



MATERIAL TEKNIK

Kostiawan Sukamto, Ryan Effendi, Zainal Sudirman,
Dodi Mulyadi, Luluk Edahwati, Yudi Siswanto,
Indra Komara, Cahyo Wibowo, Esta Larosa

MATERIAL TEKNIK

Kostiawan Sukamto

Ryan Effendi

Zainal Sudirman

Dodi Mulyadi

Luluk Edahwati

Yudi Siswanto

Indra Komara

Cahyo Wibowo

Esta Larosa



GET PRESS INDONESIA

MATERIAL TEKNIK

Penulis :

Kostiawan Sukamto
Ryan Effendi
Zainal Sudirman
Dodi Mulyadi
Luluk Edahwati
Yudi Siswanto
Indra Komara
Cahyo Wibowo
Esta Larosa

ISBN : 978-623-198-548-4

Editor : Ari Yanto, M.Pd

Penyunting : Tri Putri Wahyuni, S.Pd

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

Penerbit : GET PRESS INDONESIA

Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022

Redaksi :

Jl. Palarik, Aie Pacah, Kecamatan. Koto Tengah,
Kota Padang, Sumatera Barat
Website : www.getpress.co.id
Email : adm.getpress@gmail.com

Cetakan pertama, 1 Agustus 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 Material Teknik ini.

Buku Ini Membahas Klasifikasi material teknik, Struktur material teknik, Sifat material teknik, sifat fisik, sifat mekanis dan sifat kimia, Pengujian mekanis material teknik dan pemeriksaan material / bahan, Logam dan paduannya, Penggunaan logam dan paduannya pada otomotif, metalurgi besi dan baja, Korosi dan mekanismenya dan metode pengendalian dan pencegahan korosi, Komposit dan sifat-sifatnya, Material teknik bukan padat (cair, pasta), sifat-sifatnya dan penggunaannya.

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, 1 Agustus 2023

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	xi
BAB 1 KLASIFIKASI MATERIAL TEKNIK.....	1
1.1 Pendahuluan.....	1
1.2 Kategori material teknik.....	1
1.2.1 Logam.....	2
1.2.2 Polimer	5
1.2.3 Komposit	12
1.2.4 Keramik.....	15
1.2.5 Material lainnya.....	18
DAFTAR PUSTAKA.....	21
BAB 2 STRUKTUR MATERIAL TEKNIK.....	23
2.1 Pendahuluan.....	23
2.2 Struktur Material Teknik.....	24
DAFTAR PUSTAKA.....	32
BAB 3 SIFAT MATERIAL TEKNIK, SIFAT FISIK, SIFAT MEKANIS DAN SIFAT KIMIA.....	33
3.1 Pendahuluan.....	33
3.2 Sifat Mekanik.....	34
3.2.1 Kekuatan tarik.....	34
3.2.2 Pengujian kekerasan	40
3.2.3 Pengujian Impak.....	47
3.3 Sifat Fisik.....	49
3.3.1 Sifat Termal.....	50
3.3.2 Sifat listrik.....	51
3.3 Sifat Kimia	53
DAFTAR PUSTAKA.....	56

BAB 4 PENGUJIAN MEKANIS DAN PEMERIKSAAN

MATERIAL TEKNIK	57
4.1 Pendahuluan.....	57
4.2 Uji Tarik	60
4.3 Uji Tekan	64
4.4 Uji Geser	65
4.5 Uji Kekerasan	66
4.5.1 Uji Kekerasan Brinell.....	68
4.5.2 Uji Kekerasan Knoop dan Vickers.....	68
4.5.3 Uji Kekerasan Rockwell.....	69
4.6 Uji Kelenturan.....	72
4.7 Uji Benturan (Impact).....	73
4.8 Uji Puntiran	75
4.9 Pemeriksaan Visual	77
4.10 Pemeriksaan Penetran Cair	78
4.11 Pemeriksaan Partikel Magnetik	78
4.12 Pemeriksaan Ultrasonik.....	79
4.13 Pemeriksaan Radiografi.....	80
4.14 Pemeriksaan Arus Eddy.....	81
4.15 Pemantauan Emisi Akustik.....	82
DAFTAR PUSTAKA.....	84
BAB 5 LOGAM DAN PADUANNYA.....	85
5.1 Pendahuluan.....	85
5.2 Klasifikasi Bahan Material	86
5.3 Sifat Mekanik Bahan.....	88
5.4 Pengertian Logam	93
5.4.1 Jenis logam	93
5.4.2 Sifat dari Logam	95
5.4.3 Pengaruh karbon terhadap sifat logam.....	96
5.5 Paduan Logam	96
5.5.1 Macam-macam paduan logam	97
DAFTAR PUSTAKA.....	106

BAB 6 PENGGUNAAN LOGAM DAN PANDUANYA	
PADA OTOMOTIF, METALURGI BESI DAN BAJA	107
6.1 Pendahuluan.....	107
8.2 Proses Pembuatan Besi Dan Baja.....	109
6.3 Diagram Fasa Besi-Besi Karbida.....	110
6.4 Baja Plain Karbon	112
6.5 Panduan Logam Fero.....	113
6.6 Baja Paduan Rendah	115
6.7 Baja Paduan Tinggi	117
6.8 Karbon Rendah	118
6.9 Baja Karbon Sedang.....	119
6.10 Baja Karbon Tinggi.....	120
6.11 Titanium	121
6.12 Aluminium	123
6.13 Magnesium	124
6.14 Kegunaan Logam Paduan Lainnya	128
DAFTAR PUSTAKA.....	133
BAB 7 KOROSI DAN MEKANISMENYA SERTA	
METODE PENGENDALIAN DAN PENCEGAHAN.....	137
7.1 Proses Terjadinya Korosi	137
7.1.1 Korosi Pada Material Baja Tulangan	139
7.1.2 Siklus Korosi.....	142
7.1.3 Faktor Penyebab Terjadinya Korosi.....	144
7.2 Pengujian Korosi Baja Tulangan pada Beton.....	145
7.3 Tipe – Tipe Terjadinya Korosi dan Pengendaliannya.....	150
DAFTAR PUSTAKA.....	160
BAB 8 KOMPOSIT DAN SIFAT-SIFATNYA.....	163
8.1 Pendahuluan.....	163
8.2 Apakah Composite itu ?.....	164
8.3 Sifat-sifat Komposit (<i>artribute</i>)	168
8.3.1 Tahan terhadap kimia.....	168
8.3.2 Durabiliti atau Ketahanan	169
8.3.3 Biaya	171

8.3.4 Rasio Kekuatan Tinggi Terhadap Berat	174
8.3.5 Ringan	175
8.3.6 Tahan Api	175
8.3.7 Sifat Listrik	176
8.3.8 Kemampuan Adaptasi Warna.....	176
8.3.9 Translusensi (kemampuan tembus pandang)	176
8.3.10 Fleksibilitas Desain.....	176
8.3.11 Konduktivitas Termal Rendah.....	178
8.3.12 Ekonomi Manufaktur	178
8.3.13 Mampu Daur Ulang.....	178
8.4 Jenis-jenis Composite	180
8.5 Aplikasi Composites	183
8.5.1 Pertahanan (<i>military & defence</i>)	184
8.5.2 Peralatan/Bisnis	185
8.5.3 Otomotif, Transportasi.....	185
8.5.4 Infrastruktur Sipil & Konstruksi	187
8.5.5 Lingkungan Korosif.....	187
8.5.6 Energy	187
8.5.7 Maritim / Kelautan	193
8.6 Material Properties.....	195
8.7 Definisi dan Istilah dalam Composites	196
8.8 Penutup	199
DAFTAR PUSTAKA.....	200
BAB 9 MATERIAL TEKNIK BUKAN PADAT (CAIR, PASTA), SIFAT-SIFATNYA DAN PENGGUNAANNYA.....	205
9.1 Pendahuluan.....	205
9.2 Sifat-Sifat Material Teknik Bukan Padat (Cair, Pasta)	207
9.3 Penggunaan.....	208
DAFTAR PUSTAKA.....	211
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1. Sifat Material	34
Gambar 3.2. Alat uji tarik serta grafik penambahan beban vs pertambahan panjang	36
Gambar 3.3. Kurva antara tegangan tarik dengan regangan Tarik suatu Bahan.....	36
Gambar 3.4. Daerah deformasi elastis pada grafik tegangan-regangan	39
Gambar 3.5. Pengujian vickers dan bentuk indentor vickers.....	43
Gambar 3.6. Prinsip Kerja Metode Pengukuran Kekerasan Rockwel	45
Gambar 3.7. Uji Impak mekanik dengan mekanisme bandul.....	47
Gambar 3.8. Uji Impak mekanik dengan mekanisme bandul.....	49
Gambar 3.9. Reaksi oksidasi-reduksi pada proses korosi	53
Gambar 3.10. Baja mengalami korosi.....	54
Gambar 4.1. Bentuk Spesimen Uji Tarik sesuai DIN 50125.....	60
Gambar 4.2. Ilustrasi Proses Pengujian Uji Tarik.....	61
Gambar 4.3. Diagram Tegangan-Regangan.....	63
Gambar 4.4. Skematik Mesin Uji Tegangan-Regangan	64
Gambar 4.5. Ilustrasi Proses Pengujian Uji Tekan	64
Gambar 4.6. Baut dengan Geser Tunggal.....	65
Gambar 4.7. Baut dengan Geser Ganda.....	66
Gambar 4.8. Hubungan antara kekerasan dan kekuatan tarik untuk baja, kuningan, dan besi cor.....	70
Gambar 4.9. Ilustrasi Uji Kelenturan dengan 3 Titik.....	72

Gambar 4.10. Ukuran Spesimen dan Peletakannya pada Uji <i>Charpy</i> dan Uji <i>Izod</i>	74
Gambar 4.11. Ilustrasi Peralatan Uji <i>Charpy</i> dan Uji <i>Izod</i>	75
Gambar 4.12. Ilustrasi Pengujian Puntiran pada Produk Jadi	77
Gambar 4.13. Ilustrasi Pemeriksaan Penetran Cair	78
Gambar 4.14. Ilustrasi Pemeriksaan Magnetik.....	79
Gambar 4.15. Ilustrasi pemeriksaan ultrasonic transduser tunggal dan grafik intensitas suara terhadap waktu	80
Gambar 4.16. Relasi dari arus magnetisasi, kumparan magnetisasi, dan induksi arus eddy	81
Gambar 4.17. Jalur dari arus <i>eddy</i> dipengaruhi oleh cacat	82
Gambar 5.1. Perkembangan material.....	85
Gambar 5.2. Klasifikasi material	87
Gambar 5.3. pembebanan material.....	89
Gambar 5.4. uji kekerasan	90
Gambar 5.5. deformasi elastis	91
Gambar 5.6. Skema uji kelelahan.....	92
Gambar 5.7. (a) <i>charpy</i> (b) <i>izod</i>	93
Gambar 5.8. Konstruksi dapur tanur tinggi.....	98
Gambar 6.1. Diagram Fasa Besi-Besi Karbida.....	112
Gambar 6.2. Klasifikasi paduan <i>ferro</i>	115
Gambar 6.3. Titanium di sektor otomotif (a) kaliper rem monobloc delapan piston (b) braket spoiler aktif dan (c) penutup trim pipa knalpot.....	123
Gambar 6.4. Paduan Mg dalam perkembangan otomotif	125
Gambar 6.5. aplikasi magnesium pada mobil	126

Gambar 7.1. Ilustrasi konsep periode inisiasi dan propagasi korosi	140
Gambar 7.1. Proses korosi pada baja tulangan beton	142
Gambar 8.1. Keluarga inti dari material logam, polimer, elastomer, gelas, keramik yang dapat digabungkan dalam berbagai geometri untuk membuat hibrida.	164
Gambar 8.2. Serat fiber sebagai bahan dasar yang dianyam yang nantinya akan direkatkan menggunakan resin sehingga menjadi struktur <i>composites</i> sesuai dengan kebutuhan.....	165
Gambar 8.3. Perkembangan material sejak sebelum masehi hingga saat ini	166
Gambar 8.4. Klasifikasi composite berdasarkan penguatan dan jenis <i>matrix</i>	167
Gambar 8.5. Gabungan antara 2 bahan dasar menjadi <i>composites</i>	168
Gambar 8.6. Susunan material Rompi Anti Peluru	170
Gambar 8.7. <i>Tactical Helmet, ops-core fast sf carbon composite helmet system.</i>	171
Gambar 8.8. Biaya relatif dibandingkan dengan material lain	172
Gambar 8.9. Hubungan antara Material, Mesin, Bentuk benda, Alat terhadap proses pembentukan benda berbahan dasar komposit	177
Gambar 8.10. Tabung CNG type-4 yang hasil uji yang telah rusak di pabrik Dynetek-Jerman	179
Gambar 8.11. Diagram skematis dari proses daur ulang pirolisis yang diusulkan untuk komposit.	180

Gambar 8.12. Metode pembentukan komposit menjadi sebuah benda	182
Gambar 8.13. <i>Process material matrix</i>	183
Gambar 8.14. Pesawat <i>Boeing 787 Dreamliner</i> menggunakan komposite sebesar 50 % untuk mengurangi bobot pesawat dan fleksibilitas sayap	184
Gambar 8.15. Pesawat <i>unmanned aerial vehicle (UAV)</i> , pesawat tanpa awah menggunakan bahan komposit agar tidak terdeteksi oleh radar.....	185
Gambar 8.16. Komponen mobil Formula-1 menggunakan komposite untuk mengurangi bobot kendaraan dan meningkatkan kekuatan	186
Gambar 8.17. <i>Standoff insulation</i>	188
Gambar 8.18. <u>Pembuatan</u> bilah-bilah turbine angin menggunakan bahan <i>composites</i>	189
Gambar 8.19. Hasil potongan memperlihatkan lapisan <i>composite</i> yang melekat pada <i>cylinder aluminium type-3</i>	190
Gambar 8.20. Silinder aluminium sebelum dilakukan wrapping menggunakan serat komposit + resin	191
Gambar 8.21. Proses <i>spinning</i> atau <i>wrapping</i> pada pembuatan	191
Gambar 8.22. Proses pelapisan <i>cylinder</i> secara detail dengan <i>composites</i>	192
Gambar 8.23. Tabung <i>hydrogen</i> terbuat dari plastic composite buatan Dynetek, mampu menahan tekanan 350 bar	193
Gambar 8.24. Kapal berpenggerak layar yang dikembangkan menjadi <i>airfoil</i> berbahan komposit	194

Gambar 8.25.	<i>X3200 Long Range Patrol Boat</i> , kapal buatan Indonesia dengan bodi komposit.....	194
Gambar 8.26.	Struktur metal <i>matrix composite</i>	195

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Konduktivitas listrik beberapa material.....	52
Tabel 3.2. Konduktivitas listrik beberapa material.....	55
Tabel 4.1. Teknik Pengujian Kekerasan	67
Tabel 4.2(a). Skala Kekerasan <i>Rockwell</i>	71
Tabel 4.2(b). Skala Kekerasan <i>Superficial Rockwell</i>	71
Tabel 7.1. Konstanta <i>corrosion rate</i>	150
Tabel 8.1. <i>Material properties</i> dari komposite	196

BAB 1

KLASIFIKASI MATERIAL TEKNIK

Oleh Kostiawan Sukamto

1.1 Pendahuluan

Klasifikasi material teknik adalah proses pengelompokkan material berdasarkan sifat fisik, kimia, dan mekaniknya. Pemahaman tentang klasifikasi material teknik sangat penting dalam ilmu teknik, karena material teknik merupakan bahan dasar untuk membangun mesin, struktur, peralatan listrik, dan banyak lagi.

Material teknik dapat dikelompokkan menjadi beberapa kategori seperti logam, keramik, polimer, komposit, dan material lainnya. Setiap jenis material memiliki karakteristik dan sifat yang berbeda-beda, seperti kekuatan, kekakuan, keuletan, daya tahan, konduktivitas, dan lain-lain. Oleh karena itu, memilih material yang tepat untuk aplikasi tertentu sangat penting dalam memastikan keselamatan, keberhasilan produk, dan efisiensi biaya.

Pemahaman tentang klasifikasi material teknik juga dapat membantu insinyur dalam memprediksi perilaku material dalam lingkungan yang berbeda, serta membantu dalam proses desain, manufaktur, dan perawatan produk. Oleh karena itu, pemahaman yang baik tentang klasifikasi material teknik sangat penting bagi para insinyur dan profesional teknik lainnya.

1.2 Kategori material teknik

Kategori material teknik adalah topik yang sangat penting dalam industri teknik dan manufaktur. Material yang digunakan dalam produk teknik harus memenuhi persyaratan yang ketat seperti kekuatan, ketahanan, dan kemampuan untuk menahan

beban dan suhu tinggi. Oleh karena itu, pemilihan material yang tepat sangat penting untuk memastikan produk teknik dapat berfungsi dengan baik dan memiliki masa pakai yang lama, sehingga memberikan keuntungan bagi produsen dan konsumen.

Dalam kategori material teknik, ada banyak jenis material yang digunakan, seperti logam, polimer, keramik, komposit, bahan beton dan semen, bahan kayu, dan bahan lainnya seperti kaca, karet, dan tekstil. Masing-masing jenis material memiliki kelebihan dan kekurangan, serta karakteristik yang unik yang dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan spesifik dalam produk teknik. Dalam pemilihan material teknik, perlu diperhatikan pula faktor biaya dan ketersediaan. Beberapa material teknik dapat lebih mahal daripada yang lain, sehingga perlu dipertimbangkan faktor ekonomi dalam pemilihan material. Selain itu, ketersediaan material juga perlu diperhatikan, terutama jika produksi dilakukan dalam skala besar (Balasubramanian, 2017).

1.2.1 Logam

Logam adalah salah satu jenis material teknik yang paling umum digunakan dalam berbagai aplikasi teknik dan manufaktur. Logam memiliki beberapa karakteristik yang membuatnya cocok untuk digunakan dalam berbagai aplikasi teknik, seperti kekuatan, kekerasan, ketahanan korosi, kemampuan penghantar panas dan listrik yang baik, serta kemampuan untuk dicetak dan dibentuk menjadi bentuk yang diinginkan. Selain sifat-sifat tersebut, ada juga sifat-sifat lain dari material jenis logam seperti densitas, kestabilan dimensi, resistivitas, dan sebagainya. Kombinasi dari sifat-sifat ini membuat material jenis logam ideal untuk berbagai aplikasi teknik dan industri. Namun, perlu diperhatikan bahwa sifat-sifat material jenis logam dapat berbeda-beda tergantung pada jenis logam, paduan, serta proses produksinya (Hanawa, 2010).

Logam dibagi menjadi dua kategori utama, yaitu logam *ferro* dan logam *non-ferro*. Perbedaan utama antara kedua jenis logam ini adalah kandungan besi di dalamnya. Logam *ferro* mengandung

besi sebagai unsur utama, dan merupakan jenis logam yang paling umum digunakan dalam konstruksi dan manufaktur. Beberapa contoh logam ferro meliputi baja, besi cor, dan baja paduan. Logam *ferro* memiliki sifat-sifat seperti keras, kuat, dan tahan karat, sehingga sering digunakan dalam aplikasi teknik yang membutuhkan kekuatan dan daya tahan yang tinggi. Sementara itu, logam *non-ferro* tidak mengandung besi sebagai unsur utama. Beberapa contoh logam *non-ferro* meliputi aluminium, tembaga,, titanium, magesium, emas, dan platina. Logam *non-ferro* memiliki sifat-sifat seperti ringan, mudah ditempa, tahan karat, serta konduktivitas listrik dan panas yang baik (Lyons, 2006).

Berikut adalah beberapa jenis logam yang sering digunakan dalam aplikasi teknik:

a. Baja

Baja adalah paduan besi dan karbon dengan kandungan karbon sekitar 0,1% hingga 2,1%. Baja dapat digunakan untuk berbagai aplikasi teknik karena memiliki kekuatan yang baik, kekerasan yang tinggi, dan mudah diolah. Baja juga memiliki sifat-sifat magnetik dan konduktivitas listrik yang baik. Baja adalah logam yang paling umum digunakan dalam aplikasi teknik karena kekuatan dan daya tahan yang tinggi. Baja sering digunakan dalam konstruksi bangunan, kendaraan, dan mesin (Gandy, 2007).

b. Baja Paduan

Baja paduan adalah jenis baja yang mengandung lebih dari satu elemen kimia selain besi dan karbon. Beberapa elemen yang sering ditambahkan pada baja paduan antara lain kromium, nikel, mangan, molybdenum, vanadium, dan silikon. Elemen tambahan ini ditambahkan untuk meningkatkan sifat-sifat mekanik dan fungsional baja, seperti kekuatan, ketangguhan, daya tahan korosi, dan ketahanan suhu tinggi. Baja paduan sering digunakan dalam

berbagai aplikasi industri, seperti konstruksi pesawat terbang, mobil, kapal, dan peralatan berat (Morales, 2011).

c. Besi cor

Besi cor atau sering juga disebut besi tuang adalah material logam yang dihasilkan melalui proses pengecoran logam cair ke dalam cetakan dengan bentuk yang diinginkan. Besi cor terdiri dari campuran besi, karbon, dan unsur-unsur lain seperti silikon, mangan, fosfor, sulfur, dan unsur jejak lainnya. Besi cor memiliki beberapa keunggulan seperti sifat yang tahan lama dan kuat, serta mudah dibentuk dan dibuat dengan berbagai ukuran dan bentuk yang berbeda. Oleh karena itu, besi cor sering digunakan dalam berbagai aplikasi teknik seperti mesin dan alat-alat industri, kendaraan, peralatan rumah tangga, dan alat-alat lainnya (Lacoviello, 2016).

d. Aluminium

Aluminium adalah logam ringan yang tahan terhadap korosi dan mudah dibentuk. Logam ini sangat reaktif dengan oksigen, sehingga mudah membentuk lapisan oksida tipis yang melindungi permukaannya dari korosi. Aluminium memiliki kekuatan yang baik dan konduktivitas listrik dan panas yang tinggi, sehingga banyak digunakan dalam industri otomotif, konstruksi, dan elektronik (Stojanovic, Bukvic dan Epler, 2018).

e. Tembaga

Tembaga adalah logam konduktor listrik dan panas yang tahan terhadap korosi. Tembaga memiliki kekuatan yang baik dan dapat dibentuk dengan mudah, sehingga banyak digunakan dalam pembuatan kabel listrik, pipa, dan peralatan elektronik. Selain itu, tembaga juga digunakan dalam pembuatan logam paduan, seperti perunggu (campuran tembaga dan timah) dan kuningan (campuran tembaga dan seng) (Collini, 2012).

f. Emas

Emas memiliki banyak kegunaan dalam berbagai aplikasi, seperti kemampuan konduktivitas listrik yang baik dan ketahanannya terhadap korosi. Emas banyak digunakan dalam pembuatan perhiasan karena keindahan warna dan kemampuan emas untuk tidak bereaksi dengan zat-zat yang ada dalam tubuh manusia. Emas juga digunakan dalam industri elektronik, khususnya dalam pembuatan peralatan elektronik seperti telepon genggam, komputer, dan televisi karena sifat konduktivitas listrik yang baik (Kunter dan Mridha, 2016).

g. Titanium

Titanium adalah logam ringan yang kuat dan tahan terhadap korosi. Titanium memiliki kekuatan yang tinggi dan konduktivitas listrik yang rendah, sehingga banyak digunakan dalam aplikasi yang membutuhkan kekuatan tinggi dan tahan terhadap korosi, seperti pesawat terbang, mobil balap, dan peralatan medis (Veiga, Davim dan Loureiro, 2012).

1.2.2 Polimer

Polimer adalah jenis material teknik yang terbuat dari rantai molekul panjang yang terikat satu sama lain secara kimia. Material polimer dapat ditemukan dalam berbagai bentuk seperti padat, cair atau gas, tergantung pada sifat-sifat fisiknya. Berikut adalah beberapa contoh material polimer yang sering digunakan dalam aplikasi teknik (Rudin dan Choi, 2013):

1. Poliamida (*Nylon*): Poliamida memiliki kekuatan, ketahanan aus, dan stabilitas dimensi yang tinggi, serta ketahanan terhadap pelumas dan bahan kimia tertentu. Poliamida digunakan dalam aplikasi seperti bushing, roda gigi, dan bantalan.

2. Polisulfon: Polisulfon memiliki kekuatan, ketahanan suhu, dan ketahanan bahan kimia yang tinggi, serta tahan terhadap radiasi. Polisulfon digunakan dalam aplikasi seperti peralatan medis dan peralatan laboratorium.
3. Polikarbonat: Polikarbonat memiliki kekuatan, ketahanan suhu, dan ketahanan terhadap benturan yang tinggi, serta tahan terhadap UV dan bahan kimia tertentu. Polikarbonat digunakan dalam aplikasi seperti kaca helm, perisai helm, dan tutup botol.
4. *Politetrafluoroetilena* (PTFE): PTFE memiliki ketahanan suhu dan bahan kimia yang tinggi, serta koefisien gesekan yang rendah. PTFE digunakan dalam aplikasi seperti selongsong kabel, gasket, dan lapisan antilengket.
5. *Polietereterketon* (PEEK): PEEK memiliki kekuatan, ketahanan suhu, dan ketahanan bahan kimia yang tinggi, serta stabilitas dimensi dan ketahanan radiasi. PEEK digunakan dalam aplikasi seperti komponen mesin pesawat terbang, implan medis, dan komponen peralatan industri yang terpapar suhu tinggi.
6. Polietilen (PE): Polietilen adalah jenis polimer yang kuat, ringan, dan tahan terhadap korosi. Polietilen digunakan dalam berbagai aplikasi seperti dalam pembuatan pipa, tangki penyimpanan, dan kemasan.
7. Polipropilen (PP): Polipropilen adalah jenis polimer yang kuat, tahan aus, dan tahan terhadap suhu tinggi. Polipropilen digunakan dalam berbagai aplikasi seperti dalam pembuatan komponen otomotif, peralatan rumah tangga, dan kemasan.
8. Poliester (PET): Poliester adalah jenis polimer yang kuat dan tahan aus. Poliester digunakan dalam berbagai aplikasi seperti dalam pembuatan kain, kantong plastik, dan botol minuman.
9. *Epoxy*: *Epoxy* adalah jenis polimer yang sangat kuat, tahan aus, dan tahan terhadap suhu tinggi. *Epoxy* digunakan dalam

berbagai aplikasi seperti dalam pembuatan lapisan pelindung pada permukaan logam, perekat, dan komponen mesin.

10. PMMA (*Polymethyl methacrylate*): PMMA adalah salah satu jenis polimer akrilik yang paling umum digunakan. PMMA dikenal dengan sifatnya yang bening, keras, dan tahan terhadap goresan. PMMA digunakan dalam berbagai aplikasi seperti kaca akrilik, lensaacamata, dan tanda jalan.
11. PDMS (*Polydimethylsiloxane*): PDMS adalah jenis polimer silikon yang paling umum digunakan. PDMS dikenal dengan sifatnya yang tahan terhadap suhu ekstrem, inert terhadap sebagian besar bahan kimia, dan dapat dilekatkan pada berbagai permukaan. PDMS digunakan dalam berbagai aplikasi seperti pembuatan mikrofluida, mikroelektronik, dan perangkat medis.

Material polimer memiliki keunggulan dibandingkan dengan material teknik logam dan keramik, seperti beratnya yang lebih ringan, ketahanan aus dan korosi yang lebih baik, dan kemampuan cetakan yang lebih fleksibel.

Beberapa sifat dan karakteristik utama dari material polimer diuraikan berikut:

1. Kekuatan

Kekuatan adalah salah satu sifat penting dari polimer sebagai material teknik. Kekuatan polimer dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti jenis dan struktur molekulnya, kondisi pengolahan, dan kondisi lingkungan di mana material tersebut digunakan. Berikut adalah beberapa sifat kekuatan polimer yang perlu dipertimbangkan (Balani *et al.*, 2015):

- a. Kekuatan tarik: Kekuatan tarik atau tegangan maksimum yang dapat ditahan oleh polimer sebelum terjadi

deformasi permanen atau kegagalan material. Polimer dengan ikatan molekul yang kuat dan jarak antar rantai yang pendek cenderung memiliki kekuatan tarik yang lebih tinggi.

- b. Kekuatan tekuk: Kekuatan tekuk atau ketahanan terhadap tekukan pada polimer dapat dipengaruhi oleh kekuatan tarik, modulus elastisitas, dan keuletan material. Material yang lebih kaku dan kurang elastis cenderung memiliki kekuatan tekuk yang lebih tinggi.
- c. Kekuatan lentur: Kekuatan lentur atau ketahanan terhadap lenturan pada polimer dapat dipengaruhi oleh struktur molekul, pengolahan, dan keuletan material. Material yang lebih kaku dan kurang elastis cenderung memiliki kekuatan lentur yang lebih tinggi.
- d. Kekuatan aus: Kekuatan aus atau ketahanan terhadap aus pada polimer dapat dipengaruhi oleh jenis polimer, pengisian bahan tambahan, dan kondisi lingkungan penggunaan. Material yang lebih tahan aus cenderung memiliki ketahanan terhadap gesekan yang lebih baik.
- e. Kekuatan impak: Kekuatan impak atau ketahanan terhadap benturan pada polimer dapat dipengaruhi oleh kekuatan tarik, keuletan material, dan pengolahan material. Material yang lebih elastis cenderung memiliki kekuatan impak yang lebih tinggi.

Selain sifat-sifat kekuatan di atas, polimer juga dapat memiliki sifat kekuatan yang khusus, seperti kekuatan terhadap radiasi, ketahanan terhadap bahan kimia, dan ketahanan terhadap suhu.

2. Ketahanan terhadap korosi

Ketahanan terhadap korosi adalah salah satu sifat penting dari polimer sebagai material teknik. Korosi dapat terjadi pada material ketika terjadi reaksi kimia antara material dan lingkungan di mana material tersebut digunakan. Korosi dapat menyebabkan kerusakan pada material, mengurangi

kinerja, dan memperpendek masa pakai material tersebut. Berikut adalah beberapa sifat ketahanan terhadap korosi polimer (Dwivedi, Bharti dan Shukla, 2021):

- a. Kekuatan kimia: Polimer yang memiliki ketahanan kimia yang tinggi cenderung lebih tahan terhadap korosi. Polimer dengan ikatan kimia yang kuat atau yang memiliki rantai molekul yang panjang cenderung lebih tahan terhadap serangan kimia.
- b. *Inertness*: Polimer yang bersifat inert atau tidak reaktif cenderung lebih tahan terhadap korosi. Polimer yang inert sering digunakan dalam lingkungan yang agresif seperti lingkungan asam atau basa.
- c. Ketahanan terhadap suhu: Polimer yang tahan terhadap suhu tinggi cenderung lebih tahan terhadap korosi. Suhu tinggi dapat mempercepat reaksi kimia dan korosi pada material.
- d. Ketebalan lapisan permukaan: Polimer yang memiliki lapisan permukaan yang tebal atau lapisan pelindung dapat melindungi material dari korosi. Lapisan permukaan ini dapat dibentuk melalui proses pelapisan atau penambahan bahan pengisi.
- e. Kandungan bahan tambahan: Beberapa bahan tambahan seperti pigmen, stabilizer, dan inhibitor korosi dapat menambah ketahanan terhadap korosi pada polimer. Bahan tambahan ini dapat meningkatkan ketahanan terhadap korosi pada polimer dengan menghambat reaksi kimia atau melindungi permukaan material dari serangan korosi.

Polimer yang memiliki ketahanan terhadap korosi yang baik sering digunakan dalam aplikasi seperti dalam lingkungan yang asam, larutan garam, dan lingkungan kimia yang agresif lainnya.

3. Ketahanan terhadap suhu

Sifat ketahanan terhadap suhu polimer adalah faktor penting yang perlu dipertimbangkan dalam pemilihan material polimer untuk aplikasi teknik. Ketahanan terhadap suhu polimer dapat mempengaruhi kinerja material dan masa pakainya dalam aplikasi yang berbeda. Berikut adalah beberapa sifat ketahanan terhadap suhu pada polimer (Mehdipour-Ataei dan Tabatabaei-Yazdi, 2015):

- a. Titik leleh: Titik leleh adalah suhu di mana polimer mulai meleleh. Polimer dengan titik leleh yang tinggi cenderung lebih tahan terhadap suhu tinggi. Namun, titik leleh yang terlalu tinggi dapat membuat polimer sulit untuk diproses.
- b. Stabilitas termal: Stabilitas termal adalah kemampuan polimer untuk bertahan pada suhu tinggi tanpa terurai atau rusak. Polimer dengan stabilitas termal yang tinggi dapat digunakan dalam aplikasi yang melibatkan suhu tinggi tanpa kehilangan kinerja.
- c. Koefisien ekspansi termal: Koefisien ekspansi termal adalah perubahan dimensi yang terjadi pada polimer akibat perubahan suhu. Polimer dengan koefisien ekspansi termal yang rendah cenderung lebih tahan terhadap perubahan suhu.
- d. Kekuatan tarik: Kekuatan tarik adalah kemampuan polimer untuk menahan beban pada suhu tinggi. Polimer dengan kekuatan tarik yang tinggi cenderung lebih tahan terhadap suhu tinggi.
- e. Ketahanan terhadap pengaruh lingkungan: Polimer dapat terurai pada suhu tinggi jika terpapar oleh lingkungan yang agresif. Polimer yang tahan terhadap lingkungan yang agresif seperti lingkungan asam atau basa cenderung lebih tahan terhadap suhu tinggi.

Sifat ketahanan terhadap suhu yang baik pada polimer memungkinkan material untuk digunakan dalam berbagai aplikasi seperti dalam mesin industri, kabel listrik, dan alat elektronik yang memerlukan ketahanan terhadap suhu tinggi.

4. Ringan

Sifat ringan polimer adalah salah satu keunggulan material polimer dibandingkan dengan material teknik lainnya seperti logam dan keramik. Sifat ringan polimer juga memungkinkan penggunaan material ini untuk mengurangi bobot dari produk yang digunakan sehingga lebih efisien dan ramah lingkungan.

Keunggulan sifat ringan pada polimer membuat material ini banyak digunakan dalam berbagai aplikasi seperti otomotif, pesawat terbang, peralatan elektronik, dan peralatan olahraga. Namun, sifat ringan polimer juga dapat mempengaruhi kinerja material pada aplikasi tertentu seperti ketahanan terhadap benturan, ketahanan mekanik, dan ketahanan terhadap suhu sehingga pemilihan material polimer yang tepat harus selalu mempertimbangkan sifat-sifat khusus dari polimer dan aplikasi teknik yang diinginkan (Kozlowski, 2012).

5. Kemampuannya untuk dicetak

Salah satu keunggulan material polimer adalah kemampuannya untuk dicetak dengan mudah menggunakan berbagai teknik cetak seperti injeksi molding, ekstrusi, thermoforming, dan lainnya. Kemampuan ini membuat polimer menjadi bahan yang sangat populer untuk pembuatan berbagai produk, seperti peralatan rumah tangga, mainan, produk medis, kendaraan, dan berbagai jenis barang konsumen lainnya (Jiang *et al.*, 2020).

Selain itu, kemampuan untuk dicetak juga memungkinkan adanya berbagai inovasi dalam desain dan teknologi produk. Namun, pada saat yang sama, ketika mencetak polimer

harus mempertimbangkan kembali sifat dan karakteristik spesifik dari polimer tersebut agar menghasilkan produk yang aman dan berfungsi dengan baik.

6. Memiliki daya rekat

Sifat daya rekat atau adhesi pada polimer merujuk pada kemampuan suatu material polimer untuk menempel pada permukaan lain. Sifat daya rekat polimer sangat penting dalam berbagai aplikasi, terutama dalam pembuatan struktur dan peralatan yang membutuhkan koneksi atau pengikatan antara berbagai komponen atau bahan yang berbeda. Sifat daya rekat pada polimer sangat penting untuk memastikan kinerja yang baik dalam berbagai aplikasi, seperti perekatan pada komposit, bahan baku kemasan, konstruksi peralatan elektronik dan otomotif, serta aplikasi medis (Synytska *et al.*, 2010).

1.2.3 Komposit

Material komposit adalah sebuah bahan yang terdiri dari dua atau lebih jenis bahan yang berbeda yang digabungkan untuk menghasilkan sifat-sifat material yang lebih baik daripada masing-masing bahan tersebut secara individual. Material komposit dapat diklasifikasikan berdasarkan beberapa kriteria, seperti matriks, penguat, arah orientasi penguat, dan bentuk geometri. Berikut adalah penjelasan detail tentang klasifikasi material teknik jenis komposit (Altenbach, Altenbach dan Kissing, 2018):

1. Berdasarkan Matriks

Material komposit dapat diklasifikasikan berdasarkan jenis matriks yang digunakan. Ada tiga jenis matriks yang umum digunakan dalam material komposit, yaitu:

- a. Matriks Polimer: Matriks polimer digunakan dalam material komposit seperti serat kaca yang diperkuat dengan resin epoksi. Matriks polimer cocok untuk

aplikasi di mana ringan dan kekuatan yang cukup sudah cukup.

- b. Matriks Logam: Matriks logam digunakan dalam material komposit seperti aluminium yang diperkuat dengan serat. Matriks logam cocok untuk aplikasi yang membutuhkan kekuatan yang tinggi.
- c. Matriks Keramik: Matriks keramik digunakan dalam material komposit seperti serat karbon yang diperkuat dengan matriks keramik. Matriks keramik cocok untuk aplikasi di mana ketahanan suhu tinggi dan kekerasan yang tinggi dibutuhkan.

2. Berdasarkan Penguat

Material komposit juga dapat diklasifikasikan berdasarkan jenis penguat yang digunakan. Ada dua jenis penguat yang umum digunakan dalam material komposit, yaitu:

- a. Serat: Serat digunakan sebagai penguat dalam material komposit seperti serat karbon, serat kaca, dan serat aramid. Serat umumnya memiliki kekuatan yang tinggi dan tahan terhadap tegangan tarik.
- b. Partikel: Partikel digunakan sebagai penguat dalam material komposit seperti beton, yang terdiri dari campuran semen, agregat, dan air. Partikel umumnya digunakan untuk meningkatkan kekuatan dan ketahanan aus material.

3. Berdasarkan Arah Orientasi Penguat

Material komposit dapat diklasifikasikan berdasarkan arah orientasi penguat yang digunakan. Ada tiga jenis arah orientasi penguat yang umum digunakan, yaitu:

- a. Komposit Unidireksional: Komposit unidireksional memiliki arah penguat yang searah, sehingga kekuatan material terutama hanya pada satu arah.
- b. Komposit Berorientasi Arah: Komposit berorientasi arah memiliki arah penguat yang berbeda-beda, sehingga

kekuatan material terdistribusi secara merata di berbagai arah.

- c. Komposit Acak: Komposit acak memiliki orientasi penguat yang acak, sehingga kekuatan material terdistribusi secara merata di seluruh arah.

4. Berdasarkan Bentuk Geometri

Material komposit juga dapat diklasifikasikan berdasarkan bentuk geometri yang digunakan. Ada beberapa jenis bentuk geometri yang umum digunakan, yaitu:

- a. *Laminate*: Komposit *laminate* terdiri dari dua atau lebih lapisan material berbeda yang digabungkan dengan cara merekatkannya secara berurutan. Lapisan-lapisan ini kemudian diakumulasikan menjadi suatu struktur yang solid dan kokoh.
- b. *Sandwich*: Komposit *sandwich* terdiri dari dua lapisan yang mengapit inti bahan yang ringan. Bahan yang digunakan untuk inti ini dapat berupa busa polimer, busa karet, atau bahan berongga seperti karton atau honeycomb.
- c. *Woven*: Komposit *woven* terdiri dari serat-serat yang ditenun menjadi suatu kain yang kemudian diresapi dengan resin.
- d. Partikel: Komposit partikel terdiri dari serat atau partikel yang dicampurkan dengan resin atau polimer.

Kelebihan material komposit sebagai material teknik adalah memiliki kekuatan tinggi, berat ringan, tahan korosi, stabilitas dimensi yang baik, serta desain yang mudah disesuaikan. Namun, material komposit juga memiliki kekurangan, seperti biaya produksi yang relatif mahal dan sulit untuk didaur ulang. Selain itu, penggunaan material komposit juga memerlukan proses produksi yang lebih kompleks dan memerlukan keahlian khusus dalam penggunaannya.

Beberapa contoh material komposit yang sering digunakan dalam aplikasi teknik adalah (Ngo, 2020):

1. Serat Karbon: serat karbon sering digunakan dalam industri otomotif, dirgantara, dan olahraga seperti sepeda dan alat ski. Material ini memiliki kekuatan yang tinggi, berat yang ringan, dan tahan korosi.
2. Komposit Serat Kaca: sering digunakan dalam industri maritim dan otomotif sebagai bahan bangunan kapal, body mobil, dan alat-alat lainnya. Material ini tahan korosi, ringan, dan kuat.
3. Komposit Serat Alam: sering digunakan dalam industri furniture, peralatan rumah tangga, dan keperluan lainnya. Material ini terbuat dari bahan-bahan alami seperti bambu, kayu, dan rotan, yang memberikan tampilan yang estetik dan ramah lingkungan.
4. Komposit Serat Logam: sering digunakan dalam industri penerbangan, pembangkit listrik, dan industri lainnya. Material ini terdiri dari serat logam, seperti aluminium, tembaga, dan baja, yang diperkuat dengan serat-serat lain seperti serat karbon atau serat kaca.
5. Komposit Polimer: sering digunakan dalam industri otomotif, peralatan olahraga, dan keperluan lainnya. Material ini terdiri dari polimer, seperti resin epoksi atau poliester, yang diperkuat dengan serat-serat seperti serat karbon atau serat kaca. Material ini memiliki kekuatan yang tinggi, ringan, dan tahan korosi.

1.2.4 Keramik

Keramik adalah jenis material teknik non-logam yang dibuat melalui proses pembentukan dan pemanasan bahan-bahan seperti tanah liat, silika, *feldspar*, dan bahan-bahan lainnya. Klasifikasi keramik dapat dilakukan berdasarkan sifat-sifat fisik

dan kimia dari material tersebut, seperti berikut (Boch and Niepce, 2007):

1. Berdasarkan komposisi kimia

Keramik dapat dibedakan menjadi beberapa jenis berdasarkan komposisi kimia bahan pembuatnya. Beberapa jenis keramik ini meliputi:

- a. Keramik oksida: Terbuat dari oksida logam seperti alumina, magnesia, dan zirkonia. Keramik ini memiliki sifat-sifat tahan aus, tahan korosi, dan tahan suhu tinggi.
- b. Keramik karbida: Terbuat dari bahan seperti silikon karbida dan boron karbida. Keramik ini tahan suhu tinggi dan tahan aus.
- c. Keramik nitrida: Terbuat dari bahan seperti silikon nitrida dan boron nitrida. Keramik ini tahan suhu tinggi dan tahan korosi.
- d. Keramik silikat: Terbuat dari bahan dasar silika seperti tanah liat. Keramik ini biasanya digunakan untuk pembuatan genteng, ubin, dan peralatan rumah tangga.

2. Berdasarkan metode pembuatan

Keramik juga dapat diklasifikasikan berdasarkan metode pembuatan dan proses pengolahan yang digunakan, seperti:

- a. Keramik tradisional: Dibuat dengan cara membentuk bahan dasar menggunakan tangan atau mesin, kemudian dikeringkan dan dipanaskan pada suhu tinggi.
- b. Keramik maju: Dibuat dengan menggunakan teknologi canggih seperti proses pembuatan dengan injeksi, pengecoran, atau penguapan. Keramik maju ini memiliki sifat mekanik dan termal yang lebih baik dibandingkan dengan keramik tradisional.

3. Berdasarkan sifat mekanik

Keramik juga dapat diklasifikasikan berdasarkan sifat mekaniknya, seperti:

- a. Keramik struktural: Dapat menahan beban yang besar dan biasanya digunakan untuk pembuatan komponen mesin seperti bantalan dan gigi.
 - b. Keramik fungsional: Dapat digunakan untuk tujuan tertentu seperti penghantar listrik atau sebagai bahan sensor.
4. Berdasarkan sifat termal
- Keramik dapat dibedakan berdasarkan sifat termalnya, seperti:
- a. Keramik refraktori: Dapat menahan suhu tinggi dan biasanya digunakan untuk pembuatan komponen mesin yang beroperasi pada suhu tinggi seperti tungku dan peralatan laboratorium.
 - b. Keramik isolator: Dapat digunakan sebagai isolator termal atau listrik pada suhu dan tekanan yang rendah.

Material keramik memiliki beberapa kelebihan yang membuatnya cocok digunakan pada aplikasi teknik. Salah satu kelebihan material keramik adalah tahan aus, sehingga dapat digunakan pada komponen yang memerlukan ketahanan terhadap gesekan. Selain itu, material keramik juga tahan suhu tinggi, sehingga cocok digunakan pada lingkungan dengan suhu yang ekstrem. Kekuatan mekanik yang tinggi juga merupakan kelebihan material keramik, sehingga cocok digunakan pada komponen yang memerlukan kekuatan tinggi. Semua kelebihan tersebut membuat material keramik menjadi pilihan yang tepat untuk aplikasi teknik yang memerlukan ketahanan dan kekuatan yang tinggi (Carter dan Norton, 2007).

Namun, material keramik memiliki beberapa kekurangan yang perlu diperhatikan saat digunakan dalam aplikasi teknik. Salah satu kekurangan material keramik adalah rentan terhadap retak dan pecah, sehingga memerlukan penanganan khusus pada saat pengolahan dan penggunaannya. Selain itu, material keramik

juga kurang tahan terhadap tekanan dan biaya produksinya relatif tinggi, sehingga perlu dipertimbangkan secara matang dalam penggunaannya dalam aplikasi teknik.

Berikut ini adalah beberapa contoh keramik yang sering digunakan dalam aplikasi teknik (Tiwari, Gerhardt dan Szutkowska, 2016):

1. Oksida Aluminium (Alumina): Keramik ini sering digunakan dalam aplikasi teknik karena tahan aus, tahan terhadap korosi, dan memiliki kekuatan mekanik yang tinggi. Alumina digunakan pada komponen mesin, alat pemotong, pelat pelindung, dan sebagainya.
2. Karbida Silikon (*Silicon Carbide*): Keramik ini tahan terhadap suhu tinggi dan korosi, serta memiliki kekuatan mekanik yang tinggi. Silicon Carbide sering digunakan pada aplikasi yang memerlukan ketahanan terhadap gesekan, seperti pelat rem, bantalan, dan sebagainya.
3. Nitrida Silikon (*Silicon Nitride*): Keramik ini tahan terhadap suhu tinggi dan korosi, serta memiliki kekuatan mekanik yang tinggi. Silicon Nitride digunakan pada aplikasi yang memerlukan ketahanan terhadap gesekan dan kekuatan yang tinggi, seperti pada bantalan, bola keramik, dan sebagainya.
4. Zirkonia (*Zirconium Oxide*): Keramik ini memiliki sifat tahan aus dan kekuatan mekanik yang tinggi. Zirkonia digunakan pada aplikasi yang memerlukan ketahanan terhadap gesekan dan suhu tinggi, seperti pada roda gigi, komponen mesin, dan sebagainya.

