



MATERIAL TEKNIK 2

**Jan Setiawan, Muh Setiawan Sukardin, Luluk Edahwati,
Enni Sulfiana, Suhdi, Andiyan, Shanti Kumbarasari,
Fitri Puspasari, Karyadi**

MATERIAL TEKNIK 2

**Jan Setiawan
Muh Setiawan Sukardin
Luluk Edahwati
Enni Sulfiana
Suhdi
Andiyan
Shanti Kumbarasari
Fitri Puspasari
Karyadi**



GET PRESS INDONESIA

MATERIAL TEKNIK 2

Penulis :

Jan Setiawan
Muh Setiawan Sukardin
Luluk Edahwati
Enni Sulfiana
Suhdi
Andiyan
Shanti Kumbarasari
Fitri Puspasari
Karyadi

ISBN : 978-623-125-229-6

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 :

Jln. Palarik Air Pacah No 26 Kel. Air Pacah
Kec. Koto Tangah Kota Padang Sumatera Barat

Website : www.getpress.co.id

Email : adm.getpress@gmail.com

Cetakan pertama, Juni 2024

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 2 ini.

Buku Ini Membahas Pengertian Material Teknik, Tujuan Mempelajari Material Teknik, Material Logam, Material Non Logam, Keramik, Material Komposit, Perbedaan Masing-Masing Material, Manfaat Dari Masing-Masing Material, Aplikasi Ilmu Material Teknik.

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, Juni 2024

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL	viii
BAB 1 PENGERTIAN MATERIAL TEKNIK	1
1.1 Material Dalam Kehidupan Manusia	1
1.2 Jenis Material Teknik	3
1.2.1 Logam	4
1.2.2 Keramik	5
1.2.3 Polimer	5
1.2.4 Paduan	6
1.2.5 Komposit	6
1.3 Karakteristik Material	7
1.4 Material Maju	9
1.4.1 Material Cerdas	9
1.4.2 Material Bergradasi Secara Fungsional	10
1.4.3 Material Biomedis	11
DAFTAR PUSTAKA	12
BAB 2 TUJUAN MEMPELAJARI MATERIAL TEKNIK	15
2.1 Pendahuluan	15
2.2 Pentingnya Material Teknik	15
2.3 Fungsi Klasifikasi Material	19
2.4 Klasifikasi Material Berdasarkan Struktur	24
2.5 Pengaruh Lingkungan	26
DAFTAR PUSTAKA	29
BAB 3 MATERIAL LOGAM	31
3.1 Pendahuluan	31
3.2 Definisi Logam	32
3.3 Sifat Fisis Logam	33
3.4 Karakteristik Kimia Logam	34
3.5 Jenis Logam	36
3.6 Proses Pembentukan Logam Dasar	40
3.7 Klasifikasi Pengecoran logam sesuai dengan jenis alat cetaknya	45
3.8 Penggunaan Logam	50

DAFTAR PUSTAKA.....	52
BAB 4 MATERIAL NON LOGAM.....	53
4.1 Pengertian Material Non Logam.....	53
4.1.1 Definisi Material Non Logam.....	53
4.1.2 Perbedaan antara material non logam dan logam.....	53
4.2 Jenis-jenis Material Non Logam.....	54
4.2.1 Polimer.....	58
4.2.2 Keramik.....	59
4.2.3 Material Kaca.....	61
4.2.4 Serat.....	62
4.2.5 Karet.....	63
4.2.5 Plastik.....	64
4.3 Sifat-sifat Material Non Logam.....	65
4.4 Penggunaan Material Non Logam.....	66
4.5 Perkembangan dan Teknologi Material Non Logam.....	67
DAFTAR PUSTAKA.....	70
BAB 5 KERAMIK.....	71
5.1 Pendahuluan.....	71
5.2 Jenis Jenis Keramik.....	72
5.2.1 Keramik Tradisional.....	72
5.2.2 Keramik Maju.....	74
5.3 Teknik Pembuatan Keramik.....	77
5.4 Sifat Sifat Keramik.....	80
5.5 Penggunaan Keramik.....	81
5.5.1 Penggunaan Keramik dalam kehidupan Sehari-hari.....	81
5.5.2 Penggunaan Keramik dalam Industri.....	82
5.5.3 Penggunaan Keramik dalam Teknologi Maju.....	84
5.6 Inovasi Terbaru dalam Bidang Keramik dan Potensinya Dimasa Depan.....	86
DAFTAR PUSTAKA.....	88
BAB 6 MATERIAL KOMPOSIT.....	91
6.1 Pendahuluan.....	91
6.2 Klasifikasi Material Komposit.....	93
6.2.1 Komposit serat (<i>fiber composite</i>).....	93
6.2.2 Komposit Laminat (<i>laminated composite</i>).....	94
6.2.3 Komposit Partikel (<i>particulated composite</i>).....	95

6.2.4 Komposit serpihan (<i>flake composite</i>).....	95
6.3 Konstituen utama dari komposit <i>Fiber Reinforced</i>	
<i>Plastics</i> (FRP).....	96
6.3.1 Serat.....	97
6.3.2 Matrik.....	97
6.4 Abu Terbang Batubara	98
DAFTAR PUSTAKA	101
BAB 7 PERBEDAAN MASING-MASING MATERIAL	103
7.1 Pendahuluan.....	103
7.2 Klasifikasi Material.....	104
7.2.1 Material Logam.....	110
7.2.2 Material Non Logam.....	111
7.2.3 Material Keramik.....	113
7.2.4 Material Polimer.....	114
7.2.5 Material Komposit.....	118
DAFTAR PUSTAKA	122
BAB 8 MANFAAT DARI MASING-MASING MATERIAL	123
8.1 Pendahuluan.....	123
8.2 Logam	124
8.3 Polimer.....	125
8.4 Keramik.....	126
8.5 Komposit.....	128
8.6 Semikonduktor	131
DAFTAR PUSTAKA	133
BAB 9 APLIKASI ILMU MATERIAL	135
9.1 Pendahuluan.....	135
9.2 Pengujian Material	135
9.3 Jenis Logam	143
9.3.1 Logam Besi	143
9.3.2 Logam non fero	144
9.4 Jenis Plastik.....	145
9.5 Aplikasi Ilmu Material.....	145
9.5.1 Pembuatan Besi.....	146
9.5.2 Pengolahan Material Plastik.....	147
DAFTAR PUSTAKA	149
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Perkembangan kemajuan material teknik dari waktu ke waktu	2
Gambar 1.2. Klasifikasi material teknik.....	3
Gambar 2.1. Penerapan tetrahedron teknik material pada keramik superkonduktor.	18
Gambar 2.2. Suhu tinggi uap natrium pada lampu jalan terbuat dari silinder tembus cahaya Al_2O_3 untuk menampung uap natrium	20
Gambar 2.3. Mikrograf baja tahan karat menampilkan butiran dan batas-batas butirannya	24
Gambar 2.4. Contoh komposit fiberglass yang tersusun dari penguat skala mikroskopis serat kaca dalam matriks polimer.....	25
Gambar 2.5. Meningkatkan suhu secara umum akan mengurangi kekuatan suatu material.	27
Gambar 3.1. Bentuk ikatan logam	34
Gambar 3.2. Tembaga	37
Gambar 3.3. Aluminium	38
Gambar 3.4. Proses pengecoran logam	41
Gambar 3.5. Proses pengerolan logam	41
Gambar 3.5. Dimensi benda kerja yang akan dibuat.....	44
Gambar 3.6. Pengecoran logam pada cetakan pasir	45
Gambar 3.7. Metode Pengecoran secara Sentrifugal (Sentrifugal Casting)	47
Gambar 3.8. Mesin Die Casting.....	47
Gambar 3.9. Proses Kerja Die casting.....	48
Gambar 3.10. Produk <i>Die Casting</i>	49
Gambar 4.1. Polimer sebagai senyawa molekul yang memiliki massa molar yang tinggi	54
Gambar 4.2. Material Keramik.....	55
Gambar 4.3. Material Kaca	56
Gambar 4.4. Material Serat Sabut Kelapa	57
Gambar 4.5. Material Karet bentuk lembaran.....	57
Gambar 4.6. Material Plastik.....	58
Gambar 5.1. Produk keramik tanah	73

Gambar 5.2. Produk porselen.....	74
Gambar 5.3. Aluminium oksida (Al_2O_3).....	75
Gambar 5.4. XY2426 <i>Silicon carbide (SiC) crystal</i> <i>substrate</i>	76
Gambar 5.5. Boron nitride powder	77
Gambar 5.6. <i>Cutting tools</i>	83
Gambar 5.7. CMC component parts in a gas turbine engine.....	85
Gambar 6.1. Klasifikasi komposit menurut jenis penguatnya	92
Gambar 6.2. Klasifikasi komposit menurut penguatnya	92
Gambar 6.3. Struktur mikro lamina	95
Gambar 6.4. Diagram klasifikasi komposit	96
Gambar 7.1. Nilai konduktivitas pada suhu ruang untuk material logam, keramik, polimer dan bahan semikonduktor.....	104
Gambar 7.2. Nilai berat jenis pada suhu ruang untuk material logam, keramik, polimer dan komposit	106
Gambar 7.3. Nilai-nilai Modulus Elastisitas pada suhu ruang, pada material logam, keramik, polimer dan bahan komposit	107
Gambar 7.4. Nilai kekuatan tarik pada suhu ruang pada material logam, keramik, polimer dan bahan komposit.....	107
Gambar 7.5. Nilai ketahanan terhadap patahan pada suhu kamar untuk material logam, keramik, polimer dan bahan komposit	108
Gambar 7.6. Skema unit berulang dan struktur rantai Polyethylene	115
Gambar 8.1. Logam Sebagai Bahan Material Pesawat	124
Gambar 8.2. Material komposit sebagai bahan pesawat terbang.....	129
Gambar 8.3. Aplikasi Chip Semikonduktor.....	131
Gambar 9.1. Mesin Uji Tarik.....	136
Gambar 9.2. Mesin Uji Bending	138
Gambar 9.3. Skema Uji Tekuk.....	139

Gambar 9.4. Mesin Impact Test..... 140

Gambar 9.5. pengujian impact..... 141

Gambar 9.6. Mesin Hardness Test..... 142

Gambar 9.7. Klasifikasi logam..... 143

Gambar 9.8. Logam Tuang..... 144

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Kategori material dan aplikasinya.....	4
Tabel 4.1. Perbandingan Mekanikal dan Fisikal Struktur Keramik (SiC, Si ₃ N ₄ , ZrO ₂) dengan Besi dan Paduan Aluminium	59
Tabel 9.1. Tabel pengujian kekerasan.....	142

