingga 15%. Paduan Sn-Cd-Pb yang dibentuk dengan 1,25-1,75% Sn dan 0,2-0,3% Cd dapat meningkatkan ketahanan mulur dan kekuatan tariknya dan juga meningkatkan ketahanan fatik. Penggunaan paduan timbal dapat digunakan sebagai logam *bearing*, timbal antimonial dan bahan solder.

6.4.3 Logam Mulia (Enghag, 2004; Gupta, 2014; Naboychenko dkk., 2009c; Schwartz & L., 2016)

Beberapa logam yang dikatakan sebagai logam mulia adalah ruthenium (Ru), rhodium (Rh), palladium (Pd), perak (Ag), osmium (Os), iridium (Ir), platina (Pt) dan emas (Au). Salah satu karakteristik utama dari logam mulia adalah memiliki ketahanan oksidasi dan korosi meskipun pada temperatur tinggi. Dalam sub bab ini pembahasan dibatasi pada perak, platina dan emas.

A. Perak (Ag)

Elemen ini memiliki nomor atom 47 dengan konfigurasi elektron $[\text{Kr}] 4d^{10} 5s^1$ dan memiliki bilangan oksidasi +1. Berat atom relatif perak sebesar 107,86 amu dengan densitasnya sebesar $10,49 \text{ g/cm}^3$. Struktur kristal perak seperti tembaga yaitu FCC. Temperatur leleh perak sebesar $961,9^\circ\text{C}$ dan temperatur didihnya sebesar 2212°C dengan konduktivitas panasnya sebesar $418 \text{ W.m}^{-1}\text{.K}^{-1}$. Perak banyak digunakan sebagai uang kion, peralatan makan, perhiasan, bahan gigi dan kesehatan, peralatan elektronik dan kelistrikan, peralatan kimia dan katalis, dan fotografi.

B. Emas (Au)

Elemen ini memiliki nomor atom 79 dengan konfigurasi elektron $[\text{Xe}] 4f^{14} 5d^{10} 6s^1$ dan memiliki bilangan oksidasi +1 dan +3. Emas memiliki struktur kristal yang serupa dengan tembaga yaitu FCC. Berat atom relatif emas sebesar 196,97 amu dengan densitasnya sebesar $19,32 \text{ g/cm}^3$. Temperatur leleh emas sebesar $1064,43^\circ\text{C}$ dan temperatur didihnya sebesar 2808°C . Emas memiliki hambatan listrik sebesar $2,06 \times 10^{-6} \Omega\text{.cm}$ dan konduktivitas panasnya sebesar $3,14 \text{ W.cm}^{-1}\text{.K}^{-1}$. Emas tidak bereaksi dengan air, udara kering ataupun lembab, oksigen hingga pada temperatur tinggi, ozon, dan hidrogen sulfida dalam kondisi normal. Emas telah dikenal jauh sebelum masehi. Sebagai benda berharga emas dibentuk sebagai koin, medali, dan batangan yang dapat digunakan sebagai alat tukar barang dan jasa. Emas juga digunakan sebagai perhiasan, peralatan elektronik dan kelistrikan, bahan gigi, dan peralatan kimia dan katalis.

C. Platina (Pt)

Platina memiliki nomor atom 78 dengan konfigurasi elektron $[\text{Xe}] 4f^{14} 5d^9 6s^1$ dan memiliki bilangan oksidasi +2 dan +4. Emas memiliki struktur kristal yang serupa dengan tembaga yaitu FCC. Berat atom relatif platina sebesar

195,08 amu dengan densitasnya sebesar 21,45 g/cm³. Temperatur leleh platina sebesar 1772 °C dan temperatur didihnya sebesar 3827 °C. Platina memiliki hambatan listrik sebesar $9,825 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}$ dan konduktivitas panasnya sebesar 73 W.cm⁻¹.K⁻¹. Platina tidak teroksidasi oleh udara dan memiliki ketahanan korosi dan bahan kimia. Platina sebagai logam mulia juga digunakan sebagai perhiasan, dan uang koin. Platina juga digunakan dalam peralatan laboratorium seperti krusibel, cawan dan elektroda.

6.4.4 Logam Tanah Jarang (Enghag, 2004; Gupta, 2014; McGill, 2000; Schwartz & L., 2016)

Kelompok logam tanah jarang adalah kelompok elemen lantanida dengan scandium dan yttrium. Elemen yang termasuk dalam kelompok logam tanah jarang diberikan dalam Tabel 10.6.

Tabel 6.6 : Elemen logam tanah jarang (McGill, 2000)

No	Elemen	Simbol	Nomor Atom	Berat Atom (amu)
1	Scandium	Sc	21	44,9559
2	Yttrium	Y	39	88,9059
3	Lanthanum	La	57	138,9055
4	Cerium	Ce	58	140,12
5	Praseodymium	Pr	59	140,9077
6	Neodymium	Nd	60	144,24
7	Promethium	Pm	61	145

No	Elemen	Simbol	Nomor Atom	Berat Atom (amu)
8	Samarium	Sm	62	150,4
9	Europium	Eu	63	151,96
10	Gadolinium	Gd	64	157,25
11	Terbium	Tb	65	158,9254
12	Dysprosium	Dy	66	162,5
13	Holmium	Ho	67	164,9304
14	Erbium	Er	68	167,26
15	Thulium	Tm	69	168,9342
16	Ytterbium	Yb	70	173,04
17	Lutetium	Lu	71	174,97

Bilangan oksidasi untuk semua logam tanah jarang adalah +3. Logam tanah jarang memiliki keunikan karakteristik magnetik. Untuk Sc^{3+} , Y^{3+} , La^{3+} dan Lu^{3+} bersifat diamagnetik, sedangkan untuk lainnya bersifat paramagnetik. Struktur kristal logam tanah jarang memiliki beberapa struktur. Pada temperatur kamar, Sc, Y, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, dan Tm struktur kristalnya HCP. Untuk La, Pr dan Nd memiliki struktur kristal HCP ganda (jenis La). Logam Ce dan Yb memiliki struktur FCC. Elemen Sm berupa rhombohedral dan Eu berupa BCC. Temperatur leleh logam tanah jarang berkisar antara 816 °C (Yb) hingga 1663 °C (Lu) dengan temperatur didih berkisar antara 1194 °C (Yb) hingga 3512 °C (Pr). Logam tanah jarang dan senyawanya digunakan pada berbagai bidang industri untuk tujuan yang bermacam-macam.

Pemanfaatan logam tanah jarang yang paling penting seperti metalurgi, sebagai katalis dalam industri kimia, pewarna untuk gelas dan keramik, produksi magnet dan fosfor.

DAFTAR PUSTAKA

- Bolton, W., & Higgins, R. A. 2021. *Materials for Engineers and Technicians* (7th ed.). Routledge.
- Dutta, S. K., & Lodhari, D. R. 2018. *Extraction of Nuclear and Non-ferrous Metals*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-5172-2>
- Enghag, P. 2004. *Encyclopedia of the Elements*. <https://doi.org/10.1002/9783527612338>
- Frishberg, I. V. 2009. Production of Zinc, Cadmium and Their Alloy Powders. In *Handbook of Non-Ferrous Metal Powders* (pp. 409-422). <https://doi.org/10.1016/b978-1-85617-422-0.00019-7>
- Gopienko, V. G., & Neikov, O. D. 2009. Production of Titanium and Titanium Alloy Powders. In *Handbook of Non-Ferrous Metal Powders* (pp. 314-323). <https://doi.org/10.1016/b978-1-85617-422-0.00014-8>
- Gupta, K. M. 2014. *Engineering Materials*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b17693>
- McGill, I. 2000. Rare Earth Elements. In *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. Wiley-VCH. https://doi.org/10.1002/14356007.a22_607
- Naboychenko, S. S., Murashova, I. B., & Neikov, O. D. 2009a. Production of Copper and Copper Alloy Powders. In *Handbook of Non-Ferrous Metal Powders* (pp. 331-368). <https://doi.org/10.1016/b978-1-85617-422-0.00016-1>
- Naboychenko, S. S., Murashova, I. B., & Neikov, O. D. 2009b. Production of Nickel and Nickel-alloy Powders. In *Handbook of Non-Ferrous Metal Powders* (pp. 369-398). <https://doi.org/10.1016/b978-1-85617-422-0.00017-3>

- Naboychenko, S. S., Murashova, I. B., & Neikov, O. D. 2009c. Production of Noble Metal Powders. In *Handbook of Non-Ferrous Metal Powders* (pp. 423-435). <https://doi.org/10.1016/b978-1-85617-422-0.00020-3>
- Schwartz, M., & L., C. J. 2016. *Encyclopedia of materials, parts, and finishes* (3rd ed.). CRC Press.
- U.S. Geological Survey. 2022. *Mineral Commodity Summaries 2022*. USA Geological Survey: Reston, VA, USA. <https://doi.org/10.3133/mcs2022>

BAB 7

BAHAN KERAMIK-KOMPOSIT: KARAKTERISTIK DAN APLIKASINYA DI INDUSTRI

Oleh Mustofa

7.1 Pendahuluan

Keramik dan komposit merupakan bahan-bahan yang penggunaannya sangat banyak dan bervariasi. Terkadang pada kondisi tertentu kedua bahan ini menggantikan logam dan polimer. Keramik adalah salah satu bahan yang tergolong bukan logam, meskipun secara kimia komposisinya mengandung logam. Penggunaan dan aplikasi keramik pada dasarnya sudah dikenal sejak lama, bahkan di masa kerajaan-kerajaan di Jawa. Masyarakat pada masa itu menggunakan keramik sebagai peralatan dapur dan peralatan makan seperti gelas, kendi, piring, sendok, dan lain-lain.