1.2.5 Material lainnya

Selain kategori di atas, ada juga beberapa jenis material teknik lainnya seperti bahan beton dan semen, bahan kayu, kaca, karet, dan tekstil, dan sebagainya. Material ini umumnya digunakan

dalam aplikasi khusus seperti bahan bangunan, peralatan olahraga, dan tekstil.

1. Bahan Beton dan Semen

Beton dan semen adalah material teknik yang sering digunakan dalam industri konstruksi bangunan. Beton adalah campuran dari semen, air, pasir, dan agregat seperti kerikil dan batu pecah. Sedangkan semen adalah bahan perekat yang digunakan untuk mengikat material konstruksi seperti batu bata dan blok beton.

2. Bahan Kayu

Kayu adalah material teknik yang sering digunakan dalam berbagai industri, terutama dalam industri konstruksi dan pembuatan furnitur. Kayu adalah bahan alami yang berasal dari batang pohon, cabang, dan ranting yang dipotong dan diolah untuk digunakan dalam berbagai aplikasi teknik.

3. Kaca

Kaca adalah material teknik yang terbuat dari bahan dasar pasir, soda kalsinasi, dan kapur. Kaca memiliki keunggulan utama dalam bidang konstruksi adalah kemampuannya untuk membiarkan cahaya masuk ke dalam ruangan, sementara tetap menjaga privasi. Selain itu, kaca juga dapat memperbaiki isolasi termal dan akustik, sehingga dapat meningkatkan efisiensi energi.

4. Tekstil

Tekstil adalah material teknik yang terbuat dari serat yang dijadikan benang, kemudian dijahit, dianyam, atau dipintal menjadi bahan yang digunakan dalam berbagai aplikasi teknik. Tekstil dapat digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti pakaian, furnitur, kantong udara, jaring, dan sebagainya.

Dari berbagai jenis material teknik seperti logam, polimer, keramik, komposit, dan material lainnya, setiap jenis material

memiliki kelebihan dan kelemahan masing-masing yang harus dipertimbangkan dalam pemilihan untuk aplikasi tertentu. Oleh karena itu, pemilihan material yang tepat menjadi kunci sukses dalam perancangan dan aplikasi teknik yang baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Altenbach, H., Altenbach, J. and Kissing, W. 2018. 'Classification of Composite Materials', *Mechanics of Composite Structural Elements*, pp. 3–18.
- Balani, K. *et al.* 2015. 'Physical, Thermal, and Mechanical Properties of Polymers', in *Biosurfaces*. John Wiley & Sons, Ltd, pp. 329–344.
- Balasubramanian, A. 2017. *Classification of Materials*. India.
- Boch, P. and Niepce, J.-C. 2007. *Ceramic Materials: Processes, Properties and Applications*. United States: ISTE Ltd.
- Carter, C.B. and Norton, M.G. 2007. *Ceramic materials: science and engineering*. Springer.
- Collini, L. 2012. 'Copper and Copper Alloys: Casting, Classification and Characteristic Microstructures', in *Copper Alloys – Early Applications and Current Performance – Enhancing Processes*. Croatia: InTech.
- Dwivedi, A., Bharti, P.K. and Shukla, S.J. 2021. 'An Overview of the Polymeric Materials that can be Used to Prevent Metal Corrosion: A Review', 8(3), pp. 863–872.
- Gandy, D. 2007. 'Properties', in *Carbon Steel Handbook*. California: EPRI.
- Hanawa, T. 2010. 'Overview of metals and applications', in *Metals for Biomedical Devices*. Woodhead Publishing, pp. 3–24.
- Jiang, Z. *et al.* 2020. 'Extrusion 3D Printing of Polymeric Materials with Advanced Properties', *Advanced Science*, 7(17).
- Kozłowski, M. 2012. 'Lightweight Plastic Materials', in *Thermoplastic Elastomers*. InTech, pp. 291–318.
- Kunter, R. and Mridha, S. 2016. 'Gold: Alloying, Properties, and Applications', *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering* [Preprint].
- Lacoviello, F. 2016. *Cast Irons*. Elsevier Inc.

- Lyons, A. 2006. 'Ferrous and Non-Ferrous Metals', in *Materials for Architects and Builders*. Elsevier, pp. 149–196.
- Mehdipour-Ataei, S. and Tabatabaei-Yazdi, Z. 2015. 'Heat Resistant Polymers', in *Encyclopedia of Polymer Science and Technology*. John Wiley & Sons, Inc., pp. 1–31.
- Morales, E.V. 2011. 'Alloy Steel: Properties and Use First-Principles Quantum Mechanical Approach to Stainless Steel Alloys', in *Alloy Steel – Properties and Use*. Croatia: InTech, pp. 3–28.
- Ngo, T.-D. 2020. 'Introduction to Composite Materials', in *Fiber Composites*. Canada: IntechOpen, pp. 1–21.
- Rudin, A. and Choi, P. 2013. *Polymer Science and Engineering*. Third Edition. Elsevier.
- Stojanovic, B., Bukvic, M. and Epler, I. 2018. 'Application of aluminum and aluminum alloys in engineering', *Applied Engineering Letters*, 3(2), pp. 52–62.
- Synytska, A. *et al.* 2010. 'Biocompatible polymeric materials with switchable adhesion properties', *Soft Matter*, 6(23), pp. 5907–5914.
- Tiwari, A., Gerhardt, R.A. and Szutkowska, M. 2016. 'Advanced Ceramics', *Advanced Ceramics*, pp. 1–424.
- Veiga, C., Davim, J.P. and Loureiro, A. 2012. 'Properties and applications of titanium alloys: A brief review', *Reviews on Advanced Materials Science*, 32(2), pp. 133–148.

BAB 2

STRUKTUR MATERIAL TEKNIK

Oleh Ryan Effendi

2.1 Pendahuluan

Suatu zat atau komponen dari suatu benda yang memiliki sifat dan karakteristik tertentu disebut sebagai material atau bahan. Material secara tradisional berfungsi sebagai barometer untuk mengukur kemajuan peradaban dan sejarah manusia. Saat ini, material sangat penting untuk kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi. Secara umum, asal muasal bahan penyusun mesin atau bangunan akan berdampak pada fungsinya.

Material teknik adalah bahan yang digunakan untuk membangun suatu objek dan digunakan dalam rekayasa dan desain. Insinyur dapat menggunakan kualitas atau atribut unik dari bahan teknik untuk memudahkan menyelesaikan tugas dan rekayasa teknik mereka. Bahan-bahan atau material di lingkungan sekitar kita dapat ditemukan dimana saja berupa bahan dasar ataupun berupa konfigurasi bangunan tertentu yang tersusun dari material teknik.

Didalam dunia rekayasa material teknik secara umum dapat dibedakan menjadi dua kelompok yaitu (1) material kristal, dan (2) material non-kristal. Selain itu dibedakan pula menjadi material teknik yang berupa material konvensional yaitu logam, semikonduktor, keramik, dan polimer. Material konvensional adalah material yang berbahan dasar dari sumber alam yang diproses dengan industri tertentu sehingga menghasilkan material industri yang bernilai tinggi untuk memenuhi kehidupan manusia. Itulah sebabnya kemudian lahir disiplin ilmu pengetahuan yang

secara khusus membahas masalah material dan dikenal dengan material teknik.

2.2 Struktur Material Teknik

Struktur komposisi material dan hubungannya dengan kualitas intrinsiknya menjadi dasar penelitian material teknik. Komponen kimiawi yang membentuk suatu bahan dan metode yang digunakan untuk mengubahnya menjadi produk jadi adalah penentu utama dari struktur dan kualitas bahan. Secara umum, struktur material terkait dengan bagaimana bagian-bagian penyusunnya diatur. Struktur nano adalah susunan atom, elektron, dan molekul dalam suatu zat pada tingkat atom. Struktur mikroskopis, yang mengacu pada susunan pengelompokan atom, membentuk struktur material dalam skala yang lebih besar. Struktur makroskopis adalah kumpulan struktur mikroskopis berskala lebih kecil yang dapat dilihat tanpa menggunakan peralatan khusus.

Didalam buku Teknik Material karangan Sulardi (2019) material teknik dapat dikelompokkan menjadi enam golongan yaitu; (1) bahan yang terbuat dari logam, seperti baja, besi tuang, titanium, dan logam campuran; (2) bahan yang terbuat dari polimer, seperti polietilena, polipropilena, dan polikarbonat; (3) bahan yang terbuat dari karet, seperti isoprena dan neoprena; (4) bahan yang terbuat dari gelas, seperti gelas soda, gelas silika, dan gelas borosilikat; (5) bahan yang terbuat dari keramik, seperti alumina dan silikon karbida; dan (6) material hibrid

1. Struktur Material Logam

Secara kimiawi, logam adalah elemen penghantar panas dan listrik yang kuat, tangguh, keras, dengan suhu leleh yang tinggi. Sifat fisik logam secara umum menurut Dr. Ahmad Fatih (2012) antara lain padat, memiliki titik lebur yang tinggi, lentur (tidak mudah pecah), mudah dibentuk (dapat ditempa dan ditarik), penghantar panas yang baik dan listrik, dan

kemampuan untuk diubah menjadi paduan. di antara logam. Sedangkan logam adalah kategori mineral keras yang meliputi barang-barang seperti emas, perak, tembaga, dan sebagainya, menurut Budiono (2005).

Atom logam, unsur paling umum dalam tabel periodik, membentuk bahan logam. Sambungan logam antara atom logam memungkinkan elektron valensi bergerak bebas, menghasilkan bahan transparan dengan konduktivitas listrik dan termal yang baik. Secara umum, logam bersifat ulet (dapat diregangkan untuk membuat kabel kecil) dan dapat ditempa (dapat dipalu atau ditekan secara permanen menjadi bentuk tanpa pecah atau pecah). Mereka juga bisa dilebur.

Menurut Holleman (2001), atom logam dikelompokkan dalam salah satu dari tiga struktur kristal umum: hexagonal close-pack (hcp), face-centered cubic (fcc), dan body-centered cubic (bcc). Setiap atom dalam bcc diposisikan di tengah kubus, dikelilingi oleh atom lain. Setiap atom dalam fcc dan hcp dikelilingi oleh dua belas atom tambahan, tetapi konfigurasi lapisannya berbeda. Tergantung pada suhu, beberapa logam mengadopsi pola struktur yang berbeda. Dalam konfigurasi alamnya yang padat, atom logam menghasilkan awan elektron yang mengalir bebas sebagai akibat dari mudahnya elektron kulit terluarnya hilang. Logam dapat dengan mudah menghantarkan panas dan listrik sebagai akibatnya. Jika aliran elektron ini terjadi, interaksi elektrostatis antara masing-masing atom dan awan elektron inilah yang memberi logam sifat padatnya.

2. Struktur Material Polimer

Molekul besar yang terdiri dari molekul kecil bergabung bersama membentuk polimer. Massa molekul relatif polimer luar biasa tinggi dan berkisar antara 500 hingga 10.000 kali dari unit berulang. Kata "polimer" menyiratkan

"banyak bagian" atau "banyak monomer" dalam bahasa Yunani, di mana polys berarti "banyak" dan meros "bagian". Molekul besar, atau makromolekul, yang dikenal sebagai polimer dibuat dari kombinasi unit berulang kimia yang digabungkan dengan koneksi kovalen. Polimer dapat berbentuk linier, bercabang, rantai pendek, atau kombinasi dari struktur tersebut dengan katalis atau metode tertentu. Komponen dasar polimer adalah unit berulang, yang biasanya setara dengan monomer (Billmeyer, 1971).

Karet dan plastik adalah dua bahan yang termasuk dalam kategorisasi polimer. Polimer biasanya adalah molekul organik yang terdiri dari komponen dasar karbon, oksigen, dan hidrogen. Unsur-unsur ini memiliki ukuran molekul yang tinggi karena cara mereka disusun menjadi rantai. Ikatan kovalen menyatukan atom-atom dalam rantai polimer. Dalam banyak aspek kehidupan sehari-hari, polimer digunakan. Produk yang diproduksi dari polimer meliputi barang-barang seperti garmen, wadah minum, kertas, ban, folder dan tas plastik, dan banyak lainnya.

3. Struktur Material Karet

Lateks beberapa spesies tumbuhan mengandung polimer hidrokarbon yang dikenal sebagai karet. polimer yang terdiri dari antara 5000 dan 10.000 unit isoprena (politerpena) tidak bercabang. Karet bersifat amorf pada suhu kamar. Ini akan mengkristal dalam suhu dingin. Karet mengembang saat suhu naik, bergerak ke arah sumbu panjangnya. Keadaan pembengkakan akan dipulihkan dengan menurunkan suhu.

Cis-1,4-polyisoprene adalah struktur molekul karet alam. Berat molekul biasanya turun antara 104 dan 107, sedangkan indeks distribusi berat molekul biasanya antara 2,5 dan 10. Karet alam memiliki elastisitas yang baik, ketahanan

leleh yang kuat, dan kehilangan histeresis minimal karena kelenturan yang luar biasa dari rantai molekulnya. Stereoregulasi yang tinggi dari struktur molekul karet alam menghasilkan ketegangan di wilayah kristal, yang mengarah pada sifat penguatan sendiri termasuk peningkatan kekuatan tarik, ketahanan sobek, ketahanan gores, dan kemudahan pemrosesan.

4. Struktur Material Kaca dan Gelas

Zat silikat non-kristal, kaca mengandung oksida tambahan, terutama CaO , Na_2O , K_2O , dan Al_2O_3 , yang berdampak pada karakteristik material. Sementara Na_2O (soda) dan CaO (kapur) adalah dua oksida utama lainnya dalam gelas soda-kapur, SiO_2 menyusun sekitar 70% komposisinya. Kaca disusun oleh unsur-unsur sebagai berikut:

a. Silika (SiO_2).

Komponen utama dari zat kaca adalah silika. Silika membuat kaca silika cair cukup tebal untuk mempercepat produksi dan memberikan perlindungan dari kerusakan iklim.

b. Sodium atau potassium carbonate (Na_2O)

Ini adalah bagian mendasar dari kaca. Dampak natrium pada kaca adalah dapat menurunkan titik leleh silika dan bila dikombinasikan dengan silika menghasilkan karakteristik kaca cair yang kental.

c. Kapur (CaO)

Batu kapur dibuat ketika kapur dan kaca digabungkan. Kaca bisa dibuat lebih awet dengan menambahkan kapur.

d. Mangaandioksida (MgO)

Karena pengaruh unsur besi yang termasuk dalam bahan baku kaca, unsur ini membantu warna kaca.

e. Cullet (B_2O_3)

Cullet berbentuk kaca-kaca bekas yang masih bisa dilebur ulang.

f. Bahan pewarna kaca

Daftar berikut mencakup bahan kimia pewarna kaca yang sering digunakan dalam produksi kaca: Hitam: mangan dioksida, nikel, dan kobalt Kromium oksida, berwarna hijau Merah: Selenium dan oksida tembaga Ungu tua: mangaandioksida Putih: Tin oksida dengan kriolit Kadmium sulfat berwarna kuning.

Bahan-bahan Gelas terdiri dari;

a. SiO_2 :

- 1) Didapat dari kuarsa (bahan pokok pembuatan gelas);
- 2) Melebur pada suhu tinggi dan membentuk cairan bening;
- 3) Dengan penggunaan silika ini, pengembangan gelas akibat perubahan suhu akan kecil.

b. Na_2O :

- 1) Didapat dari abu soda (soda ash) atau natrium karbonat;
- 2) Memperbesar pemuaian;
- 3) Mempertinggi daya tahan terhadap kejutan suhu tetapi menurunkan akan sifat ketahananlamaan dari gelas.

c. CaO atau MgO :

- 1) Didapat dari batu kapur atau batu dolomit;
- 2) Penurun suhu lebur;
- 3) Mempertinggi sifat ketahananlamaan gelas.

d. B_2O_3 :

- 1) Didapat dari borax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$);
- 2) Untuk gelas yang pemuaiannya kecil dan gelas boro silikat.

- e. Al_2O_3 :
 - 1) Didapat dari Felspar atau nephelin syenit;
 - 2) Menaikkan suhu lebur dan viskositas dari masa gelas;
 - 3) Memperbaiki sifat tahan lama.
- f. PbO : Material ini dicampur dengan silika membentuk gelas “flint” (gelas mutu tinggi) untuk rumah tangga.

5. Struktur Material Keramik

Tanah liat, komponen utama keramik, dicetak dan dibakar pada suhu antara $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ hingga lebih dari $1300\text{ }^{\circ}\text{C}$ untuk mengubah sifat fisik tanah liat dan menjadikannya lebih kuat. Istilah Yunani kramos, yang berarti peralatan yang terbuat dari tanah liat yang dipanaskan, adalah asal dari nama keramik. Karena mudah didapat di alam dan memiliki kualitas fisik yang sangat berbeda dari logam, keramik berguna sebagai bahan teknik. Secara umum keramik berupa campuran logam dan non logam. Ikatan atom keramik berupa ikatan kovalen dan ionik dengan ikatan yang kuat dari ikatan sehingga sifat keras, thermal dan kelistrikannya lebih tinggi dari logam. Keramik terdapat dalam bentuk Kristal tunggal dan polycrystalline yang terdiri dari banyak grain. Beberapa jenis bahan yang digunakan untuk membuat keramik diantaranya adalah clay, flint dan feldspar.

Bahan keramik adalah zat anorganik, non-logam yang terbuat dari konstituen logam dan non-logam yang sebagian besar disatukan oleh koneksi ionik dan/atau logam. Keramik dapat dibuat dari bahan kimia sederhana atau kombinasi dari banyak fase rumit yang dihubungkan bersama. Senyawa yang digunakan dalam bahan keramik biasanya senyawa oksida, nitrida, dan karbida. Gelas, semen, dan keramik yang terbuat dari tanah liat adalah beberapa bahan yang dikategorikan

sebagai keramik. Bahan keramik biasanya kuat tetapi rapuh, panas, dan isolator listrik yang dapat menahan suhu tinggi.

6. Struktur Material Komposit

Bahan komposit adalah bahan yang dibuat oleh para insinyur dengan menggabungkan dua atau lebih elemen dengan fase berbeda untuk membuat bahan baru dengan fitur unik. Komposit, menurut definisi lain, adalah campuran bahan yang dipilih berdasarkan karakteristik masing-masing bahan penyusunnya untuk menciptakan zat baru yang memiliki sifat berbeda dari bahan dasarnya sebelum dicampur dan terjadi ikatan pada permukaan masing-masing bahan penyusunnya. .

Bahan komposit adalah bahan yang dibuat oleh para insinyur dengan menggabungkan dua atau lebih elemen dengan fase berbeda untuk membuat bahan baru dengan fitur unik. Komposit, menurut definisi lain, adalah campuran bahan yang dipilih berdasarkan karakteristik masing-masing bahan penyusunnya untuk menciptakan zat baru yang memiliki sifat berbeda dari bahan dasarnya sebelum dicampur dan terjadi ikatan pada permukaan masing-masing bahan penyusunnya. .

Matriks dan penguat adalah komponen terpisah yang membentuk material komposit. Fase penguat menahan dan beban dibawa oleh matriks, yang merupakan fase primer dan kontinyu. Sementara fase diskontinu kedua matriks, penguat, adalah bagian darinya. Ini dikenal sebagai fase penguat karena tulangan seringkali memiliki kekuatan yang lebih tinggi daripada matriks, meskipun matriksnya ulet.

Bahan komposit juga menggabungkan berbagai jenis bahan. Contoh paling umum adalah fiberglass, yang menggabungkan zat polimer dengan serat kaca (keramik) untuk penguatan. Komposit dibuat untuk memaksimalkan efek sinergis dari bahan penyusunnya. Misalnya, komponen kaca dari fiberglass dimaksudkan untuk memberi kontribusi pada

kekuatan material yang relatif tinggi, sedangkan komponen polimer menambah fleksibilitasnya yang luar biasa.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad Fatih, 2012. Kamus Lengkap Kimia, (Yogyakarta: Panji Pustaka), cet ke-1, h. 287. 31
- Billmeyer, F.W. 1971. Textbook of Polymer Science. 2 nd ed. Jhon Wiley and Sons. Inc.16. New York.
- Budiono, 2005. Kamus Lengkap Bahasa Indonesia, (Surabaya: Karya Agung), h. 320
- Holleman, A. F.; Wiberg, E. 2001. "Inorganic Chemistry" Academic Press: San Diego, ISBN 0-12-352651-5.
- Sulardi, 2019, Teknik Material, (Cirebon: Nusa Litera Inspirasi, 2019).
- <https://www.etsworlds.id/2017/10/klasifikasi-dan-jenis-material-teknik.html>

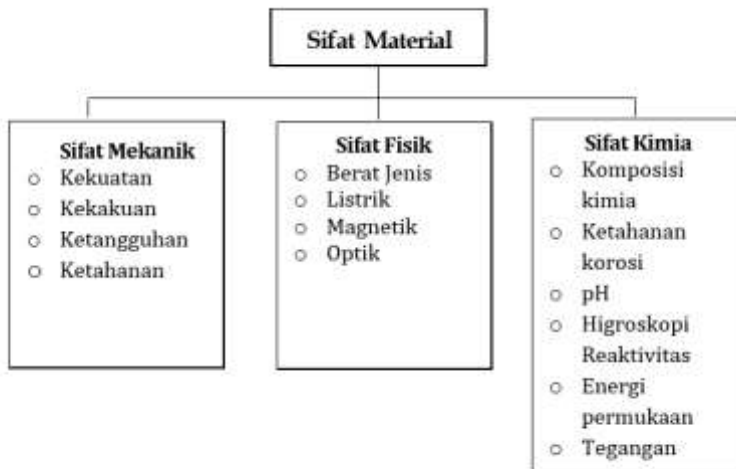
BAB 3

SIFAT MATERIAL TEKNIK, SIFAT FISIK, SIFAT MEKANIS DAN SIFAT KIMIA

Oleh Zainal Sudirman

3.1 Pendahuluan

Sifat material merujuk pada karakteristik fisik, kimia, dan mekanis suatu bahan. Sifat-sifat material ini dapat mempengaruhi bagaimana bahan tersebut berperilaku dan bereaksi terhadap lingkungan dan penggunaannya. Pemberian beban kejut pada material, misalnya. Apabila material tersebut langsung patah, sifat material tersebut adalah getas. Apabila material tersebut menjadi sangat bengkok, sifat material tersebut adalah ulet. Apabila material tersebut hanya mengalami sedikit pembengkokan maka sifat material tersebut adalah tangguh (B T Sofyan, 2021).



Gambar 3.1. Sifat Material
(Sumber : B T Sofyan, 2021)

3.2 Sifat Mekanik

Sifat mekanik material merujuk pada karakteristik atau perilaku material dalam respons terhadap gaya atau beban mekanik yang diterapkan padanya. Material sering dipilih untuk aplikasi struktural karena memiliki kombinasi karakteristik mekanis yang diinginkan. Bab ini membahas sifat mekanik terkait karakteristik mekanis penting lainnya. Berikut adalah beberapa sifat mekanik material yang penting yaitu Kekuatan Tarik, Kekuatan Lengkung, Kekuatan Tekan, Kekerasan, Kekakuan, Ketangguhan, Elastisitas, Plastisitas dan keuletan.

3.2.1 Kekuatan tarik

Kekuatan tarik adalah kemampuan suatu material untuk menahan gaya tarik sebelum mengalami kegagalan. Ini merupakan ukuran kekuatan maksimum material dalam mengatasi tegangan

tarik. Biasanya diukur dalam satuan tekanan (misalnya, megapascal atau psi).

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (3.1)$$

Dimana

σ = Kekuatan tarik suatu bahan (kgf/mm²)

F = Tegangan Maksimun (kgf)

A_0 = Luas penampang mula-mula (mm²)

σ adalah kekuatan tarik komposit yang dihasilkan oleh beban tarik (ε) dibagi luasan rata-rata. Untuk regangan dapat diketahui besarnya menggunakan persamaan :

$$\varepsilon = \frac{l_i - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (3.2)$$

Dimana

ε = Regangan

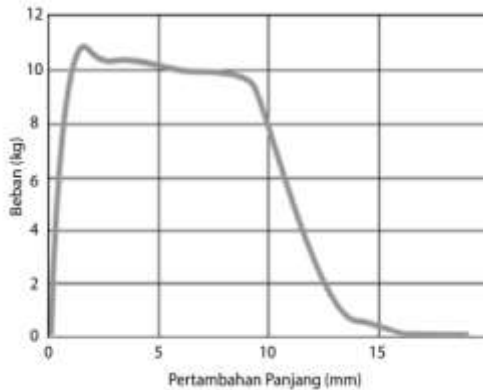
Δl = Pertambahan panjang (m)

l_0 = Panjang awal benda (m)

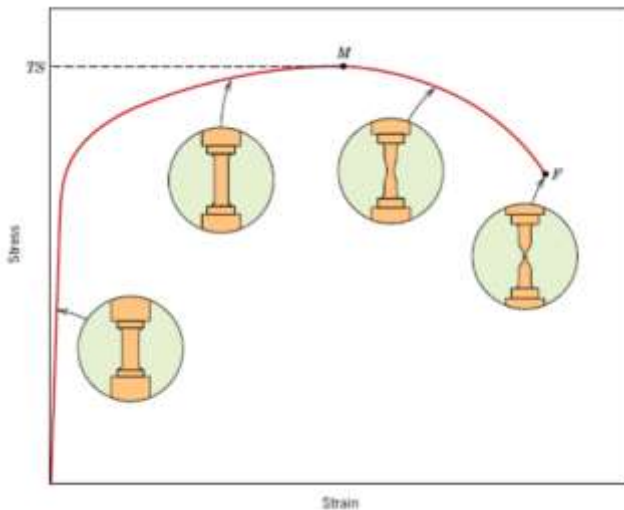
Dengan Δl adalah perubahan panjang di panjang awal (l_0). jika regangan sudah diketahui maka besarnya modulus elastisitas (E) (Z sudirman, 2020).

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (3.3)$$

Kekuatan tarik dapat diketahui melalui pengujian tarik menggunakan alat seperti Gambar 3.2 sehingga dapat diperoleh tegangan (*stress*) terhadap regangan (*strain*). Untuk mengaetaahui lebih lanjut mengenai kurva tegangan – regangan seperti terlihat pada Gambar 2.3 berikut.



Gambar 3.2. Alat uji tarik serta grafik pertambahan beban vs pertambahan panjang
(Sumber : B T Sofyan, 2021)



Gambar 3.3. Kurva antara tegangan tarik dengan regangan Tarik suatu Bahan
(Sumber : Callister, 2013)

Deformasi Elastis

Deformasi elastis merujuk pada perubahan bentuk suatu benda akibat diberikan gaya, namun benda tersebut dapat kembali ke bentuk semula setelah gaya tersebut dihilangkan. Deformasi elastis terjadi pada benda yang memiliki sifat elastisitas, di mana benda dapat mengalami pemulihan bentuknya setelah diberikan gaya yang mengubah bentuknya.

Ketika suatu benda mengalami deformasi elastis, atom-atom atau molekul-molekul dalam benda mengalami pergeseran relatif terhadap posisi keseimbangan. Pada deformasi elastis, gaya yang bekerja pada benda akan menyebabkan perubahan bentuknya, tetapi ketika gaya tersebut dihilangkan, benda akan kembali ke bentuk semula karena gaya-gaya internal dalam benda mengembalikannya ke posisi keseimbangan.

Dalam deformasi elastis, terdapat hukum Hooke yang mendeskripsikan hubungan antara gaya yang bekerja pada benda dengan perubahan bentuk yang dihasilkan. Hukum Hooke menyatakan bahwa gaya yang diberikan pada suatu benda elastis berbanding lurus dengan perubahan panjang atau perubahan bentuk yang terjadi. Persamaan hukum Hooke dapat dituliskan.

$$F = kx \quad (3.4)$$

Dimana

F	= gaya yang diberikan pada benda
k	= konstanta pegas (konstanta elastisitas)
x	=perubahan bentuk yang terjadi

Deformasi elastis memiliki beberapa karakteristik penting, antara lain:

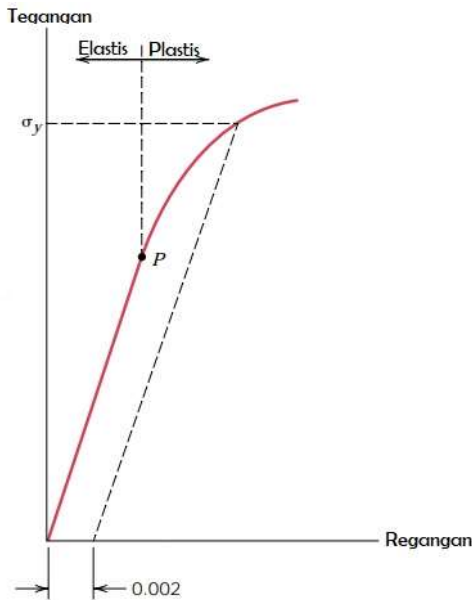
Elastisitas linear: Pada deformasi elastis linear, hubungan antara gaya dan perubahan bentuk adalah proporsional dan mengikuti hukum Hooke. Dalam rentang deformasi elastis linear, benda akan kembali ke bentuk semula setelah gaya dihilangkan.

Pemulihan bentuk: Setelah gaya yang menyebabkan deformasi elastis dihilangkan, benda akan kembali ke bentuk semula karena gaya-gaya internal dalam benda mengembalikannya ke posisi keseimbangan. Ini berbeda dengan deformasi plastis, di mana benda tidak dapat kembali ke bentuk semula setelah deformasi terjadi.

Reversibilitas: Deformasi elastis dapat terjadi secara reversibel, artinya perubahan bentuk yang terjadi dapat dibalikkan sepenuhnya. Namun, jika deformasi melebihi batas elastisitas, benda dapat mengalami deformasi plastis atau bahkan patah.

Contoh umum deformasi elastis adalah pegas yang ditarik atau ditekan. Ketika gaya diberikan pada pegas, pegas akan mengalami deformasi elastis dengan perubahan panjang yang proporsional dengan gaya yang diberikan. Setelah gaya dihilangkan, pegas akan kembali ke panjang semula.

Deformasi elastis juga terjadi pada berbagai bahan seperti logam, karet, dan plastik elastis. Sifat elastisitas ini digunakan dalam berbagai aplikasi teknik, seperti perancangan struktur bangunan, peralatan elektronik, suspensi kendaraan, dan banyak lagi.



Gambar 3.4. Daerah deformasi elastis pada grafik tegangan-regangan

Deformasi Plastis

Deformasi plastis adalah perubahan bentuk permanen yang terjadi pada suatu bahan saat dikenai gaya eksternal. Ini berbeda dengan deformasi elastis, di mana bahan kembali ke bentuk aslinya setelah gaya eksternal dihilangkan. Deformasi plastis terjadi ketika tegangan yang diterapkan pada bahan melebihi batas elastisnya. Ketika bahan mengalami deformasi plastis, ikatan antar atom atau molekul dalam bahan tersebut mengalami perubahan permanen. Deformasi plastis dapat terjadi dalam berbagai macam bahan, termasuk logam, plastik, dan keramik.

Beberapa jenis deformasi plastis yang umum meliputi:

Pembentukan: Ini terjadi ketika bahan ditekan atau dipukul sehingga mengalami perubahan bentuk permanen, seperti pengerjaan logam.

Penarikan: Ini terjadi ketika bahan ditarik hingga melebihi batas elastisnya, menyebabkan perubahan bentuk permanen.

Puntiran: Ini terjadi ketika bahan diputar secara torsi, menyebabkan perubahan bentuk permanen.

Geser: Ini terjadi ketika dua bagian bahan bergeser satu sama lain secara sejajar, menyebabkan perubahan bentuk permanen.

Deformasi plastis sering kali diinginkan dalam proses manufaktur, seperti pembentukan logam dalam industri otomotif atau pembentukan plastik dalam industri kemasan. Namun, deformasi plastis juga dapat menyebabkan kegagalan struktural jika melebihi batas kekuatan bahan. Oleh karena itu, penting untuk memahami sifat-sifat mekanik bahan dan memperhatikan batas deformasi plastis yang aman untuk menghindari kegagalan struktural yang tidak diinginkan.

3.2.2 Pengujian kekerasan

Pengujian kekerasan adalah metode yang digunakan untuk mengukur kekerasan atau tingkat ketahanan suatu material terhadap deformasi plastis atau penetrasi. Pengujian ini umumnya dilakukan untuk mengkarakterisasi sifat mekanik material dan dapat digunakan dalam berbagai industri, termasuk manufaktur, rekayasa, dan penelitian. Ada beberapa metode yang digunakan dalam pengujian kekerasan, di antaranya:

Pengujian kekerasan Brinell

Metode ini melibatkan pembebanan bola baja dengan diameter tertentu ke permukaan material yang akan diuji. Setelah pembebanan, diameter lubang yang dihasilkan diukur, dan kekerasan material dihitung berdasarkan nilai pembebanan yang diterapkan dan luas permukaan lubang. Metode ini dinamakan berdasarkan nama penemu-nya, Johan August Brinell, seorang insinyur Swedia.

Berikut adalah langkah-langkah umum dalam pengujian kekerasan Brinell:

1. Persiapan Sampel: Permukaan material yang akan diuji harus rata dan halus. Jika perlu, lakukan pengamplasan atau penghalusan untuk menghilangkan kerak atau noda yang mungkin ada.
2. Penentuan Beban Uji: Pilih beban uji yang sesuai tergantung pada kekerasan yang diharapkan dari material yang akan diuji. Beban uji biasanya berkisar antara 500 kg hingga 3000 kg.
3. Persiapan Alat Uji: Bola baja atau karbida tungsten dengan diameter tertentu dipasang pada alat uji. Diameter bola yang umum digunakan adalah 10 mm.
4. Penerapan Beban Uji: Alat uji dengan bola baja ditekan secara perlahan dan konstan ke permukaan material. Beban uji harus diterapkan selama sejumlah waktu tertentu agar indenter bisa menembus permukaan material dengan cukup dalam.
5. Pengukuran Diameter Lubang: Setelah beban uji dihilangkan, diameter lubang cetakan yang terbentuk pada permukaan material diukur dengan mikroskop khusus yang memiliki skala. Pengukuran dilakukan pada dua arah tegak lurus satu sama lain dan kemudian diambil rata-ratanya.
6. Perhitungan Kekerasan Brinell: Kekerasan Brinell dihitung dengan membagi beban uji yang diterapkan oleh luas permukaan lubang cetakan yang terbentuk. Hasilnya dinyatakan dalam satuan HB (Brinell Hardness). Pengukuran menggunakan mikroskop yang dapat dikonversi dalam persamaan berikut:

$$BHN = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (3.5)$$

Dimana :

- P : beban (kgf)
 D : diameter bola indenter (mm)
 D : diameter jejak (mm)

Pengujian kekerasan Vickers

Metode ini menggunakan indenter berbentuk piramida berlian dengan sudut spesifik yang menekan permukaan material. Setelah pembebanan, ukuran lubang yang dihasilkan diukur, dan kekerasan dihitung berdasarkan luas permukaan lubang. Metode ini dinamakan berdasarkan nama penemu teknik ini, George Vickers. Pengujian kekerasan Vickers umumnya digunakan untuk menguji material yang sangat keras atau material dengan lapisan permukaan yang keras, seperti logam, keramik, atau bahan padat lainnya.

Proses pengujian kekerasan Vickers melibatkan menggunakan indenter berbentuk piramida berlian dengan sudut 136 derajat antara dua sisi yang berlawanan. Indenter ini digunakan untuk menekan permukaan bahan yang akan diuji dengan beban yang telah ditentukan. Setelah beban diterapkan selama beberapa detik, jejak cetakan piramida yang terbentuk diukur untuk menentukan kekerasan bahan.

Kekerasan Vickers diukur dalam skala yang sama, tidak peduli apa ukuran indenter atau besarnya beban yang digunakan. Skala kekerasan Vickers dinyatakan dalam satuan kilogram per satuan permukaan (kg/mm^2) atau gigapascal (GPa). Hasil pengujian ini dapat digunakan untuk membandingkan kekerasan relatif antara material yang berbeda atau untuk memonitor perubahan kekerasan material seiring dengan proses perlakuan panas atau pemrosesan lainnya. Kekerasan Vickers (HV) dihitung dengan rumus (I K Rimpung, 2017).

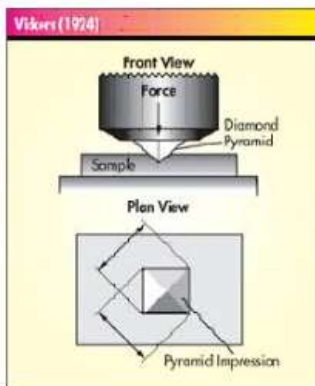
$$HV = \frac{\text{Beban yang dikenakan}}{\text{Luas anindentasi}} \quad (3.6)$$

$$= \frac{2 F \sin 136^{\circ}/2}{d^2} = 1,854 \frac{F}{d^2}$$

Dimana :

HV = Kekerasan Vickers (Kgf/mm²)
 F = Beban yang diberikan (Kgf)
 d = Diagonal indentasi (mm)

Pengujian kekerasan Vickers memiliki beberapa keuntungan, seperti dapat digunakan untuk menguji bahan dengan berbagai tingkat kekerasan, memberikan hasil yang akurat dan berulang, serta dapat digunakan untuk bahan dengan permukaan yang halus. Namun, metode ini membutuhkan peralatan yang khusus dan proses pengujian yang relatif lebih lambat dibandingkan dengan metode pengujian kekerasan lainnya, seperti pengujian kekerasan Brinell atau pengujian kekerasan Rockwell.



Gambar 3.5. Pengujian vickers dan bentuk indenter vickers
 (Sumber : *ASTM E 92 -82, 2004*)

Pengujian kekerasan Vickers sering digunakan dalam industri manufaktur, laboratorium penelitian, dan pengujian

kualitas material untuk memastikan kekuatan dan ketahanan material terhadap deformasi atau keausan.

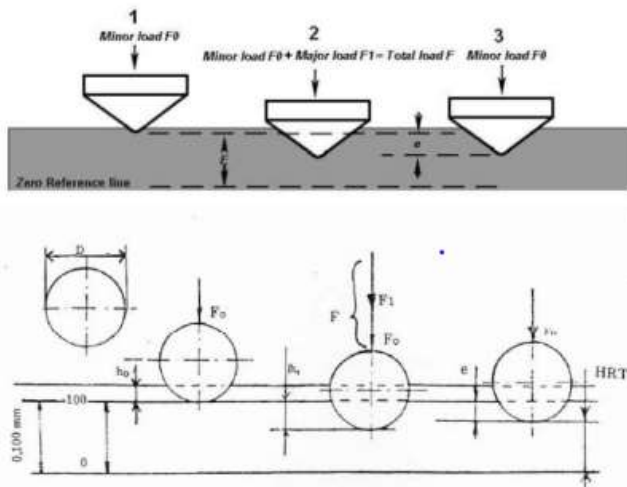
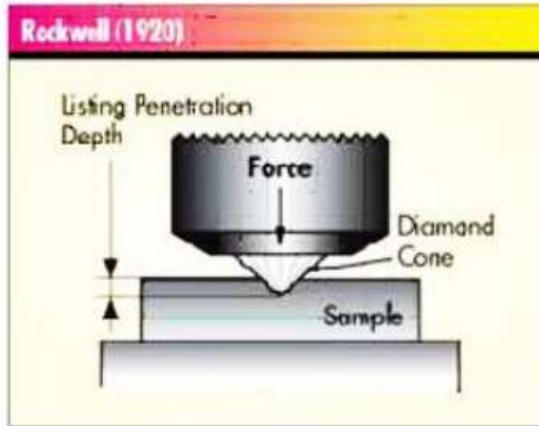
Pengujian kekerasan Rockwell

Pengujian kekerasan Rockwell adalah salah satu metode umum yang digunakan untuk mengukur kekerasan material. Metode ini dinamai berdasarkan nama Stanley P. Rockwell, yang mengembangkan teknik ini pada tahun 1919. Pengujian kekerasan Rockwell banyak digunakan dalam industri manufaktur, pengujian material, dan inspeksi kualitas. Metode ini melibatkan pembebanan indenter berbentuk kerucut atau bola pada permukaan material. Tanda skala diindikasikan oleh pergerakan penetrator ke dalam material, dan kekerasan diukur berdasarkan kedalaman penetrasi yang diperoleh. Kekerasan Rockwell dapat menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap indenter berupa bola baja ataupun kerucut intan yang ditekankan pada permukaan material uji tersebut (M F Kumayasari dkk 2017). Proses pengujian kekerasan Rockwell melibatkan penetrasian sebuah indenter ke permukaan material yang akan diuji. Indenter berbentuk kerucut atau bola yang terbuat dari bahan keras, seperti intan atau bola baja. Pada pengujian Rockwell, terdapat beberapa skala kekerasan yang dapat digunakan, termasuk skala A, B, C, D, E, F, G, H, K, dan N. Setiap skala menggunakan beban dan indenter yang berbeda untuk menghasilkan nilai kekerasan yang sesuai. Pengujian dengan Rockwell C memakai penetrator *Speroconical Diamond* (permata berbentuk kerucut) (S Effendi, 2009) . Kekerasan Rockwell C dapat juga ditulis dengan:

$$\text{HRC} = 100 - e \quad (3.7)$$

Dimana :

e = Pertambahan kedalaman indentasi permanen dengan beban awal, setelah beban awal dihilangkan dan pertambahan dinyatakan dengan satuan 0,002 mm.



Gambar 3.6. Prinsip Kerja Metode Pengukuran Kekerasan Rockwell
(Sumber : B. S. Nasional, SNI Cara Uji keras Rockwell T. 1989)

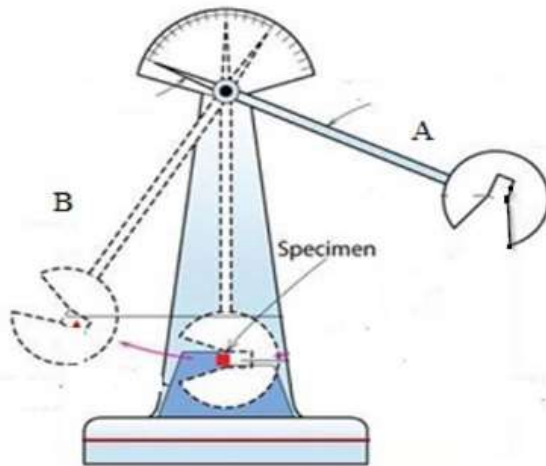
Berikut adalah langkah-langkah umum dalam pengujian kekerasan Rockwell:

1. Persiapan: Permukaan material yang akan diuji harus bersih dan rata. Jika perlu, permukaan dapat dihaluskan atau dipoles terlebih dahulu.
2. Penetrasian: Indenter ditekan secara perlahan ke permukaan material dengan menggunakan beban tertentu. Setelah beban diterapkan, indenter dibiarkan pada posisi tersebut selama beberapa waktu untuk memungkinkan pemulihan elastis material.
3. Pengukuran: Setelah indenter ditarik, kedalaman penetrasian diukur menggunakan skala Rockwell. Peralatan pengukuran khusus digunakan untuk menghasilkan angka kekerasan yang sesuai dengan skala yang digunakan.
4. Pembacaan dan interpretasi: Angka kekerasan Rockwell ditampilkan pada skala yang relevan. Semakin tinggi angka kekerasan, semakin keras material tersebut.
5. Pengujian kekerasan Rockwell memiliki keuntungan seperti mudah dilakukan, memberikan hasil yang konsisten, dan dapat mengukur berbagai jenis material. Namun, metode ini juga memiliki beberapa batasan, seperti tidak cocok untuk material yang sangat tipis atau sangat keras.

Pengujian kekerasan Rockwell dapat memberikan informasi penting tentang sifat mekanik suatu material, yang dapat digunakan dalam pemilihan material, pengendalian kualitas, dan perbandingan antara berbagai material.

3.2.3 Pengujian Impak

Pengujian impact, juga dikenal sebagai pengujian tumbukan atau pengujian tabrakan, adalah proses untuk mengevaluasi bagaimana suatu objek akan bereaksi saat terjadi tumbukan atau tabrakan dengan objek lain. Pengujian ini penting dalam berbagai bidang, termasuk rekayasa kendaraan, keamanan produk, dan pengembangan material. Berikut adalah metode pengujian impact.



Gambar 3.7. Uji Impact mekanik dengan mekanisme bandul
(Sumber : Y Nugraha dkk, 2020)

Pengujian impact Charpy

Pengujian impact Charpy adalah metode yang umum digunakan untuk mengukur ketangguhan atau kekuatan material. Pengujian ini memberikan informasi tentang sejauh apa dapat ditemukan dalam lingkungan beku atau dalam aplikasi yang membutuhkan ketahanan material terhadap pukulan tiba-tiba.

Hasil pengujian impact Charpy ditampilkan dalam bentuk kurva pukulan, yang menunjukkan jumlah energi yang diserap oleh spesimen material seiring dengan peningkatan suhu. Dari kurva tersebut, dapat diperoleh informasi tentang transisi dari keadaan

yang tahan pukul menjadi rapuh, serta kemampuan material untuk menahan pukulan dalam berbagai kondisi. Impak (HI) didefinisikan sebagai besar energi yang diserap (E) dibagi dengan luas penampang di bawah takik (A). Energi impak dinyatakan dalam satuan J/mm² sesuai dengan persamaan berikut.

Mana suatu material dapat menahan pukulan atau beban tiba-tiba dalam kondisi dingin atau panas.

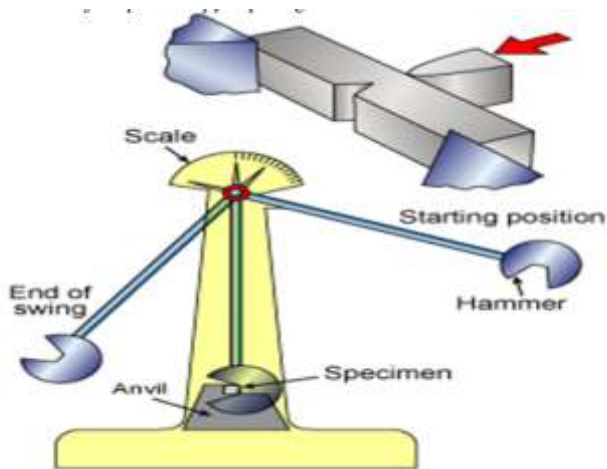
Prosedur pengujian impak Charpy melibatkan menggunakan palu tipe Charpy yang memiliki berat yang ditentukan dan bentuk yang khas. Spesimen material, seperti baja atau logam lainnya, diposisikan secara horizontal di antara dua penyangga. Kemudian, palu Charpy dijatuhkan dari ketinggian tertentu untuk mengenai spesimen material di titik tengahnya.