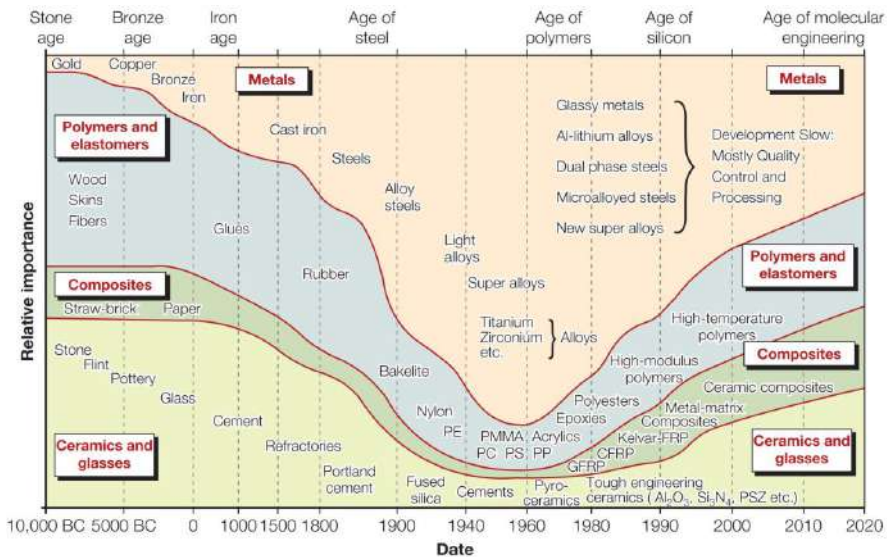
BAB 1

PENGERTIAN MATERIAL TEKNIK

Oleh Jan Setiawan

1.1 Material Dalam Kehidupan Manusia

Material dapat didefinisikan sebagai segala sesuatu yang dapat memenuhi kebutuhan manusia atau dapat dikatakan juga sebagai kandungan dari sesuatu atau yang membentuk sesuatu. Material telah digunakan oleh berbagai bangsa dari dahulu kala untuk meningkatkan standar hidup dan kesejahteraannya. Secara historis, perkembangan dan kemajuan suatu bangsa sangat erat kaitannya dengan kemampuan masyarakatnya dalam memproduksi dan mengolah material untuk memenuhi kebutuhan kehidupannya. Pada peradaban awal, pengelompokkannya ditetapkan berdasarkan tingkat perkembangan penggunaan materialnya seperti zaman batu, zaman perunggu, zaman besi, zaman plastik dan zaman komposit (Bolton & Higgins, 2021). Material dapat ditemukan disekeliling kita telah berbentuk produk yang digunakan. Material dapat diperoleh dari alam yang kemudian diolah dan dibentuk sesuai dengan kebutuhan. Pada awal kehidupan, manusia hanya memiliki akses ke sejumlah material yang sangat terbatas, terutama material yang ada secara alami seperti batu, kayu, tanah liat, dan kulit. Seiring berjalannya waktu, berkembang teknik untuk memproduksi material dengan karakteristik yang lebih unggul daripada yang ada di alam; seperti tembikar dan berbagai jenis logam. Selain itu karakteristik material mampu diubah dengan perlakuan panas dan penambahan zat lain. Seiring dengan berkembangnya ilmu dan teknologi, tuntutan terhadap ketersediaan berbagai material dengan persyaratan yang tinggi semakin meningkat. Selain itu permintaan dari pengguna dengan berbagai pola perilaku kehidupan juga meningkat. Rangkuman perkembangan material teknik dari waktu ke waktu dapat diilustrasikan seperti pada Gambar 1.1, dengan proyeksi hingga tahun 2020 untuk material yang diaplikasikan oleh industri otomotif dan pesawat terbang.



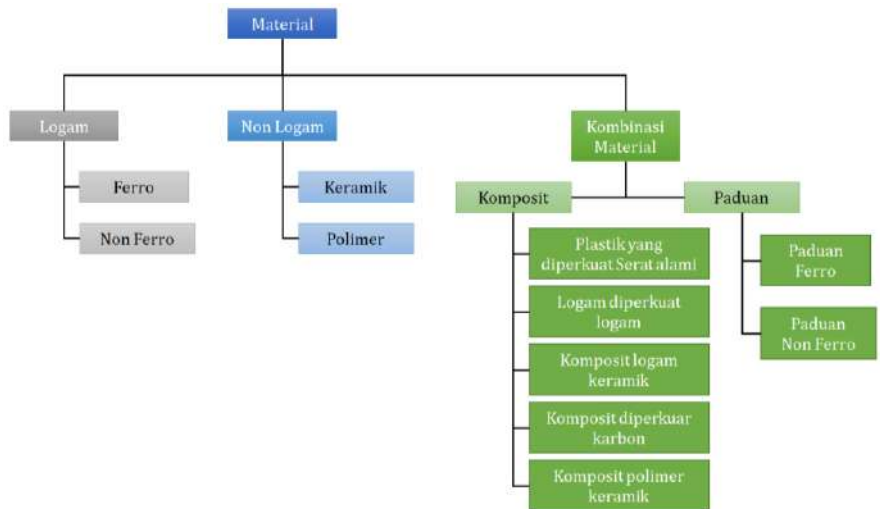
Gambar 1.1. Perkembangan kemajuan material teknik dari waktu ke waktu (Ashby, 2011; Malik et al., 2023).

Namun semakin cepat teknologi berkembang keterbatasan akan material yang mampu memenuhi kebutuhan terasa semakin terbatas. Keterbatasan ini akan meningkatkan harganya sehingga menuntut penggunaan material yang lebih efektif dan efisien. Pada saat ini, pemanfaatan material menjadi proses seleksi yang melibatkan pengambilan keputusan dari sekumpulan material yang diberikan, yang agak terbatas, yang paling sesuai untuk suatu aplikasi berdasarkan karakteristiknya. Penggunaan material yang efektif dan efisien dimulai dari mengenali dan memahami karakteristik material dan kebutuhannya. Dalam desain untuk memenuhi kebutuhan pengguna, pemilihan material disesuaikan dengan batas aman dan selamat sehingga lebih efektif dan efisien. Pengetahuan ini telah mendorong evolusi material dengan berbagai karakteristik untuk memenuhi kebutuhan masyarakat modern dan kompleks. Kemajuan dalam pemahaman tentang jenis material dapat juga sebagai pendorong perkembangan sebuah teknologi. Sangat tidak mungkin kemajuan dalam rekayasa tidak

diimbangi dengan pengembangan keilmuan, rekayasa dan teknologi materialnya.

1.2 Jenis Material Teknik

Secara umum jenis material dapat diklasifikasikan seperti yang ditampilkan pada Gambar 1.2.



Gambar 1.2. Klasifikasi material teknik.
(Sumber : Gupta, 2014)

Pada umumnya klasifikasi material dapat dibagi atas empat kelompok besar berdasarkan struktur internalnya dan karakteristiknya yaitu logam, polimer (plastik), keramik dan komposit. Selain itu ada juga penamaan material dengan istilah *smart materials* dan *nanomaterial* di mana untuk *smart materials* merujuk pada material yang dapat merasakan dan merespons perubahan parameter lingkungan disekitarnya seperti pada material fotokromik yang akan berubah warna menjadi lebih gelap apabila menerima intensitas cahaya yang tinggi. Sedangkan untuk *nanomaterial* istilah yang digunakan untuk material seperti logam, polimer, keramik atau komposit yang berkaitan dengan ukurannya yang mencapai skala nanometer ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$). Material dengan nilai kurang dari 100 nm sudah dapat disebut sebagai *nanomaterial*

(Callister & Rethwisch, 2018). Pada Tabel 1.1 diberikan kategori material beserta dengan aplikasinya.

Tabel 1.1. Kategori material dan aplikasinya

No	Kategori	Material	Aplikasi
1	Logam ferro	Besi dan baja	Struktur, mesin, perkakas
2	Logam non ferro	Cu, Al, Si, Sb, Co	Konduktor, semikonduktor
3	Paduan ferro	Baja tahan karat, baja HSS	Magnet, perkakas potong
4	Paduan non ferro	Perunggu, Kuningan	Perangkat makan
5	Keramik	SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , ZrO ₂	Lensa, refraktori, batu tahan api
6	Polimer	Polyetilen, nylon	Pembentuk komposit, perkakas rumah tangga.
7	Komposit	Beton diperkuat semen	Struktur bangunan dan jembatan

1.2.1 Logam

Material yang mampu berubah bentuknya secara permanen adalah logam. Material ini memiliki konduksi untuk panas dan listrik yang baik. Material logam dapat dikelompokkan menjadi ferro dan non ferro. Logam ferro yaitu logam yang mengandung elemen Fe dan C yang umum dikenal dengan besi dan baja. Perilaku dari material ferro sangat bergantung pada persentasi dan bentuk dari karbon yang terkandung.. Untuk logam non ferro tidak memiliki kandungan Fe dan C. Logam non ferro seperti Al, Cu, Ni, Ag, Zn, Sn dan Cr. Beberapa logam non ferro seperti Al, Cu, Ag dan Au memiliki karakteristik konduksi listrik yang baik. Elemen Cr memiliki karakteristik ketahanan korosi yang baik (Callister & Rethwisch, 2018).

1.2.2 Keramik

Material keramik dapat berupa oksida logam maupun oksida non logam. Material seperti batuan, kaca, lempung, semen dan batu kapur merupakan keramik. Keramik dapat dikelompokkan menjadi, keramik rumah tangga, keramik alami, keramik teknik, keramik gelas, dan material elektronik. Pada sebagian besar keramik, memiliki keuletan yang sangat rendah. Hal ini sebagian besar disebabkan oleh adanya porositas dalam struktur serta kurangnya elastisitas dan plastisitas. Porositas ini terbentuk dari proses pembuatannya. Secara umum, sebagian besar keramik diklasifikasikan sebagai material yang rapuh. Meskipun rapuh, keramik memiliki kekerasan yang tinggi. Hal ini dikarenakan ikatan dalam material keramik adalah ikatan kovalen. Selain itu karakteristik unik lainnya yang timbul karena memiliki ikatan kovalen adalah mampu tahan pada temperatur tinggi (Callister & Rethwisch, 2018).