Kebanyakan masyarakat saat ini pun mengenal keramik hanya terbatas pada jenis bahan yang digunakan untuk lantai dan ubin. Padahal banyak dari keramik yang pemanfaatannya sangat luas, baik di dunia industri maupun dunia kesehatan. Bahan keramik umumnya memiliki sifat yang keras, namun mudah pecah jika terkena beban, berbeda dengan logam dan polimer. Sifat keras dan mudah pecah mengakibatkan keramik memiliki keuletan yang rendah. Hal ini berkaitan dengan interaksi atomik yang terjadi pada keramik.

Berbeda dengan keramik, komposit merupakan bahan yang tersusun dari dua atau lebih bahan yang secara fisik memiliki fase berbeda seperti logam, polimer, dan keramik. Bahan-bahan ini berkombinasi untuk menghasilkan bahan

komposit yang memiliki sifat berbeda dari bahan penyusunnya. Dalam beberapa hal, komposit merupakan bahan teknik yang menarik karena memiliki struktur yang kompleks. Pemanfaatan komposit pada aspek teknologi dan komersil tidak hanya didasarkan pada perbedaan karakteristik dengan bahan penyusunnya, tetapi juga komposit yang dihasilkan memiliki karakteristik yang jauh lebih baik dari bahan penyusunnya.

Diantara keunggulan komposit adalah memiliki kekuatan dan kekakuan yang tinggi namun ringan dibandingkan baja dan aluminium. Karakteristik seperti ini menjadikan komposit diaplikasikan dalam pembuatan komponen pesawat terbang dan peralatan olahraga. Kondisi lain bahwa komposit umumnya memiliki sifat lelah (*fatigue*) dan ketangguhan yang lebih besar dari logam-logam rekayasa umum. Selain itu, komposit dapat direkayasa menjadi bahan yang tahan korosi, sehingga komposit dapat dimanfaatkan sebagai komponen otomotif. Oleh karena itu, teknologi rekayasa bahan komposit menjadi solusi dalam perancangan komponen dengan karakteristik yang terkadang tidak dimiliki oleh bahan logam, polimer, dan keramik.

7.2 Konsep Dasar

7.2.1 Definisi Keramik

Berkaitan dengan keramik, belum terdapat definisi yang baku untuk menjelaskan istilah keramik. Hal ini karena, beberapa ahli memberikan definisi yang terkadang tidak merangkum semua jenis-jenis keramik. Artinya, keramik dapat memiliki lebih dari satu definisi tergantung dari sudut pandang yang digunakan (Boch & Niepce, 2007). Meskipun demikian, terdapat satu definisi yang umumnya digunakan untuk menjelaskan keramik, yakni keramik dianggap sebagai senyawa anorganik kristalin yang tersusun dari unsur logam dan unsur non-logam (Van Vlack, 2004; Kalpakjian &

Schmid, 2009; Askeland & Fulay, 2009; Groover, 2010; Callister & Rethwisch, 2012), di mana keramik yang dihasilkan dari pembentukan ini dapat berupa oksida, nitrida, dan karbida (Callister & Rethwisch, 2012).

Definisi di atas tidak mewakili untuk jenis keramik yang tersusun atas satu unsur saja, seperti intan dan grafit, di mana keduanya tersusun atas unsur karbon dengan struktur yang berbeda. Selain itu, definisi yang telah disebutkan juga tidak mewakili beberapa jenis keramik lain yang pada kenyataannya berinteraksi secara kovalen seperti silikon karbida (SiC). Hal ini karena, ketika definisi keramik dibawa pada konsep bahan yang terdiri dari logam dan non-logam, maka dapat dimaknai bahwa ikatan yang terjadi adalah ikatan ionik. Namun demikian, terdapat konsep dasar yang menjadikan keramik berbeda dengan logam, yakni ikatan yang terjadi pada keramik bukanlah ikatan logam (Roesler, Harders, & Baeker, 2007).

Berdasarkan konsep-konsep di atas dapat disimpulkan bahwa keramik memiliki definisi yang bergantung pada sudut pandang yang digunakan. Satu kenyataan bahwa keramik bukanlah bahan bukan logam, sehingga interaksi yang terjadi bukanlah ikatan logam melainkan ikatan ionik atau ikatan kovalen. Sebagai contoh, Al_2O_3 dikenal sebagai keramik oksida yang tersusun dari unsur aluminium (logam) dan oksigen (bukan logam) melalui ikatan ionik. Adapun intan dan grafit merupakan tipe keramik yang interaksinya terjadi secara kovalen, begitu juga dengan beberapa keramik lain seperti nitrida (Si_3N_4) dan karbida (SiC).

7.2.2 Definisi Komposit

Komposit merupakan bahan yang tersusun dari kombinasi dua atau lebih fase yang berbeda, baik secara fisik maupun kimia (Askeland & Fulay, 2009; Kalpakjian & Schmid, 2009; Groover, 2010; Callister & Rethwisch, 2012; Zweben, 2015; Yi, 2018). Fase yang dimaksud adalah bahan-bahan yang secara individu memiliki

kemiripan sifat dan karakteristiknya, seperti logam, polimer dan keramik. Polimer memiliki kekuatan dan kekakuan yang rendah, logam memiliki kekuatan dan kekakuan sedang tetapi keuletan tinggi, dan keramik memiliki kekuatan dan kekakuan tinggi tetapi rapuh (Campbell, 2010).

Selain memiliki karakteristik berbeda, konstituen penyusun komposit harus tidak saling larut dan memiliki ikatan antarmuka (Kalpakjian & Schmid, 2009). Berdasarkan konsep-konsep ini, definisi komposit dapat disederhanakan menjadi bahan yang terdiri atas fase matriks dan fase penguat (disebut juga fase pengisi). Fase matriks dapat berupa logam, polimer, dan keramik. Adapun fase penguat dapat berupa partikel, serpihan, atau serat. Fase penguat yang paling umum digunakan adalah serat dengan berbagai jenisnya. Serat yang digunakan sebagai fase penguat diantaranya serat kaca, karbon, keramik, poliamida aromatik, poliester aromatik, polietilen berat molekul sangat tinggi, boron, serat basis SiC dan Aumina, dan serat basal (Zweben, 2015; Feng & Chu, 2018).

7.3 Klasifikasi Bahan Keramik-Komposit

7.3.1 Klasifikasi Keramik

Sebagaimana disebutkan di awal bahwa keramik tidak memiliki pernyataan yang baku untuk mendefinisikannya, sehingga batasan keramik sulit ditentukan. Hal ini berkonsekuensi pada pengklasifikasian keramik. Keramik menurut Kalpakjian & Schmid (2009) terbagi dalam dua kategori umum, yaitu keramik tradisional dan keramik industri. Keramik tradisional dapat berupa ubin, batu bata, pipa saluran pembuangan, tembikar, dan bahan abrasif. Adapun keramik industri (disebut juga keramik teknik) biasanya diaplikasikan pada komponen turbin, sebagai alat penukar panas (*heat exchanger*), bahan semikonduktor, segel, dan digunakan sebagai alat pemotong.

Klasifikasi lain yang mirip dengan klasifikasi pertama adalah apa yang disebutkan oleh Groover (2010), di mana keramik diklasifikasikan dalam tiga jenis, yaitu keramik tradisional, keramik baru, dan kaca. Keramik tradisional adalah keramik-keramik berbasis silikat dari bahan dasar tanah liat seperti batu bata, bahan abrasif, dan semen. Adapun keramik baru dan kaca masing-masing tersusun atas bahan dasar basis non-silikat (seperti oksida dan karbida) dan silika. Berdasarkan komposisi kimianya, keramik terdiri atas keramik oksida, karbida, nitrida (Callister & Rethwisch, 2012), dengan tambahan keramik sulfida dan fluorida (Askeland & Fulay, 2009). Selain itu, Callister & Rethwisch (2012) menambahkan semen dan kaca termasuk dalam keramik tradisional. Lebih lanjut lagi Askeland & Fulay (2009) mengklasifikasikan keramik berdasarkan fungsinya menjadi beberapa kategori sebagaimana disajikan pada Tabel 7.1.

7.3.2 Klasifikasi Komposit

Berdasarkan jenis matriksnya, komposit terbagi menjadi tiga, yaitu komposit matriks logam, komposit matriks polimer, komposit matriks keramik (Groover, 2010). Sebagian yang lain menambahkan satu jenis komposit, yaitu komposit matriks karbon (Zweben, 2015). Namun, di beberapa tempat komposit jenis ini dikategorikan ke dalam komposit matriks keramik (Campbell, 2010). Adapun berdasarkan fase penguatnya, komposit dibedakan menjadi tiga, yaitu komposit penguat partikel, komposit penguat serat, dan komposit struktural (Callister & Rethwisch, 2012). Fase penguat dapat bersifat kontinyu dan tidak kontinyu (terputus-putus). Fase penguat yang kontinyu dapat tersusun secara searah, berselang-seling seperti anyaman pakaian, atau dapat tersusun menyilang (Gambar 7.1). Adapun fase penguat diskontinyu dapat berupa potongan-potongan dan berbentuk tikar (Gambar 7.2).