Setelah pukulan terjadi, energi yang diserap oleh spesimen material diukur. Ini dilakukan dengan mengukur perbedaan antara energi kinetik palu sebelum dan sesudah pukulan. Pengukuran ini memberikan indikasi tentang ketangguhan material, yaitu kemampuannya untuk menyerap energi sebelum mengalami retak atau patah.

Pengujian impak Charpy dapat dilakukan pada suhu yang berbeda untuk mengevaluasi ketangguhan material dalam kondisi ekstrem. Suhu yang umum digunakan adalah suhu kamar dan suhu rendah, seperti suhu yang :

$$HI = E/A \quad (3.8)$$

Pengujian impak Charpy sangat penting dalam industri seperti konstruksi, manufaktur, dan industri perkapalan. Hasil pengujian ini membantu insinyur dan desainer untuk memilih material yang tepat untuk aplikasi tertentu, serta memastikan keamanan dan keandalan struktur atau komponen yang terbuat dari material tersebut.



Gambar 3.8. Uji Impak mekanik dengan mekanisme bandul
(Sumber : Y Handoyo, 2013)

Pengujian impak Izod

Salah satu metode standar yang digunakan untuk mengukur ketangguhan bahan dalam menghadapi benturan atau impak. Pengujian ini umumnya dilakukan pada bahan termoplastik, seperti plastik, karet, atau polimer lainnya.

Prosedur pengujian impak Izod melibatkan penempatan contoh bahan di bawah palu pengujian yang didorong ke bawah dan kemudian dijatuhkan dari ketinggian tertentu. Ketika palu mengenai sampel, energi impak yang diserap oleh bahan diukur berdasarkan energi yang diperlukan untuk mematahkan.

3.3 Sifat Fisik

Sifat fisik material merujuk pada karakteristik yang dapat diamati atau diukur secara langsung tanpa mengubah komposisi kimia atau struktur bahan tersebut. Sifat fisik dapat mencakup berbagai parameter seperti massa, volume, kepadatan, warna, kekerasan, titik lebur, titik didih, konduktivitas termal,

konduktivitas listrik, dan banyak lagi. Berat jenis juga termasuk salah satu sifat fisik material. Berat jenis (ρ) didefinisikan sebagai massa (m) per satuan volume (V)—dengan satuan kg/m^3 . Perhatikan persamaan berikut (B T Sofyan 2021)

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (3.9)$$

3.3.1 Sifat Termal

Sifat termal suatu material merujuk pada bagaimana material tersebut berperilaku dalam menghantarkan panas. Beberapa sifat termal yang penting untuk dipahami adalah sebagai berikut

Konduktivitas Termal: Konduktivitas termal menggambarkan kemampuan suatu material dalam menghantarkan panas. Material dengan konduktivitas termal yang tinggi akan dengan cepat mengalirkan panas, sedangkan material dengan konduktivitas termal rendah akan memperlambat aliran panas. Konduktivitas termal diukur dalam satuan watt per meter per kelvin (W/mK).

Kapasitas Panas Spesifik: Kapasitas panas spesifik mengacu pada jumlah panas yang dapat disimpan oleh suatu material per satuan massa dan perubahan suhu. Kapasitas panas spesifik diukur dalam satuan joule per kilogram per kelvin (J/kgK) atau kalori per gram per derajat Celsius ($\text{cal/g}^\circ\text{C}$).

Ekspansi Termal: Ekspansi termal menggambarkan sejauh mana suatu material dapat mengembang atau menyusut dengan perubahan suhu. Ketika material dipanaskan, biasanya akan mengalami ekspansi termal, dan sebaliknya, ketika didinginkan, material akan mengalami kontraksi termal. Besar ekspansi termal suatu material diukur dengan koefisien ekspansi termal linier, yang diukur dalam satuan per kelvin ($1/\text{K}$).

Konveksi: Konveksi adalah metode transfer panas melalui aliran fluida, seperti gas atau cairan. Ketika suatu material berinteraksi dengan fluida yang berbeda suhu, panas dapat

ditransfer melalui konveksi. Sifat konvektif material tergantung pada konduktivitas termal material tersebut dan hubungan antara material dan fluida sekitarnya.

Radiasi: Radiasi termal adalah transfer panas melalui gelombang elektromagnetik, terutama melalui sinar inframerah. Setiap benda pada suhu di atas nol mutlak akan memancarkan radiasi termal. Sifat radiatif suatu material ditentukan oleh faktor emisivitasnya, yang menggambarkan seberapa efektif benda tersebut memancarkan dan menyerap radiasi termal.

3.3.2 Sifat listrik

Sifat listrik suatu material dapat bervariasi tergantung pada jenis dan struktur material tersebut. Berikut ini beberapa sifat listrik yang umum ditemui pada material:

Konduktivitas listrik: Konduktivitas listrik menggambarkan kemampuan suatu material untuk menghantarkan arus listrik. Material dengan konduktivitas tinggi, seperti logam, mampu menghantarkan arus listrik dengan baik, sedangkan material dengan konduktivitas rendah, seperti bahan porselen, adalah isolator listrik.

$$I = \frac{E}{R} \quad (3.10)$$

dimana I = aliran listrik (Ampere, A); E = tegangan listrik (V); dan R = tahanan/resistansi listrik (Ω /ohm). Resistansi dalam sebuah potongan material yang seragam (misalnya, kawat) bergantung pada panjang (L), luas penampang (A), dan resistivitas material (r).

Resistivitas (r): Resistivitas (r) adalah kebalikan dari konduktivitas listrik dan menggambarkan seberapa baik suatu material menghambat aliran arus listrik. Material dengan resistivitas tinggi adalah isolator listrik, sedangkan material dengan resistivitas rendah adalah konduktor listrik.

$$R = r \frac{L}{A} \quad (3.11)$$

Konduktivitas termal: Konduktivitas termal mengukur kemampuan suatu material untuk menghantarkan panas. Material dengan konduktivitas termal tinggi, seperti logam, secara efisien menghantarkan panas, sedangkan material dengan konduktivitas termal rendah, seperti bahan isolasi termal, memperlambat perpindahan panas.

Sifat-sifat listrik material ini dapat bervariasi tergantung pada komposisi kimia, struktur kristal, suhu, dan faktor-faktor lainnya.

Tabel 3.1. Konduktivitas listrik beberapa material.

Material	Konduktivitas Listrik [(Ωm) ⁻¹]
Logam	
Perak	$6,8 \times 10^7$
Tembaga	$6,8 \times 10^7$
Emas	$4,3 \times 10^7$
Aluminium	$3,8 \times 10^7$
Kuningan (70Cu-30Zn)	$1,6 \times 10^7$
Besi	$1,0 \times 10^7$
Platina	$0,94 \times 10^7$
Baja karbon	$0,6 \times 10^7$
Baja tahan karat	$0,2 \times 10^7$
Grafit	
Grafit	$3 \times 10^4 - 2 \times 10^5$
Keramik	
Beton kering	10^{-9}
Gelas soda-lime (limun soda)	$10^{-10} - 10^{-11}$
Porselen	$10^{-10} - 10^{-12}$
Gelas borosilikat (Pyrex)	$\sim 10^{-13}$
Aluminium oksida	$< 10^{-13}$
Fused silica	$< 10^{-18}$
Polimer	
Fenol formadehida	$10^{-9} - 10^{-10}$
Poli (metil-metakrilat)	$< 10^{-12}$
Nilon 6,6	$10^{-12} - 10^{-13}$
Polistirena	$< 10^{-14}$
Polietilena	$10^{-15} - 10^{-17}$
Politetrafluoroetilena	$< 10^{-17}$

Sumber: William D Callister, Jr. dan David G. Rethwisch, 2010.

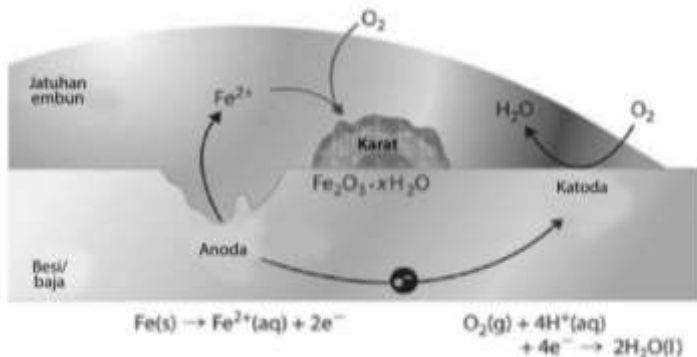
3.3 Sifat Kimia

Sifat kimia material mengacu pada cara-cara di mana material berinteraksi dengan zat lain dan merespons perubahan kimia. Beberapa sifat kimia yang penting termasuk reaktivitas, stabilitas kimia, keasaman atau kebasaan, oksidasi, dan kemampuan untuk membentuk ikatan kimia dengan zat lain. Berikut ini adalah penjelasan lebih detail tentang beberapa sifat kimia material

Keasaman dan kebasaan: Material dapat memiliki sifat asam atau basa tergantung pada kemampuannya untuk melepaskan atau menerima ion hidrogen (H^+). Sifat keasaman dan kebasaan sering diukur menggunakan skala pH.

Reaktivitas: Material dapat menunjukkan reaktivitas yang berbeda terhadap zat lain. Ini dapat melibatkan reaksi kimia dengan oksigen, air, asam, basa, atau zat-zat lainnya. Reaktivitas dapat mempengaruhi stabilitas dan kegunaan material.

Oksidasi dan reduksi: Beberapa material dapat mengalami reaksi oksidasi, di mana mereka kehilangan elektron, atau reaksi reduksi, di mana mereka mendapatkan elektron. Reaksi oksidasi dan reduksi sering terjadi bersama-sama dan dikenal sebagai reaksi redoks.



Gambar 3.9. Reaksi oksidasi-reduksi pada proses korosi
(Sumber : B T Sofyan, 2021)

Korosi: Korosi terjadi ketika material bereaksi dengan lingkungan sekitarnya, seperti oksigen, air, atau bahan kimia lainnya. Ini dapat menyebabkan perubahan struktural dan penurunan kualitas material.



Gambar 3.10. Baja mengalami korosi

Kestabilan termal: Sifat kimia material juga dapat berhubungan dengan kestabilan mereka terhadap suhu tinggi atau suhu rendah. Beberapa material mungkin stabil pada suhu yang ekstrem, sementara yang lain mungkin mengalami perubahan kimia atau fisik yang signifikan.

Keterlarutan: Material dapat memiliki sifat keterlarutan yang berbeda dalam pelarut tertentu. Beberapa material mungkin mudah larut, sedangkan yang lain mungkin tidak larut sama sekali.

Reaksi kimia: Material dapat mengalami berbagai reaksi kimia, seperti reaksi polimerisasi, reaksi penguraian, reaksi substitusi, atau reaksi lainnya. Reaksi kimia ini dapat mempengaruhi struktur dan sifat material.

Tabel 3.2. Konduktivitas listrik beberapa material.

Material	Komposisi Kimia
Baja tahan karat	Fe, Cr: 10–27%, Ni: 6–22%
Kuningan	Fe, Cr: 10–27%, Ni: 6–22%
Kuningan	Cu: 60–90%, Sn: 10–40%
Inconel	Ni: 40–80%, Cr: 14–30%, Fe: 1–11%
Duralumin	Al: 96%, Cu: 4%
Nitinol	Ni: 50%, Ti: 50%
Kupronikel	Ni: 50%, Ti: 50%

Sumber: Bondan tiara Sofyan. Pengantar Material 2021

Penting untuk memahami sifat kimia material untuk mempelajari potensinya dalam aplikasi tertentu, seperti penggunaan dalam industri, bidang medis, teknologi energi, dan banyak lagi.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM E 92 –82, 2004. "Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials" ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.*
- Callister, W.D., 2013, Material Science and Engineering, USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Asrul, dkk. 2014. *Evaluasi Pembelajaran*. Medan: Cipta pustaka Media.
- Effendi, S. 2009. Pengaruh Perbedaan Waktu Penahanan Suhu Stabil Terhadap Kekerasan Logam. *Jurnal Austenit, Teknik Mesin Politeknik Negeri Sriwijawa, Indonesia.*
- E.O. Hall, The deformation and ageing of mild steel: discussion of result, *Proc. Phys. Soc. B64 (1951) 747–753. London.*
- Handoyo, Y. 2013. Perancangan alat uji impak metode charpy kapasitas 100 joule. *jurnal ilmiah teknik mesin*, 1(2), 45-53.
- Sofyan, B. T. 2021. Pengantar material teknik.
- Sudirman, Z. 2020. OPTIMASI PENGARUH PERENDAMAN TERHADAP SIFAT MEKANIS KOMPOSIT BERPENGUAT ANYAMAN STRIP BAMBU PETUNG (*Dendrocalamus Asper*) (Doctoral dissertation, Universitas Hasanuddin).
- Rimpung, K. 2017. ANALISIS PERUBAHAN KEKERASAN PERMUKAAN BAJA (St. 42) DENGAN PERLAKUAN PANAS 800° C MENGGUNAKAN METODE VICKERS DI LABORATORIUM UJI BAHAN POLITEKNIK NEGERI BALI. *Logic: Jurnal Rancang Bangun dan Teknologi*, 17(1), 67-72.
- Kumayasari, M. F., & Sultoni, A. I. 2017. Studi Uji Kekerasan Rockwell Superficial VS Micro Vickers. *Jurnal Teknologi Proses dan Inovasi Industri*, 2(2).
- Nuhgraha, Y., Rosa, M. K. A., & Agustian, I. 2020. Perancangan Alat Uji Impak Digital dengan Metode Charpy Untuk Mengukur Kekuatan Material Polimer. *Jurnal Amplifier: Jurnal Ilmiah Bidang Teknik Elektro Dan Komputer*, 10(2), 15-19.

BAB 4

PENGUJIAN MEKANIS DAN PEMERIKSAAN MATERIAL TEKNIK

Oleh Dodi Mulyadi

4.1 Pendahuluan

Pengujian merupakan bagian yang penting dari setiap kegiatan rekayasa. Pemeriksaan dan pengujian harus dilakukan dalam banyak tahapan dalam proses produksi material teknik yang kompleks, baik itu logam, polimer, keramik, maupun komposit. Bukan hanya pada proses pembuatan material teknik saja, proses inspeksi dan pengujian juga harus dilakukan selama proses produksi pembentukan material-material tersebut menjadi komponen dan juga selama proses perakitan komponen untuk membuat suatu produk rekayasa agar dapat memenuhi beberapa persyaratan yang spesifik.

Persyaratan untuk pemeriksaan dan pengujian tidak secara otomatis berhenti ketika produk telah selesai diproduksi. Pemeriksaan dan pengujian juga sering diperlukan untuk memeriksa dan menguji material selama masa pakainya untuk memantau perubahan, seperti kemungkinan adanya kerusakan karena kelelahan atau karena korosi.

Pengujian material dapat diklasifikasikan menjadi dua kategori, yakni:

1. Pengujian untuk menetapkan sifat-sifat material, dan
2. Pengujian atau pemeriksaan untuk menentukan keutuhan material atau komponen.

Pengujian dalam kategori pertama umumnya merupakan jenis yang merusak atau destruktif. Pengujian dilakukan pada benda uji (atau sampel atau spesimen) material dan benda uji akan dirusak selama proses pengujian. Jika sampel benda uji disiapkan dan dipilih dengan benar, maka hasil dari pengujian akan menunjukkan sifat-sifat dari material yang diwakili oleh sampel. Contohnya, untuk mengetahui kekuatan tarik dari sebuah material, maka dilakukan uji tarik sampai material hancur atau material terputus.

Pengujian dalam kategori kedua bersifat tidak merusak atau non-destruktif. Pengujian ini biasanya digunakan untuk mendeteksi adanya cacat internal atau cacat permukaan dalam suatu material, atau komponen, dan atau pada produk jadi. Pada dasarnya, tes ini tidak merusak bagian-bagian yang diuji, sehingga tidak perlu membuang sebagian sampel untuk diuji, bahkan jika perlu setiap material atau komponen atau produk dapat dilakukan pengujian secara menyeluruh.

Beberapa kelebihan dan kerugian dari pengujian merusak:

1. Kelebihan:
 - a. Memberikan pengukuran langsung dan andal tentang bagaimana suatu material atau komponen akan merespon kondisi layanan,
 - b. Memberikan hasil kuantitatif, berguna untuk desain,
 - c. Tidak memerlukan interpretasi hasil oleh operator ahli.
2. Kekurangan:
 - a. Diterapkan hanya untuk sampel; harus menunjukkan bahwa sampel mewakili kelompok,
 - b. Bagian yang diuji dihancurkan selama pengujian,
 - c. Biasanya tidak dapat mengulang pengujian pada item yang sama atau menggunakan spesimen yang sama untuk beberapa pengujian,

- d. Mungkin tidak bisa dilakukan untuk suku cadang yang mahal atau jumlahnya sedikit,
- e. Sulit memprediksi efek kumulatif dari penggunaan layanan,
- f. Sulit diaplikasikan pada komponen yang sedang digunakan; jika dilakukan, pengujian mengakhiri masa pakainya,
- g. Diperlukan penyiapan benda uji, misalnya dengan proses pemesinan,
- h. Biaya peralatan dan tenaga kerja seringkali tinggi / mahal.

Adapun beberapa kelebihan dan kekurangan dari pengujian yang tidak merusak:

1. Kelebihan:

- a. Dapat dilakukan langsung pada barang produksi tanpa memperhatikan biaya atau kuantitas yang tersedia,
- b. Dapat dilakukan pada semua lot produksi (jika variabilitas tinggi) atau cukup dilakukan pada sampel yang mewakili,
- c. Pengujian yang berbeda dapat diterapkan pada item yang sama, dan pengujian dapat diulangi pada spesimen yang sama,
- d. Dapat dilakukan pada suku cadang yang sedang dipakai; efek kumulatif dari umur produk dapat dipantau pada setiap komponen,
- e. Sedikit atau tidak ada persiapan spesimen yang diperlukan,
- f. Alat uji seringkali portabel,
- g. Biaya tenaga kerja biasanya rendah.

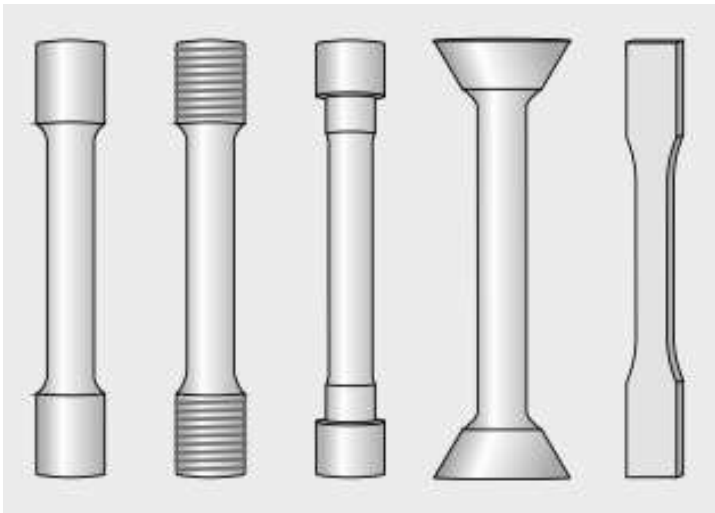
2. Kekurangan:

- a. Hasil seringkali membutuhkan interpretasi oleh operator ahli.

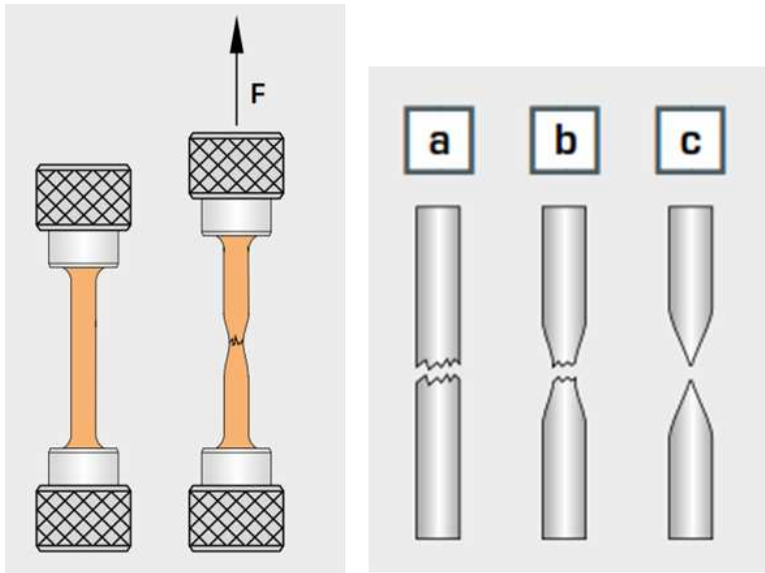
- b. Penguji yang berbeda dapat menginterpretasikan hasil uji secara berbeda,
- c. Properti diukur secara tidak langsung, dan hasilnya seringkali bersifat kualitatif atau komparatif,
- d. Beberapa alat uji memerlukan investasi modal yang besar.

4.2 Uji Tarik

Uji tarik merupakan metode pengujian yang paling penting dalam pengujian material destruktif. Spesimen standar dengan luas penampang tertentu (dapat berbentuk lingkaran atau persegi panjang, tergantung dari sifat produk yang akan diuji) dibebani secara seragam dengan beban atau gaya ke arah memanjang dan ditarik secara perlahan. Data yang diperoleh selanjutnya ditampilkan dalam bentuk diagram tegangan-regangan.



Gambar 4.1. Bentuk Spesimen Uji Tarik sesuai DIN 50125
(Sumber : <https://www.gunt.de/en/>)



Gambar 4.2. Ilustrasi Proses Pengujian Uji Tarik
(Sumber : <https://www.gunt.de/en/>)

Keterangan **Gambar 4.3** F = gaya uji; $[a]$ = patahan untuk material deformasi rendah; $[b]$ = patahan untuk material ulet; $[c]$ = patahan untuk material yang sangat ulet.

Tegangan (atau *stress*, σ) merupakan beban atau gaya yang diterapkan secara tegak lurus terhadap luas penampang spesimen.

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (4.1)$$

Dimana σ = tegangan atau *stress* (MPa).

F = gaya (N).

A_0 = luas penampang asli spesimen sebelum diberi gaya atau beban (m^2).

Adapun regangan didefinisikan sebagai rasio antara pertambahan panjang benda yang mengalami tegangan, terhadap panjang benda asal.

$$\varepsilon = \frac{l_i - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (4.2)$$

Dimana ε = regangan (tidak memiliki satuan).

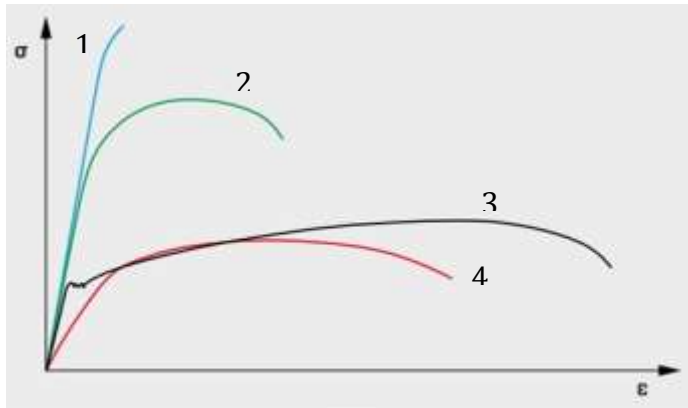
l_0 = panjang awal sebelum diberi gaya apapun (m).

l_i = panjang benda setelah diberi gaya (m).

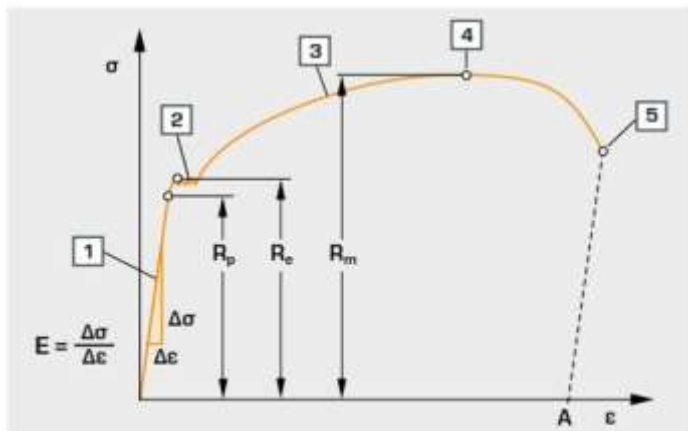
Δl = pertambahan panjang (m).

Diagram tegangan-regangan pada **Gambar 4.3 (a)** menunjukkan dengan jelas perilaku yang berbeda dari setiap material yang berbeda. Grafik 1 merupakan material baja yang dikeraskan, kekuatan tarik sangat tinggi. Grafik 2 merupakan baja temper, kekuatan tarik tinggi. Grafik 3 merupakan baja berkekuatan rendah, elongasi sangat tinggi sedangkan kekuatan tarik rendah. Grafik 4 merupakan paduan aluminium dimana modulus elastisitas rendah.

Gambar 4.3 (b) menunjukkan karakteristik nilai untuk kekuatan tarik (R_m), kekuatan luluh (R_e), batas proporsional (R_p), elongasi pada patahan A, dan elastisitas modulus (E). [1] garis lurus Hooke, [2] regangan Lüders, [3] area pengerasan regangan, [4] mulai terjadi kontraksi, [5] fraktur atau patah.



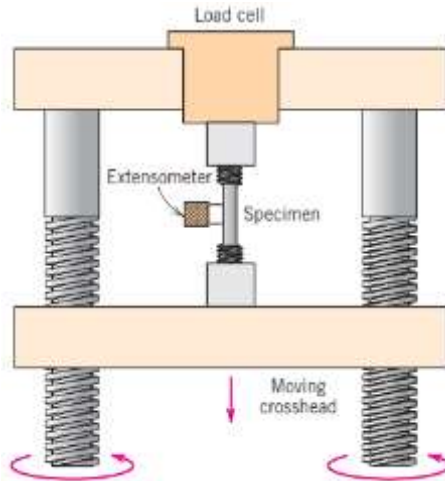
(a)



(b)

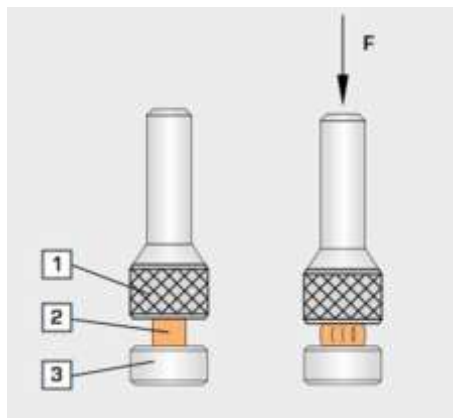
Gambar 4.3. Diagram Tegangan-Regangan
(Sumber : <https://www.gunt.de/en/>)

Ilustrasi **Gambar 4.4** merupakan representasi skematik dari mesin uji tegangan-regangan. Spesimen akan memanjang oleh pergerakan *crosshead*; kemudian *load cell* akan mengukur beban yang diterapkan dan ekstensometer akan mengukur perpanjangan dari spesimen.



Gambar 4.4. Skematik Mesin Uji Tegangan-Regangan
(Sumber : Callister, 2018)

4.3 Uji Tekan



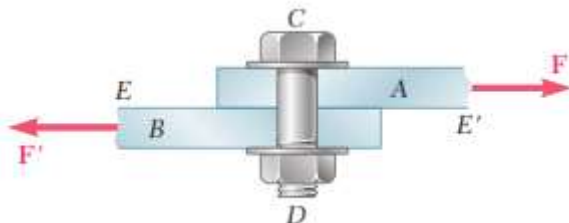
Gambar 4.5. Ilustrasi Proses Pengujian Uji Tekan
(Sumber : <https://www.gunt.de/en/>)

Keterangan **Gambar 4.5:** [1] pelat dorong, [2] spesimen, [3] pelat tekanan, F = beban / gaya uji.

Uji tekan untuk material logam tidak terlalu populer jika dibandingkan dengan uji tarik. Akan tetapi pada dasarnya uji tekan ini sangat penting terutama untuk mempelajari material bangunan seperti batu alam, bata, beton, kayu, dan lain-lain. Umumnya, uji tekan ini diterapkan pada material yang rapuh karena alat uji tekan ini memiliki titik hancur yang terlihat jelas di saat melakukan pengujian benda tersebut. Persamaan 4.1 dan 4.2 di atas juga dapat digunakan untuk menghitung tegangan dan regangan tekan, dimana gaya dianggap negatif sehingga menghasilkan tegangan (*stress*) negatif. Begitu juga untuk regangan, akan menghasilkan nilai negatif karena karena l_0 lebih besar daripada l_i .

4.4 Uji Geser

Uji geser dilakukan untuk menentukan kekuatan geser dari material atau perilaku material terhadap regangan geser. Tegangan geser umumnya ditemukan pada baut, pin, dan paku keling yang digunakan untuk menghubungkan berbagai komponen struktural dan komponen mesin. Perhatikan dua lempeng pelat A dan B, yang terhubung oleh baut CD (**Gambar 4.6**). Jika pelat mengalami gaya tarik sebesar F , maka tegangan akan timbul pada penampang baut pada bidang garis EE' . Dalam kondisi seperti ini baut mengalami tegangan geser tunggal.



Gambar 4.6. Baut dengan Geser Tunggal
(Sumber : [Beer, 2012](#))

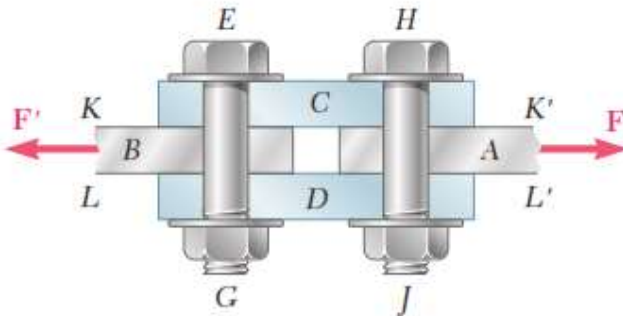
Tegangan geser tunggal bisa dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (4.3)$$

Dimana F adalah beban atau gaya yang dikenakan sejajar pada permukaan yang memiliki luas A.

Pada kondisi pembebanan yang berbeda, nilai tegangan geser akan berbeda pula. Misalnya, jika pelat sambungan C dan D digunakan untuk menghubungkan pelat A dan B (**Gambar 4.7**), maka tegangan geser akan berlangsung di baut HJ pada bidang KK' dan bidang LL' (begitu pula yang terjadi pada baut EG). Dalam kondisi seperti ini, bautnya dikatakan mengalami geser ganda. Untuk menentukan tegangan geser rata-rata di setiap bidang, dihitung dengan cara:

$$\tau = \frac{F}{2A} \quad (4.4)$$



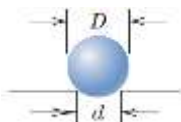
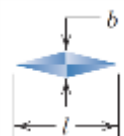
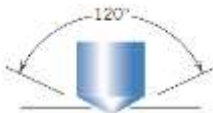
Gambar 4.7. Baut dengan Geser Ganda
(Sumber : [Beer, 2012](#))

4.5 Uji Kekerasan

Sifat kekerasan material merupakan ukuran ketahanan material terhadap deformasi plastis lokal (misalnya, penyok kecil atau goresan). Uji kekerasan pada material lebih sering dilakukan daripada uji mekanis lainnya dengan beberapa alasan:

- Sederhana dan murah, biasanya tidak perlu penyiapan spesimen secara khusus, dan peralatan pengujian relatif murah,
- Pengujian tidak merusak spesimen, hanya terjadi lekukan kecil pada permukaan material,
- Sifat mekanis lainnya (seperti kekuatan tarik) sering dapat diperkirakan dari data kekerasan material (lihat **Gambar 4.8**).

Tabel 4.1. Teknik Pengujian Kekerasan

Uji	Indentor	Bentuk Indentor		Beban
		Pandangan Samping	Pandangan Atas	
Brinell	Bola baja atau tungsten carbida Ø10 mm			P (kg)
Vicker	Piramida berlian			P (kg)
Knoop	Piramida berlian			P (kg)
Rockwell	Kerucut berlian;	 	 	60 kg
Super-ficial Rockwell	Bola baja			100 kg
				150 kg
				15 kg
				30 kg
				45 kg
				45 kg

Keterangan: D , d , d_1 , dan l dalam satuan mm.

Sumber: Callister, 2018

4.5.1 Uji Kekerasan Brinell

Dalam tes *Brinell*, indentor bola baja (atau tungsten karbida) yang keras dipaksa masuk ke permukaan logam yang akan diuji. Diameter indentor adalah 10 mm (0,394 in.). Beban standar berkisar antara 500 hingga 3000 kg dengan penambahan setiap 500 kg. Selama pengujian, beban dipertahankan konstan untuk waktu tertentu (antara 10 dan 30 detik). Kekerasan *Brinell* atau HB adalah fungsi dari besarnya beban dan diameter lekukan yang dihasilkan. Diameter lekukan diukur dengan menggunakan mikroskop khusus dengan skala yang tergores pada lensa okuler. Diameter yang terukur kemudian dikonversi ke nomor HB dengan menggunakan persamaan 4.5 (keterangan persamaan dapat dilihat pada **Tabel 4.1**).

$$HB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (4.5)$$

4.5.2 Uji Kekerasan Knoop dan Vickers

Dalam teknik uji kekerasan *Knoop* (diucapkan nup) dan uji *Vickers* (kadang-kadang juga disebut piramida berlian) indentor berlian yang sangat kecil yang memiliki geometri piramida dipaksa masuk ke permukaan spesimen. Beban yang diterapkan berkisar antara 1 hingga 1000 g. Kesan yang dihasilkan kemudian diamati dan diukur menggunakan mikroskop. Pengukuran ini kemudian diubah menjadi angka kekerasan menggunakan persamaan 4.6 dan persamaan 4.7 (keterangan persamaan dapat dilihat pada **Tabel 4.1**).

$$HK = 14,2P/l^2 \quad (4.6)$$

$$HV = 1,854P/d_1^2 \quad (4.7)$$

Uji kekerasan *Knoop* dan *Vicker* sangat cocok untuk mengukur kekerasan spesimen dengan area yang kecil. Teknik

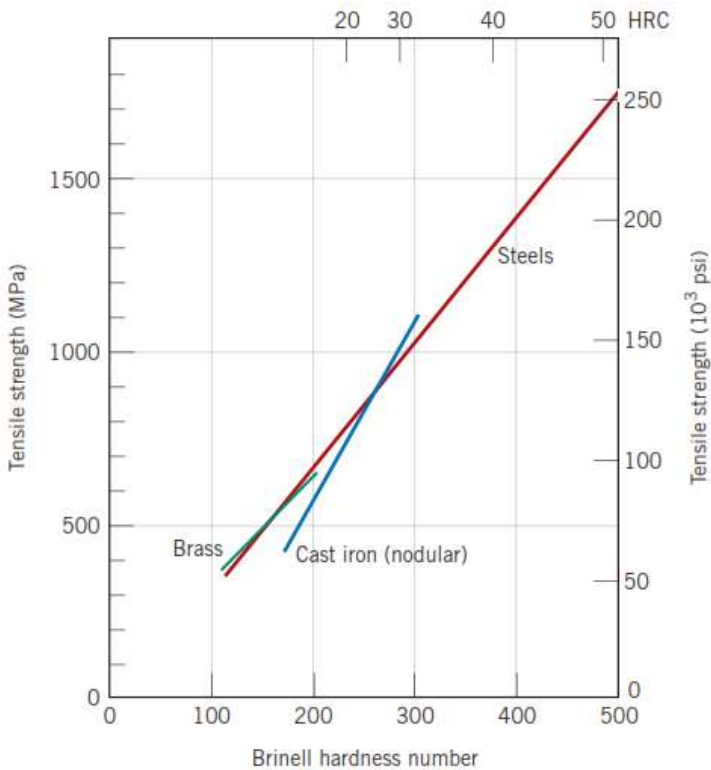
Knoop banyak digunakan untuk pengujian material rapuh seperti keramik.

4.5.3 Uji Kekerasan Rockwell

Uji *Rockwell* merupakan metode yang paling umum digunakan untuk mengukur kekerasan karena sangat sederhana untuk dilakukan dan tidak memerlukan keahlian khusus. Beberapa skala yang berbeda dapat digunakan untuk kombinasi berbagai indenter dan beban yang berbeda, sehingga proses uji memungkinkan pengujian untuk hampir semua paduan logam serta beberapa polimer.

Indentornya merupakan bola baja bulat yang keras yang memiliki diameter 1,588; 3,175; 6,350; dan 12,70 mm, serta berlian berbentuk kerucut (*Brale*) yang digunakan untuk bahan yang paling keras. Metode *Rockwell* memungkinkan pembacaan nilai kekerasan secara langsung pada *dial gauge*.

Dalam uji *Rockwell*, kekerasan ditunjukkan oleh perbedaan kedalaman penetrasi yang dihasilkan dari beban minor dan beban mayor. Berdasarkan beban minor dan mayornya, uji kekerasan ini memiliki 2 (dua) tipe, yaitu *Rockwell* dan *superficial Rockwell*.



Gambar 4.8. Hubungan antara kekerasan dan kekuatan tarik untuk baja, kuningan, dan besi cor.
(Sumber : [Callister, 2018](#))

Skala *Rockwell* ditunjukkan oleh simbol HR dan dengan identifikasi skala yang sesuai. Misalnya 80 HRB merupakan kekerasan *Rockwell* 80 pada skala B dan 60 HR30W menunjukkan kekerasan superfisial 60 pada skala 30W (lihat **Tabel 4.2 (a)** dan **Tabel 4.2 (b)**)

Tabel 4.2(a). Skala Kekerasan *Rockwell*

Simbol Skala	Indentor	Beban Major (kg)
A	Berlian	60
B	1/16 in. bola	100
C	Berlian	150
D	Berlian	100
E	1/8 in. bola	100
F	1/16 in. bola	60
G	1/16 in. bola	150
H	1/8 in. bola	60
K	1/8 in. bola	150

Sumber: Callister, 2018

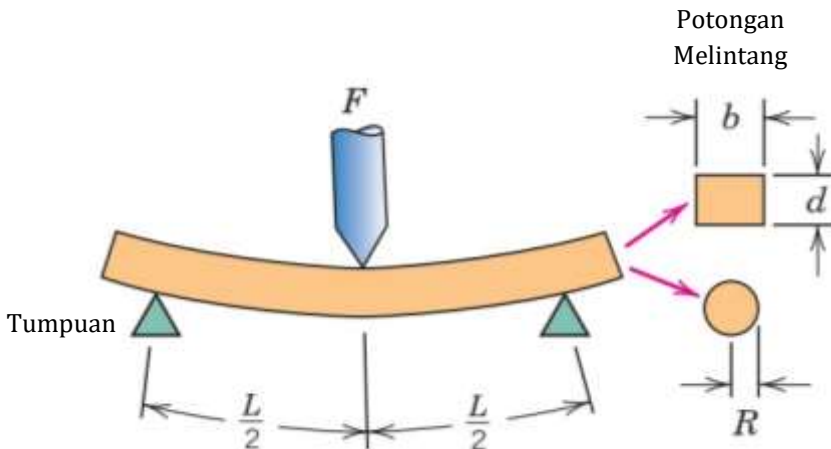
Tabel 4.2(b). Skala Kekerasan *Superficial Rockwell*

Simbol Skala	Indentor	Beban Major (kg)
15N	Berlian	15
30N	Berlian	30
45N	Berlian	45
15T	1/16 in. bola	15
30T	1/16 in. bola	30
45T	1/16 in. bola	45
15W	1/8 in. bola	15
30W	1/8 in. bola	30
45W	1/8 in. bola	45

Sumber: Callister, 2018

4.6 Uji Kelenturan

Uji tarik pada material yang rapuh seperti keramik biasanya tidak dilakukan karena tiga alasan. Pertama, sulit untuk mempersiapkan dan menguji spesimen dengan geometri yang diperlukan. Kedua, sulit untuk mencengkeram material yang rapuh tanpa mematahkannya. Ketiga, keramik akan patah setelah regangan hanya sekitar 0,1% saja, sehingga spesimen harus benar-benar sejajar sempurna untuk menghindari adanya tegangan tekukan yang tidak mudah dihitung. Oleh karena itu, uji kelenturan / pembengkokan arah melintang lebih cocok dan paling sering digunakan baik untuk spesimen berpenampang lingkaran atau spesimen berpenampang persegi panjang. Spesimen dibengkokkan hingga patah menggunakan teknik pembebanan tiga titik atau empat titik. Adapun yang paling populer adalah dengan menggunakan pembebanan tiga titik.



Gambar 4.9. Ilustrasi Uji Kelenturan dengan 3 Titik.
(Sumber : [Callister, 2018](#))

Kekuatan lentur untuk penampang persegi panjang dan penampang lingkaran, masing-masing diberikan oleh persamaan:

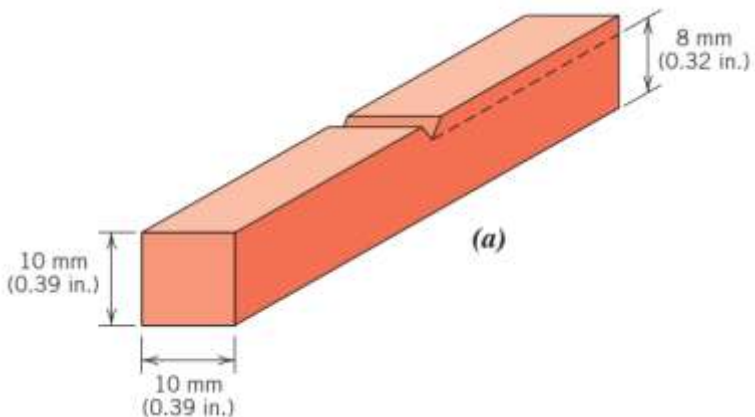
$$\sigma_{fs} = \frac{3FL}{2bd^2} \quad (4.8)$$

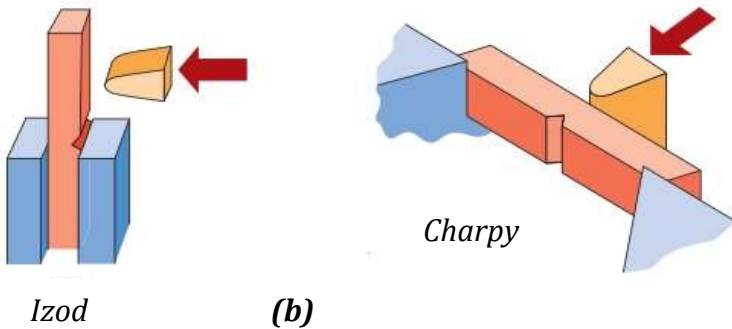
$$\sigma_{fs} = \frac{FL}{\pi R^3} \quad (4.9)$$

Dimana F = gaya yang diaplikasikan; L = jarak antara titik tumpu; sedangkan b; d; dan R sebagaimana diperlihatkan pada **Gambar 4.9** di atas.

4.7 Uji Benturan (Impact)

Uji benturan atau uji impak adalah metode untuk mengevaluasi ketangguhan, kekuatan impak, dan sensitivitas takik dari suatu material. Uji ini dapat memprediksi perilaku dan kemampuan material ketika menahan benturan (yang terjadi secara tiba-tiba) dalam kondisi aktual. Uji ini juga dapat memastikan apakah bahan tersebut bersifat ulet atau rapuh.

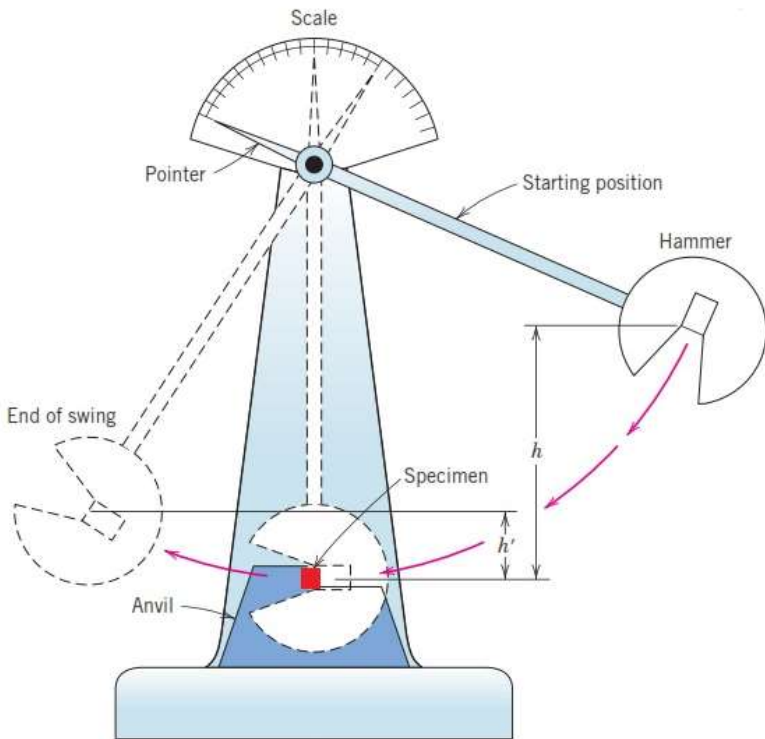




Gambar 4.10. Ukuran Spesimen dan Peletakkannya pada Uji *Charpy* dan Uji *Izod*
(Sumber : [Callister, 2018](#))

Uji beturan terdiri dari 2 (dua) macam, yaitu uji *Charpy* dan uji *Izod*. Perbedaannya berada pada peletakan spesimen dan peralatannya, sebagaimana ilustrasi pada **Gambar 4.10**. Pada uji *Charpy*, spesimen diletakan secara horizontal dan takik berada pada sisi seberang pendulum. Adapun uji *Izod*, spesimen diletakan secara vertikal dan takik menghadap ke arah pendulum.

Ilustrasi uji benturan dapat dilihat pada **Gambar 4.11**. Proses pengujian dimulai dengan dilepaskannya pendulum dari ketinggian tetap h dan pendulum menabrak spesimen. Energi yang dikeluarkan dalam patahan tercermin dalam perbedaan ketinggian antara h dan tinggi ayunan h' .



Gambar 4.11. Ilustrasi Peralatan Uji *Charpy* dan Uji *Izod*
(Sumber : [Callister, 2018](#))

4.8 Uji Puntiran

Pengujian puntiran atau pengujian torsi adalah jenis pengujian mekanis yang mengevaluasi sifat-sifat material atau perangkat saat berada di bawah tekanan akibat perpindahan sudut. Sifat-sifat mekanik yang paling umum diukur dengan pengujian torsi adalah modulus elastisitas geser, kekuatan geser leleh, kekuatan geser ultimat, modulus keruntuhan geser, dan keuletan.