1.2.3 Polimer

Material ini merupakan gabungan dari unit tunggal *mer* yang berikatan melalui reaksi kimia sehingga terbentuk rantai molekul yang panjang sehingga memiliki bobot molekul yang tinggi. Material polimer dapat diklasifikasikan menjadi termoplastik, termoset dan elastomer. Material termoplastik merupakan polimer yang akan kehilangan kekakuannya saat dipanaskan, sehingga dapat dibentuk kemudian didinginkan. Material termoset merupakan polimer yang mengalami perubahan kimia selama proses pembentukan, sehingga membuat menjadi kaku permanen dan tidak dapat dilunakkan. Proses pembentukannya tidak dapat balik. Elastomer merupakan polimer yang memiliki karakteristik elastisitas yang sangat tinggi tetapi nilai modulus elastisitasnya sangat rendah. Karakteristik polimer pada umumnya adalah memiliki ketahanan korosi, memiliki densitas yang rendah, memiliki kekuatan dan ketangguhan yang baik meskipun lebih rendah dari logam, polimer dapat diberi pigmen sehingga produknya dapat memiliki warna yang menarik (Callister & Rethwisch, 2018).

1.2.4 Paduan

Material ini merupakan gabungan dua atau lebih logam. Karakteristik yang dimiliki paduan akan berbeda dari karakteristik logam pembentuknya. Pembuatan paduan ditujukan untuk memenuhi kebutuhan aplikasi tertentu. Material paduan dapat berupa paduan ferro ataupun non ferro bergantung pada logam dasar yang digunakan. Dalam paduan ferro meskipun ada baja paduan dengan sifat khusus, seperti baja tahan karat dan baja tahan panas, tujuan utama pemaduan adalah untuk meningkatkan sifat yang ada pada baja karbon, sehingga lebih mudah beradaptasi dan lebih mudah untuk diberi perlakuan panas. Dengan demikian, baja paduan dapat berhasil dikeraskan dengan pendinginan dalam minyak, atau bahkan dalam semburan udara, dengan risiko distorsi atau keretakan komponen yang lebih rendah dibandingkan dengan pendinginan air. Selain itu, baja paduan dengan kandungan sedikitnya 0,2% karbon dapat dikeraskan dengan baik karena perlambatan laju transformasi yang cukup besar yang diberikan oleh elemen paduan. Untuk paduan non ferro seperti pada paduan aluminium banyak yang digunakan dalam bentuk tempa, yaitu digulung menjadi lembaran, pelat strip atau pelat, ditarik menjadi kawat atau diekstrusi sebagai batang atau tabung. Paduan lainnya dicetak sesuai bentuk, baik dengan pengecoran pasir atau *die-casting*. Beberapa paduan dapat menerima perlakuan panas lanjutan untuk lebih meningkatkan sifat mekaniknya dengan menginduksi fenomena yang awalnya dikenal sebagai *age-hardening*, tetapi sekarang lebih tepat disebut pengerasan presipitasi (Callister & Rethwisch, 2018).

1.2.5 Komposit

Material komposit merupakan gabungan dari dua atau lebih material yang berbeda karakteristiknya. Material komposit dapat berupa inorganik maupun organik. Kandungan utama dari material komposit dikenal sebagai matriks, dan kandungan minornya dikenal sebagai pengisi atau penguat. Bentuk material komposit dapat berupa gabungan dari logam dan keramik, logam dan polimer, atau keramik dan polimer. Selain itu paduan dari logam juga memungkinkan dibentuk menjadi komposit. Untuk material

penguat, dapat berupa partikulat, serat, atau serpihan. Untuk aplikasi saat ini komposit dengan penguat serat sangat umum dikembangkan. Dalam komposit sifat kohesi antara matriks dengan penguat sangat diperlukan. Untuk meningkatkan sifat kohesi dapat diperoleh melalui metode seperti ikatan mekanik yang mekanismenya menggunakan penguat dengan permukaan yang tidak rata atau kasar dan matriks berupa cairan. Ikatan fisik, dimana mekanismenya bergantung pada gaya van der Waals antar permukaan molekul dari kedua material. Ikatan kimia terjadi pada antarmuka dari penguat dan matriks, sangat mungkin adanya ikatan kimia ini merugikan ketika terbentuk lapisan tipis yang rapuh. Ikatan larutan padat, terjadi pada saat penguat terlarut dalam matriks dalam jumlah terbatas, membentuk larutan padat. Apabila ini terjadi akan menghasilkan ikatan yang kuat (Callister & Rethwisch, 2018).

1.3 Karakteristik Material

Pada material padat, karakteristik penting yang dimilikinya dapat dikelompokkan ke dalam kategori di mana setiap karakteristik akan memiliki pemicu yang khas dan akan menimbulkan respons yang berbeda. Berikut ini kategori karakteristik material (Gupta, 2014; Bolton & Higgins, 2021):

1. Karakteristik mekanik, berkaitan dengan beban atau gaya yang diterapkan pada material. Karakteristiknya seperti modulus elastisitas (kekakuan), kekuatan, dan ketahanan terhadap fraktur.
2. Karakteristik listrik, pemicunya adalah medan listrik yang diterapkan. Karakteristiknya seperti konduktivitas listrik dan konstanta dielektrik.
3. Karakteristik termal, terkait dengan perubahan temperatur atau gradien temperatur dalam material. Karakteristiknya seperti muai panas dan kapasitas panas.
4. Karakteristik magnetik, merupakan respons material terhadap medan magnet luar yang diterapkan. Karakteristiknya seperti susceptibilitas magnetik dan magnetisasi.

5. Karakteristik optik, stimulusnya adalah radiasi elektromagnetik atau cahaya. Karakteristiknya adalah indeks bias dan reflektifitas.
6. Karakteristik degradasi, berkaitan dengan reaktivitas kimiawi material seperti ketahanan korosi logam.
7. Karakteristik nuklir, berkaitan dengan radio aktivitas material dan respons terhadap radiasi. karakteristiknya adalah waktu paruh, konstanta peluruhan dan kemampuan menyerap radiasi.
8. Karakteristik Akustik, merupakan respons terhadap gelombang mekanik. Karakteristiknya adalah refleksi, absorpsi, peredaman dan transmisi suara.

Dengan berbagai karakteristik dan semakin banyaknya material yang dikembangkan, diperlukan standar yang dapat menjadi acuan dalam produksi dan keterjagaan kualitas. Standar merupakan spesifikasi teknis yang dibuat secara bekerja sama dan persetujuan bersama dari semua kepentingan yang terpengaruh olehnya dengan tujuan menguntungkan semua pihak yang berkepentingan dengan mempromosikan konsistensi dalam kualitas, rasionalisasi proses dan metode operasi, mempromosikan metode produksi yang ekonomis, menyediakan sarana komunikasi, melindungi kepentingan konsumen, mempromosikan praktik-praktik yang aman, dan membantu kepercayaan produsen dan pengguna. Badan standar nasional seperti British Standards Institute telah menetapkan standar (BS), namun dengan munculnya Masyarakat Ekonomi Eropa, ada standar umum, yang dinamai Norma Eropa (EN) di seluruh Eropa. Meskipun standar-standar ini digunakan di negara-negara Eropa, standar nasional seperti standar BD di Inggris dan standar DN di Jerman masih dapat ditemukan di banyak dokumen. Badan internasional seperti Organisasi Internasional untuk Standardisasi (ISO) memiliki tanggung jawab keseluruhan untuk menetapkan standar yang akan diadopsi (Bolton & Higgins, 2021).

1.4 Material Maju

Perkembangan dunia inndustri di masa depan sangat bergantung pada kemampuan mengembangkan material baru dengan karakteristik yang sesuai dan ekonomis. Berikut ini beberapa bidang yang memerlukan pengembangan material.

1.4.1 Material Cerdas

Material pintar memiliki lebih dari satu sifat yang dapat dimodifikasi. Umumnya material yang digunakan sehari-hari memiliki sifat fisis yang tidak dapat diubah secara signifikan. Material cerdas yang telah diteliti secara intensif seperti material piezoelektrik, magneto-rheostatik (MR), elektro-rheostatik (ER) dan paduan ingat bentuk (*shape memory alloy*-SMA). Material pintar dapat dibagi menjadi dua kelompok. Kelompok pertama adalah material yang terdiri dari material aktif klasik dan ditandai dengan respons material dengan perubahan bentuk dan/atau panjang material. Dengan demikian, input selalu diubah menjadi regangan, yang dapat digunakan untuk memperkenalkan gerakan atau dinamika dalam ekosistem. Polimer pintar yang responsif terhadap komposisi pelarut, pH dan suhu digunakan untuk aplikasi potensial seperti katup kimia, memori bentuk dan aplikasi biomedis termasuk organ buatan dan sistem pengiriman obat. Kelompok kedua terdiri dari material yang dapat merespons rangsangan dengan perubahan pada properti material utama, misalnya konduktivitas listrik atau viskositas. Material piezoelektrik memiliki dua sifat unik yang saling berkaitan, yaitu ketika material piezoelektrik berubah bentuk, material tersebut mengeluarkan muatan listrik yang kecil namun dapat diukur. Sebagai alternatif, ketika arus listrik dilewatkan melalui material piezoelektrik, material tersebut akan mengalami peningkatan ukuran yang signifikan (yang dapat mencapai hingga perubahan volume sebesar 4%). Material piezoelektrik paling banyak digunakan sebagai sensor di berbagai lingkungan (Sekhar et al., 2021). Material ER dan MR berupa cairan, yang dapat mengalami perubahan karakteristik viskositasnya. Cairan material ER dan MR ini dapat berubah dari cairan dengan viskositas tertentu menjadi hampir seperti zat padat dalam rentang waktu satu milidetik ketika diberi medan magnet atau listrik. Pengaruh dari medan magnet atau

listrik ini efeknya dapat sepenuhnya hilang dengan cepat ketika medan magnet dan listrik luar ini dihilangkan. Pada material MR berbentuk cair ketika tidak ada medan magnet luar, tetapi segera berubah menjadi padat setelah diberi medan magnet luar. Cairan ER mengalami perubahan serupa ketika diberi medan listrik luar. Kandungan setiap jenis fluida pintar sangat bervariasi. Bentuk paling umum dari fluida MR terdiri dari partikel besi kecil yang tersuspensi di dalam minyak, sedangkan fluida ER bisa sederhana cokelat susu atau tepung maizena dan minyak (Xu, Liao & Liu, 2020; Datta, Barua, & Das, 2021). Material SMA adalah logam yang menunjukkan adanya dua karakteristik yang sangat unik, yaitu pseudoelastisitas dan efek memori bentuk. Material SMA yang paling efektif dan banyak digunakan yaitu NiTi (nikel-titanium), CuZnAl dan CuAlNi (Vasudha & Rao, 2020). Kedua karakteristik dari SMA dapat dijelaskan melalui perubahan fase kondisi padat, yaitu penataan ulang molekul, yang terjadi pada SMA. Biasanya, ketika berbicara mengenai perubahan fase, hal ini serupa dengan penataan ulang molekul yang terjadi, tetapi molekulnya tetap tertutup sehingga substansi tetap dalam keadaan padat.