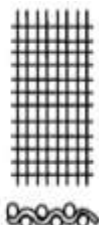
Tabel 7.1 : Klasifikasi Keramik Berdasarkan Fungsinya

Fungsi	Aplikasi	Contoh Keramik
Listrik	Dielektrik kapasitor Superkonduktor	BaTiO_3 , SrTiO_3 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$
Magnetik	Media rekaman Kartu kredit	$\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$, CrO_2 Fe_3O_4
Optik	Kaca	Basis SiO_2
Otomotif	Busi Kaca jendela	Al_2O_3 Kaca basis SiO_2
Mesin/Struktur	Alat-alat potong Bahan abrasif	Cermet WC-Co Al_2O_3
Biomedis	Implant Kedokteran gigi	Hidroksiapatit Porselen, Al_2O_3
Konstruksi	Bangunan	Kaca, beton
Kimia	Penyaring cairan Sensor	Oksida-oksida: Al_2O_3 , ZrO_2 , ZnO
Rumah tangga	Ubin, alat sanitasi Alat-alat dapur	Tanah liat, alumina

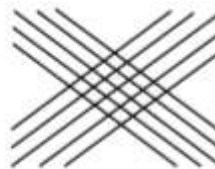
Sumber : Askeland & Fulay (2009)



(a)

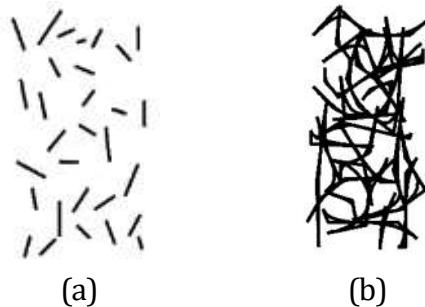


(b)



(c)

Gambar 7.1 : Tipe Fase Penguat Kontinyu: (a) Searah, (b) Selang-seling, dan (c) Menyilang
(Sumber : Campbell, 2010)



Gambar 7.2 : Tipe Fase Penguat Diskontinyu : (a) Potongan-potongan dan (b) Bentuk Tikar
(Sumber: Campbell, 2010)

7.4 Sifat dan Karakteristik

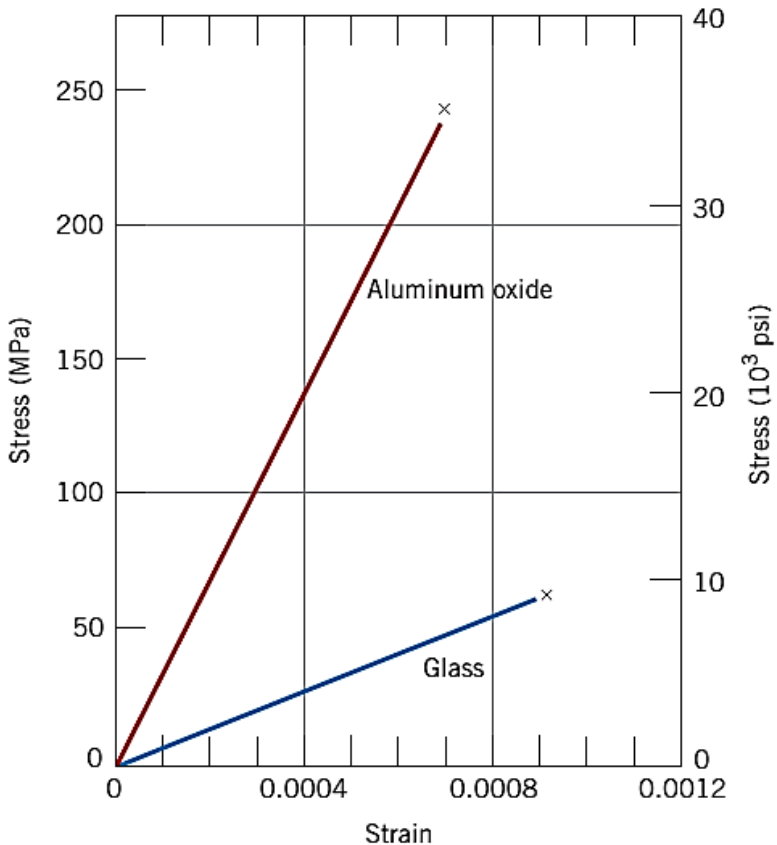
7.4.1 Sifat dan Karakteristik Keramik

Secara umum, keramik memiliki sifat kekuatan, kekerasan, dan modulus elastisitas yang tinggi; rendahnya ketangguhan, densitas, ekspansi termal, konduktivitas listrik dan konduktivitas termal; bersifat rapuh dan terhadap retakan (Kalpakjian & Schmid, 2009; Callister & Rethwisch, 2012). Namun, ada beberapa keramik yang menunjukkan sifat superplastis pada kondisi di bawah tingkat regangan yang lebih kecil dan pada suhu tinggi. Perilaku ini terjadi pada keramik-keramik dengan ukuran butiran yang sangat halus (Askeland & Fulay, 2009). Faktor lain yang sangat berperan dalam menjelaskan karakteristik bahan, terutama keramik adalah strukturnya. Menurut Ohji (2010), struktur bahan keramik berkaitan dengan jenis komponen mikrostrukturnya yang meliputi partikel, butiran, porositas, cacat, serat, lapisan, dan antarmuka. Indikator-indikator tersebut berkaitan dengan perilaku bahan keramik terhadap cacat dan retak internal; adanya pengotor; dan metode yang diterapkan dalam pembuatan keramik (Kalpakjian & Schmid, 2009).

Komponen mikrostruktur bahan keramik yang menjadi dasar dalam menentukan sifat dan karakteristiknya dapat

dikelompokkan berdasarkan ukurannya menjadi empat skala, yaitu skala atom-molekul, skala nano, skala mikro, dan skala makro (Ohji, 2010). Kelompok skala mikrostruktur ini digunakan untuk mengontrol sifat dan karakteristik bahan keramik, termasuk peningkatan dan pengembangannya. Bahan keramik dengan sifat kekuatan dan ketangguhan tinggi memungkinkan untuk dicapai melalui kontrol strukturnya yang meliputi pengendalian ukuran, morfologi, dan penyusunan butir secara bersamaan. Selain itu, peningkatan ketahanan panas dan konduktivitas termal dapat dilakukan dengan cara mengendalikan fase kristal pada batas butir bahan keramik (Ohji, 2010).

Sifat mekanik bahan keramik sulit dijelaskan dengan menggunakan uji tarik sebagaimana pada bahan logam dan polimer. Hal ini karena bahan sampel uji suli dicengkeram dan umumnya keramik mengalami kerusakan pada regangan yang sangat rendah, sekitar 0.1%. Oleh karena itu, pengujian yang cocok untuk menjelaskan perilaku mekanik keramik adalah uji tekuk (*bending*) (Callister & Rethwisch, 2012). Perilaku tegangan-regangan hasil uji *bending* beberapa jenis keramik seperti aluminium oksida dan kaca menunjukkan adanya hubungan linear antara tegangan dan regangan (Gambar 7.3). Selain itu, kedua jenis keramik ini tidak mengalami deformasi plastis sebelum terjadi patah (*fracture*).



Gambar 7.3 : Perilaku Tegangan-Regangan Aluminium Oksida dan Kaca. (Sumber: Callister & Rethwisch, 2012)

Keramik memiliki kekerasan (Tabel 7.2) dan sifat mekanik lain (Tabel 7.3) yang tinggi dan bervariasi. Tingginya kekerasan mengakibatkan kuat tekan yang tinggi, sehingga memiliki modulus elastisitas yang tinggi pula. Perilaku ini menunjukkan bahwa keramik memiliki sifat kegetasan (*brittleness*) yang tinggi. Dengan demikian, keramik memiliki persentase pertambahan panjang (*elongation*) yang rendah dibandingkan logam dan polimer. Modulus elastisitas keramik dipengaruhi oleh porositas fraksi

volume dari bahan tersebut, di mana porositas merusak kekuatan lentur (*bending strength*). Salah satu alasannya adalah karena adanya porositas berpengaruh pada berkurangnya luas penampang yang dikenai beban. Penurunan kekuatan lentur sebesar 50% dapat terjadi karena porositas bahan sebesar 10% volume (Callister & Rethwisch, 2012).

Tabel 7.2 : Kekerasan Beberapa Tipe Keramik

No	Bahan	Sifat Kekerasan (GPa)	
		Vickers	Knoop
1	Intan (karbon)	130.0	103.0
2	Boron karbida (B ₄ C)	44.2	-
3	Aluminium oksida (Al ₂ O ₃)	26.5	-
4	Silikon karbida (SiC)	25.4	19.8
5	Tungsten karbida (WC)	22.1	-
6	Silikon nitrida (Si ₃ N ₄)	16.0	17.2
7	Zirkonia (ZrO ₂)	11.7	-

Sumber: Callister & Rethwisch (2012)

Tabel 7.3 : Sifat Mekanik Beberapa Jenis Keramik

Bahan	Kuat Lentur (MPa)	Kuat Tekan (MPa)	Modulus Young (10 ³ MPa)
Al ₂ O ₃	551.2	2756	385.8
SiC	551.2	3858.4	413.4
Si ₃ N ₄	241.2-895.7	1033.5-3445	310-206.7
Sialon	964.6	3445	310
ZrO ₂	689-792.4	1860.3-1722.5	199.8-206.7

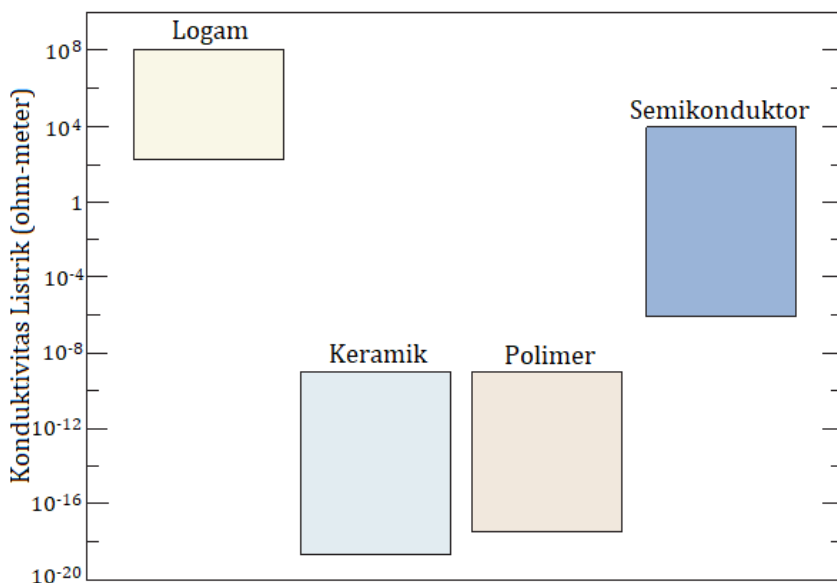
Sumber: Askeland & Fulay (2009)

Untuk keperluan aplikasi yang lebih luas, pengembangan sifat mekanik (terutama kekuatan) bahan keramik dapat dilakukan dengan berbagai metode. Metode-metode ini dilakukan melalui pendekatan dasar yang bertujuan untuk mengurangi cacat

permukaan dan cacat internal. Metode-metode tersebut dapat meliputi (Groover, 2010):

- a) Membuat bahan awal yang seragam (homogen)
- b) Menurunkan ukuran butir untuk produk keramik polikristalin
- c) Meminimalkan porositas
- d) Perlakuan glasir pada permukaan keramik
- e) Menggunakan penguat serat (*fiber*)
- f) Perlakuan panas seperti *quenching*.