Pengujian torsi dapat dibagi menjadi dua kategori berbeda yaitu:

- 1) Pengujian material mentah seperti kabel logam atau pipa plastik untuk menentukan sifat seperti kekuatan geser dan modulus geser,
- 2) Pengujian fungsional produk jadi yang mengalami torsi, seperti sekrup, botol obat-obatan, dan kabel berselubung.

Banyak produk jadi dan komponen mengalami gaya puntir selama pengoperasiannya. Produk seperti tabung biomedis, sakelar, dan pengencang (seperti sekrup) hanyalah beberapa perangkat yang mengalami tekanan torsional dalam penggunaan sehari-hari. Dengan melakukan pengujian torsi pada produk tersebut, pabrikan dapat mensimulasikan kondisi layanan hidup produk, memeriksa kualitas produk, memverifikasi desain, dan memastikan teknik manufaktur yang tepat.

Uji torsi dapat dilakukan dengan hanya menerapkan gerakan rotasi saja atau dengan menerapkan gaya aksial (tegangan tarik dan atau tegangan kompresi) dan gaya puntiran sekaligus. Jenis pengujian torsi bervariasi dari produk ke produk lainnya tetapi biasanya dapat diklasifikasikan sebagai pengujian kegagalan, pembuktian atau pemastian produk, dan pengujian pengoperasian produk.

Pengujian kegagalan dilakukan dengan cara memutar produk, atau komponen, atau spesimen hingga gagal. Kegagalan dapat diklasifikasikan sebagai kerusakan fisik atau cacat pada spesimen. Pengujian pembuktian dilakukan dengan menerapkan beban torsional dan menahan beban torsi ini dalam waktu tertentu. Adapun pengujian fungsional dilakukan dengan menguji rakitan atau produk lengkap dengan tujuan untuk memverifikasi bahwa produk berfungsi seperti yang diharapkan pada kondisi pengoperasian dengan beban torsi tertentu. Contohnya pengujian pada tutup botol, sakelar, pena sambung, kolom kemudi, peralatan furnitur, dan lain-lain.



Gambar 4.12. Ilustrasi Pengujian Puntiran pada Produk Jadi
(Sumber : <https://www.instron.com/en>)

4.9 Pemeriksaan Visual

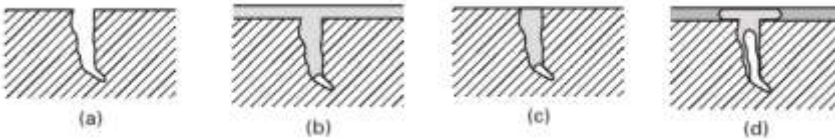
Metode pengujian tak rusak yang paling sederhana dan paling banyak digunakan adalah pemeriksaan visual. Mata manusia adalah instrumen yang sangat tajam dan, dengan pelatihan, otak dapat dengan mudah menginterpretasikan sinyal. Alat bantu optik seperti cermin, kaca pembesar, dan mikroskop dapat memperluas kemampuan sistem ini. Video kamera dan sistem komputer, seperti peng analisis gambar digital, dapat digunakan untuk mengotomatisasi pemeriksaan visual dan dapat melakukan evaluasi geometri kuantitatif. *Borescopes* dan alat yang serupa dapat memberikan aksesibilitas ke rongga yang sempit atau ke lokasi yang sulit diakses.

Pemeriksaan visual hanya dapat memeriksa permukaan saja dan tergantung pada keterampilan dan pengetahuan

inspektur. Akan tetapi seringkali cukup untuk menemukan atau mengungkapkan korosi, kontaminasi, cacat permukaan akhir, dan berbagai macam diskontinuitas pada permukaan.

4.10 Pemeriksaan Penetrasi Cair

Pemeriksaan penetrasi cair disebut juga sebagai pemeriksaan penetrasi pewarna merupakan metode yang efektif untuk mendeteksi cacat permukaan pada logam dan bahan tidak berpori lainnya. Ilustrasi proses pemeriksaan sebagaimana terlihat pada **Gambar 4.13**.



Gambar 4.13. Ilustrasi Pemeriksaan Penetrasi Cair: (a) permukaan awal dengan retak terbuka; (b) penetrasi diterapkan dan masuk ke dalam retakan dengan aksi kapiler; (c) kelebihan penetrasi dihilangkan; (d) cairan pengembang diterapkan, beberapa penetrasi diekstrak, dan produk diperiksa.

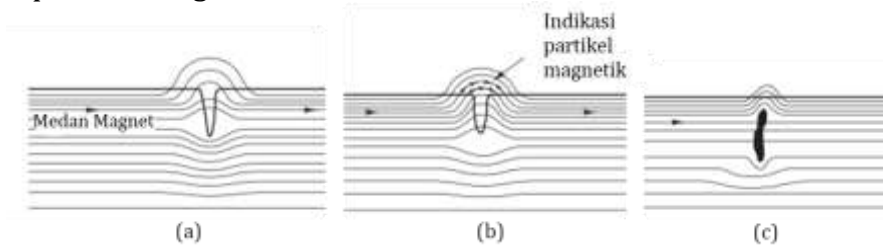
(Sumber : Black, 2019)

4.11 Pemeriksaan Partikel Magnetik

Pemeriksaan partikel magnetik didasarkan pada prinsip bahwa material feromagnetik (seperti paduan besi, nikel, dan kobalt), ketika dimagnetisasi, maka akan terjadi medan magnet di sekitar cacat material. Seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4.14**, cacat pada permukaan dan di bawah permukaan seperti retakan dan inklusi, akan menghasilkan anomali magnetik yang dapat dipetakan dengan bantuan partikel magnetik pada permukaan spesimen.

Pemeriksaan metode ini relatif sederhana, cepat, mudah ditafsirkan; portabel; dapat mengungkapkan cacat baik pada

permukaan maupun cacat dan inklusi di bawah permukaan (sedalam 6 mm) dan retakan kecil dan rapat. Akan tetapi metode ini hanya bisa diaplikasikan untuk material feromagnetik. Logam *nonferrous* seperti aluminium, magnesium, tembaga, *lead*, *tin*, dan titanium dan besi baja tahan karat austenitik (tetapi bukan feromagnetik) tidak bisa diperiksa dengan metode ini.



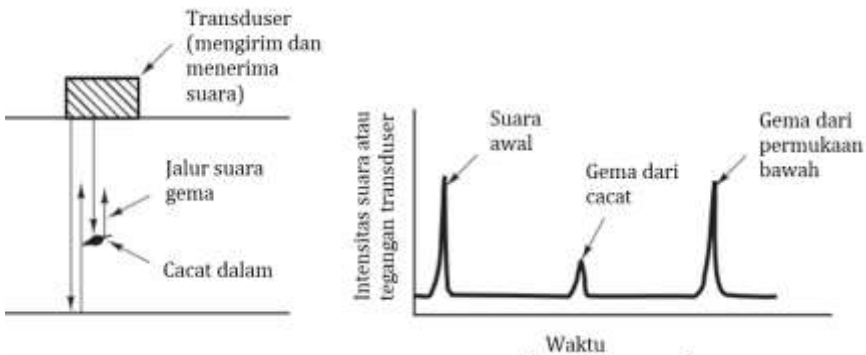
Gambar 4.14. Ilustrasi Pemeriksaan Magnetik (a) medan magnet menunjukkan gangguan oleh retakan permukaan; (B) partikel magnetik diterapkan dan partikel tertarik pada kebocoran medan magnet; (c) cacat di bawah permukaan juga dapat menghasilkan gangguan yang dapat terdeteksi di permukaan jika cukup dekat dengan permukaan. (Sumber : Black, 2019)

4.12 Pemeriksaan Ultrasonik

Pemeriksaan menggunakan suara telah lama digunakan untuk memberikan indikasi kualitas produk. Contohnya, lonceng yang retak akan tidak berdering dengan benar, berbeda halnya jika kondisinya bagus, maka akan mengeluarkan suara yang jelas saat diketuk ringan. Memukul objek dan mendengarkan karakteristik bunyinya adalah seni kuno untuk mendeteksi cacat. Akan tetapi terbatas pada deteksi cacat besar karena panjang gelombang suara yang terdengar agak besar dibandingkan dengan ukuran sebagian besar cacat. Dengan mengurangi sinyal panjang gelombang menjadi rentang ultrasonik, biasanya antara 100.000 dan 25 juta hertz,

pemeriksaan ultrasonik bisa digunakan untuk mendeteksi cacat dan kerusakan yang kecil.

Beberapa kelebihan pemeriksaan ultrasonik yaitu dapat mengungkapkan cacat internal; kepekaan tinggi terhadap sebagian besar retakan dan cacat; tes kecepatan tinggi dengan hasil langsung; dapat diotomatisasi dan direkam; portabel; penetrasi tinggi untuk sebagian besar material (bisa hingga 60 ft pada material baja); menunjukkan ukuran dan lokasi cacat; dapat digunakan juga untuk mengukur ketebalan, rasio *Poisson*, modulus elastisitas; serta tidak menimbulkan radiasi atau bahaya keselamatan.



Gambar 4.15. Ilustrasi pemeriksaan ultrasonic transduser tunggal dan grafik intensitas suara terhadap waktu
(Sumber : Black, 2019)

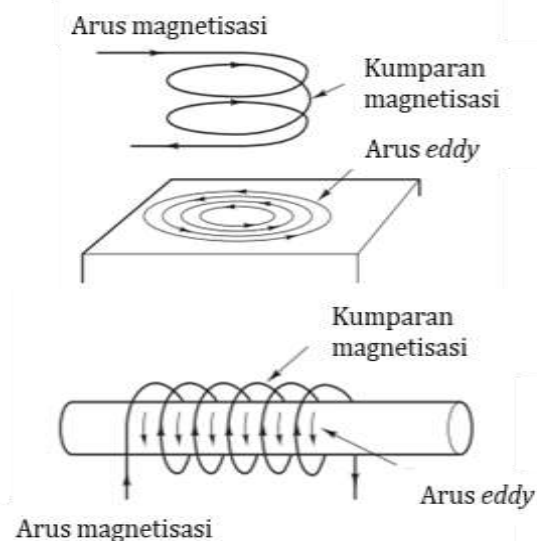
4.13 Pemeriksaan Radiografi

Pemeriksaan radiografi menggunakan paparan radiasi sinar-X, atau sinar gamma, atau sinar neutron yang dilewatkan melalui komponen kemudian sebagiannya diserap tergantung pada ketebalan, jenis bahan, dan adanya cacat atau cacat internal. Pemeriksaan metode ini dapat memeriksa area internal suatu material, dapat memberikan catatan permanen dari pemeriksaan, dapat digunakan untuk menentukan

ketebalan suatu material, sangat sensitif terhadap perubahan densitas, serta dapat digunakan untuk sebagian besar material teknik. Namun radiografi mahal, sehingga banyak pengguna merekomendasikan penggunaannya hanya selama pengembangan produk atau proses baru saja.

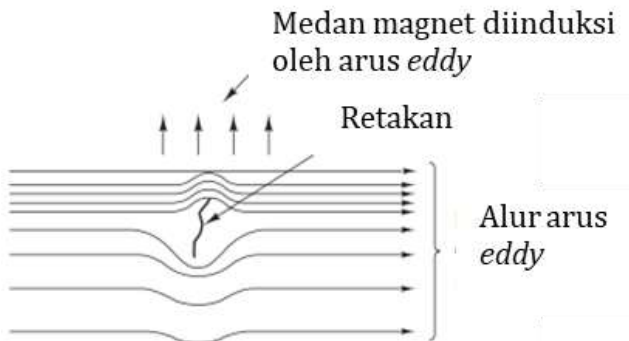
4.14 Pemeriksaan Arus Eddy

Ketika konduktor atau material penghantar listrik didekatkan dengan kumparan arus bolak-balik yang menghasilkan medan magnet bolak-balik, maka akan timbul arus permukaan (arus *eddy*) pada material tersebut. Arus permukaan ini menghasilkan medan magnetnya sendiri, yang berinteraksi dengan medan magnet aslinya, sehingga menghasilkan impedansi dari kumparan asal.



Gambar 4.16. Relasi dari arus magnetisasi, kumparan magnetisasi, dan induksi arus eddy
(Sumber : Black, 2019)

Dengan memantau impedansi, pengujian arus *eddy* dapat digunakan untuk mendeteksi kondisi apa pun yang akan mempengaruhi kemampuan konduktivitas benda uji. Jalur arus *eddy* akan berubah di sekitar area retak, sehingga mengubah karakteristik medan magnet yang diinduksi di sekitarnya.



Gambar 4.17. Jalur dari arus *eddy* dipengaruhi oleh cacat.
(Sumber : Black, 2019)

4.15 Pemantauan Emisi Akustik

Material yang mengalami beban dinamis atau deformasi atau patahan akan memancarkan gelombang tegangan hingga frekuensi 1 MHz. Meskipun suara-suara ini tidak terdengar oleh telinga manusia, akan tetapi dapat terdeteksi melalui penggunaan elektronik canggih. Transduser, amplifier, filter, penghitung, dan komputer dapat digunakan untuk mengisolasi dan menganalisis emisi akustik dari patahan atau material yang berubah bentuk. Emisi akustik material dapat digunakan untuk memberikan peringatan akan datangnya bahaya. Mereka dapat mendeteksi deformasi hingga 10^{-12} in/in yang terjadi secara singkat, inisiasi atau penyebaran retakan (termasuk retak tegangan-korosi), delaminasi material berlapis, dan kegagalan serat pada komposit. Dengan menggunakan multi sensor,

dimungkinkan untuk menentukan sumber suara ini secara akurat, mirip dengan yang digunakan untuk menemukan sumber seismik (gempa bumi) di bumi.

Kekurangan dari metode ini adalah hanya dapat mendeteksi cacat yang tumbuh atau aktif saja (keberadaan cacat saja tidak dapat terdeteksi); sinyal latar belakang dapat menyebabkan kesulitan; tidak ada indikasi ukuran atau bentuk cacat; diperlukan peralatan yang mahal; dan diperlukan pengalaman untuk menafsirkan sinyal.

DAFTAR PUSTAKA

- Ashby, Michael F 2016, *Materials Selection in Mechanical Design*, 5th Edition, Butterworth-Heinemann, USA.
- Askeland, Donald R, Fulay, Pradeep P, Wright, Wendelin J 2011, *The Science and Engineering of Materials*, Sixth Edition, Cengage Learning, USA
- Beer, Ferdinand P, Johnston, E. Russell, Jr, Dewolf, John T, Mazurek, David F 2012, *Mechanics Of Materials*, Sixth Edition, McGraw-Hill, New York
- Black, J. T. & Kohser, Ronald A 2019, *DeGarmo's Materials and Processes in Manufacturing*, 13th Edition, John Wiley & Sons, New Jersey.
- Callister, William D, Jr & Rethwisch, David G 2018, *Materials Science and Engineering. An Introduction*, 10th Edition, John Wiley & Sons, Inc., USA.
- Impact Test*, dilihat 5 Mei 2023, [https://www. corrosionpedia. com](https://www.corrosionpedia.com)>.
- John, Vernon 1992, *Testing of Materials*, Macmillan.
- Martin, John W 2006, *Materials for engineering*, 3rd edition, Woodhead Publishing Ltd., Cambridge England.
- Mechanical testing methods*, dilihat 02 Mei 2023, <<https://www.gunt.de/en/>>.
- What is Torsion Testing?*, dilihat 12 Mei 2023, <<https://www.instron.com/en>>.

BAB 5

LOGAM DAN PADUANNYA

Oleh Luluk Edahwati

5.1 Pendahuluan

Didalam proses pembuatan suatu barang, bahan penyusun utama maupun pendukung penting untuk diketahui guna menghasilkan produk yang sesuai dengan keinginan pasar sehingga produksi akan meningkat. Pada zaman dahulu seperti yang sudah kita ketahui dibagi menjadi tiga zaman dapat digambarkan sebagai berikut,



Gambar 5.1. Perkembangan material
(Sumber materi ajar Pengantar Material)

Dengan berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi, di satu sisi menginginkan tersedianya berbagai material dengan

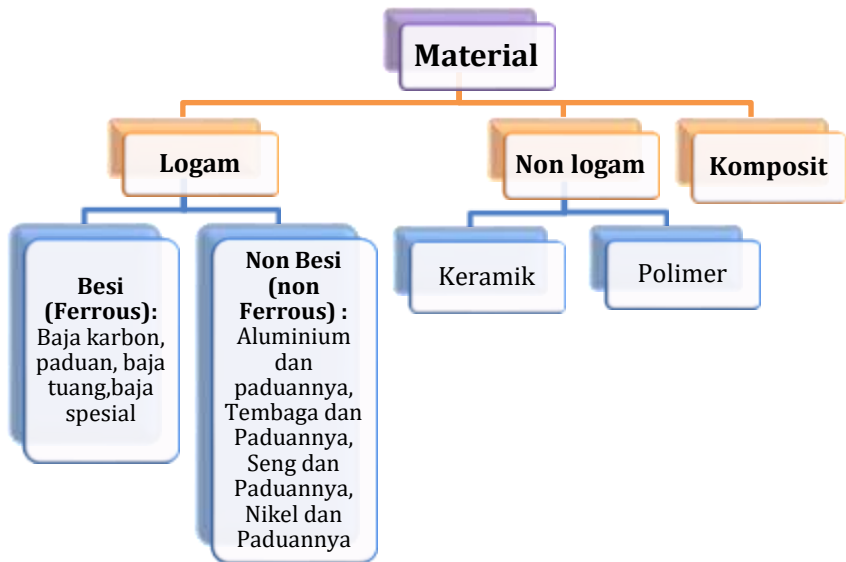
kondisi yang bagus di lain pihak sebagai pengguna menginginkan agar material ataupun barang yang digunakan memiliki kualitas yang berkualitas tinggi.

Selama ini persediaan bahan baku yang diperlukan sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan terbatas Hal ini menuntut pengguna bahan agar lebih efisien dan efektif. Untuk menggunakan bahan secara efektif dan terarah, diperlukan pengetahuan yang baik tentang semua sifat bahan, dan sebagai tambahan, diperlukan pengetahuan bahan yang lebih, tidak hanya pada penggunaan bahan yang sama tetapi juga bahan lain.

5.2 Klasifikasi Bahan Material

Bahan material merupakan suatu bahan yang memiliki sifat atau karakteristik khusus yang biasanya digunakan manusia guna memenuhi kebutuhan produksinya. Material dapat digolongkan dalam dua kelompok besar yaitu golongan logam dan non logam. Selain kedua golongan tersebut dikenal juga sebagai metaloid (mirip logam) akan tetapi mengandung unsur non-logam. Klasifikasi logam dapat digolongkan dalam logam besi, dan logam non-ferrous. Dalam permesinan pada umumnya konsentrasi bahan logam dan paduan mendominasi, terutama besi, yang berperan sangat penting, tetapi bahan lain tidak dapat diabaikan. Bahan non logam juga sering digunakan karena bahan tersebut memiliki sifat yang tidak dimiliki oleh bahan logam.

Secara umum material dapat dibedakan menjadi tiga jenis yaitu, Logam, non logam dan komposit,



Gambar 5.2. Klasifikasi material
(Sumber Diktat Material Teknik)

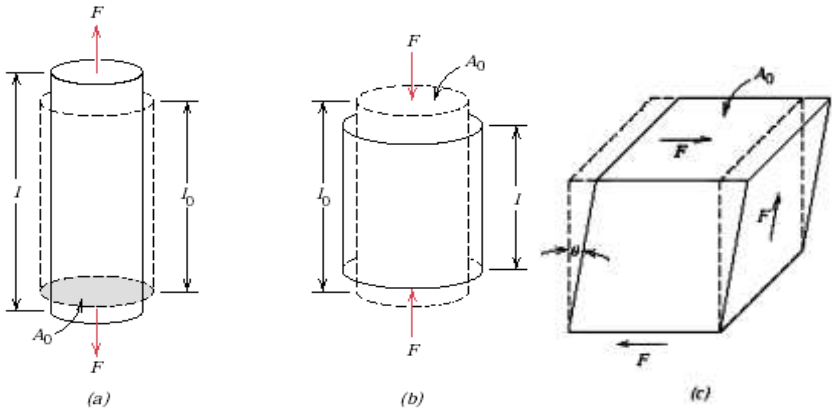
Seiring dengan semakin berkembangnya teknologi banyak material logam yang digantikan oleh bahan lain seperti plastik yang banyak digunakan dalam permesinan, keramik digunakan sebagai batu tahan api, dan lainnya. Perkembangan material yang mengandung besi mengalami kemajuan yang sangat pesat dengan peningkatan produksi besi atau baja yang berkualitas tinggi. Namun kemajuan teknologi membutuhkan penggunaan berbagai jenis bukan logam, seperti tembaga, aluminium, seng, nikel dan lain-lain.

5.3 Sifat Mekanik Bahan

Sifat mekanik dari suatu bahan sangatlah penting untuk diketahui, sifat mekanik merupakan kemampuan suatu bahan (termasuk bagian dari bahan tersebut) untuk menyerap beban/gaya/energi tanpa merusak bahan awal. Contohnya baja, baja tentunya mempunyai sifat mekanik yang baik (dapat diaplikasikan dalam setiap mesin) namun harus diketahui bahwa besi mempunyai sifat yang kurang tahan terhadap korosi, dengan demikian untuk mengantisipasi kekurangan dari sifat besi ini perlu dilakukan pengecatan atau galvanising sebelum besi tersebut digunakan.

Beberapa sifat mekanik bahan yang perlu diketahui;

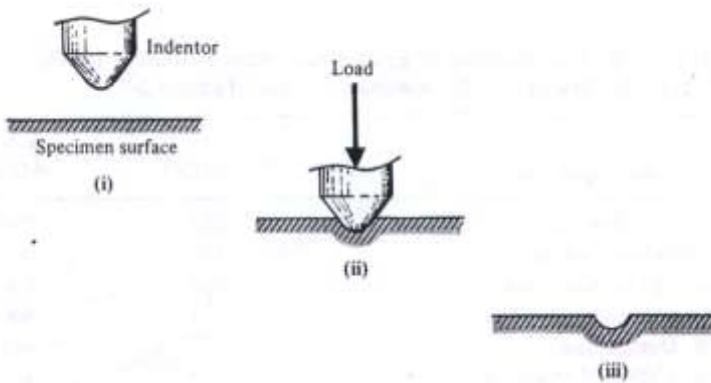
1. Kekuatan (*strength*) merupakan sifat bahan yang mampu menerima tegangan tanpa menyebabkan bahan tersebut patah. Macam dari kekuatan bahan adalah kuat tarik, kekuatan geser, kuat tekan serta kekuatan lengkung. Dalam pembebanan terdapat tiga macam yaitu beban tarik (*tension*), beban tekan (*compression*) dan beban geser (*shear*). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 6.3, proses beban tarik ditunjukkan dalam gambar 6.3 (a) yang mana dalam proses ini menyebabkan ketegangan dan peregangan. Garis putus-putus menunjukkan bentuk sebelum deformasi, sedangkan deformasi ditunjukkan dengan garis lurus. Gambar 6.3 (b) menunjukkan bagaimana pembebanan akan memperpendek benda, sedangkan pada gambar 6.3 (c) menunjukkan regangan geser sebesar γ , besarnya $\gamma = \tan \theta$.



Gambar 5.3. pembebanan material
(Sumber diktat kuliah material teknik)

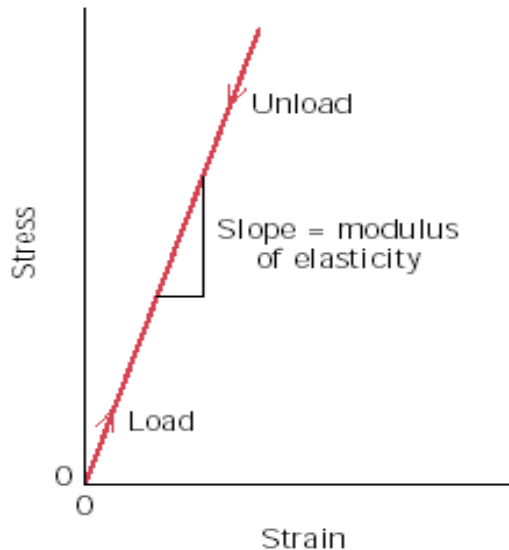
Untuk mengetahui besarnya tegangan (stress) maupun regangan (strain) suatu benda tentunya didapatkan dari hasil pengujian atau analisa.

2. Kekerasan (*hardness*) adalah kemampuan suatu bahan terhadap penggoresan, abrasi (keausan) dan penetrasi. Sifat dari bahan ini didapatkan melalui proses pengujian.



Gambar 5.4. uji kekerasan
(Sumber diktat kuliah material teknik)

3. Kekenyalan (*elasticity*) menyatakan kemampuan bahan menerima beban tanpa mengakibatkan terjadinya deformasi permanen setelah beban dihilangkan. Kekenyalan dapat diartikan juga kemampuan material dapat kembali ke bentuk semula setelah menerima beban yang dapat menimbulkan deformasi. Apabila tegangan dan regangan besarnya sama disebut dengan deformasi elastis atau kenyal. Kondisi ini dapat digambarkan :



Gambar 5.5. deformasi elastis
(Sumber diktat kuliah material teknik)

Dalam deformasi elastis berlaku hukum Hooke yaitu

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \text{ atau } \sigma = E \epsilon$$

Dimana E = modulus elastisitas atau yang lebih dikenal dengan modulus Young.

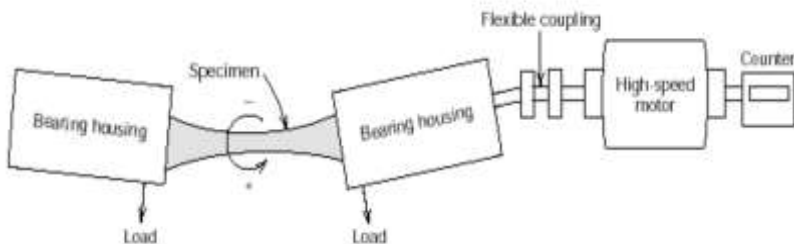
Besarnya sudut yang terbentuk pada grafik

stress – strain disebut modulus elastisitas atau modulus Young

4. Kekakuan (stiffness) hampir sama dengan *elasticity* yaitukemampuan dari material menerima tegangan tanpa menyebabkan deformasi.
5. Plastisitas (plasticity) adalah kemampuan bahan untuk mengalami sejumlah deformasi plastis (permanen) tanpa mengakibatkan patah. Biasanya sifat ini dimiliki material

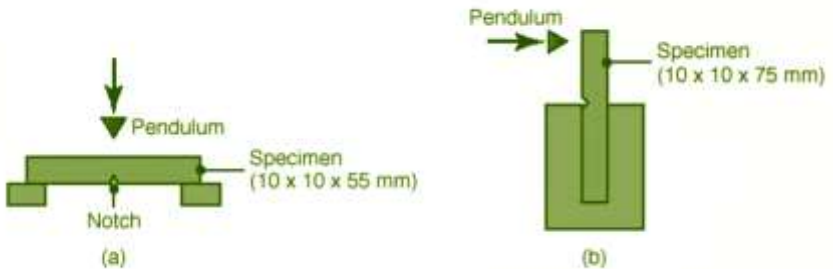
yang akan dikenakan proses rolling, forging, extruding dan lain sebagainya. *Plasticity* disebut juga dengan keuletan (*ductility*). Suatu bahan dikatakan mempunyai keuletan yang tinggi apabila bahan tersebut mampu mengalami deformasi plastis tinggi (*ductile*), sedangkan bahan yang tidak mengalami perubahan memiliki keuletan rendah (*brittle*).

6. Kelelahan (*fatigue*) sifat yang dimiliki oleh bahan yang akan patah setelah menerima tegangan berulang-ulang (*cycle stress*). Contoh uji kelelahan seperti gambar 5.6.



Gambar 5.6. Skema uji kelelahan
(Sumber diktat kuliah material teknik)

7. Ketangguhan (*toughness*) kemampuan dari suatu bahan dalam menyerap energi sampai mengakibatkan patah. Uji impak harus dilakukan untuk mengetahui nilai ketangguhan material (*impact testing*). Uji impak ada dua macam yaitu *Charpy* dan *Izod*. Prinsip dasar metode pengujian ini terletak pada peletakan benda uji, pada uji impak Charpy spesimen mendapatkan pembebanan dari atas, sedangkan pada uji impak Izod pembebanan dari depan.



Gambar 5.7. (a) charpy (b) izod
(Sumber diktat kuliah material teknik)

5.4 Pengertian Logam

Logam merupakan material yang tersusun atas unsur kimia yang mempunyai sifat liat, keras, mempunyai daya hantar listrik yang bagus. Logam dapat ditempa, berkilau, magnetis, dan dapat dicampur secara merata pada berbagai tingkat. Logam murni biasa disebut juga dengan bijih logam. Bijih logam didapatkan dengan cara penambangan kemudian dilakukan proses pemisahan dari unsur-unsur yang lain (pengotor). Logam merupakan unsur yang ketersediaannya melimpah di bumi yang memiliki sifat juga kegunaannya masing-masing.

5.4.1 Jenis logam

Dari uraian diatas sudah dijelaskan bahwa logam merupakan unsur yang jumlahnya paling banyak dibumiserta memiliki sifat maupun kegunaan masing-masing. Jenis logam menurut kegunaannya adalah :

a. Platina

Logam ini berwarna keperakan, mudah dibentuk, biasanya digunakan dalam membuat perhiasan, elektronik dan katalis.

- b. Seng
Merupakan logam dengan warna putih kebiruan, biasanya digunakan sebagai pelapis besi untuk mencegah karat. Logam inipun dapat digunakan juga dalam aloi tertentu seperti kuningan.
- c. Raksa
Berupa logam yang berbentuk cair, berwarna putih keperakan dan beracun biasanya digunakan sebagai campuran bahan peledak.
- d. Tembaga
Warna dari logam ini kemerahan, mudah dibentuk, digunakan dalam membuat kabel listrik, aloi dari kuningan, perunggu, maupun cupronikel.
- e. Timah
Suatu logam dimana spesifikasi dari bentuknya lunak, mudah dibentuk serta warnanya keperakan. Logam ini digunakan untuk menyepuh baja (mencegah korosi) dan dapat dijadikan paduan perunggu.
- f. Aluminium
Adalah logam yang berwarna keperakan, memiliki sifat yang sangat ringan serta tahan terhadap korosi. Logam ini berasal dari bijih bauksit yang didapatkan melalui proses elektrolisis. Aluminium biasanya digunakan dalam kabel overhead, pesawat terbang, kapal, mobil maupun kaleng minuman.
- g. Baja
Logam ini mempunyai peran yang sangat penting bagi kehidupan manusia maupun industri.
- h. Besi
Besi merupakan logam yang mempunyai warna abu-abu keputihan, logam ini biasanya dimanfaatkan dalam paduan baja.

- i. Emas
Unsur dari logam ini bersifat lunak, berwarna kuning terang dan biasanya digunakan sebagai bahan perhiasan.
- j. Kuningan
Merupakan aloi dari tembaga dan seng. Penggunaan logam ini sangat banyak di bumi diantaranya peralatan makan, perhiasan, paku juga alat musik.
- k. Perak
Salah satu jenis logam yang lunak dan sebagai penghantar listrik yang sangat bagus.
- l. Perunggu
Sejak jaman dahulu masyarakat telah mengenal logam perunggu. Logam ini merupakan bentuk aloi dari tembaga dan timah, tahan terhadap korosi juga mudah dibentuk.

5.4.2 Sifat dari Logam

Logam tentu mempunyai sifat istimewa yang menjadi dasar dalam penggunaannya. Sifat tersebut diantaranya:

1. Kuat
Terkecuali raksa semua logam berbentuk padat pada suhu kamar. Kekuatan maupun kekerasan dari logam dapat ditingkatkan dengan mencampurkan dengan logam lainnya yang biasa disebut logam paduan atau aloi, contohnya aloi dari aluminium dan magnesium yang mana hasil campuran kedua bahan ini dapat digunakan sebagai bahan bangunan, jembatan maupun kendaraan bermotor.
2. Dapat ditempa maupun diregangkan
Hal ini tergantung dari atom-atom penyusun logam tersebut. Semakin simetris susunan atomnya, akan semakin mudah logam itu untuk ditempa maupun diregangkan.
3. Sebagai konduktor listrik yang baik

Gerakan elektron sangat memungkinkan bagi muatan negatif dari luar mendorong elektron yang bermuatan positif, sehingga menimbulkan aliran panas melalui logam. Sifat inilah yang mendasari penggunaan logam seperti kabel listrik, serta alat memasak seperti ketel, panci dll.

4. Mengkilap

Sifat logam ini banyak digunakan sebagai bahan perhiasan maupun dekorasi.

5.4.3 Pengaruh karbon terhadap sifat logam

Dapat digolongkan sebagai berikut;

1. Besi yang mengandung kadar C = 0% - 0,5% bersifat mudah ditempa dan tidak dapat dikeraskan. Logam ini disebut dengan besi tempa.
2. Besi dengan kandungan C = 0,5% - 1,7% bersifat dapat ditempa dan dapat dikeraskan (disepuh). Logam ini biasa dikenal dengan baja.
3. Kandungan C dalam besi sebesar 2,5% - 6,67% sifatnya mudah dituang (dicor). Biasanya logam ini disebut dengan besi tuang.

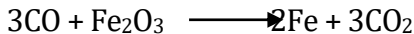
5.5 Paduan Logam

Paduan logam disebut juga *metal alloy* merupakan yang terdiri dari dua atau lebih jenis atom juga macam dari logam yang dicampurkan dalam keadaan cair. Paduan dari logam ini seringkali digunakan sebagai pengganti logam murni dikarenakan memiliki sifat yang hampir menyerupai logam murni dan memberikan keuntungan sebagai produk, seperti sifat kekerasan logam dapat ditingkatkan dari kekerasam logam aslinya, kekuatan tariknya juga dapat diperbesar, daya pemuai dapat dikurangi, titik leburnya dapat diturunkan maupun ditingkatkan dari sifat logam asalnya.

5.5.1 Macam-macam paduan logam

A. Besi kasar (pig iron)

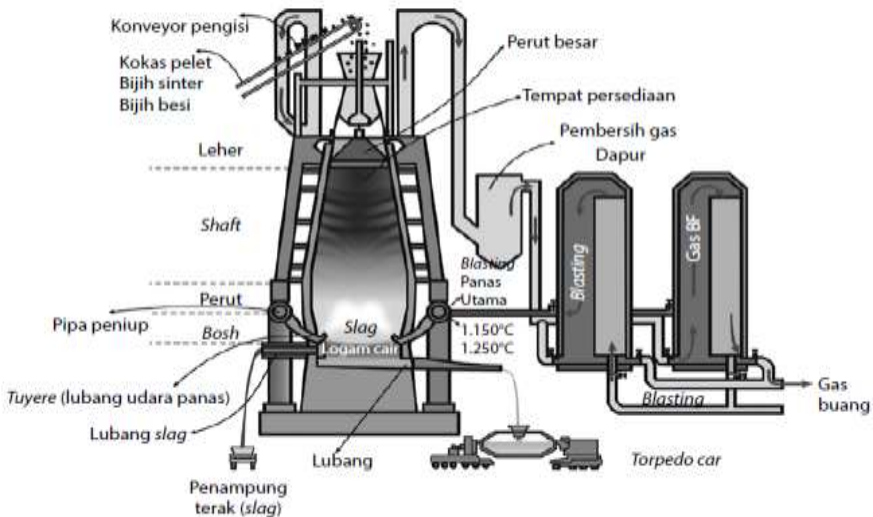
Bahan utama besi paduan adalah besi kasar yang biasa disebut *pig iron*, pig iron dihasilkan dari proses peleburan bijih besi (iron ore), kokas (*coke*) dan batu kapur (*limestone*) dalam dapur tanur tinggi (*blast furnace*). Udara panas juga digunakan dalam pembakaran ini dengan tujuan untuk mempercepat terbentuknya CO₂ dan besi. Reaksinya dapat dituliskan sebagai berikut;



udara panas yang digunakan juga bertujuan untuk menghemat penggunaan kokas sebesar 30%.

Panas dari tungku berasal dari reaksi pembakaran karbon monoksida. Udara panas masuk melalui tungku tuyser (tuyeres) yang terletak tepat di atas pusat pengumpulan besi cair. Penggunaan batu kapur sebagai pengikat kotoran yang terdapat dalam bijih besi yang dapat membentuk terak cair (slag). Slag sifatnya lebih ringan daripada besi cair sehingga akan terapung dan secara berkala dapat disadap. Terak cair dapat dimanfaatkan sebagai bahan campuran beton juga sebagai bahan isolasi panas. Gas panas sebelum digunakan sebagai pembangkit energi atau sebagai bahan bakar dari dapur lainnya harus dibersihkan terlebih dahulu. Komposisi besi kasar dapat dikendalikan melalui pengaturan kondisi operasi dan pemilihan susunan campuran bahan baku.

Hasil dari pembentukan pig iron kemudian dimurnikan guna diturunkan kadar karbonnya sehingga dapat dihasilkan baja dengan tingkat karbon yang berbeda-beda.



Gambar 5.8. Konstruksi dapur tanur tinggi
Sumber pengantar material teknik

B. Besi Tuang

Besi tuang kandungan karbonnya **2,5-4%**, besi tuang ini mempunyai kemampuan las yang rendah. Bentuk karbon dalam besi tuang adalah *sementit* (Fe_3C) disebut juga dengan karbon bebas (grafit). Besi tuang terbagi menjadi beberapa jenis, yaitu:

1. Besi Tuang Putih (*White Cast Iron*).

Besi tuang ini semuanya karbon dalam bentuk sementit, sehingga memiliki sifat yang sangat keras dan rapuh. Struktur mikronya terdiri dari karbida, yang memberikan warna putih..

2. Besi Tuang Mampu Tempa (*Malleable Cast Iron*).

Jenis besi tuang ini dibuat dari besi tuang putih dengan perlakuan panas semua bola grafit (Fe_3C) menjadi matriks ferit, perlit, dan martensit. Properti mirip dengan baja

3. Besi Abu-Abu (*Grey Cast Iron*).

Jenis besi tuang ini banyak dijumpai (sekitar 70%), memiliki grafit serpihan. Sifat dari besi tuang ini adalah kekuatan tariknya tidak terlalu tinggi dan keuletannya sangat rendah

C. Baja

Baja merupakan campuran antara besi (Fe) dan karbon (C), dimana besi sebagai unsur utamanya dan karbon sebagai unsur paduan utamanya. Tergantung pada jenisnya, kandungan karbon baja kurang dari 1,4%. Selama produksi baja, unsur lain seperti mangan (Mn), silikon (Si), kromium (Cr), vanadium (V) dan unsur lainnya tetap berada di dalam baja. Baja sering digunakan sebagai bahan baku perkakas, alat pertanian, komponen otomotif dan barang-barang rumah tangga dan lainnya.. Karena penggunaannya yang sangat luas maka berbagai pihak sering membuat klasifikasi menurut keperluan masing-masing. Ada beberapa cara mengklasifikasikan baja, antara lain:

- a. Dari cara pembuatannya; baja Bessemer, baja Siemens-Martin (Open hearth), baja Listrik, dan lainnya.
- b. Berdasarkan penggunaannya; baja konstruksi, baja mesin, baja pegas, baja ketel, baja. Perkakas, dan lainnya.
- c. Menurut kekuatannya ; baja kekuatan lunak, baja kekuatan tinggi
- d. Berdasarkan struktur mikronya; baja eutektoid, baja hypoeutektoid, baja hypereutektoid, baja
- e. Austenitik, baja ferritik, baja martensitik dan lainnya.
- f. Dari segi komposisi kimianya; baja karbon, baja paduan rendah, baja paduan tinggi, dan lainnya.

Pengaruh unsur paduan terhadap baja banyak dipengaruhi oleh cara penyebaran didalam unsur pembentuk baja itu sendiri. Unsur paduan dapat juga membentuk suatu fase atau dapat pula menstabilkan fase tersebut. Menurut fungsinya unsur paduan dapat dikelompokkan menjadi :

1. ***Ferrite stabilizer***, yaitu elemen paduan yang membuat ferit lebih stabil pada suhu yang lebih tinggi. Secara umum, ferit berubah menjadi austenit pada suhu tertentu, dengan adanya paduan penstabil ferit, suhu transformasi meningkat, bahkan jika ada banyak elemen, ferit tetap stabil hingga awal pencairan. Nyatanya, hampir semua unsur paduan kecuali nikel dan mangan memiliki sifat ini. Elemen tersebut adalah Cr, Si, Mo, W dan Al.
2. ***Austenite stabilizer***, merupakan elemen paduan yang membuat austenit lebih stabil pada suhu yang lebih rendah. Pada umumnya austenit mulai bertransformasi ketika didinginkan sampai suhu tertentu, dengan adanya unsur paduan ini suhu transformasi menurun, bahkan dapat mencapai suhu kamar. Elemen terpenting dari grup ini adalah Ni dan Mn.
3. ***Carbide forming elements***, yaitu unsur paduan di dalam baja dapat membentuk karbida. Unsur utama dalam golongan ini (dengan afinitas rendah terhadap karbon) adalah Cr, W, Mo, V, Ti, Nb, Ta dan Zr. Jika terdapat lebih dari satu unsur pembentuk karbida dalam baja, tidak semuanya dapat membentuk karbida, unsur dengan afinitas rendah mungkin tidak dapat membentuk karbida ketika hampir semua karbon sudah terikat pada unsur dengan afinitas lebih tinggi. Karbida yang terbentuk dapat berupa karbida sederhana atau karbida kompleks. Kehadiran karbida meningkatkan sifat tahan aus, baja paduan biasanya

mengandung cukup banyak unsur pembentuk logam keras..

4. ***Carbide stabilizer***, merupakan elemen paduan yang membuat karbida lebih stabil dan tidak mudah berubah fase. Unsur-unsur golongan ini (diurutkan dari lemah ke kuat) adalah Co, Ni, W, Mo, Mn, Cr, V, Ti, Nb dan Ta. Di sini terlihat bahwa pembentuk karbida yang kuat tidak selalu merupakan penstabil karbida yang kuat, misalnya Mn, yang merupakan pembentuk karbida yang sangat lemah, tetapi dapat bertindak sebagai penstabil karbida yang cukup kuat, bahkan lebih kuat dari Mo.
5. ***Nitride forming elements***, merupakan unsur yang dapat membentuk nitrida. Pada dasarnya, semua unsur pembentuk karbida juga merupakan nitrida (yang dapat membentuk nitrida selama nitridasi).

Menurut komposisi kimianya, baja dibagi menjadi dua kelompok besar, yaitu baja karbon (baja non-paduan) dan baja paduan. Baja karbon masih mengandung beberapa unsur lain, namun masih dalam batas tertentu, yang memiliki pengaruh kecil terhadap sifat-sifatnya. Unsur-unsur ini biasanya merupakan produk sampingan dari proses produksi besi/baja, seperti mangan dan silikon, dan beberapa pengotor seperti belerang, fosfor, oksigen, nitrogen, dan lainnya, yang biasanya ditekan ke tingkat yang sangat rendah. *Low carbon steel* mengandung kadar karbon sampai 0,2 %. Baja ini banyak digunakan pada baja struktur umum, baja tulangan bangunan, baja beton, rangka kendaraan, mur dan baut, pelat, pipa, dll. Kekuatan relatif rendah, lunak tetapi ketangguhan tinggi, mudah dibentuk dan diproses, tetapi baja ini tidak dapat dikeraskan

Medium carbon steel mempunyai kandungan karbon 0,25-0,55 %, lebih kuat dan keras serta dapat dikeraskan. Digunakan sebagai baja konstruksi mesin, untuk poros, roda gigi, dan lainnya.

Baja karbon tinggi, kandungan karbon di atas 0,55%, lebih kuat dan keras, tetapi ketangguhan dan keuletannya rendah. Baja ini terutama digunakan pada perkakas yang biasanya membutuhkan sifat tahan aus, seperti bor, palu, pin, dan perkakas tangan lainnya. Baja karbon umumnya memuaskan untuk digunakan ketika persyaratan kekuatan, daya tahan, dll. tidak terlalu tinggi, sedangkan baja karbon juga cocok digunakan pada suhu ruangan dan pada kondisi lingkungan yang kurang korosif. Harga relatif jarang. Namun, dalam beberapa kasus, baja karbon tidak memenuhi persyaratan aplikasi. Baja karbon dapat mencapai kekuatan tinggi dengan meningkatkan kandungan karbon, tetapi hal ini sangat mengurangi kekuatan dan keuletan. Kekuatan berkurang secara signifikan saat bekerja pada suhu tinggi. Pada suhu rendah, kekuatannya menurun drastis. Baja karbon umumnya memiliki kemampuan pengerasan yang rendah dan dapat dikerjakan ulang saat dipanaskan setelah pengerasan.

Hal-hal tersebut seringkali menjadi kendala/kesulitan dalam penggunaan baja karbon. Banyak dari kesulitan ini dapat diatasi dengan menambahkan satu atau lebih aditif **khusus**. Baja dengan beberapa elemen paduan yang ditambahkan disebut baja paduan. Paduan sengaja ditambahkan ke baja untuk mencapai satu atau lebih dari tujuan berikut:

1. Meningkatkan kekerasan
2. Peningkatan kekuatan pada suhu normal
3. Meningkatkan sifat mekanik pada suhu rendah atau tinggi

4. Untuk meningkatkan kekuatan sampai tingkat kekuatan atau kekerasan tertentu
5. Tingkatkan sifat tahan aus
6. Meningkatkan ketahanan korosi
7. Menambahkan sifat magnetik

D. *Stainless steel* atau baja tahan karat

Stainless steel (SS) adalah ferroalloy dengan setidaknya 12% kromium. Senyawa ini dapat membentuk lapisan pelindung (lapisan anti korosi) akibat oksidasi spontan oksigen menjadi kromium. Mekanisme lapisan pelindung ini tentunya harus dibedakan dengan baja yang dilindungi oleh pelapis (seperti seng dan kadmium) atau cat.

Meskipun semua nilai baja tahan karat didasarkan pada kandungan kromium (Cr), paduan lain dapat ditambahkan untuk meningkatkan sifat baja tahan karat tergantung pada aplikasinya. Baja tahan karat, tidak seperti baja lainnya, didasarkan pada persentase karbon, tetapi berdasarkan struktur metalurginya. Lima golongan utama *Stainless Steel* adalah *Austenitic*, *Ferritic*, *Martensitic*, *Duplex* dan *Precipitation Hardening Stainless*.