1.4.2 Material Bergradasi Secara Fungsional

Material bergradasi secara fungsional atau *functionally graded materials* (FGM) dapat didefinisikan sebagai material homogen di mana sifat fisik, kimia, dan mekaniknya berubah secara terus menerus dari satu titik ke titik lainnya (Mishra, Yadav & Kumar 2023). Material tersebut tidak memiliki diskontinuitas di dalamnya. FGM dapat berupa komposit atau bukan, tetapi sebagian besar merupakan material komposit dengan gradien mikrostruktur makroskopis. FGM adalah material yang memiliki perubahan sifat material secara bertahap sesuai dengan posisinya. Gradien karakteristiknya disebabkan oleh parameter yang bergantung pada posisi yang dipengaruhi oleh struktur mikro, susunan atom dan komposisi kimia. Variasi pada karakteristiknya dapat meluas ke sebagian besar permukaan material atau mungkin hanya terbatas pada wilayah antarmuka yang lebih kecil saja. FGM berguna dalam arti bahwa adanya mikrostruktural yang gradasi menghasilkan kinerja fungsional yang optimal dengan material yang minimum.

FGM dapat terbentuk secara alami maupun sintesis. FGM alami seperti pada batang bambu di mana serat alami berkekuatan tinggi tertanam dalam matriks sel biasa. Dalam hal ini, kandungan serat tidak homogen di seluruh penampang batang, melainkan berkurang dari luar ke dalam. Untuk FGM sintetis seperti baja yang dikeraskan dengan *case-hardened* dimana materialnya memiliki gradasi, yaitu permukaannya keras tetapi bagian dalamnya tangguh.

1.4.3 Material Biomedis

Biomaterial maupun perangkat biomedis umumnya digunakan untuk aplikasi seperti penggantian tulang, jantung buatan, alat pacu jantung, sambungan tulang buatan, lensa implan, operasi kosmetik dan implan rumah siput pada telinga. Material biomedis mengalami tekanan statis dan dinamis selama tubuh manusia beraktivitas. Material tersebut mengalami degradasi dengan berbagai mekanisme seperti korosi, pelarutan, gesekan, menggelembung, modifikasi kimiawi dan pelindian. Akibatnya, sifat-sifat biomaterial berikut ini akan mempengaruhi karakteristik seperti modulus elastisitas (atau kekakuan), ketahanan aus, stabilitas kimiawi, kekuatan, kekasaran permukaan dan ketangguhan patahan. Tantangan yang paling penting dalam menggunakan biomaterial ini adalah penolakan kekebalan tubuh karena dalam situasi saat ini, implan seumur hidup dan penggantian tulang harus memerlukan biokompatibilitas bersama dengan karakteristik biologis dan mekanis biomaterial yang digunakan (Bharadwaj, 2021). Oleh karena itu, pemilihan biomaterial harus dilakukan sedemikian rupa sehingga degradasi di dalamnya minimum dan sifat yang diinginkan tidak menurun (Dharadhar & Majumdar, 2019).

DAFTAR PUSTAKA

- Ashby, M.F., 2011, *Materials selection in mechanical design*. Amsterdam: Butterworth-Heinemann.
- Bharadwaj, A., 2021, April. An overview on biomaterials and its applications in medical science. In *IOP conference series: materials science and engineering* (Vol. 1116, No. 1, p. 012178). IOP Publishing.
- Bolton, W., & Higgins, R. A., 2021, *Materials for Engineers and Technicians* (7th ed.). Routledge.
- Callister, W.D. & Rethwisch, D.G., 2018, *Materials Science and Engineering: An Introduction*. 10th ed. Hoboken, Nj: Wiley.
- Datta S., Barua R., & Das J., 2021, A Review on Electro-Rheological Fluid (ER) and Its Various Technological Applications. Extremophilic Microbes and Metabolites - Diversity, Bioprospecting and Biotechnological Applications. IntechOpen. Tersedia di: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.90706>.
- Dharadhar, S. & Majumdar, A., 2019, Biomaterials and Its Medical Applications. *Application of Biomedical Engineering in Neuroscience*, pp.355-380.
- Gupta, K. M., 2014, *Engineering Materials*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b17693>
- Malik, Y., Putra, P., Diah Sarasanty, Masy'ari, Riyani Prima Dewi, Setiawan, J., Mustofa & Santoso, H., 2023, *Mekanika Teknik*. Global Eksekutif Teknologi.
- Mishra, A.K., Yadav, K. & Kumar, A., 2023, Selective laser melting of functionally graded material: current trends and future prospects. Dalam *Advances in Additive Manufacturing Artificial Intelligence, Nature-Inspired, and Biomanufacturing* (pp. 281-297). Elsevier.
- Sekhar, B.C., Dhanalakshmi, B., Rao, B.S., Ramesh, S., Prasad, K.V., Rao, P.S. and Rao, B.P., 2021. Piezoelectricity and its applications. *Multifunct. Ferroelectr. Mater*, 71.

- Vasudha, N. & Rao, K.U., 2020, Shape memory alloy properties, modelling aspects and potential applications-a review. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1706, No. 1, p. 012190). IOP Publishing.
- Xu Y, Liao G & Liu T., 2020, Magneto-Sensitive Smart Materials and Magnetorheological Mechanism. Nanofluid Flow in Porous Media. IntechOpen. Tersedia di: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.84742>.

BAB 2

TUJUAN MEMPELAJARI MATERIAL TEKNIK

Oleh Muh. Setiawan Sukardin

2.1 Pendahuluan

Ilmu material mendasari sebagian besar kemajuan teknologi. Memahami dasar-dasar bahan dan aplikasinya tidak hanya menjadikan Anda insinyur yang lebih baik, tetapi akan membantu Anda selama proses desain. Sebagai engineer yang baik, Anda harus mempelajari bahan apa yang akan dibuat cocok untuk digunakan dalam aplikasi yang berbeda. Aspek terpenting dari ilmu material adalah memungkinkan membuat semua jenis bahan. Dalam sejarah peradaban, material seperti batu, besi, dan perunggu memainkan peran kunci dalam perkembangan umat manusia. Di zaman dunia yang serba cepat saat ini, penemuan kristal tunggal silikon dan pemahaman tentang sifat-sifatnya telah memungkinkan era informasi (Shackelford, 2015), (Donald R. Askeland, 2009).

Contoh menarik dari dunia nyata penerapan material rekayasa. Keberagaman penerapan dan keunikan penggunaan material menggambarkan mengapa seorang insinyur perlu memahami dan mengetahui cara menerapkannya secara menyeluruh prinsip ilmu dan teknik material.

2.2 Pentingnya Material Teknik

Material teknik merupakan bidang interdisipliner yang berkaitan dengan menemukan bahan baru dan menyempurnakan bahan yang sudah dikenal sebelumnya dengan mengembangkan pemahaman yang lebih dalam tentang hubungan struktur mikro - komposisi - sintesis - pemrosesan. Istilah komposisi berarti susunan kimiawi suatu bahan. Syarat struktur berarti gambaran susunan atom, seperti yang terlihat pada tingkat detail yang berbeda-beda. Ilmuwan dan insinyur

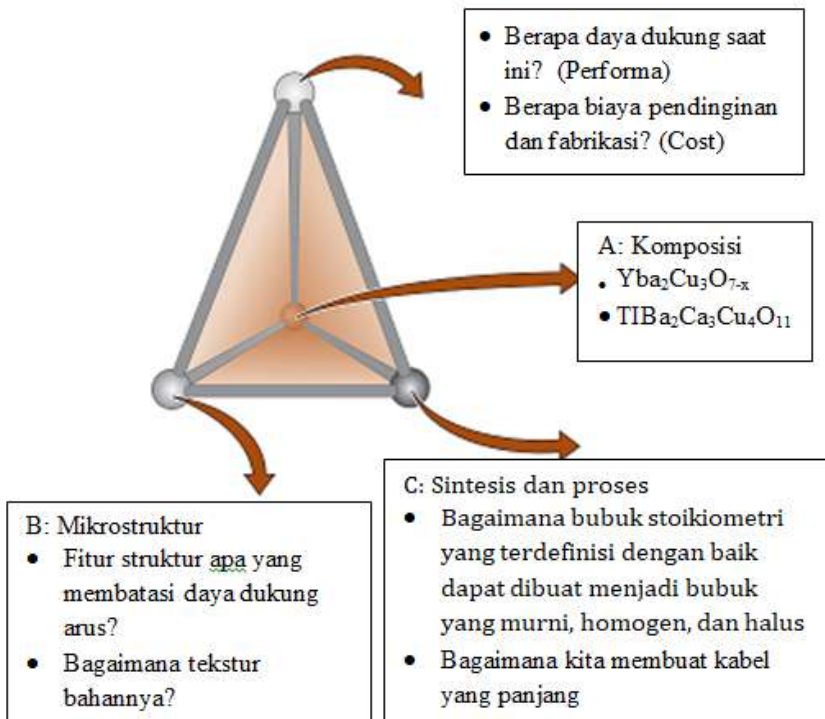
material tidak hanya menangani pengembangan material, tetapi juga sintesis dan pemrosesan material serta proses manufaktur berkaitan dengan produksi komponen. Istilah "sintesis" mengacu pada bagaimana suatu bahan terbuat dari bahan kimia alami atau buatan manusia. Istilah "pemrosesan" berarti bagaimana membentuk bahan menjadi komponen yang berguna. Fungsi ilmuwan dan insinyur material adalah untuk membangun hubungan antara sifat suatu bahan dan kinerjanya (Shackelford, 2015) (William D. Callister, 2018). Dalam ilmu material, terdapat hubungan mendasar antara sintesis dan pemrosesan, struktur, dan sifat bahan. Dalam teknik material, fokusnya menerjemahkan atau mengubah material menjadi perangkat atau struktur yang berguna (Donald R. Askeland, 2009).