Berkaitan dengan sifat fisik, keramik memiliki titik leleh yang lebih tinggi dari kebanyakan logam. Alasan mendasar yang menggambarkan kondisi ini adalah ikatan ionik yang kuat. Akibat dari kuatnya ikatan ini diperlukan energi yang sangat tinggi untuk memutuskan ikatan, sehingga keramik memiliki titik leleh yang tinggi dan berwujud padat pada suhu ruang. Selain itu, keramik memiliki konduktivitas listrik dan panas lebih rendah dibandingkan logam, tetapi rentang nilainya lebih besar (Gambar 7.4). Oleh karena itu, bahan keramik sangat memungkinkan digunakan sebagai insulator (Groover, 2010; Callister & Rethwisch, 2012). Keramik memiliki koefisien ekspansi termal lebih kecil dibandingkan logam. Meskipun demikian, sifat ini sangat berpengaruh terhadap kerusakan keramik disebabkan keramik memiliki sifat rapuh/getas. Oleh karena itu, istilah retak termal berkaitan dengan fungsi koefisien termal dari bahan keramik yang tinggi. Beberapa contoh keramik yang memiliki ekspansi termal rendah dan tahan terhadap retak termal adalah keramik-keramik yang mengandung komposisi SiO_2 yang lebih dominan, seperti gelas Pyrex (Groover, 2010). Nilai konduktivitas termal dan koefisien ekspansi termal beberapa jenis keramik dapat dilihat pada Tabel 7.4.



Gambar 7.4 : Konduktivitas Listrik Beberapa Jenis Bahan
(Sumber: Callister & Rethwisch, 2012)

Tabel 7.4 : Konduktivitas Termal dan Koefisien Ekspansi Termal Beberapa Jenis Keramik

Bahan Keramik	Konduktivitas Termal (W/m.K)	Koefisien Ekspansi Termal ($10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$)
Aluminium oksida 99.9%	39	7.4
96%	35	7.4
90%	16	7.0
Intan	1450-4650	0.11-1.23
Gallium arsenida	45.5	5.9
Kaca, Borosilikat (Pyrex)	1.4	3.3
Keramik kaca	3.3	6.5

Bahan Keramik	Konduktivitas Termal (W/m.K)	Koefisien Ekspansi Termal ($10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$)
(Pyroceram)		
Silika	1.4	0.4
SiC (<i>hot pressed</i>)	80	4.6
SiC (<i>sintered</i>)	71	4.1
Si ₃ N ₄ (<i>hot pressed</i>)	29	2.7
Si ₃ N ₄ (<i>reaction bonded</i>)	10	3.1
Si ₃ N ₄ (<i>sintered</i>)	33	3.1

Sumber: Callister & Rethwisch (2012)

7.4.2 Sifat dan Karakteristik Komposit

Teknologi penggabungan bahan dasar menjadi komposit dimaksudkan untuk memenuhi kebutuhan aplikasinya, terutama untuk meningkatkan kekuatan dan sifat aplikasi lainnya yang tidak dimiliki oleh bahan-bahan tunggal seperti logam, polimer, dan keramik (Askeland & Fulay, 2009; Callister & Rethwisch, 2012). Hal ini karena komposit yang dihasilkan dapat memiliki kekuatan dan kekakuan yang tinggi dengan densitas rendah (Campbell, 2010). Karakteristik ini sangat cocok diaplikasikan dalam komponen pesawat terbang, di mana bahan yang digunakan harus terbuat dari bahan yang ringan, tetapi memiliki kekuatan yang tinggi. Struktur yang ringan mampu meningkatkan efisiensi bahan bakar sebesar 20% (Askeland & Fulay, 2009). Karakteristik yang memungkinkan dapat ditingkatkan dengan pembentukan komposit adalah kekakuan, kekuatan, berat, kinerja pada suhu tinggi, ketahanan korosi, kekerasan, konduktivitasnya (Askeland & Fulay, 2009).

Sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya bahwa komposit tersusun atas campuran bahan-bahan dasar seperti logam, polimer, dan keramik. Oleh karena itu, pengetahuan tentang ketiga bahan

dasar ini merupakan aspek penting dalam memahami struktur dan sifat komposit. Selain bahan dasar ini, ada beberapa indikator yang dapat berpengaruh pada sifat dan karakteristik bahan komposit, seperti bentuk geometris fase penguat; struktur sistem komposit; cara pembuatan dan pemrosesannya; permukaan fase matriks dan fase penguat; kinerja; dan prinsip fungsionalnya (Groover, 2010; Yi, 2018). Sebagai contoh, untuk menghasilkan sifat mekanik yang lebih baik umumnya komposit dirancang dalam bentuk komposit struktural. Adapun untuk menghasilkan sifat fisik/kimia yang baru dari bahan dasarnya umumnya komposit fungsional lebih tepat untuk dibuat (Yi, 2018).

Adapun sifat mekanik bahan komposit ditentukan oleh beberapa faktor, diantaranya (Campbell, 2010):

- a. jenis serat kontinyu atau terputus;
- b. kekuatan dan kekakuan serat;
- c. susunan serat dalam sistem komposit;
- d. jumlah atau persentase volume serat penguat;
- e. kekuatan dan kekakuan matriks;
- f. tipe beban yang diterima;
- g. suhu; dan
- h. kondisi lingkungan.

Fase penguat menjadi faktor penting karena memberikan kekuatan dan kekakuan, di mana kedua sifat ini lebih tinggi dibanding fase matriks. Komposit yang dibuat dari fase penguat berupa serat cenderung memiliki kekuatan yang tinggi dan menghasilkan komponen struktural yang andal dan tahan lama dalam aplikasi (Campbell, 2010; Zweben, 2015). Kekuatan meningkat seiring dengan diameter serat yang semakin kecil. Diameter yang kecil berkontribusi pada pengurangan cacat permukaan yang terjadi. Selain itu, komposit dengan diameter serat yang kecil memiliki fleksibilitas yang lebih besar (Campbell, 2010).

Sifat dan performa komposit juga bergantung pada jenis dan jumlah fase penguat, di mana kekuatan dan modulus tertinggi dihasilkan dari komposit dengan fase penguat berupa serat kontinyu. Namun, komposisi fase penguat tidak melebihi batas 70% volume dari komposisi bahan pembentukan komposit. Hal ini karena pada persentase yang lebih tinggi kemampuan matriks menjadi penopang fase penguat tidak berfungsi secara efektif (Campbell, 2010). Banyak komposit dengan fase penguat serat tidak menunjukkan perilaku plastis sebagaimana logam. Sifatnya yang heterogen berdampak pada kompleksnya kegagalan yang terjadi sebagai fungsi dari ketangguhan suatu bahan (Zweben, 2015).

Dalam sistem komposit, fase penguat tidak terbatas hanya satu jenis bahan (monolitik) tetapi juga dapat berupa gabungan antara dua bahan (hibrid). Teknologi penggabungan fase penguat dalam sistem komposit diketahui memberikan efek positif terhadap komposit serat kaca dalam hal kekuatan tarik, modulus elastisitas dan pengurangan densitasnya. Selain itu, komposit dengan fase penguat berupa hibrid memiliki kekuatan lentur dan stabilitas termal yang lebih tinggi dibandingkan komposit fase penguat monolitik (Isa, Ahmed, Aderemi, Taib, & Mohammed-Dabo, 2013).

Aspek lain yang berpengaruh pada performa dan sifat komposit adalah kondisi lingkungan. Lingkungan yang bersifat korosif seperti air laut dan kondisi yang bersifat asam-basa berdampak pada proses degradasi kelelahan, kuat lentur dan modulus lentur, serta menurunkan sifat mekanik fase matriks (Amaro, dkk., 2013; Mortas, dkk., 2014; Silva, dkk., 2022). Selain itu, bahan komposit yang diaplikasikan dalam lingkungan yang berkontak langsung dengan bahan bakar dapat menurunkan sifat mekaniknya. Bahan komposit yang direndam dalam bahan bakar nabati, kerosin, dan campuran keduanya terjadi penurunan kuat tarik, kuat tekan, modulus elastisitasnya. Kondisi ini terjadi karena

difusi bahan bakar pada bahan komposit menyebabkan terjadinya pembentukan rongga dan retak internal (Kumarasamy, Mazlan, Abidin, & Anjang, 2020).