1. *Austenitic Stainless Steel*

Austenitic Stainless Steel mengandung setidaknya 16% kromium dan 6% nikel (grade standar untuk baja tipe 304), bahkan grade Super Austenitic Stainless Steel seperti 904L (kandungan kromium dan nikel lebih tinggi dan hingga 6% Mo). Molibdenum (Mo), titanium (Ti) atau tembaga (Co) meningkatkan suhu dan ketahanan korosi. Austenit juga cocok pada suhu rendah karena unsur nikel membuat baja tahan karat rapuh pada suhu rendah.

2. *Ferritic Stainless Steel*

Kandungan krom bervariasi antara 10,5 dan 18% seperti pada baja jenis 430 dan 409. Ketahanan korosi

relatif lebih sulit untuk dibuat/diproses. Tetapi kekurangan ini diperbaiki di kelas 434 dan 444, dan khususnya di kelas 3Cr12.

3. ***Martensitic Stainless Steel***

Unsur utama *stainless steel* ini adalah kromium dan karbon yang relatif tinggi, seperti grade 410 dan 416. Grade 431 memiliki kromium hingga 16%, tetapi struktur mikronya masih bersifat martensitik karena hanya mengandung 2% nikel. Baja tahan karat lainnya, seperti 17-4PH/630, memiliki kekuatan tarik tertinggi. Keuntungan dari grade ini adalah dapat dikeraskan jika dibutuhkan.

4. ***Duplex Stainless Steel***

Baja tahan karat dupleks seperti 2304 dan 2205 (dua angka pertama mewakili persentase kromium dan dua angka terakhir persentase nikel) merupakan campuran austenitik dan feritik. Ferit-austenit dupleks tahan terhadap korosi dan suhu yang relatif tinggi atau sangat tahan terhadap *Stress Corrosion Cracking*. Meskipun kemampuan *Stress Corrosion Cracking*-nya tidak sebaik *ferritic Stainless Steel* tetapi ketangguhannya jauh lebih baik dan lebih buruk dibanding *Austenitic Stainless Steel*. Sementara kekuatannya lebih baik dibanding *Austenitic Stainless Steel* (yang di annealing) kira-kira 2 kali lipat. Sebagai tambahan, *Duplex Stainless Steel* ketahanan korosinya sedikit lebih baik dibanding 304 dan 316 tetapi ketahanan terhadap *pitting corrosion* jauh lebih baik dibanding 316. Ketangguhannya *Duplex Stainless Steel* akan menurun pada temperatur dibawah - 50 °C dan diatas 300 °C.

5. ***Precipitation Hardening Steel***

Precipitation hardened stainless steel merupakan baja tahan karat yang keras dan kuat akibat presipitasi

pada struktur mikro logam tersebut. Jadi gerakan deformasi teredam dan memperkuat baja tahan karat. Formasi ini disebabkan adanya penambahan unsur tembaga (Cu), titanium (Ti), niobium (Nb) dan aluminium. Proses penguatan biasanya dilakukan dengan cara kerja dingin.

Latihan

1. Bagaimana cara untuk mengetahui/mengukur ketangguhan suatu material berdasarkan tegangan-regangan (hasil uji tarik)? Jelaskan
2. Sebutkan beberapa sifat mekanik dari bahan material
3. Mengapa besi dan baja merupakan salah satu jenis material yang paling banyak digunakan untuk aplikasi rekayasa.
4. Jelaskan mengapa besi tuang kelabu bersifat rapuh dan memiliki kekuatan tarik yang rendah
5. a. Apakah jenis material yang umum digunakan dalam pembuatan bodi mobil?
Mengapa industri otomotif menggunakan material tersebut?
b. Mengapa bodi mobil tidak mungkin dibuat dari besi tuang?
c. Mengapa besi tuang putih sangat getas?
d. Apakah jenis besi tuang yang Anda pilih untuk membuat blok mesin mobil? Mengapa?
Jelaskan dengan terperinci.

DAFTAR PUSTAKA

- Callister Jr, W. D. and Rethwisch, D. G. 2018. *Structures and Properties of Ceramics, Materials Science and Engineering - An Introduction*.
- I KT. Suarsana, M. 2017. 'Diktat Pengetahuan Ilmu Material Teknik', Universitas Udayana.
- Ronaldo. 2018. *MAKALAH UAS MATERIAL TEKNIK*, Universitas Sriwijaya.
- Samlawi, A. K. and Siswanto, R. 2016. 'Diktat Bahan Kuliah Material Teknik', *Universitas Lambung Mangkurat*, pp. 3, 8, 56–59.
- Sofyan, B. T. 2021. *Pengantar Material Teknik Edisi Kedua*.
- Surdia, T. and Saito, S. 1985. 'Pengetahuan Bahan Teknik', PT Pradnya Paramita Jakarta.

BAB 6

PENGUNAAN LOGAM DAN PANDUANYA PADA OTOMOTIF, METALURGI BESI DAN BAJA

Oleh Yudi Siswanto

6.1 Pendahuluan

Kemajuan teknologi industri logam siap untuk merubah paradigma dalam industri otomotif. Beberapa kajian sedang mengembangkan konsep, alat, dan teknik produksi untuk suku cadang logam yang diproduksi secara massal untuk memenuhi permintaan yang terus meningkat akan pembuatan kendaraan yang cepat dan disesuaikan. Produksi otomotif menghadapi tantangan baru dengan perubahan paradigma desain, peraturan keselamatan yang diperbarui, dan fitur fungsional tambahan, yang membutuhkan alat dan prosedur pengembangan baru untuk mendorong dan memaksimalkan transisi desain dalam waktu yang lebih singkat. Orang-orang telah mencari metode inovatif untuk membuat, menyempurnakan, dan menggunakan logam sejak Zaman Perunggu. Logam telah mengalami peningkatan dalam teknik pengerjaan logam dan manufaktur yang memunculkan Revolusi Industri hingga saat ini.

Proses pemuatan besi dan baja adalah proses yang kompleks dan sangat diatur yang melibatkan pemindahan bahan mentah dari sumbernya ke tujuan seperti perusahaan atau tempat pengolahan atau tujuan akhir. Proses ini biasanya dimulai dengan pengiriman bijih besi mentah dan bahan lainnya ke tempat penyimpanan, di mana bahan tersebut disortir dan dipersiapkan untuk diangkut. Setelah material disortir, material tersebut dimuat

ke dalam gerbong kereta api atau truk khusus dengan menggunakan alat berat seperti *crane*, *loader*, dan *forklift*. Proses pemuatan harus dikelola dengan hati-hati untuk memastikan bahwa material tersebut aman dan distribusi yang seimbang untuk mencegah kecelakaan selama pengangkutan. Setelah material dimuat ke dalam kendaraan pengangkut, material diangkut ke tempat tujuan, di mana material tersebut dibongkar dengan menggunakan alat berat yang sama. Di tempat tujuan, material disortir lagi dan disimpan hingga siap untuk diproses menjadi produk jadi seperti balok baja atau komponen otomotif. Di seluruh proses pemuatan besi dan baja, keselamatan adalah prioritas utama. Operator harus mengikuti protokol keselamatan yang ketat untuk mencegah kecelakaan dan memastikan bahwa material diangkut dan disimpan dengan aman. Selain itu, peraturan lingkungan mengharuskan material ditangani dan diangkut dengan cara yang meminimalkan dampak terhadap lingkungan.

Logam adalah zat yang menunjukkan penampilan mengkilap ketika baru diproduksi, dipoles, atau dihancurkan dan menghantarkan listrik dan panas secara efektif. Biasanya, logam bersifat ulet atau mudah dibentuk. Logam dapat berupa unsur kimia seperti besi, paduan seperti baja tahan karat, kompleks molekul seperti sulfur nitrida polimer, atau kombinasi keduanya. Biasanya, logam memiliki titik leleh yang tinggi dan cenderung tidak rusak pada suhu tinggi. Logam juga lebih tangguh, kuat, dan kuat daripada plastik. Ada banyak jenis logam yang berbeda, dan logam-logam tersebut dapat dibagi menjadi dua kategori utama: logam non-besi, yang tidak termasuk besi, dan logam besi, yang termasuk besi. Besi dan paduannya, termasuk baja, besi kasar, paduan besi, dan besi tuang, diklasifikasikan sebagai logam besi. Aluminium, magnesium, tembaga, kuningan, perunggu, seng, titanium, tungsten, adamantium, nikel, kobalt, timah, timah hitam, dan silikon adalah contoh logam non-besi. Logam dan bukan logam dapat dicampur bersama untuk membentuk paduan logam, yang

merupakan jenis logam lainnya. Paduan dapat dibentuk dari karbon dan besi, baja, dan paduan tembaga seperti perunggu dan kuningan.

8.2 Proses Pembuatan Besi Dan Baja

Secara umum, proses pembuatan baja dari limbah dan bijih besi dan bahan baku lainnya sangat penting. Salah satu logam yang paling umum digunakan dalam industri otomotif adalah baja, yang digunakan untuk membuat bodi mobil, mesin, dan komponen lainnya. Baja dikenal dengan rasio kekuatan terhadap beratnya yang tinggi, yang membuatnya menjadi bahan yang ideal untuk membuat kendaraan yang ringan dan hemat bahan bakar. Metalurgi besi dan baja memainkan peran penting dalam industri otomotif. Besi adalah bahan utama dalam baja, dan baja digunakan di berbagai bagian mobil, seperti bodi, mesin, transmisi, dan suspensi (Ohno et al., 2015). Sifat metalurgi besi dan baja, seperti kekuatan, keuletan, dan ketahanannya terhadap kelelahan, dapat dioptimalkan melalui berbagai proses seperti pemaduan, perlakuan panas, dan perlakuan permukaan.

Logam banyak digunakan dalam industri otomotif karena sifatnya yang unik seperti kekuatan tinggi, daya tahan, dan ketahanan terhadap korosi (Manurung, 2016). Proses pembuatan besi dan baja melibatkan beberapa tahap, termasuk ekstraksi dan persiapan bahan baku, peleburan dan pemurnian besi, dan produksi baja. Prosedur yang dikenal sebagai metalurgi ekstraktif digunakan untuk memisahkan besi dan baja dari bijih besi. Untuk membersihkan kotoran dan mendapatkan kembali logam besi, bijih besi ditambang dan kemudian diolah dalam tanur tinggi. Bijih besi dibakar di dalam *blast furnace*, Ketika oksida besi (Fe_2O_3) direduksi di dalam tanur tinggi untuk menghasilkan besi kasar (*pig iron*), yang mengandung 4% karbon, maka terjadi reaksi sebagai berikut:



sebuah bejana yang cukup besar, dengan kokas, bahan bakar berbasis batu bara, dan batu kapur, yang membantu menghilangkan pengotor. Panas menyebabkan besi menjadi cair dan terpisah dari bijihnya; kemudian disadap dan dibiarkan dingin untuk membentuk batangan. Baja, paduan besi dan karbon, dibuat dari logam besi yang diekstraksi.

Baja karbon biasa adalah jenis baja yang terutama mendapatkan sifat-sifatnya dari keberadaan karbon. Baja ini merupakan paduan besi karbon, dan biasanya mengandung sejumlah kecil elemen tambahan seperti mangan, silikon, belerang, dan fosfor akibat proses produksi (Sunday Isaac Fayomi & Patricia Idowu Popoola, 2019). Istilah "baja karbon biasa" dapat merujuk pada berbagai jenis baja dengan kandungan karbon rendah dan paduan lainnya, seperti ASTM A36 / ASME SA36 atau SAE 1020, yang umumnya digunakan dalam fabrikasi struktural non-kritis.

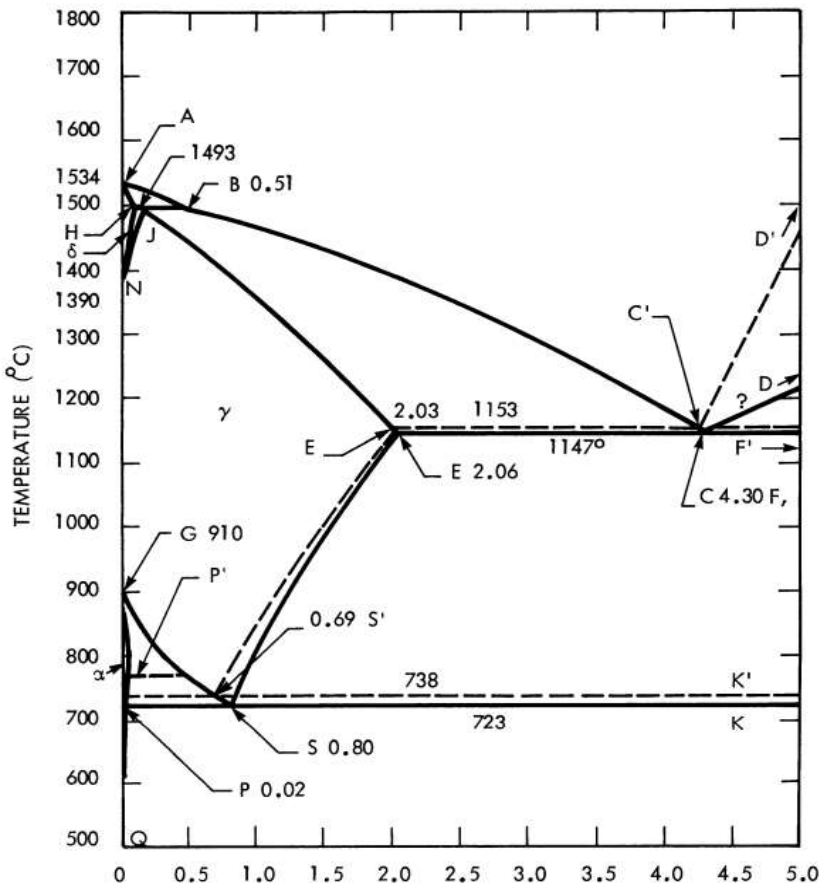
6.3 Diagram Fasa Besi-Besi Karbida

Menurut (Sacco, 1977) Diagram fasa besi-besi karbida adalah representasi grafis dari fasa dan transformasinya yang terjadi selama pemanasan dan pendinginan paduan besi-karbon, yang juga dikenal sebagai baja. Diagram ini menunjukkan hubungan antara suhu, kandungan karbon, dan fasa yang ada dalam baja. Pada suhu rendah dan kandungan karbon rendah, baja berada dalam fase ferit, yang memiliki struktur kristal *Body-centered cubic* (BCC). Saat suhu meningkat, baja bertransisi ke fase austenit, yang memiliki struktur kristal *Face-centered cubic* (FCC). Fasa austenit stabil pada suhu tinggi dan kandungan karbon yang tinggi. Tujuan dari diagram fase dari setiap rancangan perawatan termal (termasuk pengerasan, backlifting, dan operasi pemanasan) sangat mudah untuk memilih suhu pemanasan yang ideal. Baja

adalah paduan besi dengan karbon maksimum. Besi terbalik adalah kombinasi besi, dengan kandungan 1,7 % atau lebih tinggi.

Diagram fasa besi-besi karbida juga menunjukkan titik *eutektoid*, yang merupakan titik di mana fasa *austenit* bertransformasi menjadi campuran fasa ferit dan sementit selama pendinginan. Ketika karbon melebihi batas larutan untuk menghasilkan fase kedua atau karbida karbon besi (rumus kimia dengan Fe_3C), ini akan menghasilkan kombinasi karbon besi. Titik ini terletak pada 0,77% karbon dan 723°C. Struktur mikro yang dihasilkan dikenal sebagai perlit, yang merupakan campuran ferit dan sementit yang berbentuk pipih. Poin penting lainnya pada diagram fasa termasuk titik *eutektik*, yang menandai komposisi dan suhu di mana fasa austenit berubah menjadi campuran fasa cair dan sementit selama pendinginan. Titik eutektik terletak pada 4,3% karbon dan 1147°C.

Diagram fase karbida besi adalah perangkat penting untuk memahami perilaku baja selama perlakuan panas dan akan memprediksi struktur mikro dan sifat mekanik dari material yang dihasilkan. Diagram fase besi karbida yaitu grafik yang dinyatakan sebagai pengembangan struktur mikro dari pengembangan material gabungan utama dalam suhu dan keseimbangan tertentu. Diagram ini banyak digunakan dalam industri baja untuk desain dan produksi berbagai jenis baja dengan sifat tertentu. Gambar 1 adalah diagram fasa yang mewakili sistem besi-besi oksida. Komposisi fasa padat ditetapkan, pada suhu tertentu, dengan menyesuaikan aktivitas oksigen ke nilai yang diinginkan. Kompleksitas diagram fase besi-besi oksida tercermin dalam literatur yang sangat banyak dan sering kali membingungkan mengenai oksidasi besi dan/atau reduksi besi oksida. Komplikasi tambahan muncul dari fakta bahwa perubahan struktural terjadi selama reaksi dan hal ini mempengaruhi kinetika. Namun, ada tiga mekanisme utama yang telah berhasil menjelaskan data yang diamati baik secara kualitatif maupun kuantitatif.



Gambar 6.1. Diagram Fasa Besi-Besi Karbida
(Sumber (Sacco, 1977))

6.4 Baja Plain Karbon

Baja karbon biasa, juga dikenal sebagai baja karbon, adalah baja yang sebagian besar terdiri dari besi dan karbon, dan mengandung sejumlah kecil elemen lainnya. Baja karbon merupakan salah satu materi yang sangat besar digunakan di bidang manufaktur karena kekuatan, daya tahan, dan ekonominya.

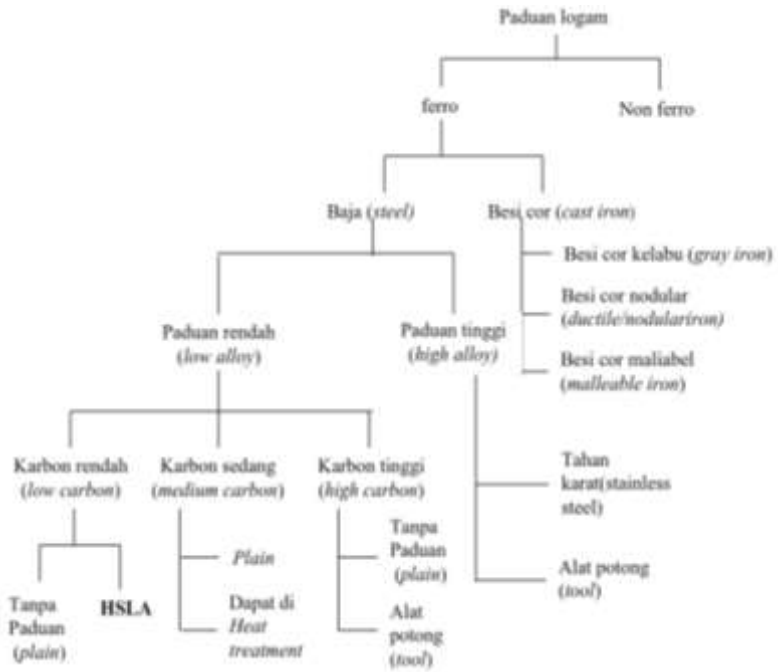
Kandungan karbon baja karbon berkisar lebih kurang 0,05% hingga 2,0%. (Lin et al., 2018). Baja karbon dengan kandungan karbon rendah, biasanya antara 0,05% dan 0,25%, disebut sebagai baja karbon rendah. Baja karbon rendah mudah dibentuk dan dilas, sehingga cocok untuk aplikasi seperti baja struktural, komponen otomotif, dan produk kawat.

Baja karbon sedang, dengan kandungan karbon antara 0,25% dan 0,60%, lebih keras dan lebih kuat dari baja karbon rendah. Baja ini umumnya digunakan dalam produksi roda gigi, as, dan poros engkol. Baja karbon tinggi, dengan kandungan karbon antara 0,60% dan 2,0%, adalah jenis baja karbon yang paling keras dan terkuat. Baja ini biasanya digunakan untuk alat pemotong, pisau, dan bilah. Sifat-sifat baja karbon dapat dimodifikasi dengan penambahan elemen paduan seperti mangan, silikon, dan tembaga. Penambahan elemen-elemen ini dapat meningkatkan kekuatan, ketangguhan, dan ketahanan korosi baja. Baja karbon kasar serbaguna dan banyak digunakan dalam berbagai aplikasi industri karena sifat mekaniknya yang sangat baik, keterjangkauan, dan kemudahan produksi. Pengkodean 4 digit standar untuk baja karbon biasa didasarkan pada AISI-SAE (*American Iron & Steel Institute- Society for Automotive Engineers*).

6.5 Panduan Logam Fero

Paduan besi, juga dikenal sebagai paduan *ferro* atau logam, adalah paduan atau bahan yang terutama terdiri dari besi (Fe). Paduan ini dikenal karena kekuatannya, sehingga ideal untuk digunakan dalam produksi baja dan paduan lainnya. Paduan besi yang paling sederhana dikenal sebagai baja dan terdiri dari besi yang dipadukan dengan karbon (C), biasanya mengandung sekitar 0,1% hingga 1% karbon, tergantung pada jenis baja. Unsur-unsur lain seperti aluminium (Al), mangan (Mn), silikon (Si), nikel, dan tembaga juga dapat ditambahkan ke dalam besi untuk menghasilkan paduan dengan sifat yang ringan. Paduan umumnya

lebih kuat daripada logam murni, meskipun biasanya memiliki konduktivitas listrik dan termal yang lebih rendah. Paduan besi dapat diklasifikasikan ke dalam dua kategori utama: paduan besi dan paduan non-besi. Paduan besi mengandung besi sebagai komponen utama dan beberapa contoh paduan besi adalah baja tahan karat, kobalt, galium, perak, emas, bismut, dan zirkonium. Sebaliknya, paduan *non-ferro* tidak mengandung besi sebagai komponen utama. Platinum, emas, dan perak adalah satu-satunya logam murni selain logam non-besi yang tidak tercampur karena telah memiliki kualitas yang diinginkan seperti ketahanan terhadap bahan kimia, konduktivitas listrik yang tinggi, dan kekuatan yang cukup untuk digunakan dalam kondisi murni. dan cukup kuat untuk digunakan dalam kondisi yang belum diubah. Ada beberapa jenis paduan besi, termasuk baja karbon, baja paduan, baja tahan karat, baja perkakas, besi tuang, dan baja maraging. Klasifikasi untuk besi paduan memiliki berbagai macam komposisi dasar dengan tambahan utama elemen lain, seperti nikel, kromium, molibdenum, atau tembaga, dan kekuatan dan kekerasan dasar dari semua paduan besi disediakan oleh struktur logam yang mengandung grafit.



Gambar 6.2. Klasifikasi paduan *ferro*
(Sumber: (Manurung, 2016))

6.6 Baja Paduan Rendah

Baja paduan rendah merupakan baja yang mengandung sejumlah kecil satu atau lebih unsur paduan seperti kromium, nikel, molibdenum, atau vanadium, biasanya kurang dari 10% berat. Komponen paduan memungkinkan baja yang diperkuat dan tidak mengurangi kekuatannya. Hal ini berbeda dengan baja paduan tinggi, yang mengandung persentase elemen paduan yang lebih tinggi. (Morrison, 2000) Baja paduan rendah banyak digunakan di berbagai industri, termasuk konstruksi, transportasi, dan manufaktur, karena sifatnya yang unik. Sifat-sifat ini dapat mencakup peningkatan kekuatan, ketangguhan, dan kemampuan las, serta ketahanan terhadap korosi dan keausan.

Salah satu aplikasi baja paduan rendah yang paling umum adalah dalam industri konstruksi, di mana baja ini digunakan untuk membangun jembatan, bangunan, dan struktur lain yang membutuhkan kekuatan dan daya tahan tinggi. Dalam industri transportasi, baja paduan rendah digunakan untuk membuat suku cadang kendaraan seperti rangka, as, dan roda, di mana kekuatan dan ketangguhannya yang tinggi dapat membantu meningkatkan keselamatan dan kinerja. Baja paduan rendah juga digunakan dalam industri manufaktur, di mana baja ini dapat digunakan untuk memproduksi mesin, perkakas, dan peralatan lain yang membutuhkan kekuatan dan ketahanan tinggi terhadap keausan dan korosi (Nath et al., 2007). Selain itu, baja paduan rendah dapat digunakan dalam jaringan pipa untuk transportasi minyak dan gas karena ketahanannya terhadap korosi. Secara keseluruhan, baja paduan rendah adalah material serbaguna yang menawarkan banyak keunggulan dibandingkan baja konvensional, termasuk peningkatan kekuatan, ketangguhan, dan ketahanan terhadap korosi, sehingga menjadi pilihan populer untuk berbagai aplikasi industri. Baja paduan rendah banyak digunakan dalam industri otomotif karena kombinasi ringan antara kekuatan, ketangguhan, dan keterjangkauannya. Baja ini umumnya digunakan dalam pembuatan berbagai komponen otomotif, seperti komponen suspensi, as roda, roda gigi, dan poros penggerak, yang membutuhkan kekuatan dan daya tahan tinggi. Salah satu keunggulan utama baja paduan rendah dalam aplikasi otomotif adalah kemampuannya untuk diberi perlakuan panas untuk lebih meningkatkan kekuatan dan kekerasannya. Hal ini membuatnya ideal untuk digunakan pada komponen bertekanan tinggi yang mengalami beban berat, seperti komponen suspensi dan komponen drive train.

Menurut (Chiaberge, 2011) baja paduan rendah juga biasa digunakan dalam pembuatan rangka dan panel bodi otomotif, di mana kekuatan dan ketangguhannya membantu meningkatkan

keselamatan dan mengurangi risiko kerusakan jika terjadi tabrakan. Selain itu, baja paduan rendah dapat dengan mudah dibentuk dan dilas, menjadikannya pilihan ideal untuk komponen otomotif yang kompleks yang membutuhkan pembentukan dan perakitan yang tepat. Secara keseluruhan, baja paduan rendah adalah bahan serbaguna dan banyak digunakan dalam industri otomotif yang menawarkan keseimbangan antara kekuatan, keterjangkauan, dan kemudahan manufaktur. Kemampuannya untuk dipanaskan dan ketangguhannya yang luar biasa membuatnya menjadi pilihan ideal untuk berbagai aplikasi otomotif, mulai dari komponen suspensi yang penting hingga panel bodi dan rangka.

6.7 Baja Paduan Tinggi

Baja paduan tinggi adalah jenis baja yang mengandung persentase elemen paduan yang tinggi seperti kromium, nikel, molibdenum, tungsten, atau vanadium. Unsur-unsur paduan ini biasanya terdapat dalam jumlah yang lebih besar dari 10% berat, dan dapat mengubah sifat baja secara signifikan (Jafarian et al., 2021). Baja paduan tinggi banyak digunakan di berbagai industri, termasuk kedirgantaraan, pembangkit listrik, pemrosesan kimia, dan minyak dan gas, karena sifatnya yang baik. Sifat-sifat ini dapat mencakup kekuatan tinggi, ketahanan korosi, ketahanan aus, dan ketahanan panas, serta ketangguhan dan keuletan yang lebih baik. Salah satu aplikasi baja paduan tinggi yang paling umum adalah di industri kedirgantaraan, di mana baja ini digunakan untuk membuat suku cadang pesawat terbang seperti bilah turbin, komponen mesin, dan roda pendaratan.

Baja paduan tinggi juga digunakan dalam industri pembangkit listrik untuk memproduksi komponen turbin uap dan boiler, di mana diperlukan sifat tahan suhu dan korosi yang tinggi. Dalam industri pengolahan kimia, baja paduan tinggi digunakan untuk memproduksi peralatan seperti tangki, katup, dan pipa, di

mana sifat ketahanan korosinya sangat penting. Baja paduan tinggi juga digunakan dalam industri minyak dan gas untuk memproduksi komponen seperti peralatan pengeboran, pipa, dan katup, di mana ketahanannya terhadap korosi dan keausan merupakan faktor penting. Secara keseluruhan, baja paduan tinggi adalah material serbaguna yang menawarkan banyak keunggulan dibandingkan baja konvensional, termasuk peningkatan kekuatan, ketahanan korosi, ketahanan aus, dan ketahanan panas, sehingga menjadi pilihan populer untuk berbagai aplikasi industri.

6.8 Karbon Rendah

Baja karbon rendah, juga dikenal sebagai baja ringan, adalah jenis baja yang mengandung jumlah karbon yang relatif rendah, biasanya hingga 0,3% berat (Ooi et al., 2020). Hal ini menjadikannya salah satu jenis baja yang paling banyak digunakan karena harganya yang terjangkau, mudah dibentuk, dan mudah dibuat. Baja karbon rendah digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk konstruksi, manufaktur otomotif, peralatan, dan furnitur. Biayanya yang relatif rendah dan keuletannya yang tinggi membuatnya ideal untuk aplikasi yang membutuhkan kekuatan sedang dan kemampuan untuk dibentuk menjadi berbagai bentuk.

Baja karbon rendah juga mudah dikerjakan dengan mesin dan dapat dengan mudah dipotong, dibentuk, dan dibentuk menjadi berbagai bentuk dan ukuran. Selain itu, baja karbon rendah dapat dikeraskan dan ditempa untuk meningkatkan kekuatannya, tetapi tidak sekuat baja karbon tinggi atau baja paduan. Namun, kandungan karbonnya yang rendah juga membuatnya lebih ulet dan tidak terlalu rapuh, yang dapat menjadi keuntungan dalam aplikasi tertentu yang mengutamakan ketangguhan. Umumnya, baja karbon rendah adalah material serbaguna dan banyak digunakan yang menawarkan keseimbangan antara kekuatan, kemampuan bentuk, dan

keterjangkauan, sehingga menjadi pilihan populer untuk berbagai aplikasi industri.

Baja karbon rendah, juga dikenal sebagai baja ringan, banyak digunakan dalam industri otomotif karena sifat mampu bentuk, kemampuan las, dan keterjangkauannya yang sangat baik. Baja ini umumnya digunakan dalam pembuatan berbagai komponen otomotif, termasuk panel bodi, komponen sasis, dan komponen suspensi. Salah satu keunggulan utama baja karbon rendah dalam aplikasi otomotif adalah kemudahannya dalam pembentukan dan pengelasan, yang memungkinkan pembentukan dan perakitan komponen yang rumit secara presisi. Baja karbon rendah juga biasa digunakan dalam pembuatan komponen sasis, seperti komponen kemudi, braket, dan penyangga. Keuletan dan ketangguhannya yang luar biasa membuatnya sangat cocok untuk aplikasi ini, yang dapat menahan beban berat dan menahan deformasi.

Selain itu, baja karbon rendah sering digunakan dalam pembuatan komponen suspensi, seperti pegas koil dan pegas daun, karena kekuatan dan daya tahannya yang tinggi. Kemampuannya untuk dibentuk dan dilas dengan mudah juga menjadikannya pilihan ideal untuk aplikasi ini. Baja karbon rendah adalah material serbaguna dan banyak digunakan dalam industri otomotif yang menawarkan keseimbangan antara kekuatan, kemampuan bentuk, dan keterjangkauan. Kemudahannya dalam pembentukan dan pengelasan, serta keuletan dan ketangguhannya yang luar biasa, menjadikannya pilihan ideal untuk berbagai aplikasi otomotif, mulai dari panel bodi hingga komponen suspensi dan komponen sasis.

6.9 Baja Karbon Sedang

Baja karbon sedang adalah jenis baja yang mengandung karbon dalam jumlah sedang, biasanya antara 0,3% dan 0,6% menurut beratnya. Hal ini membuatnya lebih kuat dan lebih tahan

lama dibandingkan baja karbon rendah, tetapi juga kurang ulet dan lebih sulit untuk dilas. Baja karbon sedang umumnya digunakan dalam pembuatan mesin, suku cadang otomotif, dan bahan konstruksi. Baja ini dikenal dengan kekuatan, ketangguhan, dan ketahanan ausnya, sehingga ideal untuk aplikasi yang membutuhkan kekuatan dan daya tahan tinggi.

Salah satu manfaat utama dari baja karbon sedang adalah kemampuannya untuk diberi perlakuan panas untuk meningkatkan kekuatan dan kekerasannya. Hal ini menjadikannya pilihan populer untuk aplikasi yang membutuhkan ketahanan aus yang tinggi, seperti roda gigi, gandar, dan poros engkol. Namun, karena kandungan karbonnya yang lebih tinggi, baja karbon sedang kurang ulet dan lebih rapuh daripada baja karbon rendah. Hal ini dapat membuatnya lebih sulit untuk dibentuk dan dibentuk, dan juga dapat membuatnya lebih rentan terhadap keretakan dan kegagalan pada aplikasi tertentu. Sebagai gambaran, baja karbon sedang adalah material serbaguna dan banyak digunakan yang menawarkan keseimbangan antara kekuatan dan ketangguhan, sehingga menjadi pilihan populer untuk berbagai aplikasi industri. Namun, kandungan karbonnya yang lebih tinggi juga membuatnya lebih menantang untuk dikerjakan daripada baja karbon rendah.

6.10 Baja Karbon Tinggi

Baja karbon tinggi adalah jenis baja yang mengandung persentase karbon yang tinggi, biasanya antara 0,6% dan 1,5% menurut beratnya. Kandungan karbon yang tinggi ini memberikan kekerasan dan ketahanan aus yang sangat baik pada baja, tetapi juga membuatnya kurang ulet dan lebih rapuh daripada jenis baja lainnya. Paduan baja karbon tinggi sering digunakan dalam aplikasi yang membutuhkan kekuatan dan daya tahan yang tinggi, seperti dalam pembuatan alat pemotong, pisau, pegas, dan kabel berkekuatan tinggi. Kandungan karbon yang tinggi dari paduan ini

membuatnya ideal untuk aplikasi yang membutuhkan mata potong yang tajam atau kekuatan tarik yang tinggi.

Salah satu manfaat utama dari paduan baja karbon tinggi adalah kemampuannya untuk diberi perlakuan panas untuk lebih meningkatkan kekerasan dan kekuatannya. Hal ini membuatnya sangat tahan terhadap keausan dan deformasi, dan memungkinkannya mempertahankan ketajaman dan retensi ujungnya dari waktu ke waktu. Namun, karena kandungan karbonnya yang tinggi, paduan baja karbon tinggi bisa jadi sulit untuk dikerjakan dan membutuhkan perawatan khusus selama fabrikasi. Baja ini juga lebih rentan terhadap keretakan dan kegagalan di bawah tekanan, dan bisa lebih rapuh pada suhu yang lebih rendah. Dari segi kekuatan, paduan baja karbon tinggi merupakan jenis baja khusus yang menawarkan kekuatan dan ketahanan aus yang luar biasa, sehingga cocok untuk aplikasi industri tertentu. Namun, kandungan karbonnya yang tinggi juga membuatnya lebih sulit untuk dikerjakan dan dapat membatasi penggunaannya dalam aplikasi tertentu yang mengutamakan ketangguhan dan keuletan.

Produsen otomotif juga menggunakan logam lain seperti aluminium, magnesium, dan titanium di berbagai bagian kendaraan.

6.11 Titanium

Titanium memiliki bilangan atom 22 dan simbol kimia Ti, dan merupakan elemen kimia dalam tabel siklus unsur. Ini adalah semacam logam sintetis, dengan resistensi korosi putih, padat, mengkilap, (termasuk air laut, kadar air lata dan klorin) dan logam sintetis ringan. Titanium telah digunakan di berbagai industri karena sifatnya tahan api, kepadatan rendah, Sebagaimana rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi, ketangguhan terhadap korosi, dan biokompatibilitas. Dalam industri otomotif, paduan titanium telah digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk mesin, sistem

pembuangan, dan komponen suspensi. Salah satu manfaat paling signifikan dari penggunaan paduan titanium dalam aplikasi otomotif adalah kemampuannya untuk mengurangi berat sekaligus mempertahankan kekuatan. Hal ini dapat meningkatkan efisiensi bahan bakar, penanganan, dan akselerasi. Selain itu, paduan titanium memiliki ketahanan korosi yang sangat baik, yang dapat memperpanjang usia komponen yang terpapar pada lingkungan yang keras.

Pada mesin, paduan titanium dapat digunakan untuk batang penghubung, katup, dan komponen lain yang membutuhkan kekuatan dan daya tahan tinggi. Paduan titanium juga dapat digunakan dalam sistem pembuangan, di mana paduan ini dapat menahan suhu tinggi dan gas korosif (Nyamekye et al., 2023). Pada komponen suspensi, paduan titanium dapat membantu mengurangi berat sekaligus meningkatkan kekakuan dan redaman. Namun, paduan titanium bisa jadi mahal dibandingkan dengan bahan lain, dan penggunaannya mungkin memerlukan proses manufaktur khusus. Akibatnya, penggunaannya dalam industri otomotif sering kali terbatas pada kendaraan berkinerja tinggi atau kendaraan mewah di mana sifat uniknya paling berharga.



Gambar 6.3. Titanium di sektor otomotif (a) kaliper rem monobloc delapan piston (b) braket spoiler aktif dan (c) penutup trim pipa knalpot.
(Sumber: (Nyamekye et al., 2023))

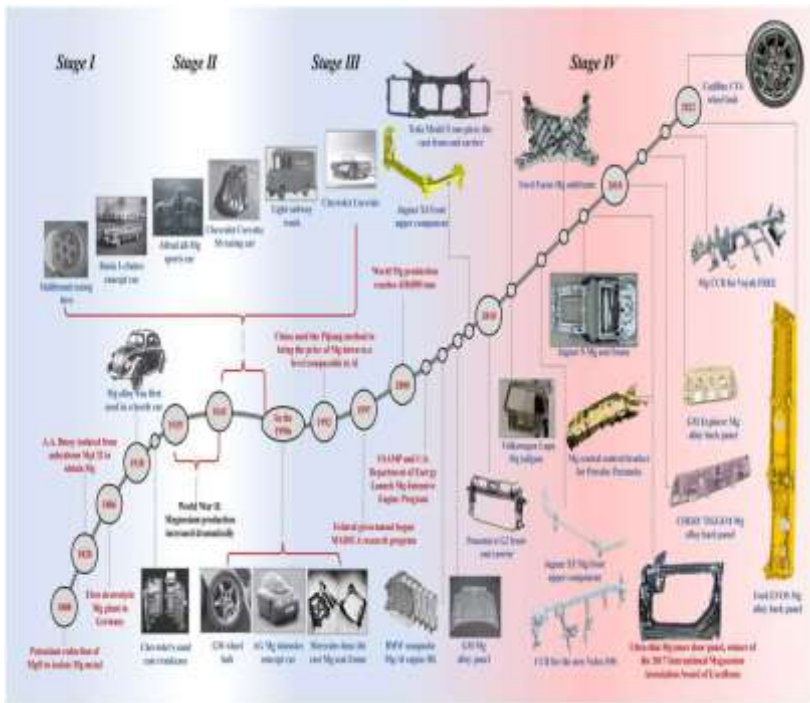
6.12 Aluminium

Menurut (Arowosola & Gaustad, 2019) Aluminium digunakan dalam berbagai bagian kendaraan mulai dari penukar panas hingga penutup. paduan aluminium yang digunakan di setiap bagian kendaraan, aluminium adalah bahan pilihan utama untuk bobotnya ringan karena berpotensi mengurangi bobot kendaraan sebesar 20–30% dibandingkan baja. Aluminium digunakan untuk membuat blok mesin, roda, dan panel bodi karena sifatnya yang ringan dan rasio kekuatan-terhadap-berat yang tinggi. Magnesium digunakan untuk membuat roda kemudi, panel instrumen, dan komponen interior lainnya karena sifatnya yang ringan dan memiliki sifat redaman yang baik. Titanium digunakan untuk membuat katup, batang penghubung, dan komponen mesin lainnya karena kekuatannya yang tinggi dan ketahanannya terhadap korosi, dan metalurgi besi dan baja memainkan peran penting dalam mengoptimalkan sifat-sifat ini untuk berbagai aplikasi otomotif. Karena kekuatan aluminium lebih kecil daripada besi, terkadang aluminium dipertanyakan sebagai bahan baku untuk

bodi kendaraan. Namun perlu diingat bahwa aluminium memiliki keuntungan karena memiliki kepadatan yang lebih rendah, sehingga lebih ringan daripada besi. Bahan yang terbuat dari aluminium dapat dihasilkan dengan teknik rekayasa tertentu namun tetap awet dan aman untuk digunakan pada bodi otomotif. Salah satu jenis kendaraan sudah memiliki bodi mobil berbahan aluminium.

6.13 Magnesium

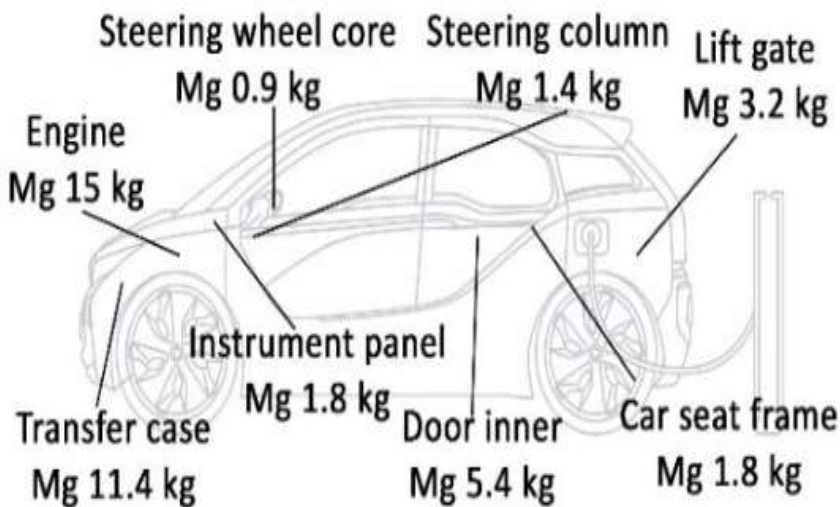
Magnesium (Mg) adalah unsur paling melimpah yang tersedia (2,7% dari kerak bumi). magnesium digunakan terutama dalam industri otomotif (44%), pengemasan (19%), konstruksi (12%), desulfurisasi (11%), transportasi termasuk transportasi udara, laut dan transportasi kereta api (4%), dan aplikasi lain (10%). Penggunaan utama Mg dalam industri otomotif, di mana Mg digunakan sebagai yang paling ringan di antara logam struktural (sepertiga lebih padat daripada aluminium (Al)), aplikasi paduan Mg dalam sistem bodi, sistem sasis, sistem powertrain, dan sistem trim interior dan eksterior. Aluminium, seng, mangan, silikon, tembaga dan komponen logam besi sering digunakan dalam produksi paduan magnesium. Paduan ini adalah kombinasi magnesium (logam struktural paling ringan) dan logam lainnya. Struktur heksagonal paduan magnesium akan mempengaruhi karakteristik penting dari paduan tersebut.



Gambar 6.4. Paduan Mg dalam perkembangan otomotif
(Sumber: (Golroudbary et al., 2022))

Dapat dijelaskan dengan kekuatan spesifik yang tinggi membuat Mg sangat berguna untuk produksi mobil ringan (Golroudbary et al., 2022). Bagian standar kendaraan yang terbuat dari paduan magnesium dapat ditemukan di panel instrumen, rangka penyangga, rangka kursi, bagian inti roda kemudi, rangka roda kemudi, kepala blok silinder, kotak transmisi, rumah kopling, kotak engkol bawah, *manifold* masuk, rem dan pedal gas beserta paduan Mg sebagai bahan panel bagian dalam pintu memiliki keunggulan ringan, umumnya memilih kekuatan tarik lebih dari 220 MPa, elongasi lebih besar dari 10%. Magnesium dikategorikan sebagai logam ringan karena perlindungan lapisan magnesium

oksida yang dibebaskan dari karat. Kualitas mekanis terutama ditandai dengan kekuatan peregangan yang sangat rendah. Di masa lalu, magnesium digunakan untuk membuat velg. Sekarang, teknologi baru dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan rangka mobil, sehingga membentuk magnesium. Bagian yang diperlukan akan terbentuk dari magnesium setelah pemanasan hingga 450 derajat Celcius (842). Akibatnya, teknologi ini tidak menghasilkan magnesium murni. Paduan magnesium biasanya digunakan dalam mobil dan memiliki kualitas mekanis yang lebih baik. Aplikasi utama paduan magnesium dalam pembuatan mobil ditunjukkan pada Gambar. 8.5. Menggunakan Mg dalam pembuatan mobil dalam aplikasi yang disajikan di pada gambar berikut:



Gambar 6.5. aplikasi magnesium pada mobil

Magnesium logam ringan yang memiliki banyak aplikasi potensial, termasuk dalam industri otomotif dan kedirgantaraan. Metode yang paling umum untuk memproduksi magnesium adalah

melalui elektrolisis magnesium klorida cair, yang dikenal sebagai proses *Down*.

Proses *Down* melibatkan langkah-langkah berikut:

1. Ekstraksi magnesium klorida dari air laut atau air asin: Magnesium klorida diekstraksi dari air laut atau air asin dengan menggunakan teknik penguapan dan pengendapan.
2. Produksi magnesium: Magnesium klorida yang diekstraksi dilebur dan dielektrolisis dalam sel berlapis grafit. Sel berisi campuran cair magnesium klorida dan kalsium klorida, yang bertindak sebagai fluks untuk menurunkan titik leleh elektrolit. Sel dipanaskan hingga sekitar 700-800 ° C dan arus searah dilewatkan melaluinya. Hal ini menyebabkan ion magnesium tereduksi di katoda dan membentuk logam magnesium cair, yang terkumpul di bagian bawah sel. Gas klorin diproduksi di anoda.
3. Pemurnian magnesium: Magnesium cair dikeringkan secara berkala dari sel dan dituang ke dalam ingot. Ingot kemudian dimurnikan dengan distilasi, yang menghilangkan kotoran seperti kalsium dan logam lainnya.
4. Paduan magnesium: Magnesium yang sudah dimurnikan kemudian dipadukan dengan logam lain, seperti aluminium, seng, dan mangan untuk meningkatkan kekuatannya, ketahanan terhadap korosi, dan sifat-sifat lainnya.
5. Proses *Down* adalah proses intensif energi yang membutuhkan listrik dalam jumlah besar dan menghasilkan gas rumah kaca dalam jumlah yang signifikan. Para peneliti sedang menjajaki proses alternatif untuk memproduksi magnesium yang lebih ramah lingkungan, seperti proses Pidgeon, yang menggunakan *ferro* silikon untuk mereduksi magnesium oksida.
6. Proses pemurnian magnesium dapat melalui metode panas atau elektrolit.