Seringkali, seorang insinyur memiliki pilihan untuk memilih material terbaik darinya dari ribuan yang tersedia. Keputusan akhir biasanya didasarkan pada beberapa kriteria. Pertama, kondisi dalam pembuatan harus memiliki karakter, karena hal ini menentukan sifat-sifat yang diperlukan bahan. Jarang sekali suatu bahan mempunyai kombinasi sifat-sifat yang optimum atau ideal. Oleh karena itu, mungkin perlu untuk menukar satu karakteristik dengan karakteristik lainnya. Contoh klasiknya melibatkan kekuatan dan keuletan; biasanya, bahan memiliki tinggi kekuatan hanya memiliki keuletan yang terbatas. Dalam kasus seperti itu, kompromi yang masuk akal antara kedua sifat bahan mungkin diperlukan.

Pertimbangan pemilihan kedua adalah setiap penurunan sifat material memungkinkan dialami selama pengoperasian layanan. Misalnya, pengurangan mekanis secara signifikan kekuatan yang mungkin disebabkan oleh paparan suhu tinggi atau lingkungan korosif. Mungkin pertimbangan utama adalah pertimbangan ekonomi: Berapa harga produk jadinya? Suatu material dapat ditemukan yang memiliki sifat-sifat optimal tetapi sebenarnya sangat mahal. Sekali lagi, kompromi tidak bisa dihindari. Biaya selesai potongan juga mencakup segala biaya yang dikeluarkan selama pabrikasi untuk menghasilkan bentuk yang diinginkan (William D. Callister, 2018).

Salah satu aspek paling menarik dari ilmu material yang melibatkan penyelidikan ke dalam struktur suatu material. Struktur bahan mempunyai pengaruh yang sangat besar terhadap sifat bahan, meskipun komposisi keseluruhannya tidak berubah. Sebagai contoh, jika Anda mengambil kawat tembaga murni dan membengkokkannya secara berulang, kawat tersebut tidak hanya keras tetapi juga semakin rapuh. Akhirnya, kawat tembaga murni berubah sangat keras dan rapuh sehingga mudah patah. Resistivitas listrik kawat tembaga juga akan meningkat saat kita membengkok berulang kali. Dalam contoh sederhana ini, perhatikan bahwa kami tidak mengubah komposisi bahan, yaitu susunan kimia. Perubahan sifat material seringkali disebabkan oleh perubahan struktur internal. Jika Anda memeriksa kawat mikroskop optik yang tertekuk akan terlihat kondisinya akan seperti semula. Namun, strukturnya telah berubah sedikit atau perubahan skala mikroskopis. Struktur pada skala mikroskopis ini dikenal sebagai struktur mikro. Jika kita dapat memahami apa yang berubah pada tingkat mikrometer, maka kita dapat mulai menemukan cara mengontrol sifat material (Donald R. Askeland, 2009).

Mari kita menempatkan ilmu material dan teknik tetrahedron dalam perspektif dengan memeriksa contoh produk – super konduktor keramik yang ditemukan pada tahun 1986. Bahan keramik biasanya tidak dapat menghantarkan listrik (Shackelford, 2015). Ilmuwan secara kebetulan menemukan bahwa senyawa keramik tertentu berbahan dasar tembaga yttrium barium oksida (dikenal sebagai YBCO) sebenarnya dapat membawa arus listrik tanpa hambatan apa pun dalam kondisi tertentu. Berdasarkan apa yang telah diketahui tentang super konduktor logam dan sifat kelistrikan keramik, perilaku super konduktor pada keramik tidak dianggap sebagai alternatif. Oleh karena itu, langkah pertama dalam kasus ini adalah penemuan perilaku super konduktor pada material keramik. Bahan-bahan ini ditemukan melalui beberapa penelitian eksperimental.



Gambar 2.1. Penerapan tetrahedron teknik material pada keramik superkonduktor. Perhatikan bahwa sintesis struktur mikro dan komposisi pemrosesan semuanya saling berhubungan dan mempengaruhi rasio kinerja terhadap biaya (Donald R. Askeland, 2009)

Keterbatasan bahan-bahan ini adalah bahwa mereka dapat melakukan super konduktor hanya pada suhu rendah (<150 K) (Donald R. Askeland, 2009).

Langkah selanjutnya adalah menentukan bagaimana membuat bahan-bahan tersebut menjadi lebih baik. Dengan "lebih baik" maksudnya : Bagaimana kita dapat mempertahankan perilaku super konduktor pada material ini pada suhu yang lebih tinggi, atau bagaimana kita dapat mengangkut arus dalam jumlah besar dalam jarak yang jauh? Ini melibatkan pemrosesan bahan dan studi properti-struktur yang cermat. Ilmuwan material ingin mengetahui bagaimana komposisi dan struktur mikro

mempengaruhi perilaku super konduktor. Mereka juga ingin mengetahui apakah ada senyawa lain yang menunjukkan super konduktivitas. Melalui eksperimen, para ilmuwan mengembangkan sintesis terkontrol bubuk ultra halus atau film tipis yang digunakan untuk membuat perangkat yang berguna.

Contoh pendekatan perspektif material teknik adalah dengan temukan cara untuk membuat kabel panjang untuk transmisi daya. Dalam aplikasi, kami pada akhirnya ingin tahu apakah kita dapat membuat super konduktor jangka panjang yang andal dan dapat reproduksi kabel yang lebih unggul dari kabel tembaga dan aluminium saat ini (Donald R. Askeland, 2009). Dapatkah kita memproduksi kabel dengan cara yang hemat biaya?

Tantangan berikutnya adalah membuat kabel super konduktor keramik yang panjang. Super konduktor keramik bersifat rapuh, sehingga proses pemanjangan kabel menjadi sulit. Oleh karena itu, teknik pengolahan bahan harus dikembangkan untuk membuat kabel ini. Salah satu cara sukses untuk menciptakan kabel super konduktor ini adalah dengan mengisi tabung perak berongga dengan bubuk keramik super konduktor dan kemudian menarik kabel tersebut lebih panjang. Meskipun penemuan super konduktor keramik kabar yang menggembirakan, namun untuk sintesis dan pemrosesan yang memuaskan, Hingga saat ini masih tantangan bahan-bahan tersebut (Donald R. Askeland, 2009).

2.3 Fungsi Klasifikasi Material

Kita dapat mengklasifikasi bahan berdasarkan fungsi terpenting yang dimanfaatkan secara mekanik (struktural), biologis, listrik, magnetik, atau optik. Beberapa contoh dari setiap kategori ditampilkan (William D. Callister, 2018). Kategori ini dapat dipecah lagi menjadi subkategori.

Aerospace

Bahan ringan seperti kayu dan paduan aluminium yang secara tidak sengaja memperkuat paduan yang digunakan untuk membuat mesin lebih kuat dengan cetakan tembaga yang digunakan untuk pengecoran. Aluminium paduan, plastik, silika untuk ubin pesawat ulang-alik, komposit karbon, dan bahan

lainnya yang termasuk dalam kategori ini (Donald R. Askeland, 2009).



Gambar 2.2. Suhu tinggi uap natrium pada lampu jalan terbuat dari silinder tembus cahaya Al_2O_3 untuk menampung uap natrium
(Shackelford, 2015)

Aluminium oksida, senyawa aluminium dan oksigen seperti Al_2O_3 , jenis bahan teknik yang berbeda secara fundamental, yaitu keramik. Keramik Al_2O_3 memiliki titik leleh yang jauh lebih tinggi (2020°C) dibandingkan logam Al (660°C), yang membuat Al_2O_3 bahan tahan api yang populer (William D. Callister, 2018). Silinder Al_2O_3 yang tembus cahaya menjadi inti dari desain lampu uap natrium bersuhu tinggi 1000°C (100 lumen/W), yang menghasilkan penerangan jauh lebih tinggi dibandingkan bola lampu konvensional (15 lumen/W) (Shackelford, 2015).

Biomedis

Tulang dan gigi kita sebagian terbuat dari keramik alami dikenal sebagai hidroksiapatit. Sejumlah organ buatan, bagian pengganti tulang, stent kardiovaskular, kawat gigi ortodontik, dan komponen lainnya dibuat menggunakan bahan yang berbeda-beda. Plastik, paduan titanium, dan baja tahan karat nonmagnetik. Sistem

pencitraan ultrasonik. Memanfaatkan keramik yang dikenal dengan nama PZT (lead zirconium titanate) (Donald R. Askeland, 2009). Magnet digunakan untuk pencitraan resonansi magnetik menggunakan super konduktor berbahan dasar logam niobium timah (Shackelford, 2015). Komponen berbahan Titanium dapat diproduksi dengan metode *Additive Manufacturing* yang memungkinkan konfigurasi bagian akhir yang mendekati sempurna untuk dipabrikasi secara langsung dengan meminimalkan biaya pemesinan, sekaligus mencapai sifat mekanik pada tingkat cor dan tempa serta penghematan dalam pemanfaatan material yang lebih baik dalam proses produksi (Bhaskar Dutta, 2016).

Silikon Karbida, semikonduktor biokompatibel untuk perangkat bio medis memberikan informasi terkini pita lebar bahan semikonduktor yang tidak ditolak oleh tubuh sebagai bahan asing dan potensinya untuk lebih memajukan aplikasi bio medis. Perangkat SiC menawarkan kepadatan daya yang tinggi dan kehilangan energi yang rendah, sehingga lebih ringan, kompak, dan produk dengan efisiensi lebih tinggi untuk aplikasi in vivo bio kompatibel dan jangka panjang, termasuk jantung pelapis stent, perancah implan tulang, implan dan sensor neurologis, sensor glukosa, perangkat antarmuka mesin otak, implan tulang pintar, dan implan organ (Saddow, 2016).

Bahan Elektronik

Semikonduktor, seperti yang dibuat dari silikon, digunakan untuk membuat sirkuit terpadu chip komputer. Barium titanat (BaTiO_3), tantalum oksida (Ta_2O_5), dan banyak bahan dielektrik lainnya digunakan membuat kapasitor keramik. Super konduktor digunakan dalam pembuatan magnet yang kuat. Tembaga, aluminium, dan logam lainnya digunakan sebagai konduktor transmisi daya dan mikroelektronika (Donald R. Askeland, 2009) (William D. Callister, 2018).