7.5 Aplikasi Keramik-Komposit di Industri

7.5.1 Aplikasi Keramik

Keramik memiliki karakteristik tahan pada suhu tinggi, sehingga aplikasinya banyak diterapkan pada industri-industri yang memerlukan suhu tinggi seperti pada pengecoran dan pemurnian logam. Tipe-tipe keramik dan aplikasinya telah disajikan pada Tabel 7.1. Beberapa aplikasi keramik dapat diuraikan sebagai berikut (Callister & Rethwisch, 2012):

a. Gelas/kaca

Salah satu keramik jenis ini adalah gelas Pyrex yang dimanfaatkan sebagai peralatan oven. Manfaat lain keramik jenis ini adalah digunakan sebagai botol kaca, lensa dan fase penguat (*fibreglass*) pada proses pembuatan komposit.

b. Produk tanah liat

Produk tanah liat umumnya digunakan dalam bidang konstruksi seperti batu bata, ubin, dan pipa selokan, porselen, tembikar, peralatan makan, dan perlengkapan pipa (*sanitary ware*).

c. Refraktori

Refraktori disebut juga bahan tahan api dengan bentuk seperti batu bata umumnya digunakan sebagai lapisan tungku pada pemurnian logam, pembuatan kaca, perlakuan panas metalurgi, dan pembangkit listrik.

d. Bahan abrasif

Bahan keramik banyak digunakan sebagai bahan abrasif pada proses pemesinan bahan seperti pemotongan logam dan meratakan permukaan bahan. Hal ini karena bahan keramik tahan pada suhu tinggi, sifat kekerasan dan

ketangguhan yang tinggi, serta tahan aus pada suhu tinggi akibat gaya gesek.

Aplikasi lain dari bahan keramik adalah keramik Si-C-N yang dapat digunakan sebagai bahan pemisah dan pemurnian DNA metagenomik (gDNA) karena keramik ini memiliki sifat mekanik yang tinggi dan sifat yang inert (Roh, Lee, & Francois, 2008). Selain itu, bahan keramik monolitik yang bersifat redoks dapat digunakan dalam sistem pembangkit tenaga surya sebagai bahan penyimpan panas termokimia (Karagiannakis, Pagkoura, Zygogianni, Lorentzou, & Konstandopoulos, 2014).

7.5.2 Aplikasi Komposit

Beberapa jenis komposit diaplikasikan dalam industri otomotif, terutama pada komponen-komponen mobil (Srivivas & Charoo, 2019; Sarfraz, Hong, & Kim, 2021; Singh, Brar, Kumar, & Aggarwal, 2021) dan aplikasi bidang kelautan seperti perpipaan dalam aplikasi lepas pantai; konstruksi perangkat eksploitasi pasang surut air laut dalam sektor energi terbarukan; dan restorasi struktur yang terkena lingkungan korosif sebagai upaya perbaikan (Rubino, Nistico, Tucci, & Carlone, 2020).

a) Komposit matriks logam (MMCs)

Salah satu jenis komposit ini adalah komposit matriks aluminium (*Aluminium Matrix Composites, AMCs*) yang dimanfaatkan sebagai bahan dasar pembuatan komponen-komponen otomotif seperti blok dan pelapis silinder, katup, piston, batang penghubung, poros kardán, poros engkol dan poros *camshaft*, dan sistem rem. Ketika suatu komponen memerlukan suhu tinggi dalam aplikasinya seperti pada mesin turbin, maka komposit matriks titanium dapat dijadikan bahan dalam pembuatan komponen tersebut (Geng & Wu, 2018).

b) Komposit matriks polimer (PMCs)

Komposit dengan fase penguat serat karbon banyak diaplikasikan dalam pembuatan atap mobil, rangka kabin, pilar atap, panel lantai, bumper depan dan belakang (Sarfraz, Hong, & Kim, 2021) serta dapat menggantikan besi dan baja (Fuchs, Field, Roth, & Kirchain, 2008). Hal ini karena komposit jenis ini memiliki kekuatan yang tinggi dan densitas rendah (Liu, Zwingmann, & Schlaich, 2015), sehingga kendaraan terasa lebih ringan, hemat bahan bakar, dan memungkinkan untuk penambahan komponen-komponen yang lain (Fuchs, Field, Roth, & Kirchain, 2008).

c) Komposit matriks keramik (CMCs)

Komposit matriks keramik digunakan sebagai bahan sisipan (tambahan) alat pemotong pada proses pemesinan beberapa paduan logam keras, pembuatan turbin gas otomotif, pesawat supersonik, pesawat angkut sipil berkecepatan tinggi, nozel roket dan komponen propulsi, bahan pengereman, komponen dengan keausan tinggi seperti cetakan ekstrusi, dudukan katup, bantalan untuk lingkungan korosif, dan pendorong untuk pompa bahan kimia, serta implan biomedis (Pugh & Brochu, 2006; Banerjee & Bose, 2006; Callister & Rethwisch, 2012).

d) Komposit matriks karbon (CAMCs)

Komposit tipe ini biasanya digunakan dalam nozel roket, komponen sisi depan kendaraan, penutup mesin, pelindung panas, rem pesawat, rem untuk kendaraan balap, dan penyetel dan insulasi tungku suhu tinggi (Campbell, 2010), juga dalam bidang industri material aeronautika, astronautik, militer, dan biomedis (Zhang, *et al.*, 2018).

DAFTAR PUSTAKA

- Amaro, A., Reis, P., Neto, M., & Louro, C. 2013. Effects of Alkalien and Acid Solutions on Glass/Epoxy Composites. *Polymer Degradation and Stability*, 853-862.
- Askeland, D. R., & Fulay, P. P. 2009. *Essentials of Materials Science and Engineering* (2nd ed.). Toronto: Cengage Learning.
- Banerjee, R., & Bose, N. 2006. Fibre-reinforced Glass/Glass-ceramic Matrix Composites. In I. Low, *Ceramic Matrix Composites: Microstructure, Properties and Applications* (pp. 58-98). Abington: Woodhead Publishing Limited.
- Boch, P., & Niepce, J.-C. 2007. *Ceramic Materials: Processes, Properties, and Applications*. Great Britanian: ISTE.
- Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. 2012. *Fundamentals Material Science and Engineering: An Integrated Approach* (4th ed.). United States of America: John Wiley & Sons, Inc.
- Campbell, F. 2010. *Structural Composite Materials*. Ohio: ASM International.
- Feng, C., & Chu, Z. 2018. Fiber Reinforcement. In X.-S. Yi, S. Du, & L. Zhang, *Composite Materials Engineering, Volume 1: Fundamentals of Composite Materials* (pp. 63-150). Beijing: Chemical Industry Press.
- Fuchs, E. R., Field, F. R., Roth, R., & Kirchain, R. E. 2008. Strategic Materials Selection on the Automobile Body: Economic Opportunities for Polymer Composite Design. *Composite Science and Technology*, 1989-2002.
- Geng, L., & Wu, K. 2018. Metal Matrix Composites. In X.-S. Yi, S. Du, & L. Zhang, *Composite Materials Engineering, Volume 2: Different Types of Composite Materials* (pp. 305-487). Beijing: Chemical Indusdy Press.
- Groover, M. P. 2010. *Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems* (4th ed.). United States of America: John Wiley & Sons, Inc.

- Isa, M., Ahmed, A., Aderemi, B., Taib, R., & Mohammed-Dabo, L. 2013. Effect of Fiber Type and Combinations on the Mechanical, Physical and Thermal Stability Properties of Polyester Hybrid Composites. *Composites: Part B*, 217-223.
- Kalpakjian, S., & Schmid, S. R. 2009. *Manufacturing Engineering and Technology*. New Jersey: Pearson Education.
- Karagiannakis, G., Pagkoura, C., Zygogianmi, A., Lorentzou, S., & Konstandopoulos, A. 2014. Monolithic ceramic Redox Materials for Thermochemical Heat Storage Application in CSP Plants. *Energy Procedia*, 820-829.
- Katz, R. N. 2015. Overview of Ceramic Materials, Design, and Application. In M. Kutz, *Mechanical Engineers' Handbook: Materials and Engineering Mechanics* (Vol. 1, pp. 453-472). New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Kumarasamy, S., Mazlan, N. M., Abidin, M., & Anjang, A. 2020. Influence of Fuel Absorption on the Mechanical Properties of Glass-Fiber-Reinforced Epoxy Laminates. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 548-554.
- Liu, Y., Zwingmann, B., & Schlaich, M. 2015. Carbon Fiber Reinforced Polymer for Cable Structures - A Review. *Polymer*, 2078-2099.
- Mortas, N., Er, O., Reis, P., & Ferreira, J. 2014. Effect of Corrosive Solutions on Composites Laminates Subjected to Low Velocity Impact Loading. *Composite Structures*, 205-211.
- Ohji, T. 2010. Structure - Property Relations. In R. Riedel, & I.-W. Chen, *Ceramics Science and Technology, Volume 2: Materials and Properties* (pp. 351-378). Weinheim: WILEY-VC Verlag GmbH & Co. KGaA.
- Pugh, M., & Brochu, M. 2006. Whisker-reinforced Silicon Nitride Ceramics. In I. Low, *Ceramic Matrix Composites: Microstructure, Properties and Applications* (pp. 33-57). Abington: Woodhead Publishing Limited.