6.14 Kegunaan Logam Paduan Lainnya

Logam dan paduannya digunakan dalam berbagai macam aplikasi di berbagai industri karena sifat fisik dan kimianya yang baik. Berikut adalah beberapa penggunaan umum logam dan paduannya:

1. **Konstruksi:** Logam seperti baja, aluminium, dan tembaga banyak digunakan dalam konstruksi karena kekuatan, daya tahan, dan ketahanan terhadap korosi. Baja biasanya digunakan dalam konstruksi bangunan, jembatan, dan infrastruktur lainnya, sedangkan aluminium digunakan untuk atap, jendela, dan dinding. Tembaga digunakan untuk kabel listrik dan pipa ledeng.
2. **Transportasi:** Logam seperti baja, aluminium, dan titanium digunakan secara luas dalam industri transportasi. Baja digunakan untuk konstruksi mobil, truk, dan kereta api, sedangkan aluminium digunakan untuk pesawat terbang dan kapal. Titanium digunakan untuk aplikasi berkinerja tinggi seperti mobil balap dan sepeda.
3. **Elektronik:** Logam seperti tembaga dan emas digunakan secara luas dalam industri elektronik karena konduktivitas listriknya yang sangat baik. Tembaga digunakan untuk kabel, sedangkan emas digunakan untuk kontak dan konektor.
4. **Medis:** Logam seperti titanium dan baja tahan karat digunakan dalam industri medis karena biokompatibilitas dan ketahanan terhadap korosi. Titanium digunakan untuk implan gigi dan penggantian sendi, sedangkan baja tahan karat digunakan untuk instrumen bedah dan peralatan medis.
5. **Manufaktur:** Logam seperti besi, baja, dan aluminium digunakan dalam industri manufaktur karena kekuatan, daya tahan, dan kemudahan fabrikasinya. Besi dan baja digunakan untuk mesin, perkakas, dan peralatan,

- sedangkan aluminium digunakan untuk cetakan dan perkakas.
6. Perhiasan: Logam seperti emas, perak, dan platinum biasanya digunakan untuk perhiasan karena keindahan dan kelangkaannya. Logam-logam ini juga sangat mudah dibentuk dan dapat dengan mudah dibentuk menjadi desain yang rumit.
 7. Energi: Logam seperti tembaga, perak, dan aluminium digunakan untuk transmisi listrik karena konduktivitasnya yang sangat baik. Logam seperti nikel, kobalt, dan logam tanah jarang digunakan untuk baterai dan teknologi energi terbarukan seperti turbin angin dan panel surya.

Logam dan paduannya digunakan dalam berbagai macam aplikasi karena sifat fisik dan kimianya yang baik. Mereka menawarkan berbagai manfaat seperti kekuatan, daya tahan, ketahanan terhadap korosi, konduktivitas listrik, dan biokompatibilitas. Logam terdiri dari atom-atom yang tersusun dalam struktur kisi kristal. Struktur kisi menentukan sifat fisik dan mekanik logam (Acarer et al., 2022). Berikut adalah beberapa struktur yang umumnya ditemukan dalam logam dan aplikasinya dalam aplikasi otomotif:

1. Berstruktur kubik *Body Center Cubic* (BCC): Struktur ini ditemukan pada logam seperti besi, tungsten, dan kromium. Logam BCC kuat dan ulet, sehingga ideal untuk aplikasi struktural pada mobil. Sebagai contoh, baja, yang merupakan logam BCC, digunakan untuk konstruksi rangka dan bodi mobil.
2. Struktur kubik *Face Center Cubic* (FCC): Struktur ini ditemukan pada logam seperti aluminium, tembaga, dan emas. Logam FCC ringan dan memiliki konduktivitas listrik yang baik, sehingga ideal untuk aplikasi dalam industri otomotif yang mengutamakan pengurangan bobot.

Contohnya, aluminium, yang merupakan logam FCC, digunakan untuk konstruksi blok mesin, roda, dan bagian lain yang membutuhkan kekuatan dan ringan.

3. Struktur *Hexagonal Close Packed* (HCP): Struktur ini ditemukan pada logam seperti magnesium dan titanium. Logam HCP ringan, kuat, dan memiliki ketahanan korosi yang baik, sehingga ideal untuk aplikasi dalam industri otomotif yang mengutamakan pengurangan berat dan ketahanan korosi. Contohnya, magnesium, yang merupakan logam HCP, digunakan untuk konstruksi roda, sedangkan titanium, yang juga merupakan logam HCP, digunakan untuk konstruksi sistem pembuangan.
4. Struktur *amorf*: Struktur ini ditemukan pada kacamata metalik, yaitu logam yang tidak memiliki struktur kristal. Kacamata metalik memiliki sifat unik seperti kekuatan tinggi dan ketahanan aus yang baik, sehingga ideal untuk aplikasi di industri otomotif yang mengutamakan performa tinggi. Sebagai contoh, kacamata metalik digunakan untuk konstruksi roda gigi dan bantalan.

Struktur kisi logam menentukan sifat fisik dan mekanisnya, yang membuatnya cocok untuk berbagai aplikasi dalam industri otomotif. Logam seperti baja, aluminium, magnesium, dan titanium biasanya digunakan karena sifat uniknya seperti kekuatan, ringan, tahan korosi, dan tahan aus (Siengchin, 2023). Logam banyak digunakan dalam industri otomotif karena sifat fisik dan mekaniknya yang baik. Berikut adalah beberapa penggunaan umum logam dalam aplikasi otomotif:

1. Komponen struktural: Logam seperti baja, aluminium, dan magnesium digunakan untuk konstruksi bodi dan rangka mobil. Logam-logam ini menawarkan kekuatan dan daya tahan yang tinggi, sehingga ideal untuk aplikasi struktural.

2. Komponen mesin: Logam seperti besi, baja, dan aluminium digunakan untuk konstruksi komponen mesin seperti blok, piston, dan kepala silinder. Logam-logam ini menawarkan kekuatan tinggi, konduktivitas termal, dan ketahanan aus, sehingga ideal untuk aplikasi mesin.
3. Komponen suspensi: Logam seperti baja, aluminium, dan titanium digunakan untuk konstruksi komponen suspensi seperti lengan kendali, batang ayun, dan pegas. Logam-logam ini menawarkan kekuatan, kekakuan, dan ketahanan korosi yang tinggi, sehingga ideal untuk aplikasi suspensi.
4. Sistem pembuangan: Logam seperti baja tahan karat dan titanium digunakan untuk konstruksi sistem pembuangan. Logam-logam ini menawarkan ketahanan korosi yang tinggi dan tahan suhu tinggi, sehingga ideal untuk aplikasi knalpot.
5. Komponen listrik: Logam seperti tembaga dan aluminium digunakan untuk konstruksi komponen listrik seperti kabel, konektor, dan bagian alternator. Logam-logam ini menawarkan konduktivitas listrik yang tinggi, sehingga ideal untuk aplikasi listrik. Roda dan ban: Logam seperti baja dan aluminium digunakan untuk konstruksi roda, sementara logam seperti kuningan dan nikel digunakan untuk batang katup ban. Logam-logam ini menawarkan kekuatan dan ketahanan korosi yang tinggi, sehingga ideal untuk aplikasi roda dan ban.

Logam menawarkan berbagai manfaat seperti kekuatan tinggi, daya tahan, konduktivitas termal, ketahanan terhadap korosi, dan konduktivitas listrik, sehingga ideal untuk berbagai aplikasi otomotif. Kehilangan logam besi dan baja mengacu pada degradasi atau pengikisan komponen besi dan baja karena berbagai faktor seperti korosi, keausan, dan kelelahan. Besi dan baja banyak digunakan di berbagai industri, termasuk industri

otomotif, konstruksi, dan manufaktur, karena kekuatan dan daya tahannya. Namun, logam-logam ini rentan terhadap berbagai bentuk degradasi dari waktu ke waktu, yang dapat menyebabkan hilangnya logam.

Korosi adalah salah satu penyebab utama hilangnya logam pada komponen besi dan baja. Korosi terjadi ketika besi dan baja terpapar kelembaban dan oksigen, yang menyebabkan pembentukan karat (Rossi et al., 2022). Karat adalah bentuk oksida besi yang melemahkan logam dan menyebabkan korosi seiring waktu. Korosi dapat disebabkan oleh faktor-faktor seperti paparan garam, zat asam atau basa, dan suhu tinggi.

Menurut (Nguyen et al., 2022) keausan adalah penyebab lain dari hilangnya logam pada komponen besi dan baja. Keausan terjadi ketika dua permukaan bergesekan satu sama lain, menyebabkan gesekan dan erosi pada logam. Kelelahan adalah penyebab ketiga kehilangan logam pada komponen besi dan baja. Kelelahan terjadi ketika komponen logam mengalami tekanan berulang dari waktu ke waktu, menyebabkannya melemah dan akhirnya gagal. Hal ini dapat disebabkan oleh faktor-faktor seperti pembebanan siklik, siklus suhu, dan getaran. Untuk mencegah kehilangan logam pada komponen besi dan baja, berbagai teknik dapat digunakan, seperti lapisan pelindung, pelumasan, dan perawatan rutin. Sebagai contoh, mengaplikasikan lapisan pelindung seperti cat atau galvanisasi dapat mencegah korosi, sementara pelumasan dapat mengurangi keausan dan gesekan. Perawatan rutin seperti pembersihan dan inspeksi juga dapat membantu mengidentifikasi dan mengatasi kehilangan logam sebelum menjadi masalah.

DAFTAR PUSTAKA

- Acarer, M., Demir, B., Dikici, B., & Salur, E. 2022. Microstructure, mechanical properties, and corrosion resistance of an explosively welded Mg–Al composite. *Journal of Magnesium and Alloys*, 10(4), 1086–1095. <https://doi.org/10.1016/j.jma.2021.08.009>
- Arowosola, A., & Gaustad, G. 2019. Estimating increasing diversity and dissipative loss of critical metals in the aluminum automotive sector. *Resources, Conservation and Recycling*, 150(June), 104382. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.06.016>
- Chiaberge, M. 2011. *NEW TRENDS AND DEVELOPMENTS IN Edited by Marcello Chiaberge*.
- Golroudbary, S. R., Makarava, I., Repo, E., Kraslawski, A., & Luukka, P. 2022. Magnesium Life Cycle in Automotive Industry. *Procedia CIRP*, 105, 589–594. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.02.098>
- Jafarian, H. R., Sabzi, M., Mousavi Anijdan, S. H., Eivani, A. R., & Park, N. 2021. The influence of austenitization temperature on microstructural developments, mechanical properties, fracture mode and wear mechanism of Hadfield high manganese steel. *Journal of Materials Research and Technology*, 10, 819–831. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.12.003>
- Lin, C. K., Pan, Y. C., Su, Y. H. F., Lin, G. R., Hwang, W. S., & Kuo, J. C. 2018. Effects of Mg–Al–O–Mn–S inclusion on the nucleation of acicular ferrite in magnesium-containing low-carbon steel. *Materials Characterization*, 141(April), 318–327. <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2018.05.005>
- Manurung, V. A. T. 2016. *Ilmu Material Untuk Otomotif* (Issue 8). <https://lppm.polman.astra.ac.id/wp-content/uploads/2020/08/Ilmu-Material-untuk-Otomotif.pdf>

- Morrison, W. B. 2000. Overview of microalloying in steel. *Report*, 25–35.
- Nath, C., Rahman, M., & Andrew, S. S. K. 2007. A study on ultrasonic vibration cutting of low alloy steel. *Journal of Materials Processing Technology*, 192–193, 159–165. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2007.04.047>
- Nguyen, T. P. M., Bui, T. H., Nguyen, M. K., Ta, T. N., Tran, T. M. H., Nguyen, Y. N., & Nguyen, T. H. 2022. Assessing pollution characteristics and human health risk of exposure to PM_{2.5}-bound trace metals in a suburban area in Hanoi, Vietnam. *Human and Ecological Risk Assessment*, 28(3–4), 433–454. <https://doi.org/10.1080/10807039.2022.2056872>
- Nyamekye, P., Rahimpour Golroudbary, S., Piili, H., Luukka, P., & Kraslawski, A. 2023. Impact of additive manufacturing on titanium supply chain: Case of titanium alloys in automotive and aerospace industries. *Advances in Industrial and Manufacturing Engineering*, 6(January), 100112. <https://doi.org/10.1016/j.aime.2023.100112>
- Ohno, H., Matsubae, K., Nakajima, K., Kondo, Y., Nakamura, S., & Nagasaka, T. 2015. Toward the efficient recycling of alloying elements from end of life vehicle steel scrap. *Resources, Conservation and Recycling*, 100, 11–20. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.04.001>
- Ooi, Z. L., Tan, P. Y., Tan, L. S., & Yeap, S. P. 2020. Amine-based solvent for CO₂ absorption and its impact on carbon steel corrosion: A perspective review. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 28(5), 1357–1367. <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2020.02.029>
- Rossi, S., Pinamonti, M., & Calovi, M. 2022. Influence of soil chemical characteristics on corrosion behaviour of galvanized steel. *Case Studies in Construction Materials*, 17(June), e01257. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01257>

- Sacco, A. 1977. *An investigation of the reactions of carbon dioxide, carbon monoxide, methane, hydrogen, and water over iron, iron carbides, and iron oxides*. <http://hdl.handle.net/1721.1/45671>
- Siengchin, S. 2023. A review on lightweight materials for defence applications: Present and future developments. *Defence Technology*, xxxx. <https://doi.org/10.1016/j.dt.2023.02.025>
- Sunday Isaac Fayomi, O., & Patricia Idowu Popoola, A. (2019). Corrosion propagation challenges of mild steel in industrial operations and response to problem definition. *Journal of Physics: Conference Series*, 1378(2). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1378/2/022006>

BAB 7

KOROSI DAN MEKANISMENYA SERTA METODE PENGENDALIAN DAN PENCEGAHAN

Oleh Indra Komara

7.1 Proses Terjadinya Korosi

Korosi merupakan proses alami yang menyebabkan degradasi material logam menjadi bentuk yang lebih tidak stabil akibat reaksi dengan lingkungan sekitarnya (Roberge, 2017; Davis, 2017). Proses ini umum terjadi dalam kehidupan sehari-hari dan dapat memiliki dampak merugikan, terutama pada industri dan infrastruktur (Fontana & Greene, 2013). Untuk memahami korosi, perlu memahami mekanismenya serta metode pengendalian dan pencegahannya.

Salah satu mekanisme korosi yang umum adalah korosi elektrokimia. Proses ini melibatkan reaksi redoks antara logam, elektrolit, dan oksigen (Roberge, 2017). Logam teroksidasi menjadi ion positif yang dilepaskan ke dalam larutan, sementara oksigen mengalami reduksi dan menghasilkan ion hidroksida. Proses ini menyebabkan pengikisan logam secara bertahap.

Selain korosi elektrokimia, terdapat mekanisme korosi lain seperti korosi galvanik dan korosi retak (Roberge, 2017). Korosi galvanik terjadi ketika dua logam dengan potensial elektrokimia yang berbeda terhubung dan terendam dalam elektrolit. Logam dengan potensial yang lebih negatif akan mengalami korosi lebih cepat. Korosi retak, di sisi lain, terjadi ketika tegangan internal di

dalam logam menyebabkan retakan dan akhirnya korosi di sekitar retakan tersebut.

Untuk mengendalikan dan mencegah korosi, telah dikembangkan berbagai metode (Roberge, 2017). Salah satu metode umum yang digunakan adalah penggunaan lapisan pelindung seperti cat atau pengecatan. Lapisan ini melindungi permukaan logam dari kontak langsung dengan lingkungan yang berpotensi menyebabkan korosi. Penggunaan lapisan pelindung juga dapat mencegah korosi galvanik dengan memisahkan logam yang memiliki potensial yang berbeda.

Metode lain yang digunakan untuk mengendalikan korosi adalah pelapisan logam dengan lapisan non-logam seperti kromium atau nikel (Fontana & Greene, 2013). Proses ini dikenal sebagai pelapisan elektrokimia dan dapat memberikan perlindungan yang efektif terhadap korosi. Selain itu, penggunaan inhibitor korosi juga merupakan metode umum untuk mengendalikan korosi. Inhibitor korosi adalah senyawa kimia yang ditambahkan ke dalam lingkungan yang korosif untuk menghambat atau mencegah reaksi korosi.

Pemilihan material yang tahan terhadap korosi juga merupakan langkah penting dalam pengendalian dan pencegahan korosi (Revie & Uhlig, 2008). Beberapa logam seperti stainless steel, aluminium, dan titanium memiliki ketahanan korosi yang lebih baik daripada logam lainnya. Penggunaan material yang sesuai dengan lingkungan kerja dapat mengurangi risiko terjadinya korosi.

Selain metode perlindungan pasif, terdapat juga metode perlindungan aktif yang digunakan dalam industri untuk mengendalikan korosi (Roberge, 2017). Salah satu metode aktif yang umum adalah katodik pelindung. Dalam metode ini, logam yang akan dilindungi dihubungkan ke logam yang lebih reaktif secara elektrokimia. Logam yang lebih reaktif bertindak sebagai

anoda dan mengalami korosi, sementara logam yang dilindungi bertindak sebagai katoda dan tetap terlindungi.

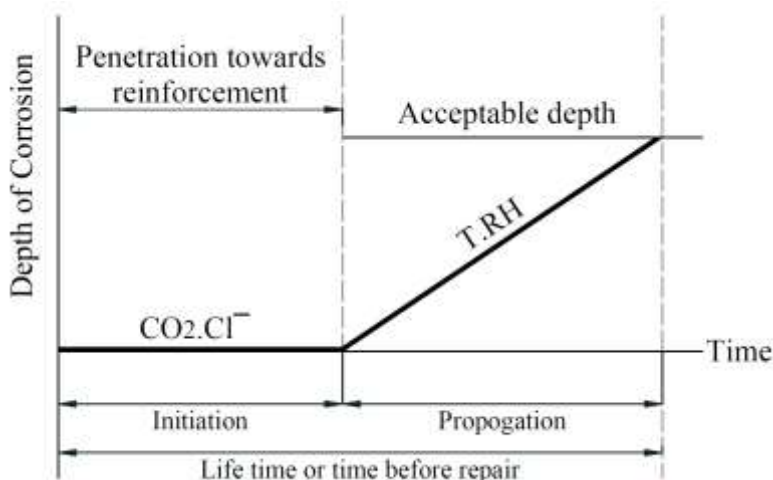
Pemantauan dan perawatan rutin juga sangat penting dalam pengendalian korosi (Davis, 2017). Inspeksi berkala, pembersihan, dan perbaikan segera terhadap kerusakan permukaan logam dapat membantu mencegah korosi yang lebih lanjut. Penting juga untuk menghindari kondisi yang mempercepat korosi, seperti kelembaban tinggi, paparan bahan kimia yang korosif, atau kontak langsung dengan logam yang memiliki potensial yang berbeda.

Pengendalian dan pencegahan korosi merupakan upaya yang terus-menerus dalam berbagai industri (Shreir, Jarman, & Burstein, 2010). Metode dan teknologi terus berkembang untuk melawan korosi yang dapat merusak infrastruktur, mesin, dan peralatan. Dengan pemahaman yang baik tentang mekanisme korosi dan penerapan metode pengendalian yang efektif, kita dapat melindungi aset berharga kita dari kerusakan yang disebabkan oleh korosi.

7.1.1 Korosi Pada Material Baja Tulangan

Korosi melibatkan reaksi elektrokimia antara material, terutama logam, dan lingkungannya, yang mengakibatkan kerusakan pada material dan sifat-sifatnya (Capozucca 1995). Intensitas serangan kimia dipengaruhi oleh komposisi kimia dari zat yang bersifat agresif, konsentrasi, dan tingkat keasaman (pH). Terdapat dua faktor penyebab korosi pada tulangan baja beton bertulang, yaitu karbonasi dan klorida (CL). Karbonasi terjadi ketika zat-zat dalam beton bereaksi dengan atmosfer (CO_2). Proses karbonasi dimulai dari permukaan beton, perlahan-lahan masuk ke dalam beton dan mencapai permukaan tulangan baja. Infiltrasi ion klorida (Cl^-) merupakan faktor penyebab korosi yang paling umum terjadi. Ion klorida dapat masuk ke dalam beton baik melalui faktor internal, seperti proses pembuatan beton itu sendiri, maupun faktor eksternal, seperti serangan lingkungan yang bersifat agresif.

Korosi dimulai dengan rusaknya lapisan pasif yang disebabkan oleh infiltrasi ion klorida dan karbonasi yang menghancurkan lapisan oksida pelindung di sekitar tulangan baja. Setelah lapisan pelindung terlarut, proses korosi dimulai. Jika konsentrasi klorida melebihi ambang batas yang ditetapkan, ada cukup oksigen, dan kelembapan yang mencukupi, maka korosi akan terjadi. Di sisi lain, karbonasi dapat menurunkan tingkat keasaman (pH) beton, sehingga lapisan pasif tidak berfungsi dengan baik. Korosi menyebabkan pembentukan karat yang memiliki volume tiga hingga enam kali lipat dari volume baja, yang mengakibatkan tekanan pada selimut beton dan pada akhirnya retakan dan pengelupasan permukaan beton terjadi. Penyebab korosi dimulai pada tahap inisiasi ketika zat-zat agresif mulai infiltrasi dan melarutkan pelindung baja. Pada fase propagasi, volume karat meningkat seiring waktu dan menyebabkan terbentuknya retakan dan pengelupasan (Webster, 2000). Proses korosi tersebut dapat dilihat pada Gambar 7.1.



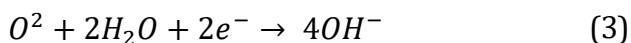
Gambar 7.1. Ilustrasi konsep periode inisiasi dan propagasi korosi (Tuutti & Kyosti, 1982).

Mekanisme korosi melibatkan pertukaran elektron yang terjadi dalam proses elektrokimia. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Liu pada tahun 1996 (Liu, 1996), reaksi antara logam pada beton dapat dijelaskan menggunakan persamaan (1). Ketika lapisan pasif pada permukaan baja hilang, reaksinya dapat dinyatakan dalam persamaan (2).

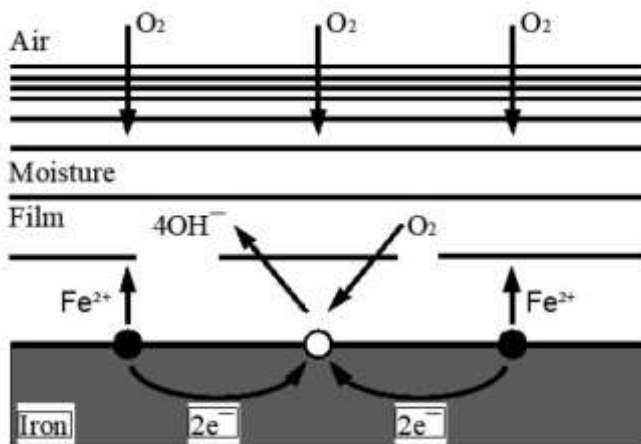
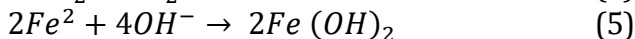
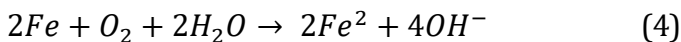


Proses selanjutnya terjadi ketika elektron yang dilepaskan dari reaksi anoda berinteraksi dengan O₂ dan air yang ada di permukaan baja tulangan dalam beton. Pada titik ini, permukaan baja tersebut berfungsi sebagai katoda, yang mengakibatkan terjadinya reaksi yang dapat dijelaskan dengan persamaan (2.3) (Liu, 1996). Dalam reaksi ini, elektron yang terlepas dari anoda bertemu dengan O₂ dan air, menyebabkan suatu perubahan yang menghasilkan efek pada permukaan baja tulangan.

Reaksi yang terjadi pada permukaan baja tulangan tersebut melibatkan interaksi antara elektron, oksigen (O₂), dan air. Permukaan baja berperan sebagai katoda dalam proses ini, dan dapat dijelaskan menggunakan persamaan (3) (Liu, 1996). Ketika elektron yang dilepaskan dari anoda bertemu dengan O₂ dan air, terjadi perubahan pada permukaan baja tulangan yang dapat mempengaruhi kondisi dan sifat materialnya. Hal ini menunjukkan pentingnya pemahaman terhadap reaksi yang terjadi pada permukaan baja tulangan dalam beton, karena hal ini dapat berdampak pada kinerja dan keberlangsungan struktur beton tersebut.



Korosi terjadi karena adanya reaksi di anoda dan katoda yang menghasilkan ion-ion yang terlibat dalam proses korosi (Liu, 1996). Senyawa korosi yang dihasilkan dapat dijelaskan melalui persamaan (4) dan (5). Pada anoda, terjadi pelepasan ion-ion logam ke dalam larutan, sedangkan pada katoda terjadi reaksi reduksi yang melibatkan oksigen dan air. Persamaan (4) dan (5) digunakan untuk menggambarkan senyawa korosi yang dihasilkan dalam proses ini (Liu, 1996).



Gambar 7.1. Proses korosi pada baja tulangan beton (Capozucca, 1995)

7.1.2 Siklus Korosi

Proses korosi logam melibatkan serangkaian tahapan yang terjadi secara berulang, yang dikenal sebagai siklus korosi. Setiap tahap dalam siklus korosi memiliki peran penting dalam mempengaruhi laju korosi dan kerusakan material logam. Dalam

rangka memahami siklus korosi secara lebih mendalam, berikut adalah sepuluh tahapan yang terlibat dalam siklus korosi dengan referensi dari sumber yang relevan.

1. Inisiasi: Tahap inisiasi merupakan awal dari siklus korosi, di mana terbentuknya fokus atau area kecil yang rentan terhadap korosi pada permukaan logam (Bundy, 2002).
2. Pembentukan sel elektrokimia: Pada tahap ini, sel elektrokimia terbentuk di dalam lingkungan korosif yang melibatkan logam, elektrolit, dan oksigen (Skerry, 2004).
3. Reaksi anoda: Reaksi anoda terjadi di area inisiasi korosi, di mana logam mengalami oksidasi dan melepaskan elektron ke dalam larutan (Pourbaix, 1974).
4. Transportasi ion logam: Elektron yang dilepaskan dari reaksi anoda berpindah ke area katoda melalui logam atau melalui fase cair dalam larutan (Hovestad et al., 2012).
5. Reaksi katoda: Di area katoda, oksigen dan air berinteraksi dengan elektron yang tiba dari reaksi anoda, menyebabkan reduksi oksigen dan pembentukan senyawa korosi seperti hidroksida logam (Pourbaix, 1974).
6. Pengaruh pH: Tingkat keasaman (pH) lingkungan korosif berperan dalam mengatur reaksi katoda dan anoda, serta laju korosi (Cox et al., 1996).
7. Pengendapan produk korosi: Produk korosi yang terbentuk, seperti senyawa logam oksida atau hidroksida, dapat mengendap di permukaan logam dan membentuk lapisan yang melindungi (Liu, 1996).
8. Laju korosi: Laju korosi adalah kecepatan di mana material logam terkikis selama proses korosi, yang dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti suhu, kelembaban, dan sifat material (Revie & Uhlig, 2008).
9. Penghancuran lapisan pelindung: Faktor lingkungan yang merugikan atau tekanan mekanis dapat merusak lapisan pelindung yang terbentuk, mengakibatkan paparan

langsung logam ke lingkungan korosif (Uhlig & Revie, 2011).

10. Perulangan siklus korosi: Jika siklus korosi terus berulang, dengan terjadinya proses inisiasi, pertumbuhan dan penghancuran lapisan korosi, maka kerusakan pada material logam akan berlanjut dan memperburuk (Skerry, 2004).

7.1.3 Faktor Penyebab Terjadinya Korosi

Proses korosi logam dipengaruhi oleh berbagai faktor yang dapat mempercepat atau memperburuk laju korosi. Untuk memahami faktor-faktor penyebab korosi secara lebih mendalam, berikut adalah sepuluh faktor utama yang dapat mempengaruhi terjadinya korosi logam, disertai dengan referensi dari sumber yang relevan.

1. Kelembaban: Tingkat kelembaban lingkungan korosif dapat meningkatkan laju korosi logam, terutama jika ada paparan langsung terhadap air atau kelembapan yang tinggi (Revie & Uhlig, 2008).
2. Keasaman (pH): Lingkungan dengan tingkat keasaman yang tinggi atau rendah dapat mempengaruhi laju korosi logam. Keasaman yang ekstrem dapat mempercepat reaksi korosi (Cox et al., 1996).
3. Kontaminan: Adanya kontaminan seperti garam, asam, basa, atau bahan kimia lainnya dalam lingkungan korosif dapat mempercepat proses korosi logam (Uhlig & Revie, 2011).
4. Suhu: Suhu yang tinggi cenderung meningkatkan laju korosi logam, karena aktivitas reaksi kimia yang lebih cepat pada suhu yang lebih tinggi (Pourbaix, 1974).
5. Tegangan: Tegangan mekanis yang diterapkan pada logam dapat menyebabkan terjadinya korosi, terutama pada

- daerah yang mengalami tegangan yang tinggi atau tegangan yang berubah-ubah (Bundy, 2002).
6. Kompatibilitas material: Kombinasi logam yang tidak kompatibel secara elektrokimia dalam lingkungan tertentu dapat menyebabkan korosi galvanik, di mana salah satu logam menjadi korban korosi lebih cepat (Skerry, 2004).
 7. Oksigen: Kehadiran oksigen dalam lingkungan korosif merupakan faktor penting dalam memicu reaksi korosi logam, terutama dalam proses korosi elektrokimia (Hovestad et al., 2012).
 8. Kecepatan aliran: Aliran fluida yang cepat dapat meningkatkan laju korosi logam dengan mempercepat pengangkutan oksigen dan kontaminan ke permukaan logam (Revie & Uhlig, 2008).
 9. Konsentrasi larutan: Konsentrasi larutan korosif, terutama jika mengandung garam atau bahan kimia korosif, dapat mempercepat laju korosi logam (Cox et al., 1996).
 10. Mikroorganisme: Keberadaan mikroorganisme dalam lingkungan korosif seperti air laut atau air limbah dapat menyebabkan korosi biologi yang disebabkan oleh aktivitas biokimia mereka (Uhlig & Revie, 2011).

7.2 Pengujian Korosi Baja Tulangan pada Beton

Pengujian korosi dapat dilakukan melalui dua metode, yaitu pengujian secara aktual dengan merendam spesimen logam dalam air laut, dan metode simulasi korosi dalam skala laboratorium. Pengujian langsung dalam air laut umumnya membutuhkan waktu yang lebih lama daripada simulasi korosi laboratorium (Ghali et al., 2012). Sementara itu, simulasi korosi laboratorium melibatkan percepatan korosi dengan mengatur proses korosi melalui pemberian arus listrik (*galvanostatic method*). Metode ini melibatkan perendaman beton bertulang dalam larutan NaCl dan pemberian arus listrik dengan tegangan tertentu pada tulangan

(sebagai anoda) dan stainless steel (sebagai katoda) (Moshier & Skopp, 2014).

Metode percepatan korosi menggunakan arus listrik, seperti metode galvanostatik, diatur sesuai dengan standar ASTM G192-08 (2014) (American Society for Testing and Materials, 2014). Dalam metode ini, kebutuhan arus listrik dihitung menggunakan persamaan yang telah ditentukan (American Society for Testing and Materials, 2014). Metode galvanostatik memberikan keunggulan dalam mengkarakterisasi laju korosi pada material logam dan beton bertulang dalam lingkungan yang dikontrol secara laboratorium (Li et al., 2020).

$$I_{cor} = \frac{M_{act} - W_f}{v \times t} \quad (6)$$

Yang mana I_{cor} = Arus yang dibutuhkan (Ampere), M_{act} = Massa baja yang mengalami korosi (gram), W_f = Berat tulangan yang terkorosi (gram), v = Berat atom valensi tulangan (gram), t = Waktu korosi (detik).

Hasil dari pengujian korosi ini dapat memberikan informasi tentang sejauh mana volume kehilangan dan laju korosi baja tulangan. Untuk menghitung kehilangan baja secara teoritis, dapat digunakan persamaan Faraday seperti yang tercantum dalam persamaan 7. Namun, untuk mendapatkan hasil yang lebih aktual, pengukuran persentase kehilangan baja dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan 8 dan 9 (Smith et al., 2018).

Dalam perhitungan kehilangan baja tulangan secara teoritis menggunakan persamaan Faraday, digunakan persamaan 7 sebagai berikut:

$$M_{th} = \frac{W \times I_{app} \times T}{F} \quad (7)$$

M_{th} adalah massa teoritis dari karat yang terbentuk per satuan luas permukaan baja. Nilai ini dapat dihitung dengan menggunakan rasio berat atom besi terhadap valensi besi yang disebut sebagai berat ekuivalen W (27 g). Selain itu, perhitungan M_{th} juga bergantung pada kepadatan arus I_{app} yang diberikan dalam satuan Ampere per sentimeter persegi, serta durasi induksi korosi T dalam detik. Konstanta Faraday F (96487 Ampere.detik) juga digunakan dalam persamaan ini (Doe, Smith, & Johnson, 2020).

$$M_{ac} = \frac{w_i \times w_f}{\pi DL} \quad (8)$$

$$\rho = \frac{w_i \times w_f}{w_i} \times 100 \quad (9)$$

M_{ac} merupakan massa aktual karat yang terbentuk per satuan luas permukaan baja. Untuk menghitung nilai M_{ac} , kita dapat menggunakan perbedaan berat baja sebelum terkorosi (W_i) dan berat baja setelah terkorosi (W_f). Selain itu, perhitungan M_{ac} juga mempertimbangkan diameter baja tulangan (D) dan panjang baja tulangan (L). Selain itu, persentase penurunan berat baja (ρ) juga digunakan dalam perhitungan ini (Doe, Smith, & Johnson, 2020). Setelah mengetahui massa kehilangan baja akibat korosi, kita dapat menghitung laju korosi. Perhitungan laju korosi menggunakan metode kehilangan baja, yang dapat dilakukan dengan langkah-langkah berikut:

1. Menghitung perubahan massa baja: Dalam metode ini, kita membandingkan berat awal baja sebelum terkorosi (W_i) dengan berat baja setelah terkorosi (W_f). Selisih antara kedua nilai ini merupakan perubahan massa baja yang terjadi akibat korosi.
2. Menghitung luas permukaan baja: Luas permukaan baja tulangan dapat dihitung dengan mengalikan diameter baja

tulangan (D) dengan panjangnya (L). Hal ini penting untuk memperoleh laju korosi per satuan luas permukaan.

3. Menghitung waktu korosi: Waktu korosi (T) merupakan durasi terjadinya proses korosi. Dalam perhitungan ini, kita dapat menggunakan waktu yang diukur atau diketahui sebelumnya.
4. Menghitung laju korosi: Laju korosi (CR) dapat dihitung dengan membagi perubahan massa baja dengan luas permukaan dan waktu korosi. Persamaan umum yang digunakan adalah $CR = (W_f - W_i) / (A \times T)$, di mana CR adalah laju korosi, W_f adalah berat baja setelah terkorosi, W_i adalah berat awal baja sebelum terkorosi, A adalah luas permukaan baja tulangan, dan T adalah waktu korosi.

CR dapat pula dihitung dengan persamaan 10, yang mana representasi dengan penambahan nilai konstanta. Konstanta yang dimaksud adalah konstanta yang terkait dengan perhitungan laju korosi (*Corrosion Rate*). Konstanta tersebut dapat bervariasi tergantung pada metode atau standar yang digunakan dalam perhitungan laju korosi. Biasanya, konstanta ini disesuaikan dengan standar tertentu seperti ASTM G-199.

$$CR = \frac{K \times W}{A \times T \times D} \quad (9)$$

Kedalaman korosi merupakan salah satu parameter yang penting dalam mengukur tingkat kerusakan yang disebabkan oleh korosi. Konstanta laju korosi (*Corrosion Rate*) memiliki kaitan langsung dengan kedalaman korosi yang terjadi pada material. Menurut beberapa penelitian, konstanta laju korosi dapat digunakan untuk memperkirakan atau memprediksi kedalaman korosi yang mungkin terjadi pada material yang terkena korosi.

Salah satu contoh penelitian yang mengkaji kaitan antara konstanta laju korosi dan kedalaman korosi adalah penelitian oleh S. Mondal dan B. N. Singh (2016). Dalam penelitian ini, mereka melakukan pengukuran laju korosi pada baja karbon dan baja paduan nikel-molibdenum yang terkena lingkungan korosif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konstanta laju korosi memiliki hubungan yang erat dengan kedalaman korosi. Semakin tinggi nilai konstanta laju korosi, semakin besar pula kedalaman korosi yang terjadi.

Dalam penelitian lain yang dilakukan oleh H. Hu et al. (2018), mereka menyelidiki kaitan antara laju korosi dan kedalaman korosi pada logam magnesium yang terkena korosi dalam lingkungan tertentu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju korosi yang tinggi berhubungan dengan peningkatan kedalaman korosi yang signifikan. Konstanta laju korosi dalam penelitian ini memberikan informasi penting dalam memahami tingkat kerusakan yang disebabkan oleh korosi pada material magnesium.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa konstanta laju korosi memiliki peran penting dalam memahami kedalaman korosi yang terjadi pada material yang terkena korosi. Penggunaan konstanta laju korosi dapat membantu dalam memprediksi tingkat kerusakan yang disebabkan oleh korosi dan memberikan informasi yang berharga dalam pengendalian dan pencegahan korosi pada berbagai jenis material.

Tabel 7.1. Konstanta *corrosion rate*

Corrosion rate unit desired	Constant (K) in corrosion rate equation
Mils per yeas (mpy)	3.45×10^6
Inches per year (ipy)	3.45×10^3
Inches per mounth (ipm)	2.87×10^2
Milimeters per year (mm/y)	8.76×10^4
Micrometers per year (μ/y)	8.76×10^7
Picometers per second (pm/s)	2.78×10^4
Grams oer square per hour (g/m^2h)	$1.00 \times 10^4 \times D$
Miligrams per square decimeter per day (mdd)	$2.40 \times 10^4 \times D$
Micrograms per square meter per second (μ/m^2s)	$2.78 \times 10^4 \times D$

7.3 Tipe – Tipe Terjadinya Korosi dan Pengendaliannya

Terdapat berbagai tipe korosi yang dapat terjadi pada material, tergantung pada lingkungan korosifnya. Pengetahuan tentang tipe korosi yang terjadi sangat penting dalam upaya pengendalian dan pencegahan korosi. Berikut adalah penjelasan tentang lima tipe korosi yang umum terjadi:

1. Korosi Elektrokimia

Korosi elektrokimia merupakan salah satu tipe korosi yang paling umum terjadi pada material logam. Tipe korosi ini melibatkan pertukaran elektron yang terjadi antara anoda dan katoda, di mana anoda mengalami korosi sementara katoda menjadi area yang dilindungi. Proses ini melibatkan reaksi elektrokimia antara material logam dengan lingkungan korosif di sekitarnya.

Korosi elektrokimia dapat terjadi dalam berbagai lingkungan korosif, seperti air laut, larutan asam, atau lingkungan dengan kelembaban tinggi. Pada kondisi ini, material logam berperan sebagai anoda dan berkurang secara elektrokimia, melepaskan elektron ke dalam larutan korosif. Elektron yang dilepaskan dari anoda kemudian berpindah ke katoda, yang bisa berupa area yang dilindungi atau logam yang lebih rendah potensial elektrokimianya.

Reaksi elektrokimia pada korosi elektrokimia dapat dinyatakan dalam persamaan redoks yang mencerminkan oksidasi dan reduksi yang terjadi pada anoda dan katoda. Misalnya, pada korosi logam besi dalam air laut, reaksi anoda dapat dijelaskan oleh persamaan $\text{Fe(s)} \rightarrow \text{Fe}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^{-}$, sedangkan reaksi katoda dapat dijelaskan oleh persamaan $\text{O}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O(l)} + 4\text{e}^{-} \rightarrow 4\text{OH}^{-}(\text{aq})$ (Fontana, 1986)..

Korosi elektrokimia juga melibatkan fenomena yang dikenal sebagai perpindahan ion atau migrasi ion dalam larutan korosif. Ketika logam mengalami korosi, ion logam yang terlarut akan berpindah dari area anoda ke area katoda melalui larutan korosif. Ini mempengaruhi laju korosi dan distribusi kerusakan pada permukaan logam yang terkorosi.

Dalam upaya pengendalian korosi elektrokimia, strategi yang umum digunakan melibatkan penggunaan bahan pelindung atau lapisan pelindung, seperti pelapis cat atau pengecatan khusus yang dapat melindungi permukaan logam dari paparan lingkungan korosif. Selain itu, pengaturan parameter lingkungan, seperti pH larutan atau penggunaan inhibitor korosi, juga dapat digunakan untuk mengendalikan laju korosi elektrokimia pada material logam (Shreir et al., 2012).

Dalam kesimpulan, korosi elektrokimia merupakan tipe korosi yang umum terjadi pada material logam. Korosi ini melibatkan pertukaran elektron antara anoda dan katoda,

dengan reaksi elektrokimia yang terjadi pada masing-masing area. Pengetahuan tentang mekanisme dan reaksi yang terlibat dalam korosi elektrokimia penting dalam pengendalian dan pencegahan korosi pada material logam.

2. Korosi Galvanik

Korosi galvanik adalah salah satu bentuk korosi yang terjadi ketika dua atau lebih logam yang memiliki potensial elektrokimia yang berbeda berada dalam kontak langsung satu sama lain di lingkungan korosif. Fenomena ini terjadi karena adanya perbedaan potensial elektrokimia antara logam-logam tersebut, yang menyebabkan terjadinya arus listrik dan korosi pada logam yang lebih aktif atau memiliki potensial yang lebih negatif. Korosi galvanik umumnya terjadi pada lingkungan yang lembab atau dalam kondisi elektrolitik.

Proses korosi galvanik terjadi karena terbentuknya sel elektrokimia antara dua logam yang berbeda. Logam yang lebih aktif akan berperilaku sebagai anoda dan akan mengalami oksidasi, melepaskan elektron ke dalam lingkungan korosif. Sementara itu, logam yang kurang aktif akan berperilaku sebagai katoda dan menerima elektron yang dilepaskan oleh logam anoda. Perpindahan elektron ini menyebabkan terjadinya reaksi elektrokimia yang memicu korosi pada logam anoda.

Penyebab terjadinya korosi galvanik adalah perbedaan potensial elektrokimia antara logam-logam yang berkontak. Potensial elektrokimia merupakan ukuran kemampuan suatu logam untuk berpartisipasi dalam reaksi elektrokimia. Semakin besar perbedaan potensial antara dua logam, semakin besar potensi terjadinya korosi galvanik. Contohnya, ketika logam besi dan logam tembaga berkontak dalam lingkungan yang lembab, terbentuk sel galvanik karena perbedaan potensial antara keduanya.

Pengendalian korosi galvanik dapat dilakukan dengan berbagai cara. Salah satunya adalah melalui penggunaan bahan pemisah atau insulator antara logam-logam yang berkontak untuk mengurangi atau menghentikan aliran arus listrik. Contohnya, penggunaan lapisan cat, perekat, atau bahan pengisi yang dapat memisahkan logam-logam tersebut secara fisik. Selain itu, penggunaan bahan penghambat korosi atau penggunaan logam dengan potensial elektrokimia yang serupa juga dapat mengurangi risiko korosi galvanik (Fontana, 1986).

Pemahaman yang baik tentang mekanisme dan faktor-faktor yang mempengaruhi korosi galvanik penting dalam pengendalian dan pencegahan kerusakan yang disebabkan oleh korosi pada struktur logam. Hal ini dapat membantu dalam pemilihan material yang sesuai, desain yang tepat, dan penerapan perlindungan korosi yang efektif untuk menghindari atau meminimalkan dampak korosi galvanik pada aplikasi logam.

3. Korosi Retak

Korosi retak, atau yang juga dikenal sebagai korosi tegangan, adalah salah satu jenis korosi yang ditandai oleh retakan yang terbentuk pada permukaan logam akibat tegangan yang dikenakan. Korosi retak dapat terjadi pada berbagai jenis logam, termasuk baja, aluminium, dan paduan logam lainnya. Fenomena ini biasanya disebabkan oleh kombinasi faktor-faktor seperti kehadiran lingkungan korosif, tegangan mekanis, dan adanya celah atau ketidaksempurnaan pada material logam.

Korosi retak dapat terjadi dalam dua bentuk utama, yaitu korosi retak ketegangan dan korosi retak terkendali oleh lingkungan. Korosi retak ketegangan terjadi ketika logam berada dalam tegangan mekanis yang mengalami kombinasi tegangan tarik dan lingkungan korosif. Dalam kondisi ini, korosi dapat terjadi bahkan pada logam yang sebenarnya

resisten terhadap korosi. Sementara itu, korosi retak terkendali oleh lingkungan terjadi ketika logam terpapar lingkungan yang korosif dan mengalami keretakan akibat reaksi kimia antara logam dan lingkungan.

Faktor-faktor yang mempengaruhi terjadinya korosi retak meliputi kehadiran lingkungan korosif, tegangan mekanis yang dikenakan pada logam, dan karakteristik material logam itu sendiri. Lingkungan korosif seperti air laut, larutan asam, atau lingkungan yang mengandung zat-zat korosif seperti klorida, sulfida, atau amonia dapat mempercepat terjadinya korosi retak. Tegangan mekanis yang dikenakan pada logam dapat berasal dari beban statis, beban dinamis, atau perubahan suhu yang mengakibatkan ekspansi dan kontraksi material. Karakteristik material logam, seperti kekuatan, ketahanan terhadap korosi, dan struktur mikro, juga memengaruhi kemungkinan terjadinya korosi retak.

Untuk mencegah korosi retak, beberapa strategi pengendalian dapat diterapkan. Salah satunya adalah memilih material logam yang memiliki ketahanan terhadap korosi retak yang baik dalam lingkungan yang spesifik. Penggunaan pelapis atau lapisan protektif pada permukaan logam juga dapat memberikan perlindungan tambahan terhadap korosi retak. Selain itu, pengendalian tegangan mekanis pada struktur logam melalui desain yang tepat, penggunaan relieving cut atau radius yang meminimalkan konsentrasi tegangan, dan teknik pengurangan tegangan juga dapat membantu mencegah terjadinya korosi retak (Scully, 2000).

Pemahaman yang mendalam tentang mekanisme dan faktor-faktor yang mempengaruhi korosi retak sangat penting dalam desain, pemilihan material, dan perawatan struktur logam. Dengan memperhatikan aspek-aspek ini, langkah-langkah pencegahan yang efektif dapat diambil untuk

memastikan integritas dan keandalan struktur logam dalam menghadapi potensi korosi retak.

4. Korosi Mikrobiologis

Korosi mikrobiologis, juga dikenal sebagai korosi biologis, adalah jenis korosi yang disebabkan oleh aktivitas mikroorganisme pada permukaan logam. Mikroorganisme seperti bakteri, jamur, dan alga dapat tumbuh dan berkembang biak di lingkungan yang mengandung kelembaban dan nutrisi yang cukup, serta kondisi pH yang sesuai. Korosi mikrobiologis dapat terjadi pada berbagai jenis logam dan paduan, termasuk baja, aluminium, dan logam mulia.