Teknologi Energi dan Teknologi Lingkungan Industri nuklir

Penggunaan bahan-bahan seperti uranium dioksida dan plutonium sebagai bahan bakar. Banyak bahan lainnya, seperti kaca dan baja tahan karat, digunakan dalam penanganan bahan

nuklir dan pengelolaan limbah radioaktif. Teknologi baru yang terkait dengan baterai dan sel bahan bakar memanfaatkan banyak bahan keramik seperti zirkonia (ZrO_2) dan polimer. Teknologi baterai sangat penting karena kebutuhan akan banyak perangkat elektronik yang membutuhkan daya tahan lama dan portabel. Sel bahan bakar juga digunakan mobil. Minyak dan industri perminyakan banyak menggunakan zeolit, alumina, dan bahan lain sebagai katalis substrat. Penggunaan Pt, Pt/Rh dan banyak logam lainnya sebagai katalis. Banyak membran teknologi pemurnian cairan dan gas memanfaatkan keramik dan plastik. Tenaga surya menggunakan bahan seperti kristal Si dan silikon amorf (a:Si:H) (Donald R. Askeland, 2009).

Bahan Magnetik

Hard disk komputer serta kaset audio dan video banyak menggunakan bahan keramik, logam, dan polimer. Misalnya, partikel oksida besi dalam bentuk khusus, yang dikenal sebagai oksida besi gamma ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) diendapkan pada polimer. Substrat untuk membuat kaset audio. Partikel besi dengan kemurnian tinggi digunakan untuk membuat kaset video. Hard disk komputer dibuat menggunakan paduan berdasarkan paduan kobalt - platinum - tantalumchromium (Co-Pt-Ta-Cr). Ferit magnetik banyak digunakan untuk membuat induktor dan komponen komunikasi nirkabel. Baja berbahan dasar besi dan silikon digunakan untuk membuat inti transformator (Donald R. Askeland, 2009).

Fotonik atau Optik

Bahan Silika digunakan secara luas untuk membuat serat optik. Hampir sepuluh juta kilometer serat optik telah dipasang di seluruh dunia. Bahan optik yang digunakan membuat detektor semikonduktor dan laser yang menggunakan serat optik sistem komunikasi dan aplikasi lainnya. Begitu pula dengan alumina (Al_2O_3) dan garnet aluminium yttrium (YAG) digunakan membuat laser. Silikon amorf digunakan membuat sel surya dan modul fotovoltaik. Polimer digunakan untuk membuat kristal cair layar (LCD) (Donald R. Askeland, 2009).

Pada tahun 1970, para peneliti di Corning Glass Works mengembangkan serat optik dengan mereduksi 20 dB/km pada panjang gelombang 630 nm. Pada pertengahan tahun 1980an, serat silika telah dikembangkan dengan kerugian yang sangat rendah 0,2 dB/km pada 1,6 mm dalam rentang inframerah. Capaian ini menghasilkan percakapan telepon dan segala bentuk data digital dapat ditransmisikan sebagai pulsa sinar laser dibandingkan sinyal listrik pada kabel tembaga. Serat kaca sangat bagus contoh bahan fotonik, dimana transmisi sinyal melalui foton bukan oleh elektron bahan elektronik (Shackelford, 2015).

Material Cerdas

Material cerdas dapat merasakan dan merespons stimulus eksternal seperti perubahan suhu, penerapan tekanan, atau perubahan kelembaban atau lingkungan kimia. Biasanya sistem berbasis material pintar terdiri dari sensor dan aktuator yang membaca perubahan dan memulai suatu tindakan (Shackelford, 2015). Contoh bahan pintar pasif adalah timbal zirkonium titanat (PZT) dan bentuk paduan memori. Ketika diproses dengan benar, PZT dapat terkena tegangan dan menghasilkan tegangan. Efek ini digunakan membuat perangkat seperti generator percikan untuk gas pemanggang dan sensor yang dapat mendeteksi objek bawah air seperti ikan dan kapal selam. Contoh lain dari material pintar termasuk cairan magnetorheological (MR). Cat magnetis yang merespons medan magnet dan digunakan dalam sistem suspensi mobil. Kacamata fotokromik dan cermin peredup otomatis berdasarkan bahan elektrokromik (Donald R. Askeland, 2009).

Bahan Struktural

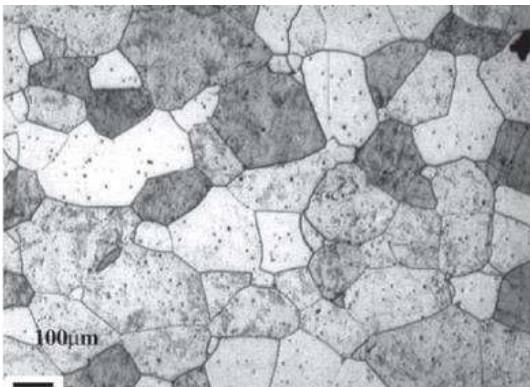
Bahan-bahan ini dirancang untuk menerima beberapa jenis tekanan. Baja, beton, dan komposit digunakan untuk membuat bangunan dan jembatan. Baja, gelas, plastik, dan komposit juga digunakan secara luas untuk membuat otomotif. Seringkali aplikasi, kombinasi kekuatan, kekakuan, dan

ketangguhan diperlukan dalam kondisi suhu dan pembebanan yang berbeda (William D. Callister, 2018).

Serat kevlar memberikan kemajuan penguatan signifikan dibandingkan serat kaca tradisional untuk komposit polimer-matriks. Kevlar adalah nama dagang DuPont bagi poli p-Phenyleneterephthalamide (PPD-T) (Donald R. Askeland, 2009). Kemajuan besar telah dilakukan dalam pengembangan matriks polimer baru, seperti polietereeterketon (PEEK) dan polifenilen sulfida (PPS). Bahan-bahan ini memiliki keuntungan dari peningkatan ketangguhan dan kemampuan daur ulang. Polimer yang diperkuat Kevlar digunakan pada bejana tekan, dan tulangan Kevlar banyak digunakan pada ban. Kevlar dikembangkan pada tahun 1965 dan telah digunakan secara komersial sejak awal tahun 1970an. Ini sangat populer untuk aplikasi yang menuntut rasio kekuatan terhadap beratnya mencapai lima kali lipat dari baja struktural (William D. Callister, 2018).

2.4 Klasifikasi Material Berdasarkan Struktur

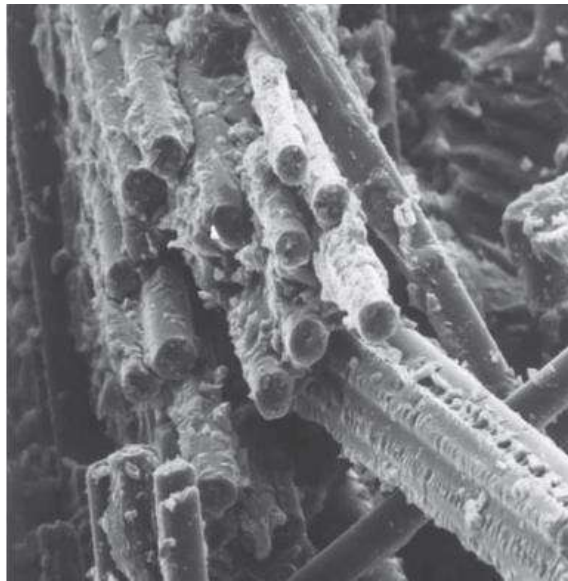
Istilah "struktur" berarti susunan suatu atom material, struktur pada skala mikroskopis dikenal sebagai "struktur mikro". Kita dapat melihat gambaran struktur pada skala yang berbeda, mulai dari beberapa satuan angstrom hingga satu milimeter.



Gambar 2.3 Mikrograf baja tahan karat menampilkan butiran dan batas-batas butirannya
(Donald R. Askeland, 2009)

Beberapa bahan mungkin berbentuk kristal yang atom-atom tersusun secara periodik atau mungkin amorf yang atom tersusun secara periodik atau amorf yang atom-atom tidak mempunyai tatanan jangka panjang (William D. Callister, 2018) (Donald R. Askeland, 2009).

Beberapa material kristal berbentuk satu kristal yang dikenal sebagai kristal tunggal. Material kristal lainnya yang terdiri dari butiran kristal dan dikenal sebagai polikristalin. Ciri-ciri bentuk dan ukuran kristal atau butiran serta daerah di antara butiran, yang dikenal sebagai batas-batas butiran juga mempengaruhi sifat-sifat material. Mikrograf sampel baja tahan karat yang menunjukkan butiran dan batas butiran. Lihat Gambar 2.2. Untuk sampel ini, setiap butir memantulkan cahaya secara berbeda dan ini menghasilkan kontras antar butir (B.Singh, 2021).



Gambar 2.4. Contoh komposit fiberglass yang tersusun dari penguat skala mikroskopis serat kaca dalam matriks polimer (Shackelford, 2015)

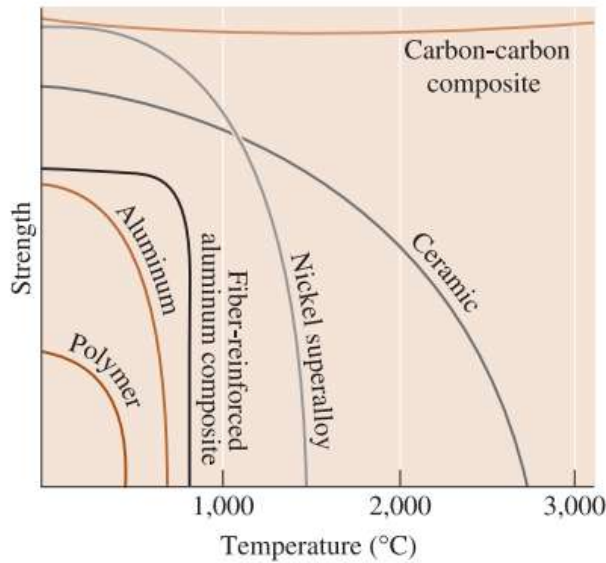
Komposit serat kaca yang tertanam dalam matriks polimer adalah hal yang umum. Karakteristik komposit yang baik, fiber glass yang mempunyai sifat terbaik, menghasilkan produk yang lebih unggul. Kekuatan tinggi dari serat kaca berdiameter kecil dikombinasikan dengan keuletan matriks polimer akan menghasilkan bahan yang kuat dan mampu menahan pembebanan normal yang dibutuhkan struktur (Shackelford, 2015).