- Roesler, J., Harders, H., & Baeker, M. 2007. *Mechanical Behaviour of Engineering Materials*. New York: Springer.
- Roh, C., Lee, S.-H., & Francois, V. 2008. Novel Precursor-derived Si-C-N Ceramic Material for Purification Application. *Journal of Chromatography A*, 145-151.
- Rubino, F., Nistico, A., Tucci, F., & Carlone, P. 2020. Marine Application of Fiber Reinforced Composites: A Review. *Journal of Marine Science and Engineering*, 1-28.
- Sarfraz, M. S., Hong, H., & Kim, S. S. 2021. Recent Developments in the Manufacturing Technologies of Composite Components and Their Cost-effectiveness in the Automotive Industry: A review study. *Composite Structures*, 1-18.
- Silva, M., Santos, P., Parente, J., Valvez, S., & Reis, P. 2022. Effect of Different Hostile Solutions on Mechanical Properties of Composite Materials. *Procedia Structural Integrity*, 841-846.
- Singh, H., Brar, G. S., Kumar, H., & Aggarwal, V. 2021. A Review on Metal matrix Composite for Automobile Applications. *Materials Today: Proceedings*, 320-325.
- Srivyas, P., & Charoo, M. 2019. Application of Hybrid Aluminium Matrix Composite in Automotive Industry. *Materials Today: Proceedings*, 3189-3200.
- Van Vlack, L. H. 2004. *Elemen-elemen Ilmu dan Rekayasa Material*. Jakarta: Erlangga.
- Yi, X.-S. 2018. An Introduction to Composite Materials. In X.-S. Yi, S. Du, & L. Zhang, *Composite Materials Engineering, Volume 1: Fundamentals of Composite Materials* (pp. 1-61). Beijing: Chemical Industry Press.
- Zhang, S., Zhang, Y., Li, A., Chen, Q., Shi, X., Huang, J., & Hu, Z. 2018. Carbon Composites. In X.-S. Yi, S. Du, & L. Zhang, *Composite Materials Engineering, Volume 2: Different Types of Composite Materials* (pp. 531-617). Beijing: Chemical Industry Press.

Zweben, C. 2015. Composite Materials. In M. Kutz, *Engineers' Handbook: Materials and Engineering Mechanics* (Vol. 1, pp. 401-437). New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

BAB 8

FENOMENA KOROSI DAN PENCEGAHANNYA

Oleh Habibi Santoso

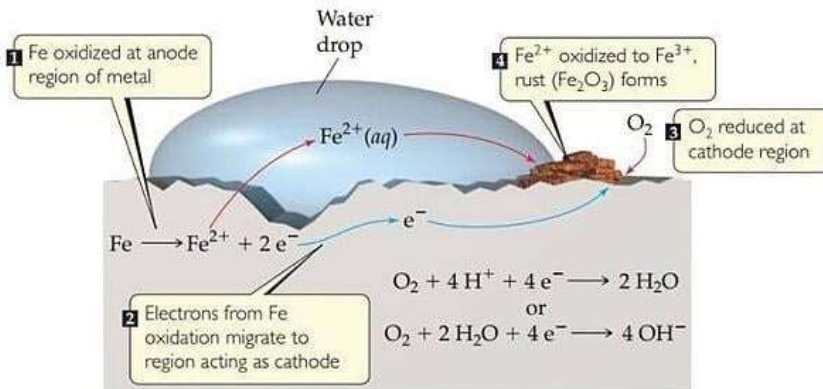
8.1 Pendahuluan

Korosi atau lebih sering disebut karat merupakan proses kimiawi pada logam dalam berbagai kondisi pada lingkungan. Penelitian sistem elektrokimia telah memungkinkan untuk menjelaskan mengenai korosi ini, yaitu pada reaksi kimia yang terjadi pada logam dengan zat yang ada di lingkungan tersebut atau partikel lainnya. Berdasarkan proses kimiawi, korosi adalah reaksi logam yang berubah menjadi ion dipermukaan logam yang bersinggungan dengan lingkungan lembab/basah dan teroksidasi.



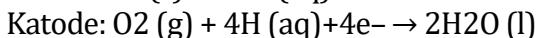
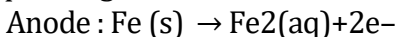
Gambar 8.1 : Logam Korosi
(Sumber: Penulis)

Proses terjadinya korosi berdasarkan elektrokimia, seperti proses pengkaratan logam yang membentuk oksidasi besi. Dengan kata lain, proses berkaratnya logam terbentuk dari hasil oksidasi logam dengan oksigen.



Gambar 8.2 : Korosi Logam karena kontak dengan air
(Sumber: <http://schoolbag.info>)

Korosi pada logam pada gambar diatas terdapat anode dan ada pula katode. Berikut ini adalah persamaan reaksi terbentuknya karat pada logam:



(Dody Putranto, 2008)

Dengan demikian, reaksi korosi terjadi jika logam memiliki anoda, katoda dan elektrolit, serta *fluks* di luarnya. Jika suatu komponen ini tidak ada didalam logam, maka tidak akan terjadi korosi. Sebagai contoh, jika pada permukaan logam tidak terdapat air, maka reaksi korosi tidak akan terjadi pada logam. Demikian juga, jika mengandung besi yang sangat murni, meskipun terdapat

air, pada logam besi tersebut tidak akan terjadi. Peran yang sangat penting pada proses transformasi besi menjadi oksida (Yety, 1999).

8.2 Jenis - jenis Korosi

Berdasarkan wujud kerusakan yang disebabkan korosi, baik berdasarkan penyebabnya, lingkungan pada tempat material dan jenis materialnya, korosi terbagi menjadi sebagai berikut:

1. Korosi General/*Uniform Corrosion*

Uniform Corrosion adalah jenis korosi yang disebabkan reaksi kimia yang merata terjadi di permukaan logam. Efek penipisan pada permukaan menyebabkan keruntuhan akibat tidak mempunya menahan beban. Korosi jenis ini dapat dicegah dengan memilih bahan pelapis, menambahkan inhibitor korosi, atau memakai proteksi katodik.

2. Galvanic corrosion

korosi yang disebabkan oleh hubungan antara dua buah logam yang bersentuhan pada area yang korosif serta adanya beda potensial yang menimbulkan tegangan listrik. Yang menarik dari korosi ini, logam dengan yang memiliki beda potensial yang lebih rendah lebih rendah akan terkorosi, sedangkan logam dengan beda potensial yang lebih tinggi, tidak akan terkorosi.

3. Crevice Corrosion

Crevice Corrosion adalah jenis korosi logam yang terjadi pada ruang antara kedua komponen. Korosi jenis ini adalah kelanjutan dari korosi secara merata di luar dan di dalam celah, sehingga terjadilah reduksi oksigen dan reaksi oksida pada logam. Ketika oksigen pada celah telah habis, sedangkan oksigen di luar celah masih terdapat banyak, maka logam yang permukaannya terhubung di luar akan

menjadi katodik, sedangkan permukaan pada logam di dalam ruang menjadi anodik. Hal ini dapat dikontrol dengan menerapkan *butt joint* alat yang baru dengan cara mengelas, penutupan celah antar sambungan dengan cara pengelasan secara terus-menerus, menjaga kondisi sambungan atap *gap* agar tetap bersih, dan hindari penggunaan bahan kemasan yang dapat menyerap air.

4. *Stress Corrosion*

Stress corrosion adalah korosi yang disebabkan pengaruh hidrogen (hydrogen-induced corrosion) merupakan jenis korosi pada logam yang mengalami perengkakan akibat pengaruh dari lingkungan. Terjadinya *stress corrosion* pada saat logam paduan mengalami tegangan tarik statis dari area lokasi logam tersebut.

5. *Pitting Corrosion*

Pitting Corrosion adalah jenis korosi lokal yang terjadi pada permukaan terbuka yang diakibatkan oleh degradasi lapisan yang pasif. Korosi pitting diawali dengan terbentuknya lapisan pasif pada permukaan, kemudian antara lapisan pasif dengan elektrolit terjadi penurunan kelembapan, sehingga lapisan pasif perlahan larut, dan akhirnya pecah. Korosi pitting ini sangat berbahaya, karena pada area yang kecil (stain) akan membentuk lubang.

6. *Microbially Induced Corrosion* (Korosi Mikroba)

Korosi Mikroba adalah jenis korosi yang disebabkan oleh mikroba atau bakteri. Korosi jenis ini sering terjadi pada area struktural seperti dermaga, pelabuhan atau bagian dari fasilitas produksi minyak dan gas di rig pengeboran lepas pantai yang langsung bersinggungan dengan air. Zona pasang surut yang terkorosi berat merupakan daerah yang kaya oksigen dan juga merupakan daerah yang sangat

subur bagi perkembangan dan metabolisme bakteri. Bakteri hidup akan membentuk koloni yang dapat menempel pada permukaan logam, hasil metabolisme bakteri membentuk asam asetat yang sangat korosif di daerah koloni.

8.3 Faktor-faktor yang Berpengaruh pada Korosi

Terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi terjadinya korosi pada logam, diantaranya:

1. Kecepatan aliran fluida

Semakin besarnya kecepatan aliran fluida berdampak juga pada besarnya laju. Hal ini terjadi karena kontak antara logam dengan zat-zat pereaksi yang semakin besar, sehingga ion pada logam terlepas semakin banyak dan berakibat rapuhnya logam (korosi) (Kirk Othmer, 1965).

2. Konsentrasi bahan korosi

Faktor ini sangat berhubungan dengan kebiasaan dan keasaman (pH) suatu larutan. Keasaman pada larutan bersifat sangat korosif terhadap logam. Ketika logam ada pada wadah yang berisi larutan asam, maka logam akan cepat sekali mengalami korosi, dikarekan reaksi anoda. Sedangkan, ketika logam ada pada wadah berisi larutan basa, maka akan berakibat korosi reaksi katoda yang disebabkan serentakannya reaksi anoda dengan katoda (Djaprie, 1995)

3. Oksigen

Oksigen yang ada pada udara di sekitar kita, dapat mengakibatkan lembabnya permukaan logam, sehingga korosi yang lebih parah dapat terjadi. Pada lingkungan terbuka atau di dalam akan menyebabkan korosi (Djaprie, 1995).