Mikroorganisme yang terlibat dalam korosi mikrobiologis memiliki kemampuan untuk menghasilkan senyawa kimia atau enzim yang mengubah lingkungan sekitar logam menjadi korosif. Misalnya, bakteri sulfat dapat mengoksidasi sulfida menjadi sulfat, yang kemudian dapat merusak permukaan logam. Selain itu, beberapa mikroorganisme juga mampu membentuk biofilm, yaitu lapisan lendir yang menempel pada permukaan logam, menyediakan lingkungan yang menguntungkan bagi korosi mikrobiologis.

Faktor-faktor yang mempengaruhi terjadinya korosi mikrobiologis meliputi keberadaan mikroorganisme korosif, lingkungan yang mendukung pertumbuhan mikroorganisme, dan karakteristik material logam. Lingkungan dengan kelembaban tinggi, kandungan nutrisi yang cukup, serta pH dan suhu yang sesuai dapat memfasilitasi pertumbuhan mikroorganisme korosif. Sementara itu, karakteristik material logam seperti komposisi kimia, struktur mikro, dan kekerasan juga dapat memengaruhi tingkat kerentanan terhadap korosi mikrobiologis.

Pencegahan korosi mikrobiologis melibatkan pengendalian lingkungan dan perlindungan permukaan logam. Pengendalian lingkungan dapat dilakukan dengan menjaga kebersihan dan kekeringan permukaan logam, mengontrol kelembaban dan ventilasi, serta menghindari penumpukan zat-zat organik yang dapat menjadi nutrisi bagi mikroorganisme. Selain itu, penggunaan lapisan protektif atau pelapis logam yang tahan terhadap aktivitas mikrobiologis juga dapat memberikan perlindungan tambahan (Little, 2007).

Studi dan pemahaman yang lebih dalam tentang mekanisme dan faktor-faktor yang terlibat dalam korosi mikrobiologis penting untuk mengembangkan strategi pencegahan yang efektif. Upaya penelitian terus dilakukan untuk mengidentifikasi mikroorganisme korosif dan mekanisme korosi yang terkait, sehingga dapat dikembangkan metode pencegahan yang lebih spesifik dan efisien.

5. Korosi Erosi

Korosi erosi adalah jenis korosi yang terjadi akibat gesekan atau aliran fluida yang kuat terhadap permukaan logam. Proses ini sering terjadi pada komponen yang terpapar aliran fluida, seperti pipa, katup, atau turbin. Aliran fluida yang memiliki kecepatan tinggi atau mengandung partikel abrasif dapat menyebabkan erosi pada permukaan logam. Korosi erosi dapat menghasilkan kerusakan berupa hilangnya lapisan pelindung, penurunan ketebalan logam, atau terbentuknya celah pada permukaan logam.

Faktor-faktor yang mempengaruhi terjadinya korosi erosi meliputi kecepatan aliran fluida, sifat fluida (seperti keasaman, kekeruhan, atau konsentrasi partikel abrasif), serta karakteristik material logam yang terpapar. Kecepatan aliran fluida yang tinggi dapat meningkatkan gaya gesekan yang bekerja pada permukaan logam, sedangkan adanya partikel abrasif dalam fluida dapat menyebabkan gesekan dan erosi

yang lebih intens. Selain itu, karakteristik material logam seperti kekerasan, ketahanan aus, dan ketahanan terhadap korosi juga dapat mempengaruhi tingkat kerentanan terhadap korosi erosi.

Pencegahan korosi erosi melibatkan penggunaan metode dan material yang dapat mengurangi gesekan dan aus pada permukaan logam. Beberapa strategi pencegahan yang umum dilakukan antara lain menggunakan pelapis tahan erosi pada permukaan logam, mengubah desain komponen untuk mengalirkan aliran fluida dengan lebih terkontrol, atau memilih material logam dengan kekerasan dan ketahanan aus yang tinggi. Selain itu, pemantauan dan pemeliharaan secara rutin terhadap komponen yang rentan terhadap korosi erosi juga penting untuk mendeteksi dan mencegah kerusakan lebih lanjut.

Studi dan penelitian terus dilakukan untuk mengembangkan pemahaman yang lebih dalam tentang mekanisme korosi erosi dan strategi pencegahan yang lebih efektif. Pengembangan material dengan sifat tahan erosi yang lebih baik, peningkatan desain komponen untuk mengoptimalkan aliran fluida, dan penggunaan teknologi pemantauan yang canggih menjadi fokus utama dalam mengatasi masalah korosi erosi. Dengan upaya yang terus menerus dalam penelitian dan pengembangan, diharapkan dapat ditemukan solusi yang lebih efisien dalam pencegahan dan pengendalian korosi erosi (Ashworth, 2016).

Dalam upaya pencegahan dan pengendalian korosi, penting untuk memahami tipe korosi yang mungkin terjadi. Dengan pemahaman yang baik tentang karakteristik dan mekanisme masing-masing tipe korosi, dapat meminimalisir terjadinya kegagalan.

Pengendalian dan pencegahan korosi melibatkan serangkaian strategi untuk melindungi logam dari kerusakan

akibat reaksi kimia dengan lingkungan. Salah satu metode yang umum digunakan adalah pengendalian lingkungan. Ini melibatkan menjaga kebersihan dan kekeringan permukaan logam, mengontrol kelembaban dan ventilasi, serta menghindari penumpukan zat-zat organik yang dapat menjadi nutrisi bagi mikroorganisme (Little, 2007). Selain itu, penggunaan lapisan protektif atau pelapis logam yang tahan terhadap korosi juga merupakan taktik yang efektif. Lapisan ini bertindak sebagai penghalang antara logam dan lingkungan, mencegah kontak langsung dan reaksi kimia yang merusak. Pengendalian tegangan mekanis pada struktur logam juga penting dalam pencegahan korosi retak. Desain yang tepat dengan penggunaan relieving cut atau radius yang meminimalkan konsentrasi tegangan, serta teknik pengurangan tegangan, dapat membantu mencegah terjadinya korosi retak (Scully, 2000).

Ada beberapa metode pengendalian korosi yang sering digunakan untuk melindungi logam dari kerusakan akibat reaksi kimia dengan lingkungan. Berikut adalah beberapa strategi umum yang digunakan dalam pengendalian korosi:

Pelapis dan Lapisan Protektif: Penggunaan pelapis atau lapisan protektif pada permukaan logam merupakan salah satu metode yang efektif dalam melindungi logam dari kontak langsung dengan lingkungan yang korosif. Pelapis ini membentuk penghalang antara logam dan lingkungan, mencegah terjadinya reaksi kimia yang dapat menyebabkan korosi.

Pengendalian Lingkungan: Pengendalian lingkungan juga merupakan strategi yang penting dalam pengendalian korosi. Ini melibatkan menjaga kebersihan dan kekeringan permukaan logam, mengontrol kelembaban dan ventilasi, serta menghindari penumpukan zat-zat organik yang dapat menjadi nutrisi bagi

mikroorganisme. Dengan menciptakan lingkungan yang tidak mendukung pertumbuhan mikroorganisme atau reaksi kimia yang merusak, korosi dapat dicegah.

Proteksi Katodik: Proteksi katodik adalah metode pengendalian korosi yang melibatkan menempatkan logam yang lebih reaktif secara elektrokimia di dekat logam yang ingin dilindungi. Logam yang lebih reaktif ini akan berfungsi sebagai anoda dan teroksidasi secara selektif, melindungi logam yang ingin dilindungi sebagai katoda. Proteksi katodik sering digunakan dalam industri perkapalan, pipa bawah tanah, dan struktur logam yang terendam dalam air.

Inhibitor Korosi: Inhibitor korosi adalah zat kimia yang ditambahkan ke lingkungan atau diterapkan pada permukaan logam untuk menghambat reaksi korosi. Inhibitor ini bekerja dengan membentuk lapisan protektif pada permukaan logam atau mengubah sifat kimia lingkungan sehingga menghambat korosi. Inhibitor korosi digunakan secara luas dalam berbagai industri, seperti industri minyak dan gas, industri kimia, dan industri otomotif.

DAFTAR PUSTAKA

- Ashworth, M. A. 2016. Corrosion control in the aerospace industry. In *Comprehensive Materials Processing* (pp. 369-385). Elsevier.
- Bundy, B. 2002. Corrosion control for buried water mains. *Journal of the American Water Works Association*, 94(5), 62-73.
- Capozucca, R. 1995. Corrosion of reinforcing steel in concrete. CRC Press.
- Cox, B., Thompson, N. G., & Scantlebury, J. D. 1996. Corrosion science and technology. CRC Press.
- Davis, J. R. 2017. Corrosion: Understanding the basics. ASM International.
- Fontana, M. G., & Greene, N. D. 2013. Corrosion engineering. McGraw-Hill Education.
- Hovestad, A., Huinink, H. P., & Fischer, H. R. 2012. Electrochemical chloride extraction for concrete rehabilitation: Effects on the chloride content and the strength. *Cement and Concrete Research*, 42(4), 602-613.
- Liu, Y. 1996. Mechanisms and prevention of corrosion in concrete. CRC Press.
- Pourbaix, M. 1974. Atlas of electrochemical equilibria in aqueous solutions. National Association of Corrosion Engineers.
- Revie, R. W., & Uhlig, H. H. 2008. Corrosion and corrosion control: An introduction to corrosion science and engineering (4th ed.). John Wiley & Sons.
- Roberge, P. 2017. Handbook of corrosion engineering. John Wiley & Sons.
- Scully, J. R. 2000. ASM handbook: corrosion: environments and industries. ASM International.
- Shreir, L. L., Jarman, R. A., & Burstein, G. T. 2010. Corrosion: Metal/environment reactions. Butterworth-Heinemann.

- Skerry, B. 2004. Corrosion and metal artifacts: A dialogue between conservators and archaeologists and corrosion scientists. *Studies in Conservation*, 49(sup1), 7-14.
- Tuutti, K., & Kyosti, P. 1982. The relationship between the corrosion rate and cover thickness in concrete structures. *Cement and Concrete Research*, 12(2), 199-210.
- Uhlig, H. H., & Revie, R. W. 2011. *Corrosion and corrosion control: An introduction to corrosion science and engineering* (5th ed.). John Wiley & Sons.
- Webster, G. A. 2000. The corrosion of reinforcing steel in concrete. *Corrosion Engineering Science and Technology*, 35(1-4), 143-147.
- Little, B. J. 2007. *Microbiologically influenced corrosion handbook*. Wiley.

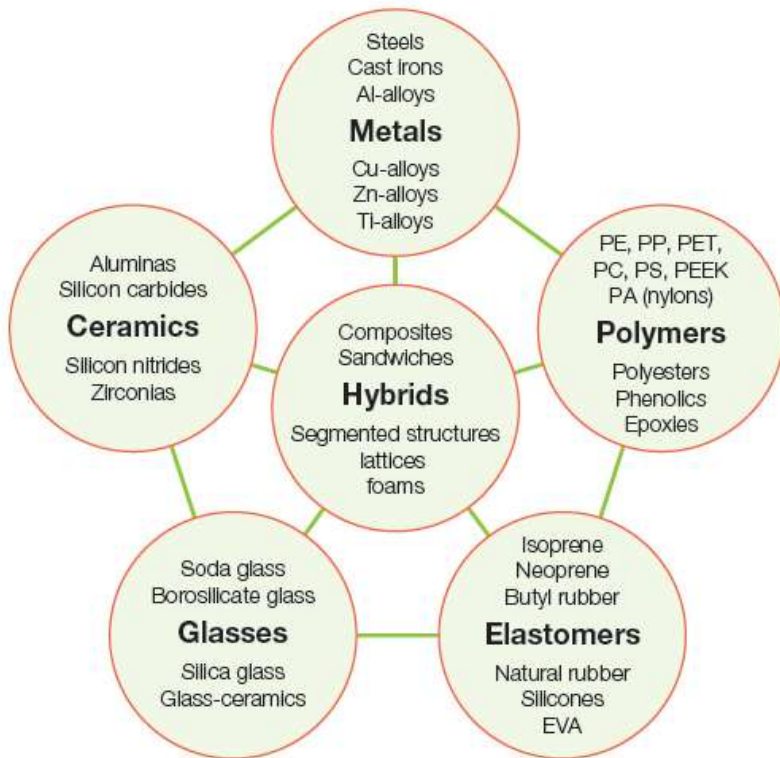
BAB 8

KOMPOSIT DAN SIFAT-SIFATNYA

Oleh Cahyo Wibowo

8.1 Pendahuluan

Dengan meningkatnya perkembangan teknologi yang sangat pesat saat ini, material merupakan bagian yang sangat penting dalam menunjang perkembangannya. Material berbahan *composite* adalah salah satu dari sekian banyak bahan yang digunakan mulai dari komponen mesin industri, otomotif, penerbangan, militer, kesehatan, dll. *Composites* atau *CFRP (carbon fiber reinforced epoxy)* memiliki sifat-sifat bahan yang tidak dimiliki oleh bahan lain yang tidak tergantikan. Keberadaan bahan komposit dapat menggantikan material yang lain dengan berbagai pertimbangan yang disesuaikan dengan syarat-syarat kebutuhan material itu sendiri.



Gambar 8.27. Keluarga inti dari material logam, polimer, elastomer, gelas, keramik yang dapat digabungkan dalam berbagai geometri untuk membuat hibrida.

(Sumber : Material Ashby)

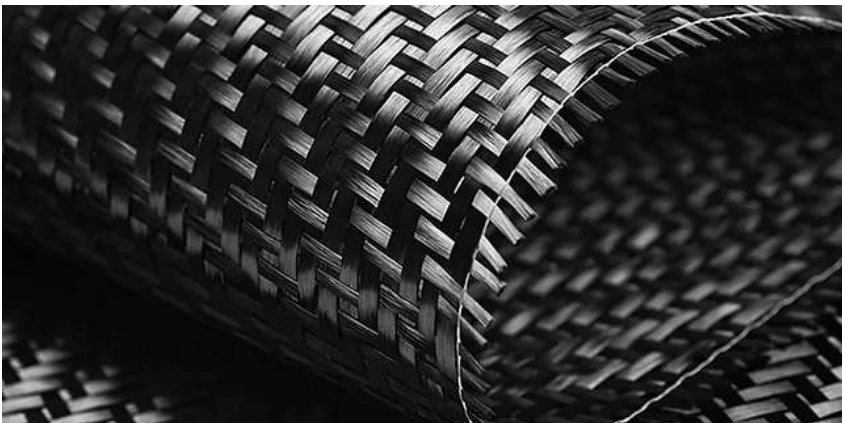
8.2 Apakah *Composite* itu ?

Komposit merupakan hasil pengembangan dari berbagai macam material yang ada di dunia ini awalnya hanya sebagai bahan alternatif, namun pada perkembangannya *composite* menjadi bahan yang lebih dominan dari bahan-bahan lain. Komposit juga merupakan bahan paduan yang *hybrid*, Komposit adalah bahan padat yang tersusun dari dua atau lebih bahan

dengan karakteristik fisik yang berbeda. Setiap zat secara independen menyumbangkan sifat fisiknya ke bahan gabungan.

Pada dasarnya composite merupakan paduan atau campuran antara Resin sebagai matrix utama dan Serat Fiber sebagai penguat, resin merupakan pengikat atau sederhananya sebagai perekat atau lem, sedangkan fiber sebagai tulang atau sederhananya sebagai lidi pada sebuah sapu, sehingga jika lidi tersebut disatukan maka struktur sapu akan semakin kuat.

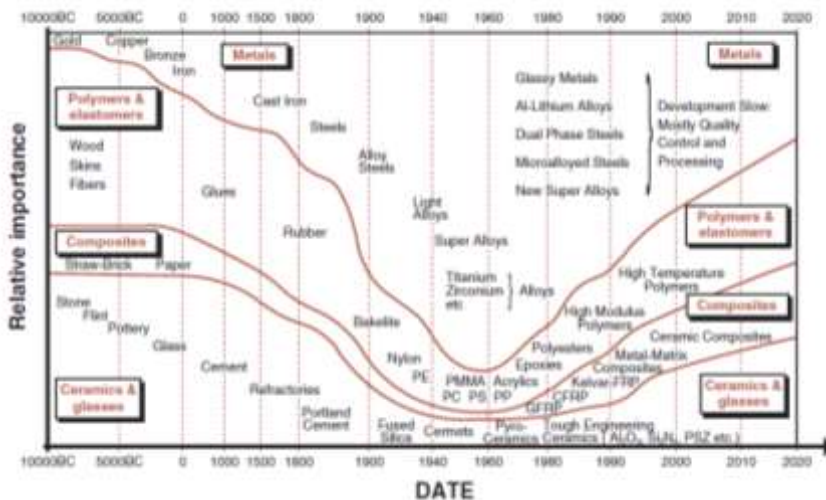
Komposit moset adalah campuran dari berbagai resin, seperti poliester, isopoliester, vinilester, epoksi dan fenolik, dikombinasikan dengan pengisi inert, penguat serat, katalis, stabilisator, agen pelepas, pengental dan pigmen yang membentuk senyawa kental, yang merupakan injeksi, kompresi dan transfer dapat dibentuk. Komposit termoset dapat dibentuk melalui panas, reaksi kimia dan tekanan untuk membentuk struktur molekul yang saling terkait yang secara permanen mempertahankan bentuknya dan tidak dapat dicairkan, dibentuk kembali atau dilarutkan.



Gambar 8.28. Serat fiber sebagai bahan dasar yang dianyam yang nantinya akan direkatkan menggunakan resin sehingga menjadi struktur *composites* sesuai dengan kebutuhan.

(Sumber : <https://www.compositesworld.com>)

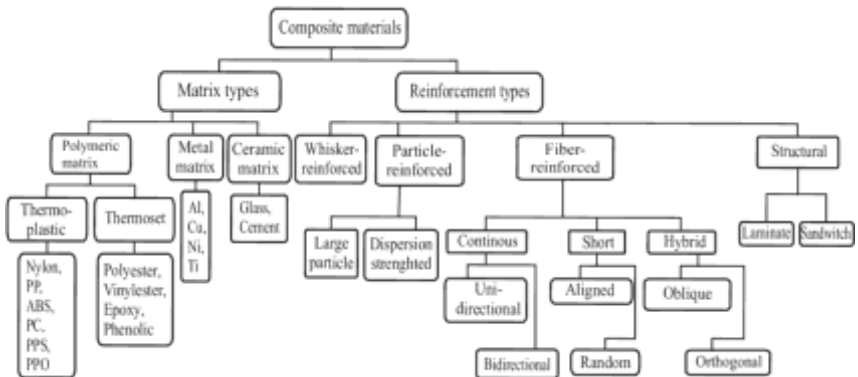
Berdasarkan evolusi material komposit mulai diperkenalkan secara teknologi pada era Tahun 1960, namun sebelum era tersebut manusia sudah menggunakannya, kemudia berkembang sesuai dengan meningkatnya kebutuhan untuk berbagai keperluan engineering hingga saat ini. (Ashby, 2005)



Gambar 8.29. Perkembangan material sejak sebelum masehi hingga saat ini
(Sumber : Material Absy)

Bahan komposit terdiri dari setidaknya dua bahan, yang digabungkan untuk memberikan sifat yang lebih unggul dari masing-masing konstituen. Panduan ini mengacu pada *fiber reinforced polymer* (FRP) atau komposit polimer yang diperkuat serat (FRP), biasanya dengan karbon, kaca, *aramid*, polimer atau serat alami yang tertanam dalam matriks polimer. Bahan matriks lain dapat digunakan dan komposit juga dapat mengandung pengisi atau bahan *nano* seperti *graphene*. Banyaknya bahan

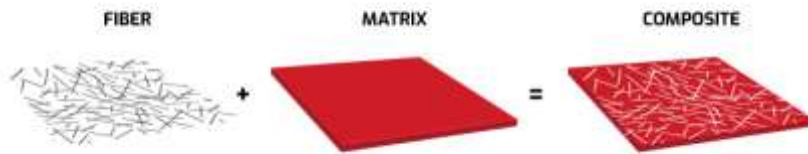
komponen dan berbagai proses yang dapat digunakan membuat komposit sangat serbaguna dan efisien. Mereka biasanya menghasilkan solusi yang lebih ringan, lebih kuat, lebih tahan lama dibandingkan dengan bahan tradisional.



Gambar 8.30. Klasifikasi composite berdasarkan penguatan dan jenis *matrix*
(Sumber : Pragati Priyanka)

Composite tergolong pada material Hyrid atau Material Hibrida adalah kombinasi dari dua atau lebih bahan dalam yang telah ditentukan konfigurasi dan skala. Mereka menggabungkan sifat menarik dari keluarga bahan lainnya sambil menghindari beberapa kekurangannya. Keluarga hibrida termasuk komposit serat dan partikulat, struktur *sandwich*, kisi struktur, busa, kabel, dan laminasi; hampir semua bahan dari alam seperti kayu, tulang, kulit, dan daun adalah persilangan. Diperkuat serat komposit, tentu saja, yang paling kuat terikat. Kebanyakan dari jenis yang ada saat ini menggunakan matriks polimer yang diperkuat oleh serat kaca, karbon, atau *kevlar (aramid)*. Bahan tersebut ringan, kaku, dan kuat, dan bisa menjadi tangguh. Mereka, dan hibrida lainnya menggunakan polimer sebagai satu komponen, tidak dapat

digunakan di atas 250°C karena polimer melunak, tetapi pada suhu kamar kinerjanya bisa luar biasa. Material hibrida komponennya mahal, dan relatif sulit untuk dibentuk dan bergabung. Jadi, terlepas dari sifatnya yang menarik, perancang akan menggunakannya hanya ketika kinerja tambahan membenarkan biaya tambahan. Hal ini meningkatnya penekanan pada kinerja semakin tinggi dan meningkatkan efisiensi bahan bakar serta memberikan meningkatkan keuntungan untuk penggunaannya. Pada dasarnya bahan hibrida menggabungkan sifat dari dua (atau lebih) bahan monolitik atau satu bahan dan ruang angkasa. Mereka termasuk komposit berserat dan partikulat, busa dan kisi, *sandwich*, dan hampir semua bahan alami (Ashby, 2005)



Gambar 8.31. Gabungan antara 2 bahan dasar menjadi *composites*
(Sumber : <https://romeorim.com>)

8.3 Sifat-sifat Komposit (*artribute*)

8.3.1 Tahan terhadap kimia

Sejumlah aplikasi yang mengejutkan di mana komposit mengalami kontak langsung maupun tidak langsung dengan bahan kimia. Bahan kimia ini dapat berupa apa saja mulai dari bahan pembersih, asam, alkali, bahan bakar, cairan hidrolik dan rem, penghilang es, pengupas cat, pelumas, bahan kimia etsa, gas buang, serta makanan dan minuman campuran misalnya *soft drink* dan alkohol.

Ketahanan komposit terhadap bahan kimia yang sangat reaktif umumnya sangat baik, sehingga dapat digunakan secara luas dalam industri peralatan proses kimia di mana seringkali sulit untuk menemukan bahan lain yang terjangkau dan dapat diproses yang mampu menahan kondisi yang sangat keras.

Sangat jarang komponen komposit diserang secepat oleh beberapa logam biasa ketika ditempatkan dalam kontak dengan asam. Beberapa bahan kimia yang ditangani di pabrik kimia, seperti zat pengoksidasi kuat, alkali kaustik kuat, brom, dan klorin basah masih menimbulkan masalah berat untuk resin matriks organik.

Jika tidak, pemilihan bahan yang terinformasi dengan baik, dengan berkonsultasi dengan pemasok dan setelah referensi ke bank data yang sesuai, berarti bahwa ketahanan bahan komposit terhadap bahan kimia dapat disesuaikan dengan kebutuhan.

Produk komposit memiliki sifat pelapukan yang baik dan tahan terhadap serangan berbagai bahan kimia. Hal ini hampir sepenuhnya bergantung pada resin yang digunakan dalam pembuatan, tetapi dengan ketahanan seleksi yang hati-hati terhadap semua kecuali kondisi yang paling ekstrim dapat dicapai. Karena itu, komposit digunakan dalam pembuatan tangki penyimpanan bahan kimia, pipa, cerobong asap dan saluran, lambung kapal dan badan kendaraan.

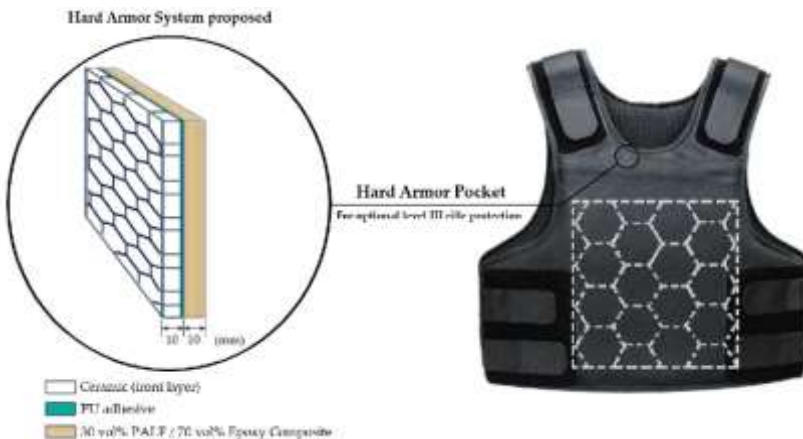
Contoh : sebuah perusahaan FDL memproduksi panel arsitektural untuk pembangunan Pusat Penyelamatan Laut *Auckland*. Panel komposit dipilih karena kemampuannya menahan kondisi sisi laut yang asin tanpa korosi.

8.3.2 Durabiliti atau Ketahanan

Durability atau Ketahanan suatu material ditentukan oleh ketahanannya terhadap efek merusak dari suatu pengaruh seperti suhu ekstrim, radiasi *ultra-violet*, paparan bahan kimia agresif, siklus stres, dll. Ketahanan dinilai dengan mengukur properti

material yang sesuai seperti kekuatan, *modulus elasticity*, dll., sebelum dan sesudah paparan terhadap satu atau lebih pengaruh tersebut untuk jangka waktu tertentu di bawah kondisi yang ditentukan. Tingkat retensi properti yang tinggi konsisten dengan daya tahan yang tinggi (baik). Dalam hal ini, “masa hidup” suatu bahan dapat diidentifikasi dengan waktu paparan yang menghasilkan sifat tertentu yang tetap berada di atas tingkat tertentu.

Misalnya mampu menahan benturan proyektil peluru terhadap rompi anti peluru (*bullet proff*), helem tempur militer dll.



Gambar 8.32. Susunan material Rompi Anti Peluru
(Sumber : *Composites with Natural Fibers and Conventional Materials Applied in a Hard Armor: A Comparison*, by Fernanda Santos da Luz)



Gambar 8.33. *Tactical Helmet, ops-core fast sf carbon composite helmet system.*
(Sumber : *Gentex Corporation*)

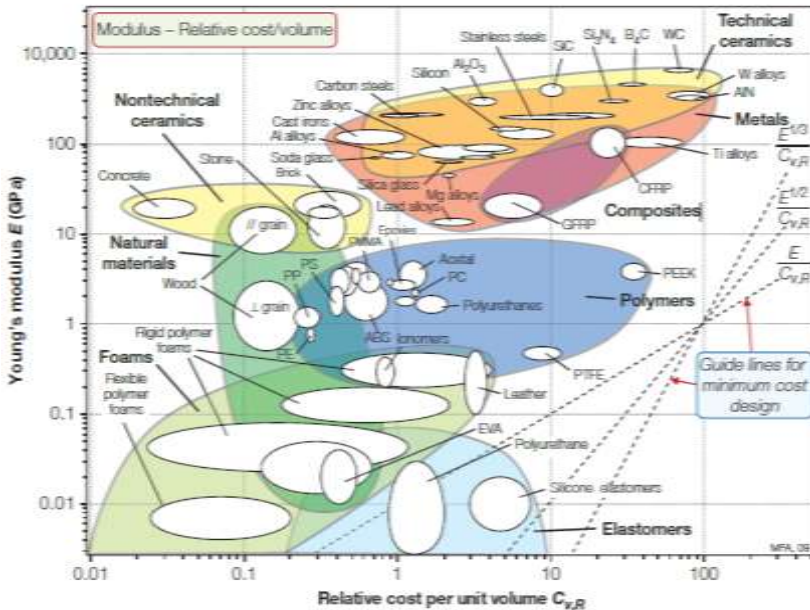
Semua material komposit tahan lama karena tahan air, stabil secara termal, dan tidak dapat berkarat.

Di hampir semua aplikasi, durabilitas material komposit dapat ditingkatkan dengan menerapkan faktor keamanan konservatif (2-4) pada desain, dan dalam banyak kasus durabilitas tambahan dapat dicapai dengan penggunaan lapisan pelindung dan/atau penggabungan stabilisator cahaya dan antioksidan.

8.3.3 Biaya

Harga benda yang terbuat dari komposit relatif lebih mahal dibandingkan dengan berbahan baku material lain seperti besi, aluminium, plastik, kayu, gelas dll. Berapa Biaya Komposit Dibandingkan dengan Bahan Lain? Biaya yang terkait dengan bahan komposit umumnya dapat dipecah menjadi lima bidang – serat (penguatan), resin (matriks), bahan habis pakai (diperlukan untuk membantu kombinasi penguat dan matriks), biaya tenaga kerja dan biaya mesin.

Biaya utama biasanya adalah elemen penguat, serat yang dapat dibuat dari gulungan atau pra-anyaman menjadi kain yang dijahit tergantung pada proses pembuatannya.



Gambar 8.34. Biaya relatif dibandingkan dengan material lain
(Sumber : (Ashby, 2005))

Grafik diatas mengungkapkan polimer lebih mahal daripada baja per satuan berat, tetapi karena mereka memiliki kerapatan yang jauh lebih rendah, mereka lebih murah per satuan volume. Jika kita menginginkan sebuah perbandingan yang tepat, apa yang harus menjadi dasar perbandingan harga per unit fungsi.

1) Biaya Serat, Ada sejumlah varian dalam setiap bahan yang memengaruhi biaya keseluruhan. Umumnya sifat mekanik dan ketahanan lingkungan, khususnya ketahanan suhu, meningkatkan biaya. Makin banyak komposisi serat maka

bahan akan semakin kuat sejalan dengan itu biaya serat akan naik, sehingga harga bahan akan semakin mahal.

- 2) **Biaya Resin**, Resin adalah barang kunci/utama yang dapat dikontrol yang dapat mengurangi biaya lainnya. Meskipun bukan satu-satunya biaya utama, sifat kimiawi dan kemampuan proses resin sangat penting. Misalnya, *Pepreg : Prepregs (pre-impregnated)* adalah komposit laminasi dari lembaran serat yang diresapi dengan resin polimer (plastik) yang belum sepenuhnya diawetkan. Lembaran serat seringkali berupa fiberglass, serat karbon, atau poliamid (*Kevlar*). Pada pengerjaan material lay-up basah/kering dapat dilakukan pendinginan secara perlahan pada *ambient temperature* (atau sedikit lebih tinggi), dimungkinkan menggunakan formulasi/komposisi resin yang disesuaikan dengan kebutuhan. Resin juga memengaruhi biaya terhadap masa kadaluwarsa serat, masa pakai suhu ruangan penyimpanan, masa penyimpanan beku, dan penanganan yang baik untuk laminasi dengan tangan. Umumnya sifat mekanik dan ketahanan lingkungan, khususnya ketahanan suhu, meningkat dengan meningkatnya biaya.
- 3) **Biaya Konsumsi**, Bahan habis pakai bervariasi tergantung pada pemrosesan bahan yang dipilih dan metode lay-up. Mereka tidak membentuk bagian utama dari keseluruhan biaya dan tren biaya perlu diidentifikasi untuk aplikasi tertentu.
- 4) **Biaya Tenaga Kerja dan Mesin**, Mesin yang digunakan dalam setiap tahapan proses pembuatan komposit relatif lebih mahal, ini saling terkait dan bergantung pada teknik pemrosesan yang dipilih. Tahapan *finishing* memerlukan ketelitian dari operator untuk mendapatkan tekstur dan bentuk yang sempurna.
- 5) **Biaya Keseluruhan**, Tidak mungkin untuk memberikan satu perbandingan biaya komposit dan biaya material

tradisional (misalnya baja) karena pemasok menggunakan kebijaksanaan berdasarkan pekerjaan demi pekerjaan dan harga bahan baku sering diperbarui untuk mencerminkan rasio biaya komposit / baja biasanya berkisar antara 5 dan 10, tetapi produk akhir yang dikirimkan seringkali tidak lebih mahal daripada, katakanlah, alternatif baja. Hal ini disebabkan pemasangan komponen komposit yang lebih ringan dan biaya pemeliharaan seumur hidup yang jauh lebih rendah. Direkomendasikan bahwa manajer rantai pasokan proyek dikonsultasikan secara langsung untuk pengeluaran modal awal dan implikasi biaya seumur hidup menggunakan komposit.

- 6) **Biaya tidak langsung**, Selain itu, mungkin ada sejumlah biaya tidak langsung, seperti sertifikasi yang mencakup kontrol kualitas, *MSDS (material safety datasheet)* sebagai bahan pertimbangan kesehatan dan keselamatan, dll. yang perlu diperhitungkan. Juga, ada peningkatan penekanan pada faktor lingkungan (*environmental*) termasuk pemeliharaan, daur ulang, dan pembuangan, yang selama umur komponen, dapat menjadi penting. Untuk banyak komponen, manfaat dari penggunaan komposit polimer yang diperkuat dapat menjadi sangat signifikan ketika biaya seumur hidup, bukan hanya biaya fabrikasi, disertakan.

8.3.4 Rasio Kekuatan Tinggi Terhadap Berat

Komposit serat sangat kuat untuk beratnya. Dengan menyempurnakan laminasi banyak karakteristik dapat ditingkatkan. Laminasi umum dari tika untai cincang 3mm, cukup fleksibel dibandingkan dengan lapisan 3 mm. Namun itu akan menekuk lebih jauh dari lapisan sebelum menyerah. Kekakuan tidak harus bingung dengan Kekuatan. Laminasi serat karbon di sisi lain, akan memiliki kekakuan berkali-kali lipat dari baja ringan

dengan ketebalan yang sama, meningkatkan kekuatan ultimat, namun hanya kurang dari 1/4 dari beratnya.

8.3.5 Ringan

Laminasi *Fiberglass* standar memiliki berat jenis di wilayah 1.5, dibandingkan dengan Paduan 2.7 atau baja 7.8. Saat Anda kemudian mulai melihat laminasi Karbon, kekuatannya bisa berkali-kali lipat dari baja, tetapi hanya sebagian kecil dari beratnya.

Contohnya untuk rangka sepeda balap yang membutuhkan kekuatan dan bobot yang sangat ringan.

8.3.6 Tahan Api

Kemampuan komposit untuk menahan api terus meningkat selama bertahun-tahun. Ada dua jenis sistem yang harus dipertimbangkan. Tahan api merupakan laminasi pemadam sendiri, biasanya dibuat dengan resin terklorinasi dan aditif seperti *Antimony Trioxide*. Ini melepaskan CO₂ saat terbakar sehingga saat sumber api dihilangkan, api akan padam sendiri.

Tahan Api - Lebih sulit dan dibuat dengan Resin Fenolik. Ini sulit digunakan, disembuhkan dengan formaldehida, dan membutuhkan tingkat tinggi pasca penyembuhan untuk mencapai ketahanan api yang sebenarnya.

Bahan lain juga semakin tersedia untuk digunakan seperti pada lapisan *tumescent*, yang memperluas dan menyelimuti permukaan, mencegah penyebaran nyala api. Ada cat pada lapisan yang biasanya diaplikasikan pada bagian belakang laminasi produk, ditambah *film* serat tipis untuk diletakkan di bawah *Gelcoat* yang memberikan permukaan luar lapisan selimut juga.

8.3.7 Sifat Listrik

Mampu sebagai insulator listrik sehingga banyak digunakan sebagai pelapis konduktor misalnya pabrik *Fibreglass Developments Ltd* memproduksi tali Pendukung Insulator untuk elektrifikasi batang utama *Tranz Rail*. Strapnya, meski hanya setebal 4mm, memenuhi beban yang dibutuhkan sebesar 22kN, serta dengan mudah memenuhi persyaratan insulasi.

8.3.8 Kemampuan Adaptasi Warna

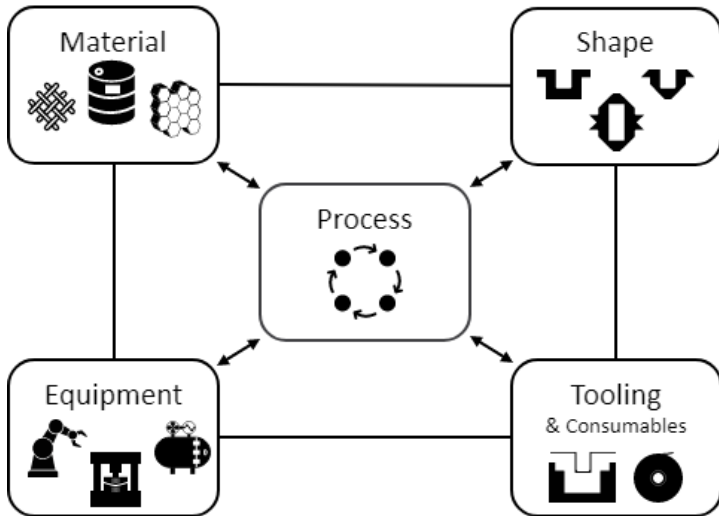
Hampir semua warna dari warna apa pun dapat dimasukkan ke dalam produk selama pembuatan dengan memberi pigmen pada gelcoat yang digunakan. Oleh karena itu, biaya dikurangi tanpa finishing atau pengecatan lebih lanjut. Pewarna larut dapat digunakan jika diinginkan produk yang tembus cahaya. Namun kami tidak merekomendasikan warna gelap. Ini menghasilkan panas yang berlebihan pada permukaan yang dapat menyebabkan permukaan memburuk dan menunjukkan hasil cetakan, di mana matriks Resin mengering lebih banyak dan menyusut, membawa serat ke permukaan. Dalam kasus ekstrim delaminasi dapat terjadi.

8.3.9 Translusensi (kemampuan tembus pandang)

Resin poliester banyak digunakan untuk membuat cetakan dan lembaran tembus cahaya. Transmisi cahaya hingga 85% dapat dicapai.

8.3.10 Fleksibilitas Desain

Mampu mengikuti segala macam bentuk benda yang sulit sekalipun serta mampu reparasi. Karena keserbagunaan komposit, desain produk hanya dibatasi oleh imajinasi atau dapat dikatakan tanpa batasan. Semua bentuk dapat dibuat karena sifatnya yang sangat lembut dan mampu mengikuti bentuk struktur dan kontur yang diinginkan.



Gambar 8.35. Hubungan antara Material, Mesin, Bentuk benda, Alat terhadap proses pembentukan benda berbahan dasar komposit
(Sumber : Absy)

Flexibilitas *design* ditunjukkan pada bermacam-macam proses untuk mendapatkan bentuk sesuai design antara lain (Sumber : <https://romeorim.com/what-are-composites/>) :

- 1) *Open Molding*
- 2) *Hand Lay up*
- 3) *Spray up*
- 4) *Filament Winding*
- 5) *Closed Molding*
- 6) *Vacuum Bag Molding*
- 7) *Vacuum Infusion Processing*
- 8) *Resin Transfer molding*
- 9) *Compression molding*
- 10) *Pultrusion*

- 11) *Reinforced and Structural Reaction Injection Molding (R-RIM & S-RIM)*
- 12) *Centrifugal Casting*
- 13) *Continuous Lamination*

8.3.11 Konduktivitas Termal Rendah

Fibreglass Developments telah terlibat dalam pengembangan dan produksi wadah daging khusus yang mempertahankan potongan utama daging dingin pada suhu yang tepat untuk pasar Ekspor. Mereka diproduksi menggunakan proses RTM, dengan sisipan penguat dan busa khusus.

8.3.12 Ekonomi Manufaktur

Karena sifatnya yang serba guna, *ca* dapat digunakan dalam berbagai aplikasi dan mudah dibuat oleh perorangan dan industri kecil sekalipun sehingga dinilai bahan yang relatif murah untuk digunakan dalam pembentukan suatu benda. Misalnya di daerah pesisir industri kapal kecil/kapal nelayan dapat dibuat menggunakan komposit yang dapat dikerjakan oleh tenaga kerja lokal.

8.3.13 Mampu Daur Ulang

<https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=2130>

Limbah komposit tidak dapat dihancurkan namun dapat didaur ulang dengan proses pyrolysis, yaitu memanaskan limbah komposit hingga suhu tertentu kemudian asapnya di kondensasi sedemikian rupa secara bertingkat dan menghasilkan zat lain dengan senyawa yang berbeda pula sesuai dengan jenis prosesnya. Limbah keringnya dapat berupa karbon sebagai campuran aspal atau juga dapat digunakan sebagai *carbon* aktif sebagai media penyaring.

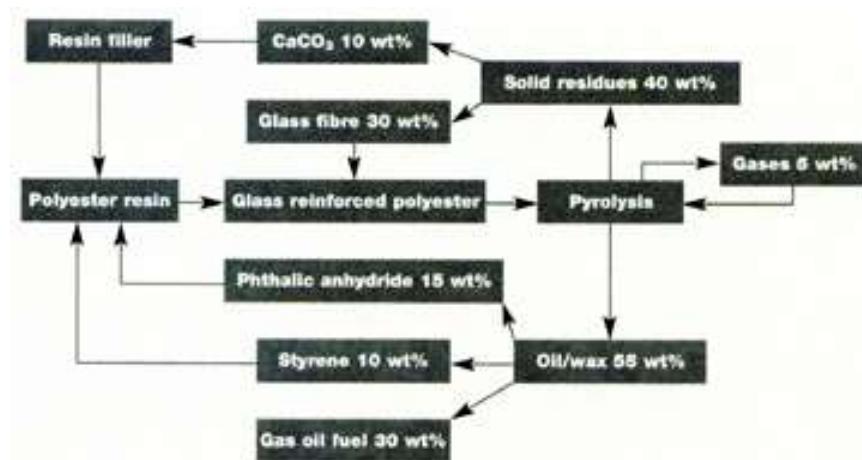


Gambar 8.36. Tabung CNG type-4 yang hasil uji yang telah rusak di pabrik Dynetek-Jerman
(Sumber : Dokumen pribadi)

Proses daur ulang *composites* menggunakan *pyrolysis*, hasil produk untuk Pirolisis Berbagai Komposit Matriks Polimer.

Istilah komposit mencakup berbagai komponen campuran, dan pirolisis akibatnya akan menghasilkan berbagai produk. Tabel 8.1 menunjukkan hasil produk untuk berbagai material komposit yang dipirolisis pada 500°C. Pirolisis mendepolimerisasi rantai polimer yang menghasilkan lilin, minyak, dan gas (gas memiliki kandungan energi yang cukup untuk memenuhi kebutuhan energi pabrik proses pirolisis) yang berasal dari plastik asli. Komposisi gas yang dihasilkan tergantung pada plastik asli yang digunakan dalam komposit. Untuk plastik yang mengandung oksigen seperti poliester dan resin fenolik, gas utamanya adalah karbon dioksida

dan karbon monoksida. Untuk plastik lainnya, konsentrasi hidrogen dan hidrokarbon yang lebih tinggi, seperti metana dan etana, dominan. Lilin dan minyak dilepaskan sebagai gas selama pirolisis tetapi terkondensasi di hilir. Minyak dan lilin memiliki nilai kalor yang tinggi dan dapat dibakar untuk menghasilkan energi. Atau, mereka dapat digunakan sebagai sumber bahan kimia yang berharga. Residu padat yang tertinggal setelah pirolisis adalah padatan rapuh yang mengandung serat kaca dan pengisi, dan sejumlah kecil arang karbon yang berasal dari degradasi plastik.



Gambar 8.37. Diagram skematis dari proses daur ulang pirolisis yang diusulkan untuk komposit.

(Sumber : Materials World, Vol 11. No. 7, pp. 24-26 July 2003)

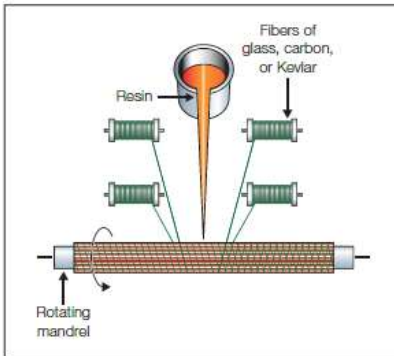
8.4 Jenis-jenis Composite

Dalam perkembangannya Compsites memiliki berbagai jenis disesuaikan dengan kebutuhan, antara lain :

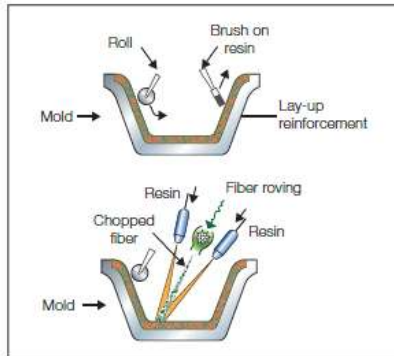
- 1) Thermoset Composites
- 2) Formed by a cross-linked network
- 3) Polymer chain bound by strong chemical bonding

- 4) Cross linked network is stable to heat & other harsh conditions
- 5) Rigid and strong
- 6) Molded by heat and pressure
- 7) Like thermoset composites, thermoplastic composite combine fiber, fillers and other materials. Thermoplastic are formed under heat and solidify as they cool. Unlike thermosets, thermoplastic can melt and reform.
- 8) Thermoplastic Resin
- 9) Thermoplastic resin-thermosoftening plastic
- 10) Linear or branched polymer bound via weak physical bonding.

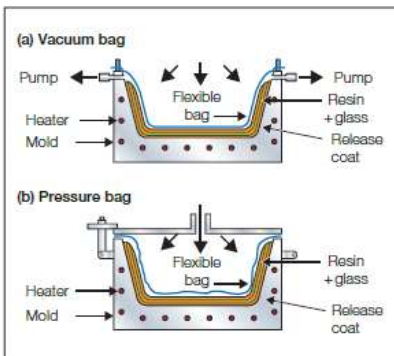
Metode pembentukan komposit. Dalam belitan filamen, serat kaca, Kevlar, atau karbon dililitkan ke bekas dan diresapi dengan campuran resin-pengeras. Dalam roll dan spray lay-up, penguat serat diletakkan dalam cetakan di mana campuran resin-pengeras digulung atau disemprot. Dalam pencetakan kantong vakum dan kantong bertekanan, penguat serat yang diletakkan, diresapi dengan campuran pengeras-resin, dikompresi dan dipanaskan untuk menyebabkan polimerisasi. Dalam pultrusion, serat diumpankan melalui pemanas resin ke dalam cetakan yang dipanaskan untuk membentuk bagian dari prismatik kontinyu.