2.5 Pengaruh Lingkungan

Hubungan struktur properti bahan yang dipabrikasi menjadi komponen sering kali dipengaruhi oleh lingkungan, di mana material tersebut terpengaruh selama digunakan. Pengaruh lingkungan tersebut termasuk paparan suhu tinggi atau rendah, tekanan siklus, benturan mendadak, korosi atau oksidasi. Dampak ini harus diperhitungkan dalam desain untuk memastikan bahwa komponen tidak mengalami kegagalan yang tidak terduga (Donald R. Askeland, 2009).

Suhu

Perubahan suhu secara tiba-tiba akan mengubah sifat-sifat bahan. Logam dan paduan yang telah diperkuat dengan perlakuan panas tertentu atau teknik pembentukan akan kehilangan kekuatannya jika dipanaskan. Peristiwa tragis terjadinya keruntuhan balok baja yang digunakan di menara World Trade Center pada 11 September 2001 (Donald R. Askeland, 2009). Suhu tinggi mengubah struktur keramik dan menyebabkan polimer meleleh atau menjadi arang. Suhu yang sangat rendah, sebaliknya, dapat menyebabkan logam atau polimer menjadi rapuh, meskipun beban yang diaplikasikan rendah. Proses getas pada suhu rendah inilah yang menjadi penyebab Kapal Titanic retak dan tenggelam.



Gambar 2.5. Meningkatkan suhu secara umum akan mengurangi kekuatan suatu material. Polimer hanya cocok pada suhu rendah. Beberapa komposit, seperti komposit karbon-karbon, paduan khusus, dan keramik, memiliki sifat luar biasa pada suhu tinggi (Donald R. Askeland, 2009)

Kecelakaan Pesawat Ruang Angkasa Challenger salah satunya disebabkan oleh rapuhnya karet cincin-O. Inilah alasan mengapa beberapa polimer dan bahan logam memiliki kerapuhan yang berbeda-beda (Donald R. Askeland, 2009).

Korosi

Seringkali kegagalan material terjadi akibat korosi dan beberapa bentuk kelebihan beban tarik. Kebanyakan logam dan polimer bereaksi dengan oksigen atau gas lainnya, terutama pada suhu tinggi. Logam dan keramik dapat hancur, demikian pula polimer dan keramik non oksida dapat teroksidasi. Material juga dapat terserang cairan korosif yang menyebabkan kegagalan prematur (*premature failure*) (William D. Callister, 2018) (Shackelford, 2015). Insinyur menghadapi tantangan dalam memilih bahan atau pelapis yang mencegah reaksi ini dan

memungkinkan dioperasikan di lingkungan ekstrem. Dalam penerapan ruang angkasa, kita mungkin harus mempertimbangkan dampak radiasi, keberadaan atom oksigen, dan dampak dari puing-puing (Donald R. Askeland, 2009).

Kelelahan

Dalam banyak aplikasi, komponen harus dirancang sedemikian rupa sehingga beban pada material masih pada batas aman, sehingga terhindar dari deformasi permanen. Namun, ketika kita membebani material secara berulang hingga ribuan kali, retakan kecil mungkin mulai terbentuk dan material gagal seiring dengan berkembangnya retakan ini. Hal ini dikenal sebagai kegagalan kelelahan (*fatigue failure*). Dalam mendesain komponen penahan beban, kemungkinan kelelahan (*fatigue*) harus diperhitungkan (William D. Callister, 2018) (Shackelford, 2015) (Donald R. Askeland, 2009).

Laju Regangan *Strain Rate*

Anda mungkin mengetahui fakta bahwa Silly Putty⁸, berbahan dasar plastik, dapat meregang secara signifikan. Jika kita menariknya secara perlahan (kecepatan regangannya kecil). Jika

Anda menariknya dengan cepat (tingkat regangan yang lebih tinggi) maka akan patah. Perilaku serupa dialami material logam. Jadi, dalam banyak aplikasi, tingkat dan laju regangan harus disesuaikan dan dipertimbangkan. Dalam banyak kasus, pengaruh suhu, kelelahan, stres, dan korosi memungkinkan saling terkait dan pengaruh luar lainnya dapat mempengaruhi kinerja material (William D. Callister, 2018) (Donald R. Askeland, 2009).

DAFTAR PUSTAKA

- B.Singh (2021) *Preliminary Examination : Basics of Material Science and Engineering*. New Delhi: Made Easy Publications.
- Bhaskar Dutta, F.H.F. (2016) 'Additive Manufacturing of Titanium Alloys', *Materials Science, Elsevier* [Preprint].
- Donald R. Askeland, P.P.F. (2009) *Essentials of Materials Science and Engineering*. Second Edi. Toronto, Canada: Cengage Learning.
- Saddow, S. (2016) 'A Biocompatible Semiconductor for Advanced Biomedical Devices and Applications', *Silicon Carbide Biotechnology Elsevier*, 2.
- Shackelford, J.F. (2015) *Introduction to materials science for engineers*. Eighth Edi. University of California, Davis: Pearson Education.
- William D. Callister, D.G.R. (2018) *Materials Science And Engineering An Introduction*. Edited by 10th Edition. John Wiley & Sons, Inc.

BAB 3

MATERIAL LOGAM

Oleh Luluk Edahwati

3.1 Pendahuluan

Ilmu logam merupakan salah satu cabang ilmu pengetahuan yang mempelajari material yang mempunyai kandungan unsur besi maupun non besi. Logam ini tidak ada dalam bentuk yang murni, tetapi berbentuk batu, termasuk arang hitam. Bijih besi pada dasarnya merupakan senyawa besi dan oksigen dalam bentuk silvette.

Dalam berbagai sektor, logam merupakan bahan teknik yang sangat signifikan. Dalam ranah teknik, logam mendominasi sebagai bahan utama dalam pembuatan berbagai produk. Materi-materi dalam kategori logam terdiri dari satu atau beberapa unsur logam, seperti besi, aluminium, tembaga, titanium, emas, dan nikel, dan kadang-kadang mengandung unsur non-logam seperti karbon, nitrogen, dan oksigen dalam proporsi yang terbatas.

Logam menjadi bahan teknik yang luas penggunaannya di berbagai sektor. Logam terbagi menjadi dua jenis, yakni Logam murni terdiri dari atom-atom yang seragam, seperti besi murni (Fe) atau tembaga murni (Cu), sedangkan logam paduan merupakan hasil dari pencampuran dua atau lebih jenis atom yang terjadi dalam keadaan cair.

Secara umum, logam yang terdiri dari besi atau non-besi dapat ditemui di berbagai tempat, seperti dalam konstruksi gedung yang sebagian besar menggunakan bahan berbasis logam, konstruksi bangunan penyimpanan dengan kerangka besi, dan dalam tempat penyimpanan logam bekas yang dapat didaur ulang untuk digunakan kembali.

3.2 Definisi Logam

Logam merupakan salah satu unsur kimia yang memiliki sifat kuat, dan keras, serta karena titik lelehnya yang tinggi, logam juga merupakan penghantar panas dan listrik yang baik. Awalnya, benda yang terbuat dari logam bahan bakunya diperoleh dengan cara penambangan, baik dalam bentuk logam murni atau yang bercampur dengan material lain. Unsur logam memiliki ciri khas mengkilap dan umumnya Beroperasi sebagai konduktor yang efisien untuk listrik dan panas. Pada umumnya, Elemen logam umumnya dalam bentuk padat pada suhu dan tekanan normal, dengan pengecualian raksa yang berwujud cair. Selain itu, unsur-unsur logam dapat diolah dengan penempaan untuk membentuk berbagai benda lainnya.

Material logam merupakan gabungan antara unsur karbon dan besi. Buat paduan dengan sifat khas material besi yang mengandung unsur karbon serta campuran logam lainnya. Logam adalah mineral yang terdapat secara alami didalam batuan sekitar 4% dari jumlah mineral di Bumi diperkirakan berupa logam. Dalam konteks teknis, besi sering digunakan sebagai logam dalam konstruksi bangunan, pembuatan pipa, peralatan pabrik, dan keperluan lainnya.

Baja, yang merupakan logam yang sering digunakan untuk struktur bangunan atau rangka bangunan, baik sebagai profil baja, tulangan beton berbahan baja, atau jaringan kawat, maupun kawat potongan yang dikenal sebagai "fibre" atau serat logam berperan sebagai tulangan beton. Pada skala yang lebih kecil, logam umumnya digunakan sebagai penguat, seperti paku, sekrup, mur, kawat, lembaran logam, dan bantalan untuk jembatan, atau sebagai elemen dekoratif dalam bentuk lembaran seperti atap atau lantai jembatan.

Keunggulan logam sebagai bahan konstruksi meliputi sifat-sifatnya yang superior, seperti kekuatan tarik tinggi, kemampuan untuk diubah bentuk, kemudahan penyambungan atau pengelasan, serta konduktivitas listrik dan panas yang tinggi. Permukaan logam dapat dihaluskan sehingga bersinar.

Secara keseluruhan, logam memiliki nilai signifikan bagi manusia, diterapkan dalam berbagai industri, pertanian, dan sektor

kesehatan. Sebagai contoh, merkuri yang digunakan dalam proses elektrolisis, dimana proses elektrolisis merupakan salah satu proses yang memiliki peran krusial didalam manufaktur industri serta peningkatan kemurnian bahan kimia.

3.3 Sifat Fisis Logam

Sifat fisik umum dari unsur logam melibatkan beberapa aspek yang dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Reflektivitas Terhadap Cahaya:

Unsur logam, seperti emas, perak, besi juga seng, memiliki sifat memantulkan kembali panjang gelombang dan frekuensi sinar, memberikan kilauan yang mencolok pada permukaannya.

2. Konduktivitas Panas:

Merupakan penghantar panas yang baik ketika terpapar sinar matahari, sehingga dapat mengakibatkan menjadi sangat panas dikarenakan elektron bergerak lebih cepat sebagai respons terhadap peningkatan energi kinetik.