4. Suhu

Kecepatan reaksi korosi akan dapat bertambah dengan cepat, karena naiknya suhu. Ini terjadi karena semakin meningkatnya suhu, maka reaksi pada energi kinetik dari partikel akan meningkat dan melebihi besar nilai aktivitas energi. Hal ini berakibat pada semakin cepatnya laju reaksi (korosi) dan berlaku juga. (Fogler, 1992)

8.4 Dampak korosi

Hingga saat ini, korosi masih menjadi masalah teknis dan ilmiah yang masih terus dikaji. Bahkan, negara majupun mengalami masalah ini dan belum terpecahkan secara ilmiah. Korosi termasuk masalah ekonomi, karena terkait dengan umur logam, menyusutnya logam dan efisiensi penggunaan material dan peralatan yang digunakan oleh industri. Dana yang besar dihabiskan setiap tahunnya untuk pemeliharaan jembatan, mesin industri, kendaraan bermotor, peralatan kantor, baik mekanik ataupun elektrik agar secara konstruksi akan terus bertambah. Kerugian yang disebabkan oleh korosi tidak hanya terbatas pada biaya langsung, seperti penggantian peralatan industri, merawat jembatan, perawatan konstruksi, dan lain-lain, tetapi biaya yang tidak langsung juga terdampak, seperti terganggunya produksi dan kelancaran pengangkutan yang membutuhkan biaya lebih tinggi.

Terjadinya korosi dapat juga dianggap sebagai peristiwa pengembalian logam ke bentuk yang terjadi di alam. Senyawa logam yang hilang ini menyebabkan kerugian yang lebih besar. Berikut ini adalah kerugian-kerugian yang disebabkan oleh korosi:

1. Penampilan tidak bagus
2. Terjadinya kebocoran pada sambungan pipa, biasanya menyebabkan kebocoran karena lubang yang disebabkan oleh beberapa korosi logam



Gambar 8.3 : Korosi pada sambungan pipa air
(Sumber: Penulis)

3. Mengurangi kekuatan dalam konstruksi



Gambar 8.4 : Korosi pada konstruksi
(Sumber: Penulis)

4. Dana yang di butuhkan untuk perawatan cukup tinggi
5. Reaksi korosi dapat berakibat pencemaran pada makanan dan minuman

8.5 Faktor penyebab korosi

Korosi atau karat adalah proses kimia yang terjadi pada logam yang pada dasarnya merupakan hasil reaksi logam yang berubah menjadi ion dipermukaan logam yang bersentuhan dengan area berair dan teroksidasi. Contoh yang sering ditemukan adalah degradasi logam besi dengan pembentukan oksida karat.

Korosi yang terjadi pada logam terkait dengan proses anodik, yaitu oksidasi logam yang menjadi ion dan melepaskan elektron kedalam/dipermukaan logam serta proses katodik bersinggung dengan elektron ini dengan laju yang sama. Oksidasi logam menjadi ion dengan melepaskan elektron ke dalam logam (permukaan) dan proses katodik yang mengkonsumsi elektron ini dengan laju yang sama. Proses katodik umumnya adalah reduksi hidrogen/oksigen di sekitarnya. Sebagai contoh, korosi logam besi di lingkungan dengan udara yang lembab.

8.6 Pengendalian korosi

Logam yang berada dan terpapar langsung dengan lingkungan alam terbuka, maka akan mengalami contact dengan lingkungan, mengakibatkan pertukaran ion pada permukaan logam dengan lingkungan. Sifat penukar ion ditentukan oleh beda potensial antara logam dengan lingkungannya yang menyebabkan logam mengalami korosi. Namun produk korosi berupa karat yang pekat akan berdampak positif bagi logam karena dapat mengganggu pertukaran ion sehingga korosi lebih lanjut akan berkurang

Hal yang terpenting untuk melindungi logam dari korosi adalah mencoba mencegah pertukaran ion antara logam dengan

lingkungan. Bahkan jika tidak dapat sepenuhnya memutuskan pertukaran ion, upaya yang dilakukan untuk menjaga agar pertukaran ion berjalan lambat. Berdasarkan kriteria tersebut, maka muncul istilah “pengendalian korosi” yang sebenarnya mengandung pengertian bahwa pertukaran ion yang terjadi dikendalikan agar tidak terjadi secara cepat. Pertukaran ion dengan lingkungan berdasarkan teori korosi dikenal sebagai arus korosi. Sedangkan besar kecilnya arus korosi menentukan besar kecilnya laju korosi pada suatu logam.

Pengendalian korosi yang dapat dilakukan untuk melindungi logam adalah sebagai berikut (A.A. El-Meligi, 2010:

1. Memilih bahan yang sesuai

Pemilihan material yang tidak sesuai dengan kondisi lingkungan di mana material tersebut diterapkan akan menyebabkan kegagalan prematur, serta aspek keselamatan dan biaya. Pemilihan material yang tepat yang dimaksud adalah memilih material logam/paduan, sehingga pertukaran ion antara logam/paduan dengan lingkungan tidak berlangsung cepat.

Jika lingkungan sekitar logam terlalu korosif, perancang umumnya memilih logam atau paduan yang lebih tahan korosi daripada baja. Karakteristik pemilihan didasarkan pada aspek apakah logam tersebut tidak peka terhadap lingkungan atau apakah logam tersebut dapat membentuk lapisan tipis yang memiliki sifat pelindung dan memiliki sifat pemulihan yang memadai jika lapisan tersebut rusak. (William D, 2007)

Pemilihan material teknik secara tepat, perlu diketahui sifat-sifat material teknik yang dapat dipilih untuk digunakan. Sifat-sifat tersebut tentunya ada beberapa macam, karena sifat-sifat tersebut dapat dilihat dari aspek/bidang keilmuan yang berbeda-beda, misalnya dari segi kimia akan diperoleh sekelompok sifat-sifat kimia, begitu juga dengan fisika, Dalam dunia teknik mesin, sifat

mekanik biasanya memegang peranan yang sangat penting, selain beberapa sifat kimia (khususnya ketahanan korosi), sifat termal, dan sifat fisik. Korosi merupakan masalah yang sangat serius dalam dunia engineering, dan akan dibahas tersendiri. Dalam kelompok sifat fisik, densitas (berat jenis) terkadang harus diperhitungkan. Struktur mikro pada logam sangat perlu untuk di pelajari lebih detail, dikarenakan sangat terkait dengan sifat lainnya, seperti: ketahanan terhadap korosi, kekuatan dan masih banyak lagi. Komponen yang nantinya akan mengalami perlakuan panas, tentunya sifat termal merupakan hal yang penting. Panas spesifik, konduktivitas termal, dan ekspansi termal harus sering diperhitungkan.

2. Desain konstruksi yang memadai

Pemilihan material yang sesuai sangat penting untuk perlindungan logam dari korosi, tetapi juga bergantung pada pengetahuan dalam mendesain bentuk atau jenis konstruksinya. Berdasarkan berbagai literatur yang ada, banyak contoh konstruksi yang memadai dalam hal ketahanan korosi tanpa mengesampingkan faktor utama, seperti faktor keamanan, kegunaan dan faktor kemudahan saat proses perawatan.

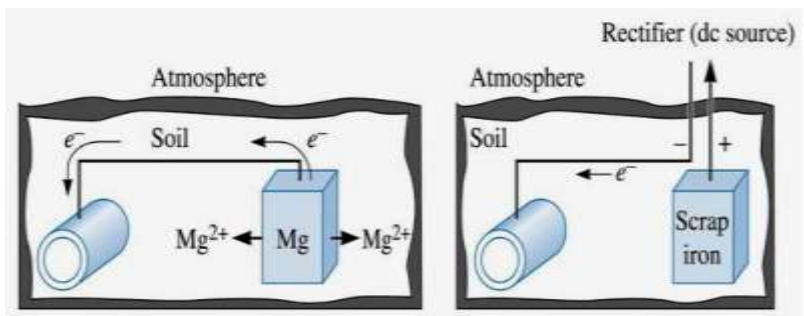
Pencegahan korosi pada saat desain/perancangan adalah, sebagai berikut:

- a) Secara konstruksi, harus di hindari ruang kecil pada desain
- b) Lubang pembuangan harus dirancang untuk menghindari sisa cairan
- c) Komponen yang sering mengalami kerusakan, harus mudah diganti
- d) Hindari memiliki bagian yang mengalami tekanan tinggi

- e) Konstruksi pada saluran pipa harus dihindari belokan yang terlalu dekat dan juga kecepatan laju aliran yang tinggi
- f) Hindari area kantung udara pada desain
- g) Pastikan semua bagian mudah dibersihkan dan diperiksa

3. Penerapan sistem proteksi katodik dan anodik

Pada proteksi katodik, yaitu melindungi logam dengan cara mengalirkan electron pada logam. Elektron akan dihasilkan dari reaksi korosi pada anoda dan apabila electron tersebut di alirkan keluar dari anoda ke katoda, maka reaksi berlanjut terus.



Gambar 8.5 : Sistem proteksi katodik
(Sumber: William D)

Dalam sistem proteksi katodik anoda yang cukup berat, seperti instalasi di area tidak memerlukan catu daya. Paduan yang digunakan sebagai anoda korban akan menghasilkan arus yang diperlukan karena beda potensial dari struktur yang dilindunginya. Pembangkit arus dari anoda membatasi masa pakai anoda korban. Selanjutnya, jenis logam yang biasa digunakan sebagai anoda korban

meliputi: aluminium, seng dan magnesium (V. Ashworth, 2010)

Jika penggunaan sistem proteksi katodik digabungkan dengan penggunaan pelapis, hal-hal berikut harus diperhatikan:

- a) Selama proses proteksi katodik berlangsung (meskipun bekerja dengan karakteristik sempurna), ion hidroksida (alkalinitas) akan selalu muncul di sisi katoda, sehingga bahan pelapis harus tahan terhadap alkalinitas.
- b) ketidaksempurna hasil dari sistem proteksi katodik berupa gas hidrogen dapat mengakibatkan mengelupasnya lapisan pelindung.