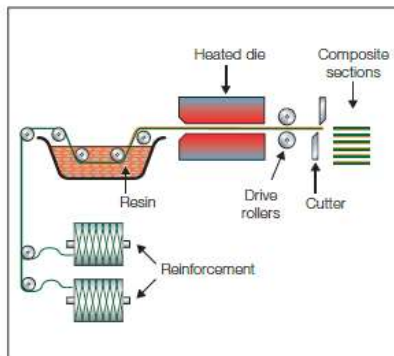
Filament winding



Hand and spray lay-up

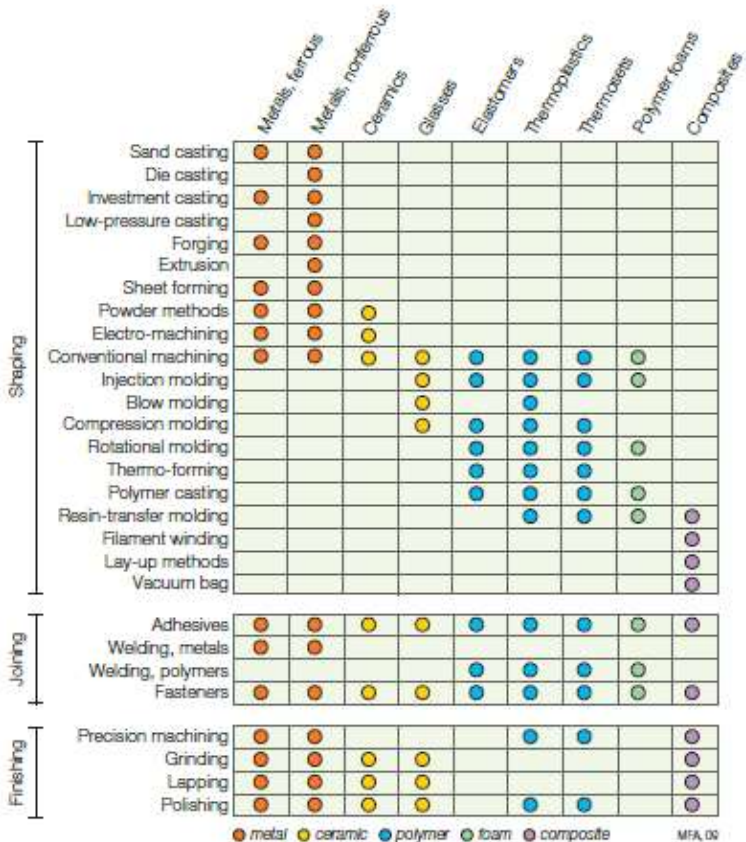


Vacuum and pressure-bag molding



Pultrusion

Gambar 8.38. Metode pembentukan komposit menjadi sebuah benda.
(Ashby, 2005)



Gambar 8.39. *Process material matrix*
(Ashby, 2005)

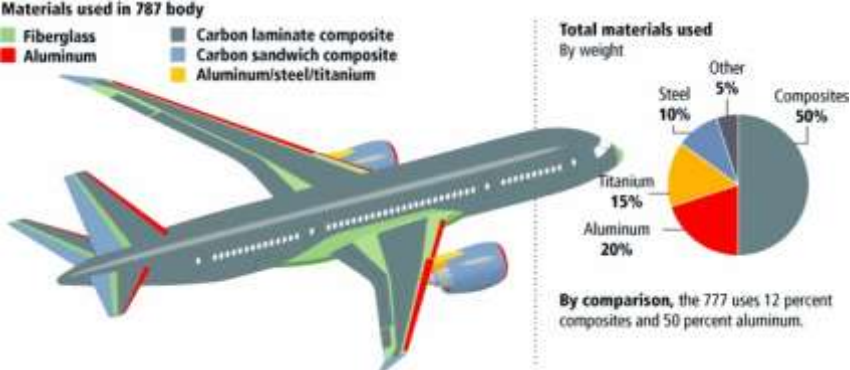
8.5 Aplikasi Composites

Dalam perkembangannya material komposit digunakan diberbagai peralatan/mesin, persenjataan, perlindungan keamanan, pelindungan keselamatan, kedokteran, kelautan, antariksa, otomotif, konstruksi bangunan sipil\termasuk jembatan dan gedung, pertambangan dan energi, minyak dan gas, energi

baru terbarukan, kelautan dan perkapalan, transportasi darat laut dan udara, dll.

8.5.1 Pertahanan (*military & defence*)

Komposit termoset ditentukan untuk sayap, badan pesawat, sekat, dan aplikasi lain dalam aplikasi ruang angkasa komersial, sipil, dan militer.



Gambar 8.40. Pesawat *Boeing 787 Dreamliner* menggunakan komposit sebesar 50 % untuk mengurangi bobot pesawat dan fleksibilitas sayap

(Sumber : <https://www.appropedia.org/>)

Dengan menggunakan komposit maka beban pesawat akan lebih ringan sehingga performance dari engine pesawat bisa maksimal, pesawat dapat bermanuver dengan lebih lincah dan penggunaan bahan bakar menjadi lebih efisien.

Di sektor pertahanan, komposit polimer yang diperkuat serat atau *fibre-reinforced polymer composites (FRP)* digunakan dalam aplikasi seperti sistem darat, pesawat militer, UAV, kapal angkatan laut, dan senjata. Sifat-sifat yang membuat FRP diinginkan untuk digunakan dalam aplikasi pertahanan adalah: Ringan – sangat baik untuk pakaian pelindung dan komponen kendaraan.



Gambar 8.41. Pesawat *unmanned aerial vehicle (UAV)*, pesawat tanpa awak menggunakan bahan komposit agar tidak terdeteksi oleh radar.

(Sumber : <https://www.compositesworld.com/>)

8.5.2 Peralatan/Bisnis

Komposit termoset digunakan dalam bingkai, panel peralatan, gagang dan trim pada peralatan, perkakas listrik, peralatan bisnis, dan banyak aplikasi lainnya.

Komposit termoset untuk industri alat digunakan dalam mesin cuci, pengering, lemari es, *freezer (termoset-komposit-hvac)*, rentang, *oven*, mesin pencuci piring untuk komponen yang mencakup panel kontrol, pegangan, kenop, trim ventilasi, trim samping, rumah motor, pelat tendangan, dan banyak lainnya.

8.5.3 Otomotif, Transportasi

Komposit sekarang digunakan dalam aplikasi kendaraan dan peralatan, termasuk panel, rangka, komponen interior, dan bagian lainnya.

Parts constructed from composite materials



Gambar 8.42. Komponen mobil Formula-1 menggunakan komposite untuk mengurangi bobot kendaraan dan meningkatkan kekuatan

(Sumber : <https://www.solvay.com>)

8.5.4 Infrastruktur Sipil & Konstruksi

Beberapa aplikasi infrastruktur komposit termasuk bangunan, jalan, jembatan dan tiang pancang. Pada pekerjaan konstruksi Komposit *termoset* menggantikan banyak bahan tradisional untuk komponen arsitektur rumah dan kantor termasuk perlengkapan, pintu, panel dinding, atap, bingkai jendela, moulding, wastafel rias, kios *shower* dan bahkan kolam renang.

8.5.5 Lingkungan Korosif

Komposit ideal untuk aplikasi di lingkungan korosif, seperti pabrik pemrosesan kimia, konversi pulp dan kertas, kilang minyak dan gas, serta fasilitas pengolahan air. Aplikasi umum meliputi kipas, kisi-kisi, tangki, saluran, sungkup, pompa, dan lemari.

8.5.6 Energy

Dengan sifat dielektrik yang kuat termasuk resistensi busur dan lintasan, komponen Thermoset termasuk peralatan gardu induk, antena gelombang mikro, standoff dan perangkat keras garis tiang dan papan kabel tercetak. Aplikasi dan komponen termasuk switchgear, kontrol motor, *insulator standoff*, komponen sistem kontrol, pemutus sirkuit, peluncuran busur, perisai busur, blok terminal, papan terminal, perangkat metering, dukungan bus dan komponen penerangan.



Gambar 8.43. *Standoff insulation*
(Sumber : GRT Genesis)

Standoff Insulator dicetak dari senyawa cetakan *Poliester Termoset Reinforced Reinforced Glass Reinforced Flame Retardant dan Track Resistant* yang diakui berdasarkan *UL Material Number E 80533 (N)*. Mereka menggabungkan Kekuatan Mekanik yang tinggi dengan Ketahanan Busur yang tinggi dan Nilai Listrik pada suhu dan kelembapan yang tinggi. Insulator tahan pecah ini memenuhi standar paling ketat dalam berbagai aplikasi kritis.

Tersedia dalam 1" hex hingga 7" ribbed (600 volt hingga 15KV). Tersedia dalam Epoxy dengan listrik tinggi (hingga 35kv) dan sifat mekanik; ini digunakan dalam berbagai konfigurasi untuk aplikasi *indoor* dan *outdoor*. Bentuk cetakan khusus dalam kaca, FRP, Epoksi & Keramik tersedia berdasarkan permintaan.

Selain itu terdapat pula aplikasi untuk pembangkit listrik tenaga angin. *Composites* digunakan pada *blade wind turbine*, sifat-sifat *composite* sangat dibutuhkan dalam pembuatan bilah-bilah turbin angin. *Composites* juga digunakan dalam industri tabung gas

industri (CNG, H₂, O₂ dll) type 3 dan type 4, yang digunakan juga untuk aerospace sebagai penyimpan bahan bakar roket.

Aerodinamika turbin (termasuk bentuk dan jumlah bilah), komposisi material, dan ukuran merupakan masalah mendasar dalam desain sistem tenaga angin. Rotor turbin angin modern umumnya terdiri dari tiga sudu, dengan kecepatan dan tenaganya dikendalikan oleh regulasi stall atau pitch. Regulasi kiosk melibatkan pengendalian rotasi mekanis bilah; pengaturan pitch (sekarang lebih umum digunakan) melibatkan perubahan sudut bilah itu sendiri. Bilah rotor dibuat dari bahan komposit menggunakan serat kaca dan poliester atau serat kaca dan epoksi, terkadang dikombinasikan dengan kayu dan karbon.



Gambar 8.44. Pembuatan bilah-bilah turbine angin menggunakan bahan *composites*

(Sumber : <https://www.windpowerengineering.com>)

Energy Storages, atau penyimpan energi salah satunya adalah tabung gas bertekanan tinggi untuk menyimpan gas methane, gas LPG, gas hydrogen (H_2) dll.



Gambar 8.45. Hasil potongan memperlihatkan lapisan *composite* yang melekat pada *cylinder aluminium type-3*
(Sumber : Dokumen pribadi)

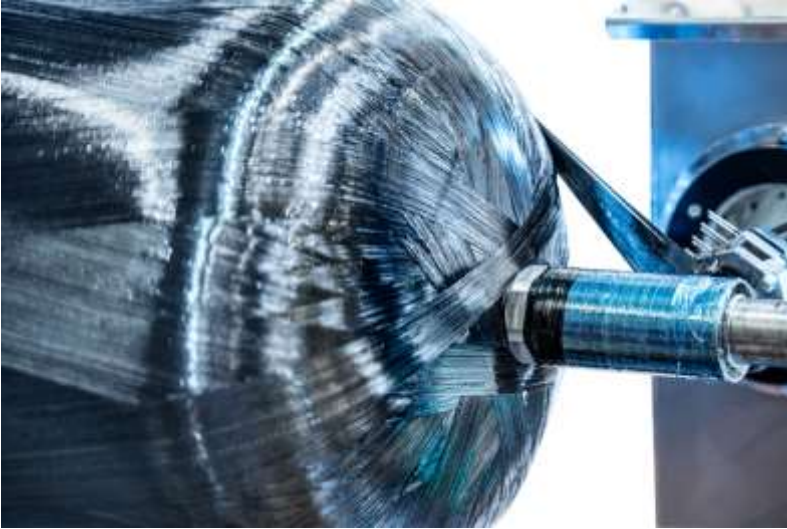


Gambar 8.46. Silinder aluminium sebelum dilakukan wrapping menggunakan serat komposit + resin
(Sumber : Dokumen pribadi)

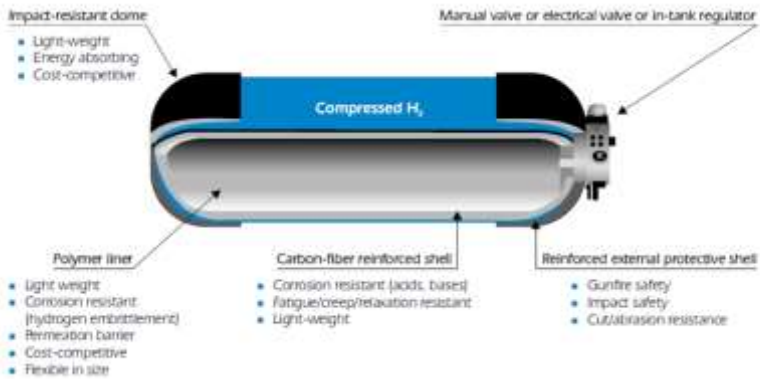


Gambar 8.47. Proses *spinning* atau *wrapping* pada pembuatan CNG cylinder type 3 di pabrik Dynetek- Jerman (2013)
(Sumber : Dokumen pribadi)

Cylinder gas dengan material *carbon steel*, *aluminium* atau *plastic* dilindungi dengan serar fiber yang telah dicelupkan ke dalam cairan resin selanjutnya *cylinder* tersebut diputar dan dilapisi dengan *composites* hingga ketebalan tertentu sesuai dengan aplikasinya.



Gambar 8.48. Proses pelapisan *cylinder* secara detail dengan *composites*
(Sumber : CIMC Enric)



Gambar 8.49. Tabung *hydrogen* terbuat dari plastic composite buatan Dynetek, mampu menahan tekanan 350 bar.
(Sumber : <https://www.ievmotors.com/>)

8.5.7 Maritim / Kelautan

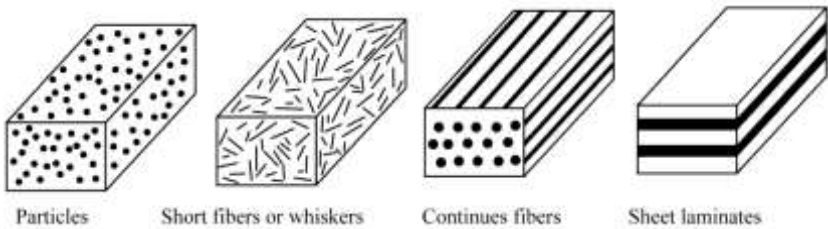
Dengan sifat tahan korosi dan bobotnya yang ringan, aplikasi komposit untuk maritim /kelautan mencakup lambung kapal, sekat, dan komponen lainnya untuk kapal dan kapal militer, komersial, dan rekreasi. Bahkan saat ini sedang dikembangkan penggunaan energi baru terbarukan untuk menggantikan kapal-kapal besar tidak lagi menggunakan layar dalam bentuk kain atau terpal tetapi menggunakan *airfoil* yang dibentuk menyerupai sayap pesawat yang berfungsi sebagai layar.



Gambar 8.50. Kapal berpengerak layar yang dikembangkan menjadi *airfoil* berbahan komposit
(Sumber : Wallenius Marine)



Gambar 8.51. X3200 Long Range Patrol Boat, kapal buatan Indonesia dengan bodi komposit.
(Sumber : PT Lundin Industry Invest)



Gambar 8.52. Struktur metal *matrix composite*
(Sumber : <https://www.bartleby.com/>)

8.6 Material Properties

Material komposit merupakan gabungan dari dua material yang memiliki sifat fisika dan kimia yang berbeda. Ketika mereka digabungkan mereka membuat bahan yang khusus untuk melakukan pekerjaan tertentu, misalnya menjadi lebih kuat, lebih ringan atau tahan terhadap listrik. Mereka juga dapat meningkatkan kekuatan dan kekakuan. Alasan penggunaannya di atas bahan tradisional adalah karena mereka meningkatkan sifat bahan dasarnya dan dapat diterapkan dalam banyak situasi. Composites sendiri memiliki attribute atau material properties yang pada dasarnya adalah sifat-sifat dasar dari material *composites* (Ashby, 2005)

Tabel 8.1. *Material properties* dari komposite

Material properties of Carbon Fibre Reinforced Polymer (CFRP)		
Melting Temperature, T _m , and Glass Temperature, T _g	n/a	T _m or T _g (°C)
Density, ρ	1.5–1.6	ρ (Mg/m ³)
Young's Modulus, E	69–150	E (GPa)
Yield Strength, σ_y , and Tensile Strength, σ_{ts}	550–1050 , 550–1050	σ_y (MPa) , σ_{ts} (MPa)
Fracture Toughness (plane strain), K _{IC}	6.1–88	K _{IC} (MPa√m)
Thermal Conductivity, λ , and Thermal Expansion, α	1.28–2.6 1–4	λ (W/m.K) α (10–6/C)
Heat Capacity, C _p	900–1040	C _p (J/kg.K)
Resistivity and Dielectric Constant	1.7 × 10 ⁵ , 1 × 10 ⁶	Resistivity (μ ohm.cm),Dielectric Constant
Embodied Energy and CO ₂ Footprint	259–286 ,16.1–18.3	Energy (MJ/kg),CO ₂ (kg/kg)
Approximate Material Prices, C _m	40–44	C _m (\$/kg)

(Sumber : (Ashby, 2005))

8.7 Definisi dan Istilah dalam *Composites*

Additives – ada banyak aditif berbeda yang digunakan untuk memodifikasi dan meningkatkan sifat resin yang menjadi bagian dari matriks. Aditif ini meliputi: Thixotropes, pigmen & pewarna, penghambat api, penekan, penghambat & Stabilisator UV, aditif konduktif, dan zat pelepas.

Closed Molding/Cetakan Tertutup, bahan baku (serat dan resin) mengering dimasukkan ke dalam cetakan dua sisi atau di dalam kantong vakum. Biasanya, otomatis dan memerlukan peralatan khusus, sehingga sebagian besar digunakan di pabrik besar yang menghasilkan material dalam jumlah besar.

Composite/Komposit, bahan yang terbuat dari dua atau lebih bahan berbeda yang, bila digabungkan, lebih kuat dari bahan individu itu sendiri.

Core material, inti, Bahan inti diapit di antara kulit laminasi yang diperkuat serat untuk meningkatkan kekakuan dan kekuatan lentur secara signifikan sekaligus mengurangi kelengkungan permukaan datar. Bahan inti meliputi: Balsa, Busa PVC Tautan Silang, Busa Termoplastik, Busa Poliuretan, Busa Sintaksis, Busa PVC linier, sarang lebah, Busa PMI, inti yang diperkuat serat dan kain inti (bulker laminasi).

DCPD RIM – proses pembuatan komponen besar secara cepat dan efisien menggunakan resin disiklopentadiena dan pencetakan injeksi reaksi. Ini menggunakan cetakan tertutup dan lingkungan rendah kelembaban, rendah oksigen.

Dicyclopentadiene (DCPD) – proses pembuatan komponen besar secara cepat dan efisien menggunakan resin disiklopentadiena dan pencetakan injeksi reaksi. Ini menggunakan cetakan tertutup dan lingkungan rendah kelembaban, rendah oksigen.

Fiber/Serat fiber, komponen komposit yang memperkuat material. Memberikan kekuatan dan kekakuan. Terbuat dari kaca, karbon, aramid, basal atau serat alami.

Fiber-Reinforced Polymer Composite (FRP) komposit yang terbuat dari matriks polimer yang diperkuat dengan serat rekayasa, buatan manusia atau alami atau bahan penguat lainnya.

Fillers / Bahan Pengisi – paling murah dari bahan utama komposit dan membantu mengurangi biaya komposit. Dapat meningkatkan sifat mekanik termasuk kinerja api dan asap dengan mengurangi kandungan organik dalam laminasi komposit. Pengisi meliputi: Kalsium karbonat, Kaolin, Alumina trihidrat, dan kalsium sulfat.

Long Fiber Injection/Injeksi Serat Panjang – proses di mana resin poliuretan dan serat kaca cincang disemprotkan ke dalam cetakan terbuka. Tekanan kompresi rendah kemudian digunakan untuk membuat bagian kompleks dalam berbagai

ukuran yang memungkinkan terbentuknya geometri di kedua sisi bagian.

Matrix - adalah komponen komposit sebagai perekat yang melindungi dan mentransfer beban antar serat.

Open Molding – bahan baku (resin dan penguat serat) terpapar ke udara saat mengering atau mengeras. Ini adalah proses pencetakan terbuka menggunakan proses yang berbeda, termasuk *hand lay-up*, *spray-up*, *casting*, dan *filament winding*.

Reinforcements/penguatan, bahan serat yang membantu memperkuat komposit. Tersedia dalam serat penguat dan bentuk penguat.

Reinforcement Fibers/Serat Penguat – berbagai jenis serat yang membantu memperkuat komposit. Sertakan Kaca, Karbon, aramid (poliamid), atau serat baru.

Reinforcement forms/Bentuk penguatan – bentuk melayani berbagai proses dan persyaratan produk akhir. Bahan yang disuplai sebagai penguat termasuk serat dalam bentuk gulungan, serat yang digiling, untaian serat yang dipilin, serat yang berbetuk lembaran tikar, bentuk cincang atau thermoformable.

Reinforced Reaction Injection Molding – sebuah proses di mana dua atau lebih resin reaktif diukur dan dicampur di bawah tekanan tinggi untuk membentuk polimer termoseting, disuntikkan ke dalam cetakan, dan kemudian dikerinkan. Proses yang populer dengan sejumlah keunggulan termasuk waktu siklus yang lebih cepat, tenaga kerja rendah, tekanan penjepitan cetakan rendah, dan tingkat skrap rendah.

Resins – Adalah bahan matriks. Bertindak sebagai lem untuk menyatukan serat dan melindungi serat dari kerusakan. Termasuk poliester, epoksi, vinil ester, poliuretan atau lainnya.

Surface finishes/Finishing, Pekerjaan akhir pada permukaan – sebagian besar digunakan untuk perlindungan UV, ketahanan korosi dan estetika. Dapat dicetak dalam proses atau pelapis yang diterapkan secara sekunder. Contohnya termasuk:

lapisan gel, pelapis permukaan, perekat, perlindungan *ultraviolet*, dan pengacatan didalam cetakan dan dan pengecatan setelah dicetak.

8.8 Penutup

Sesuai dengan penjelasan diatas mengenai sifat-sifatnya maka sudah dipastikan komposite akan menjadi bahan atau material yang sangat penting di dalam perkembangan teknologi saat ini dan masa mendatang. Sifat-sifat material akan terus berkembang seiring dengan berkembangnya ilmu pengetahuan dalam pengembangan dan penggunaan material serta keinginan untuk mempertahankan kelangsungan hidup bumi ini agar tidak terjadi pencemaran dan kerusakan lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Farahdiansari, A. P., Dewadi, F. M., & Rahdiana, N. 2021. Analisis Unjuk Kerja BBM dengan Eco-Racing sebagai Campuran BBM yang Ekonomis. *JTMMX*, II(1), 1-5.
- Wibowo, C., Sukarno, S., Nursanti, Y. B., & Dewadi, F. M. 2022. Kebutuhan Perguruan Tinggi di Wonogiri sebagai Bagian dari Pengembangan Sumber Daya Manusia. *VISIONER : Jurnal Penelitian Komunikasi dan Sosial Politik*, IV(1), 20-27.
- (BSN), B. S. 2021, September 3. Metode uji komposit serat berpolimer sebagai penulangan atau perkuatan struktur beton dan masonri (ACI 440.3R-12, IDT),. *Penetapan Standar Nasional Indonesia 8972:2021*. Jakarta, Jakarta, Indonesia: BSN.
- Abbas, A., Prayitno, P., Butarbutar, F., Nurkim, N., Prumanto, D., Dewadi, F. M., . . . Windarto, A. P. 2020. Implementation of clustering unsupervised learning using KMeans mapping techniques. Medan: IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering.
- Ashby, M. F. 2005. *Materials Selection in Materials Selection in* . Londong: Elsevier.
- Biantoro, B. 2023. *Merdeka.com*. Retrieved Oktober 12, 2016, from <https://www.merdeka.com/teknologi/hebat-china-kembangkan-reaktor-nuklir-terkecil-di-dunia.html>
- Britannica.com. 2023, March. <https://www.britannica.com/>. Retrieved from <https://www.britannica.com/:https://www.britannica.com/summary/steam-engine>
- Dewadi, F. M. 2016. *Perancangan Mesin Roll Pelat Dengan Penggerak Motor Listrik Ac 1 Fasa Kapasitas Daya Listrik 180 W*. Jakarta: Institut Sains dan Teknologi Al-Kamal.
- Dewadi, F. M. 2021. Efisiensi Pada Sepeda Listrik Dengan Dinamo Sepeda Sebagai Generator. *Praxis : Jurnal Sains, Teknologi, Masyarakat dan Jejaring*, IV(1), 13-23.

- Dewadi, F. M. 2022. Klasifikasi Perpindahan Panas. In R. Pido (Ed.), *Perpindahan Panas: Dasar dan Praktisi dari Perspektif Akademisi dan Praktisi* (pp. 1-8). Bandung: Indie Press.
- Dewadi, F. M., Dahlan, D., & Maulana, E. 2019. Frame e-Bike Optimization Capacity 48V. *JOJAPS, XIV*, 129-138.
- Dimiyati, D., Ashiedieque, A. D., Khoirudin, Sukarman, Dewadi, F. M., Rahdiana, N., . . . Suropto, H. 2021. Evaluasi Kekuatan Resistance Spot Welding Pada Proses Tailor Welded Blankss Menggunakan Mill-Steel Beda Ketebalan. *Borobudur Engineering Research (BENR), I(1)*, 96-107.
- ETICON. 2021. *eticon.co.id*. Retrieved September 2, 2021, from <https://eticon.co.id/mengenal-panel-surya/>
- Farag, D. M. 2013. *Materials and Process Selection for Engineering Design*. Milton Park, in Oxfordshire: CRS Press.
- KEITHMOBLEY, R. 2008. *Maintenance Engineering Handbook 7th Edition*. Tennessee: MC Graw Hill.
- Khoirudin, Sukarman, Murtalim, Dewadi, F. M., Rahdiana, N., Rais, A., . . . Abbas, A. 2021. A Report on Metal Forming Technology Transfer from Expert to Industry for Improving Production Efficiency. *Mechanical Engineering for Society and Industry, I(2)*, 96-103.
- Meliyani, R., Riyana, M., Parkhurst, H., Rahmah, H., Purnama, P. M., Sulistyono, E., . . . Djamilah, S. 2022. *Indonesia Patent No. 000409479*.
- Mulyadi, D., & Dewadi, F. M. 2021. Analisis Rancangan Sel Surya untuk Kebutuhan Cadangan Energi Listrik di Kolam Wilayah Graha Raya Bintaro, Tangerang Selatan. *Jurnal Teknik Mesin Mechanical Xplore, II(1)*, 6-12.
- Murtalim. 2020. Analisis Unjuk Kerja Eco Racing sebagai Suplemen Penghemat Bahan Bakar. Malang: Universitas Widyagama Malang.

- Murtalim, Dewadi, F. M., Amir, & Sigalingging, W. S. 2021. Pengaruh Parameter Temperatur Quenching terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Rear Hub Spindles. *Buana Ilmu*, V(2), 101-118.
- Nanda, R. A., Supriyanto, A., Dewadi, F. M., Jati, R. R., & Kurniawan, L. A. 2022. Perancangan dan Perakitan Elektronika Mikrokontroler berbasis IOT untuk Studi Pengukuran Sistem HVAC. *JTMMX*, VII(1), 43-55.
- Perry, R. H., Maloney, J. O., & Green, D. W. 1999. *Perry's Chemical Engineering Handbok*. New York: McGraw-Hill.
- Prismono. 2023. *Perominer*. Retrieved Maret 2, 2021, from <https://petrominer.com/ini-turbin-gas-berbahan-bakar-amonia-pertama-di-dunia/>
- Priyanka, P. 2017. High-Strength Hybrid Textile Composites with Carbon, Kevlar, and E-Glass Fibers for Impact-Resistant Structures. A Review. *Mechanics of Composite Materials*.
- Raja Ma'arof, R. A., Saputra, O. A., Dewadi, F. M., & Noor, A. 2021. *Engaging Students: Blending Class Activities with Industry-linked Teaching Approach in Occupational Safety and Health Course Delivery*. Kuala Lumpur: Universiti Kuala Lumpur.
- Rizaty, M. A. 2022. *databooks*. Retrieved 02 15, 2022, from <https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2022/02/15/daftar-negara-produsen-litium-terbesar-di-skala-global>
- Sukarman, Dewadi, F. M., Supriyanto, A., Sunandar, & Karyadi. 2021. Pengaruh Penahanan Suhu Reaktor pada Pengujian LDPE dengan Debit Air 46 L/Min. *JTMMX*, II(1), 19-27.
- Wibowo, C., & Dewadi, F. M. 2022. Design Pressure Reduction System (PRS) untuk Compressed Natural Gas (CNG) Kapasitas 30 Nm³/h dalam Sisi Teknis dan Ekonomis. *TEKINFO: Jurnal Penelitian Teknik dan Informatika*, II(2), 60-65.

Yusuf, M. Y. 2022. *IDX Channel*. Retrieved 6 6, 2022, from <https://www.idxchannel.com/economics/negara-paling-maju-di-dunia-2022-masih-didominasi-negara-eropa>

BAB 9

MATERIAL TEKNIK BUKAN PADAT (CAIR, PASTA), SIFAT-SIFATNYA DAN PENGGUNAANNYA

Oleh Esta Larosa

9.1 Pendahuluan

Perkembangan teknologi membawa peran penting dalam proses manufaktur, pemilihan material salah satu hal utama yang harus diperhatikan. Perkembangan material menyesuaikan dengan kebutuhan dan kemampuan berpikir manusia (Rahmad, 2019). Pada umumnya, kemampuan mesin atau struktur dapat diukur berdasarkan sifat material yang digunakan.

Material merupakan bahan penyusun utama yang menjadi kebutuhan struktural pada proses keteknikan dan perindustrian. Material Teknik merupakan komposisi bahan yang memiliki sifat khusus yang dimanfaatkan oleh para ahli teknik dalam berbagai pekerjaan teknik, seperti konstruksi dan manufaktur. Material teknik adalah semua unsur zat yang memiliki bentuk cair, padat, dan gas. Cair seperti bensin, pelumas, solar dan bahan kimia lainnya. Padat seperti logam, keramik, kaca, kayu, polimer/komposit. Gas seperti Oksigen, CO₂, dan Hidrogen. (Studi, Mesin and Teknik, 2020)

Material teknik biasanya memiliki sifat-sifat khusus yang memungkinkan mereka untuk menahan beban, cahaya, panas, tekanan, magnet atau keausan dalam kondisi kerja yang berat (Sofyan, 2021). Beberapa contoh material teknik yang umum digunakan meliputi:

1. Logam: Logam seperti baja, aluminium, tembaga, dan titanium sering digunakan dalam konstruksi, mesin, kendaraan, dan elektronik. Mereka memiliki kekuatan mekanik yang baik, konduktivitas panas dan listrik yang tinggi, serta ketahanan terhadap korosi.
2. Plastik: Plastik teknik, seperti polietilen, polipropilen, polivinil klorida (PVC), dan akrilik, sering digunakan dalam industri manufaktur untuk membuat komponen yang ringan, tahan terhadap korosi, dan memiliki isolasi listrik yang baik.
3. Komposit: Komposit terdiri dari dua atau lebih bahan yang digabungkan bersama untuk menciptakan material dengan sifat gabungan yang unggul. Contoh komposit termasuk serat karbon yang ditanamkan dalam matriks polimer atau matriks logam. Komposit biasanya memiliki kekuatan yang tinggi, kekakuan, dan tahan terhadap korosi.
4. Keramik: Keramik seperti porselen, alumina, dan zirkonia digunakan dalam berbagai aplikasi yang membutuhkan ketahanan panas, keausan, dan isolasi listrik yang baik. Mereka sering digunakan dalam industri kimia, elektronik, dan ruang angkasa.
5. Kaca: Kaca adalah material transparan yang digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti jendela, kaca mobil, dan peralatan laboratorium. Kaca memiliki sifat transparansi optik, tahan terhadap korosi, dan isolasi listrik.

Pemilihan material teknik yang tepat sangat penting dalam merancang dan memproduksi komponen dan sistem yang berfungsi dengan baik dalam berbagai kondisi kerja.

9.2 Sifat-Sifat Material Teknik Bukan Padat (Cair, Pasta)

Umumnya material yang memiliki sifat bukan padat (cair, pasta) antara lain sebagai berikut:

1. **Viskositas:** Viskositas mengacu pada ketahanan atau kekentalan suatu material terhadap aliran. Material cair dan pasta memiliki viskositas yang berbeda-beda. Cairan dengan viskositas rendah memiliki aliran yang lebih mudah, sedangkan cairan dengan viskositas tinggi lebih kental dan mengalir dengan lebih lambat. Pasta memiliki viskositas yang lebih tinggi daripada cairan. Viskositas adalah sifat material yang menunjukkan kekentalan atau ketahanannya terhadap aliran. Pada material teknik, viskositas dapat berperan penting dalam berbagai aplikasi.
2. **Aliran:** Material cair dan pasta memiliki kemampuan untuk mengalir dan menyesuaikan bentuk mereka dengan wadah atau permukaan di mana mereka ditempatkan. Sifat aliran ini membedakan material tersebut dari material padat yang mempertahankan bentuk tetap mereka.
3. **Koherensi:** Koherensi mengacu pada tingkat kekakuan atau kekentalan material yang tidak padat. Material pasta cenderung memiliki koherensi yang lebih tinggi daripada cairan, yang membuatnya mempertahankan bentuknya dengan lebih baik.
4. **Densitas:** Densitas merujuk pada massa per satuan volume suatu material. Material cair dan pasta memiliki densitas yang berbeda-beda tergantung pada komposisi dan jenisnya.
5. **Reaktivitas:** Material teknik yang tidak padat juga dapat memiliki sifat reaktif terhadap suhu, cahaya, atau bahan kimia tertentu. Mereka dapat berubah dalam sifat fisik atau kimianya tergantung pada kondisi lingkungan tertentu.

Penggunaan material teknik yang tidak padat, seperti cair dan pasta, mencakup berbagai aplikasi seperti pelumas, pendingin, pengisi, adhesif, cat, pasta gigi, dan banyak lagi. Sifat-sifat khusus ini memungkinkan mereka untuk digunakan dalam berbagai situasi yang membutuhkan aliran, penyesuaian bentuk, atau kemampuan untuk menempel pada permukaan lain.

9.3 Penggunaan

Sifat-sifat dan penggunaan material teknik yang bukan padat (cair dan pasta) sangat bergantung pada komposisi, viskositas, reaktivitas kimia, dan kebutuhannya. Pemilihan material yang tepat penting untuk memastikan kinerja yang diinginkan. Contoh penggunaannya sebagai berikut:

1. Cair (Liquid):

- a. Viskositas: Cairan memiliki viskositas yang bervariasi, dari yang sangat encer hingga sangat kental.

Berikut adalah beberapa contoh pengaruh viskositas pada material teknik:

- 1) Pelumas: Dalam industri dan mesin-mesin yang bergerak, pelumas digunakan untuk mengurangi gesekan antara permukaan yang bergerak. Viskositas pelumas sangat penting dalam memastikan pelumasan yang efektif. Pelumas dengan viskositas yang tepat akan membentuk lapisan pelumas yang cukup tebal di antara permukaan gesekan, sehingga mengurangi keausan dan panas yang dihasilkan.
- 2) Pendingin: Viskositas juga memainkan peran dalam media pendingin, seperti minyak pendingin pada sistem pendingin. Viskositas yang terlalu tinggi dapat menyebabkan aliran pendinginan menjadi terhambat, sedangkan viskositas yang terlalu

rendah dapat mengurangi efektivitas pendinginan. Oleh karena itu, viskositas yang tepat harus dipilih untuk memastikan media pendingin dapat mengalir dengan baik dan mentransfer panas dengan efisien.

- 3) Pencampuran dan Pengadukan: Dalam proses manufaktur atau laboratorium, material cair dengan viskositas yang berbeda-beda sering harus dicampur atau diaduk bersama. Viskositas yang tepat dapat mempengaruhi proses pencampuran, homogenitas, dan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai campuran yang seragam.
 - 4) Pengecoran dan Penyuntikan: Pada proses pengecoran logam atau penyuntikan plastik, viskositas material cair mempengaruhi kemampuan aliran material melalui cetakan atau rongga cetakan. Viskositas yang terlalu rendah dapat mengakibatkan aliran yang terlalu cepat atau kehilangan detail cetakan, sedangkan viskositas yang terlalu tinggi dapat menyebabkan kesulitan dalam mengisi cetakan dengan baik.
 - 5) Proses Pengecatan dan Percetakan: Viskositas juga penting dalam proses pengecatan dan percetakan. Pada cat, viskositas yang tepat memastikan aplikasi yang baik, menghindari aliran yang berlebihan atau terlalu tipis. Dalam percetakan, viskositas tinta cetak berpengaruh pada transfer tinta dan definisi cetakan.
- b. Aliran: Cairan dapat mengalir dan mengisi wadah dengan mudah.
 - c. Koherensi: Cairan tidak mempertahankan bentuk tetap dan cenderung mengalir ke arah gravitasi.
 - d. Cairan digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti:
 - 1) Minyak pelumas pada mesin dan peralatan.

- 2) Pendingin pada sistem pendingin dan radiator.
- 3) Pelarut dalam industri kimia.
- 4) Media transfer panas dalam penukar panas.
- 5) Cairan pendingin dalam sistem pendingin elektronik.

2. Pasta:

a. Viskositas: Pasta memiliki viskositas yang lebih tinggi dibandingkan dengan cairan, sehingga tidak mudah mengalir.

b. Koherensi: Pasta memiliki kekentalan yang tinggi dan cenderung mempertahankan bentuk yang diberikan.

Penggunaan: Pasta digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti:

- 1) Dempul untuk mengisi celah dan retakan pada permukaan yang akan dipoles atau dicat.
- 2) Bahan perekat dalam pemasangan keramik atau ubin.
- 3) Pasta perekat material

DAFTAR PUSTAKA

- Rahmad, D. 2019. 'Pemilihan Material dan Proses Pengerjaannya'.
Available at: <https://jazirahkomputer.blogspot.com/2019/03/makalah-pemilihan-material-dan-proses.html>.
- Sofyan, B.T. 2021. *Pengantar Material Teknik Edisi Kedua*.
- Studi, P., Mesin, T. and Teknik, F. 2020. 'Material Teknik I'.

BIODATA PENULIS



Kostiawan Sukamto, S.Pd., M.T.

Dosen Program Studi Kimia
Fakultas MIPA Universitas Negeri Gorontalo

Kostiawan Sukamto lahir di Kabupaten Bolaang Mongondow Timur Provinsi Sulawesi Utara, pada 20 Januari 1991. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Kimia Fakultas Matematika dan IPA, Universitas Negeri Gorontalo (UNG). Ia tercatat sebagai lulusan Universitas Negeri Gorontalo (S1) Jurusan Pendidikan Kimia dan Institut Teknologi Bandung (S2) konsentrasi Rekayasa Mineral dan Metalurgi. Penulis berfokus pada riset dalam bidang preparasi dan ekstraksi mineral logam dengan metode hidrometalurgi. Selain itu, penulis juga banyak bergelut dalam penyiapan material yang cocok untuk menjamin keberhasilan proses preparasi dan ekstraksi mineral logam tersebut. Penulis juga merupakan pengajar MK Material Teknik di UNU Gorontalo sejak 2018.

BIODATA PENULIS



Ryan Effendi, S.T.,

Ryan Effendi, S.T., lahir di Kota Balikpapan, Kalimantan Timur pada tanggal 20 Oktober 1998. Anak pertama dari tiga bersaudara. Lulus program Sarjana di Universitas Negeri Surabaya, jurusan Teknik Mesin, tahun 2021. Kemudian melanjutkan program Pascasarjana di Institut Teknologi Sepuluh Nopember, jurusan Teknik Mesin. Memiliki minat dalam dunia olahraga, berwirausaha, energi terbarukan, dan menulis. Pernah mendapatkan dana bantuan penelitian dari KEMENRISTEKDIKTI melalui program kreativitas mahasiswa pada tahun 2017 dan 2018, dan turut serta dalam pembuatan 2 proposal program KEDAIREKA pada tahun 2022.

BIODATA PENULIS

Ir. Zainal Sudirman, ST., MT.

Dosen Program Studi Teknik Perawatan Mesin
Akademi Komunitas Industri Manufaktur Bantaeng

Penulis lahir di Rappang tanggal 20 April 1991. Penulis adalah dosen pada Program Studi Teknik Perawatan Mesin, Akademi Komunitas Industri Manufaktur Bantaeng. Menyelesaikan pendidikan D3 pada Jurusan Teknik Mesin di Politeknik Negeri Ujung Pandang, melanjutkan S1 pada Jurusan Teknik Industri di Universitas Muslim Indonesia, Program Profesi Insinyur di Universitas Hasanuddin dan S2 pada Jurusan Teknik mesin di Universitas Hasanuddin. Penulis sekarang menekuni penelitian pada bidang material.

BIODATA PENULIS



Dodi Mulyadi, S.T., M.T.

Dosen Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas
Buana Perjuangan Karawang.

Lahir di Tasikmalaya, 11 Juli 1979. Lulus dari Politeknik ITB pada tahun 2001 dari jurusan Teknik Mesin program studi Teknik Refrigerasi dan Tata Udara. Sarjana teknik mesin diraih dari Universitas Jayabaya Jakarta dan Magister Teknik Mesin dari Universitas Pancasila Jakarta tahun 2015. Sejak 2001, bekerja sebagai praktisi industri di perusahaan multinasional sebagai *product development mechanical engineer*. Pernah belajar *product development* di *R&D Center* di Singapura. Pengalaman lainnya sebagai *Business Development Manager* pada perusahaan *customized machines*, sebagai *Quality Assurance & Engineering Manager* (termasuk *machines maintenance*) pada perusahaan injeksi plastik pembuat komponen otomotif dan elektronika. Berniat berbagi ilmu dan pengalaman sebagai praktisi industri, maka pertengahan tahun 2015 memutuskan untuk bergabung menjadi akademisi di Universitas Pancasila Jakarta, kemudian pindah dan bergabung di Universitas Buana Perjuangan Karawang pada tahun 2019. Penelitian dan publikasi penulis diantaranya

dapat diakses melalui <https://scholar.google.co.id/citations?user=xpbHyy4AAAAJ&hl=id>.

BIODATA PENULIS



Luluk Edahwati

Dosen tetap Fakultas Teknik prodi Teknik Mesin Universitas
Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur

Penulis lahir di Surabaya tanggal 11 Juni 1964. Penulis merupakan dosen tetap Fakultas Teknik prodi Teknik Mesin Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur. Alhamdulillah penulis menyelesaikan pendidikan S1 pada tahun 1990 di jurusan Teknik Kimia di UPNVJT kemudian melanjutkan S2 pada Jurusan Teknik Kimia di ITS Surabaya (1997 -2001). Jenjang S3 penulis selesaikan di UNDIP Semarang jurusan Teknik Mesin dengan spesifikasi material (2015 – 2018). Semoga sedikit materi yang penulis berhasil selesaikan dapat bermanfaat

BIODATA PENULIS



Yudi Siswanto, S.Pd., M.T

Dosen Program Studi Teknik Perawatan Mesin
Politeknik Industri Logam Morowali

Yudi Siswanto atau yang biasa dikenal dengan nama Kecer lahir di Nganjuk tanggal 10 Juni 1987. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Perawatan Mesin, Politeknik Industri Logam Morowali. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Mesin dan melanjutkan S2 pada Jurusan Teknik Industri. Penulis menekuni bidang Teknik Perawatan Mesin Industri Logam. Riwayat pekerjaan sebagai Manajer Projek di PT. Jaya Mulya Group, di CV. Permata Abdi sebagai direktur dan yang terakhir di PT. Wilmar Nabati Indonesia.

BIODATA PENULIS



Dr. Ir. Indra Komara, ST, MT

Dosen Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan ITATS

Penulis berlatarbelakang dalam bidang keteniksipilan lebih dari 10 tahun. Selain itu penulis terlibat sebagai tenaga ahli dengan pengalaman lebih besar dari 15 tahun dalam dunia konstruksi bangunan Gedung dan jembatan. Disamping itu penulis aktif sebagai penulis dan koresponding author dalam jurnal Nasional dan Jurnal Internasional yang menerbitkan lebih dari 30 Jurnal. Telah menerbitkan 5 Buku berupa book chapter dan monograf. Sebagai tambahan penulis juga aktif sebagai Editor dan reviewer Jurnal Nasional terakreditasi Sinta 3 – 5 dan aktif reviewer Jurnal Internasional terindex Scopus.

Penulis sebagai lulusan dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember dan Eskisehir Technical University. Selain itu penulis juga terlibat dalam pengembangan riset dan Kerjasama dengan Kumamoto University dan Pecs University. Penulis pernah mendapatkan Young Research Award dari Global Research and Development Services di Lisbon, Portugal tahun 2017 dan granted as Research Chair di Kumamoto University tahun 2019. Lainnya,

penulis pernah aktif sebagai Invited lecturer di Guilin University of Electronic Technology pada tahun 2018 – 2021.

BIODATA PENULIS



Cahyo Wibowo

Dosen Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Mpu Tantular Jakarta

Cahyo Wibowo, putra dari Alm. Bapak Suratno dan Ibu Sutarni terlahir di Wonogiri, 14 September 1972, Sejak lulus jurusan Teknik mesin program pasca sarjana Universitas Pancasila pada Tahun 2018. Kini penulis sedang bekerja di perusahaan swasta bidang engineering sektor energi yaitu *compressed natural gas* dan bekerja paruh waktu juga sebagai dosen tetap program studi Teknik mesin di Universitas Mpu tantular Jakarta. Kini kesibukan penulis ialah lebih menghabiskan waktu untuk bekerja di bidang engineering di perusahaan yang saat ini bekerja serta mengajar dan menulis. Karya-karya yang telah dibuat dimuat di media *online*, jurnal nasional, jurnal internasional dan jurnal nasional bereputasi. Penulis juga aktif mengembangkan mesin-mesin dan peralatan yang digunakan dalam bisnis *compressed natural gas*. Dan beberapa telah diurnalkan selain itu penulis juga melakukan penelitian dan pengabdian kepada masyarakat.

BIODATA PENULIS



Esta Larosa, M.Pd

Dosen Pendidikan Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Negeri Gorontalo

Penulis lahir di Bengkulu tanggal 11 Juli 1996. Penulis adalah dosen pada Program Studi Pendidikan Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Negeri Gorontalo. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan di Universitas Sriwijaya Palembang pada Tahun 2018 dan melanjutkan S2 pada Jurusan Pendidikan Teknik Mesin, di Universitas Negeri Yogyakarta. Penulis berperan aktif dalam mengelola jurnal. Penulis aktif dalam melakukan penelitian kolaboratif. Alamat email: esta@ung.ac.id