Dalam proteksi anodik, artinya arus listrik yang dihasilkan dari reaksi korosi tidak diimbangi, justru diperkuat, sehingga intensitas arus mencapai zona positif, reaksi korosi berhenti (logam baja), sedangkan pada proteksi anodik (proteksi anodik), tegangan sistem proteksi dinaikkan hingga masuk ke daerah anodik. Pada kondisi seperti ini, sistem akan terlindung oleh lapisan pasif yang terbentuk. Untuk dapat berfungsi dengan baik, sistem ini memiliki persyaratan yang harus dipenuhi, yaitu karakter lingkungan yang stabil. Dalam lingkungan yang tidak stabil, tidak dianjurkan diterapkannya sistem proteksi anodik (V. Ashworth, 2010)

4. Pengaplikasian pelapisan logam

Perlindungan logam dengan penerapan pelapisan pada dasarnya terdiri dari melindungi logam dari lingkungan sekitarnya sehingga terjadi pertukaran ion antar permukaan.

Logam dengan lingkungan yang terkendali. Berdasarkan hal tersebut, karakteristik proteksi korosi dengan aplikasi coating dikelompokkan menjadi 3 kelompok yaitu (V. Ashworth, 2010)

- a) Terapkan penghalang (barrier) untuk memisahkan logam dari lingkungan sekitarnya.
- b) Penggunaan inhibitor pada permukaan logam untuk mengontrol reaksi anodik.
- c) Lengkapi permukaan dengan lapisan yang memiliki sifat proteksi katodik dengan mengubah zona anodik menjadi zona katodik.

5. Pelapisan permukaan

Pelapisan permukaan akan memberikan perlindungan pada permukaan logam dengan logam oksida atau senyawa organik, diantaranya adalah sebagai berikut:

- a) Pelapis logam
Yaitu pelapis dengan logam mulia yang kurang dari logam yang akan dilindungi akan memberikan proteksi sekaligus proteksi katodik terhadap logam tersebut. Pelindung habis (menghindari kebocoran)
- b) Pelapis oksida
Yaitu lapisan oksida terjadi secara alami dalam aluminium. Pelapisan ini dapat dicapai dengan merendam logam yang akan dilindungi dalam oksidan yang kuat atau dengan anodisasi
- c) Pelapis organik
Yaitu pelapisan dengan senyawa organik. Sebagai contoh:
 - 1) Cat sebagai pelindung dan memberikan tampilan yang cukup menarik
 - 2) Pelapisan karet
 - 3) Pelapisan plastic

DAFTAR PUSTAKA

- El-Meligi, A.A. 2010. *Corrosion Preventive Strategis as a Crusial Need for Decresing Environmetal Pollution and Saving*. National Research Center, Phycical Cemistry Departement dept, Dokki, Cairo, Egypt
- Jones, D.A. 1995. *Principle and prevention of corrosion* New York: Mc Graw Hill.
- Trethewey, K.R, Chamberlain, J., 1991. *Korosi Untuk Mahasiswa dan Rekayasawan*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- William D. Callister, Jr. 2007, *Materials Science and Engineering: An Introduction*, John Wiley & Sons, Inc.
- Callister, William D. 2007. *Material Science and Engineering an Introduction*. New York: John Wiley and Sons, Inc
- Catherine M. Cotell, James A. Sprague, et. Al .1994. *ASM Hand book Surface Engineering*, ASM International.
- Fogler. S.H. 1992. *Elements of Chemical Reaction Engineering*, 4th edition. Prentice-Hall International Inc, Amerika
- Amstead, B.H.& Djaprie, S. 1995. *Teknologi Mekanik, Edisi ke-7 Jilid I (Alih Bahasa)*. Jakarta: PT. Erlangga.
- V.Ashworth. 2010. *Principles of Cathodic Protection the Third Edition article 10.1*. volume 2, pp 10:3–10:28, Elsevier B.V

BIODATA PENULIS



Yulianti Malik, S.Si., M.T.

Dosen Program Studi Teknik Kimia Mineral
Politeknik Industri Logam Morowali

Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Kimia Mineral – Politeknik Industri Logam Morowali. Pendidikan S1 ditempuh penulis pada Jurusan Fisika-MIPA Universitas Halu Oleo Kendari, kemudian melanjutkan pendidikan S2 pada Program Studi Teknik Kimia Mineral Jurusan Teknik Industri – Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Beberapa tulisan telah dihasilkan terutama di bidang Fisika dan Teknik. Sekarang sedang menjalankan penelitian di bidang ekstraksi material khususnya tentang *leaching* laterit nikel.

BIODATA PENULIS



Diah Sarasanty, S.T., M.T.

Dosen Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Islam Majapahit

Diah Sarasanty, S.T., M.T. seorang Sarjana Teknik Sipil di bidang Struktur (ITS) dan Master di bidang Manajemen Proyek Konstruksi (ITS). Penulis adalah dosen di Universitas Islam Majapahit (UNIM) pada program studi S1 Teknik Sipil. Menjadi Sekretaris Program Studi Teknik Sipil UNIM pada tahun 2017 hingga tahun 2021 dan Ketua Program Studi Teknik Sipil tahun 2021 sampai dengan 2024. Sampai saat ini telah membimbing 58 tugas akhir S1. Selama tiga tahun terakhir telah mempublikasikan lebih dari 20 paper di prosiding konferensi dan jurnal internasional. Bidang riset yang ditekuni adalah Manajemen Proyek Konstruksi, Struktur, dan Pemodelan. e-mail : diahsarasanty@unim.ac.id; +6281330170099

BIODATA PENULIS



Riyani Prima Dewi, S.T., M.T.

Dosen Program Studi Teknik Listrik
Jurusan Teknik Elektronika Politeknik Negeri Cilacap

Penulis lahir di Brebes tanggal 8 Mei 1995. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Listrik, Jurusan Teknik Elektronika Politeknik Negeri Cilacap. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Tenaga Listrik di Institut Teknologi Bandung pada tahun 2017 dan meraih beasiswa *fastrack* pada tahun yang sama sehingga berkesempatan melanjutkan S2 pada Jurusan Teknik Elektro di Institut Teknologi Bandung selama 1 tahun dan lulus pada tahun 2018. Pada tahun 2019 penulis diangkat menjadi Pegawai Negeri Sipil di bawah naungan Kemenristekdikbud sampai saat ini. Penulis mulai menekuni bidang menulis sejak mahasiswa dibidang-bidang kelistrikan dan *renewable energy*.

BIODATA PENULIS



Jan Setiawan

Staf Dosen Prodi Teknik Elektro Univesitas Pamulang
Staf Periset Badan Riset dan Inovasi Nasional

Penulis lahir di Jakarta pada tahun 1980. Saat ini penulis adalah staf Peneliti Ahli Madya pada Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN). Penulis menyelesaikan studi S1 di prodi Fisika Institut Pertanian Bogor pada tahun 2003. Pada tahun 2008, penulis berkesempatan melanjutkan studi S2 melalui program beasiswa pegawai BATAN di prodi Ilmu Bahan-bahan Universitas Indonesia yang diselesaikan tahun 2010. Melalui beasiswa Kemenristek Dikti, penulis melanjutkan studi S3 di prodi Ilmu Bahan-bahan Universitas Indonesia pada tahun 2012 dan menyelesaikannya ditahun 2015. Bidang kepakaran penelitian Penulis adalah teknik material. Dalam karir sebagai peneliti selain membangun kompetensi kepakaran bidang teknik material, sejak tahun 2016 penulis juga aktif menjadi pengajar pada Program Studi Teknik Elektro - Universitas Pamulang.
Email Penulis: jansetiawan.lecturer@gmail.com

BIODATA PENULIS



Mustofa, S.Pd., M.T

Dosen Program Studi Mesin dan Peralatan Pertanian
Politeknik Gorontalo

Penulis dilahirkan di Bumirestu, Kab. Halmahera Timur, Maluku Utara, 23 April 1988. Jenjang Pendidikan S1 Pendidikan Kimia ditempuh di Universitas Negeri Gorontalo, Kota Gorontalo lulus tahun 2011. Pendidikan S2 Teknik Material dan Metalurgi, lulus tahun 2016 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Saat ini bekerja sebagai dosen tetap di Politeknik Gorontalo sekaligus menjabat sebagai Ketua Prodi Mesin dan Peralatan Pertanian, Politeknik Gorontalo, setelah sebelumnya menjabat sebagai Sekretaris Prodi pada prodi yang sama.

e-mail: mustofa@poligon.ac.id

HP: 082195027610

BIODATA PENULIS



Habibi Santoso, S.T., M.T.

Dosen Program Studi DIII Pemeliharaan Mesin
Politeknik Negeri Media Kreatif Jakarta

Penulis lahir di Jakarta, pada tanggal 28 Juli 1985. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi DIII Pemeliharaan Mesin Politeknik Negeri Media Kreatif Jakarta. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Program Studi Teknik Mesin Institut Teknologi Budi Utomo Fakultas Teknologi Industri dan pada tahun 2010, dan menyelesaikan S2 pada Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pancasila pada tahun 2015. Hingga saat ini, penulis aktif dalam penelitian dan menekuni bidang ilmu Teknik Mesin.