3. Konduktivitas Listrik:

Kemampuan logam untuk menghantarkan listrik disebabkan oleh elektron yang terdelokalisasi dapat bergerak bebas didalam semua komponen atomnya. Contohnya, tembaga (Cu) selalu digunakan sebagai bahan utama dalam membuat kawat penghantar listrik.

4. Keadaan Fisik Pada Suhu Kamar:

Pada suhu kamar, sebagian besar logam berbentuk padat, kecuali raksa atau merkuri (Hg) yang berwujud cair dalam suhu tersebut.

5. Kekerasan:

Secara umum, sifat logam adalah keras, kecuali untuk logam yang bersifat lunak seperti natrium (Na) dan kalium (Ca) membuatnya sangat mudah dipotong menggunakan pisau.

6. Kepadatan yang Tinggi:

Logam cenderung memiliki kepadatan yang tinggi, memberikan perasaan berat ketika dipegang.

7. Kemampuan Menghasilkan Suara:

Logam sering digunakan dalam pembuatan bel atau lonceng karena mampu menghasilkan suara nyaring ketika dipukul.

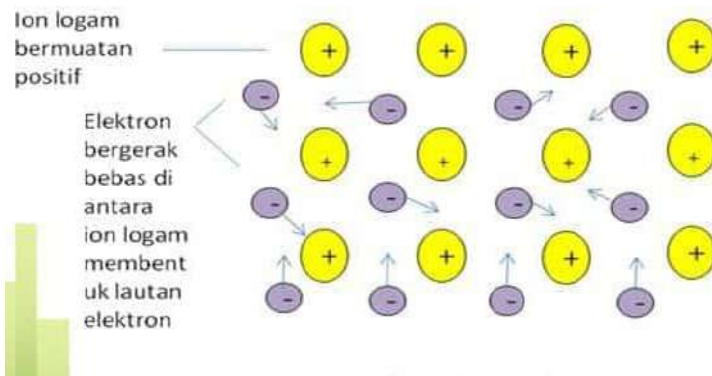
8. Sifat Magnetik:

Logam secara umum bersifat magnetik, menunjukkan respons terhadap medan magnet.

3.4 Karakteristik Kimia Logam

Karakteristik logam secara kimia antara lain:

1. Logam cenderung mudah kehilangan elektron karena mempunyai energi ionisasi yang rendah, sehingga lebih besar kemungkinannya untuk kehilangan elektron dibandingkan memperoleh elektron untuk membentuk kation, seperti yang ditunjukkan dalam gambar 1.



Gambar 3.1. Bentuk ikatan logam

<https://www.gurupendidikan.co.id/ikatan-logam/>

dari gambar 3.1 dapat dijelaskan seperti berikut;

Struktur atom dalam logam dapat diilustrasikan sebagai bola pingpong yang saling terkompres dengan rapat. Elektron valensi dalam atom logam memiliki jumlah yang terbatas, memudahkan untuk dikeluarkan dan pembentukan ion positif terjadi saat elektron keluar dari atom logam. Oleh karena itu, lapisan terluar dari atom logam cenderung longgar, menciptakan ruang yang

- memungkinkan pergerakan elektron dari satu atom ke atom lainnya. Elektron valensi logam mengalami delokalisasi, di mana mereka tidak tetap berada pada satu atom, melainkan bergerak dari satu atom ke atom lainnya. Oleh karena itu, elektron valensi tersebut membentuk awan elektron yang mengelilingi ion-ion positif dalam logam. Ikatan logam menyebabkan memiliki kepadatan tinggi pada suhu dan tekanan standar, kecuali pada merkuri dan galium yang berwujud cair. Sifat-sifat logam yang perlu diingat meliputi:
- a. Menunjukkan kemampuan daya hantar panas dan listrik yang tinggi.
 - b. Memiliki sifat berkilau dan mampu merefleksikan cahaya.
 - c. Mampu diolah melalui proses penempaan.
 - d. Menampilkan variasi dalam kekuatan mekanik.
2. Logam secara umum pada suhu dan tekanan standar, titik leleh serta titik didih logam umumnya tinggi karena adanya ikatan logam yang kuat. Kekuatan ikatan ini dapat bervariasi antar logam bergantung pada jumlah elektron yang terdelokalisasi dalam lautan elektron dan susunan atomnya. Karakteristik titik leleh mencerminkan tingkat kekerasan logam; titik leleh yang tinggi menunjukkan kekerasan yang tinggi, sedangkan titik leleh yang rendah menandakan kekerasan yang lebih rendah. Hampir Seluruh Logam umumnya memiliki titik leleh yang tinggi, namun terdapat beberapa pengecualian seperti Hg, Ce, Ga, Sn, dan Pb yang memiliki titik leleh yang lebih rendah.
 3. Atom-atom logam umumnya memiliki satu hingga tiga elektron dalam kulit terluar mereka.
 4. Sebagian besar beberapa senyawa logam dan oksidanya dapat larut dalam air untuk membentuk larutan sehingga mudah bercampur membentuk senyawa logam dan hidroksida.

Contoh :

Oksida logam + air $\longrightarrow$ hidroksida logam

$\text{Na}_2\text{O (solid)} + \text{H}_2\text{O (liquid)} \longrightarrow 2\text{NaOH (aqueous)}$

$\text{CaO (solid)} + \text{H}_2\text{O (liquid)} \longrightarrow \text{Ca(OH)}_2 \text{ (aqueous)}$

3.5 Jenis Logam

Dalam studi logam, klasifikasi logam dapat dibagi menjadi tiga kelompok,

Pertama adalah Logam Berat, termasuk di antaranya besi/baja, nikel, tembaga, dan timah.

1. Besi dan baja adalah bentuk material umum yang dipakai dalam industri serta merupakan sumber utama dalam berbagai aplikasi industri. Kedua material ini memiliki berbagai sifat, mulai dari yang lunak hingga yang sangat keras dan tajam, seperti yang digunakan dalam alat pemotong seperti pisau. Besi memiliki sifat-sifat kaya, sehingga unsur besi dapat digunakan untuk membentuk berbagai struktur logam. Kandungan dalam besi dan baja umumnya meliputi sekitar 0.025 Si; 0.03 sampai 0.15 Mn, dan juga mengandung bahan pencemar lainnya seperti phosphor, sulfur, dan sebagainya.

2. Nikel

Tentu, Anda dapat menggunakan kata "sifat magnet" sebagai pengganti. Berikut adalah versi kalimat dengan penggantian tersebut:

Nikel berwarna putih keperak-perakan, mudah ditempa, memiliki sifat magnet yang rendah, dan baik sebagai konduktor panas dan listrik. Pada skala industri, nikel digunakan secara luas dalam membuat baja anti korosif dengan berbagai campuran yang memiliki ketahanan terhadap karat. Selain itu, nikel juga digunakan dalam produksi uang koin, pelapisan senjata, dan perlengkapan besi lainnya. Kehadiran nikel dalam jumlah yang signifikan dapat tersebar dalam meteorit, dan menjadi tanda khas yang memisahkan meteorit tersebut dari yang lain. Sebagai contoh meteorit berjenis besi atau siderit mungkin mengandung campuran dari unsur besi dan nikeldengan kadar kurang lebih 5-25%.

3. Timah

Timah adalah jenis logam yang berwarna putih keperak-perakan, dapat ditempa dengan mudah, dan memiliki sifat fleksibel dengan struktur kristalin, namun cenderung rapuh dan mudah patah ketika didinginkan. Di bawah suhu 13,2oC, timah

kehilangan sifat logamnya secara keseluruhan. Sebagai logam putih, timah sering dikenal sebagai "timah putih" karena memiliki kilauan putih dan struktur kristal tetragonal. Ketahanan terhadap perubahan penghitaman timbal putih dapat ditingkatkan dengan menambahkan logam seperti seng, bismut atau galium ke dalam campuran timah.

4. Tembaga

Tembaga memainkan peran penting dalam industri, terutama sebagai bahan pembuatan kawat dan sebagai material penukar panas yang memanfaatkan kemampuan konduktivitas listrik dan termalnya yang baik. Tembaga menunjukkan ketahanan terhadap larutan asam klorida dan asam sulfat yang encer, meskipun sedikit larut dalam keberadaan oksigen. Memiliki warna merah muda, tembaga bersifat lunak, dapat ditempa, dan bersifat lentur. Unsur tembaga dalam keadaan alam dapat ditemukan sebagai logam murni, namun lebih umum dijumpai dalam bentuk senyawa atau padatan mineral.



Gambar 3.2. Tembaga

Sumber: <https://www.builder.id>

Ke dua adalah Logam yang memiliki berat jenis rendah (seperti aluminium, magnesium, dan natrium)

1. Aluminium

Aluminium merupakan logam yang sangat melimpah di kerak bumi serta menjadi elemen yang menduduki peringkat ketiga dalam jumlah terbanyak setelah oksigen dan silikon. Kira-kira sebanyak 0.81 sampai 0.823 dari total

berat kerak bumi terdiri dari aluminium. Aluminium, yang biasanya ditemukan dalam bentuk bauksit yang berasal dari pelapukan dan pengendapan residu magma asam. Proses ini merupakan cara di mana mineral bahan galian mengalami konsentrasi di suatu lokasi setelah mengalami pelapukan dan pengendapan dari magma tersebut.



Gambar 3.3. Aluminium

Sumber: <https://www.builder>

2. Magnesium

Magnesium, yang termasuk dalam kelompok logam alkali tanah, memiliki warna putih keperakan, bersifat kurang reaktif, dan mudah diolah atau mengeras saat dipanaskan. Pada suhu kamar, magnesium tidak menunjukkan respon terhadap oksigen dan air, tetapi dapat berinteraksi dengan zat asam. Ketika dipanaskan hingga suhu 800°C , magnesium akan bereaksi dengan oksigen dan menghasilkan cahaya putih yang terang. Secara alami, magnesium melimpah dalam lapisan batuan dan dapat ditemukan dalam bentuk mineral seperti karnalit, dolomit, dan magnesit yang membentuk batuan silikat yang mengandung magnesium. Di samping itu, magnesium juga terdapat dalam bentuk senyawa garam, seperti garam magnesium klorida.

3. Kalsium

Kalsium merupakan logam alkali tanah yang reaktif, kalsium bersifat lunak dan mudah dibentuk, serta warnanya putih keperakan. Kalsium mengalami reaksi dengan air menghasilkan kalsium hidroksida dan hidrogen. Kalsium terdapat secara alami dalam berbagai senyawa seperti kalsium karbonat (CaCO_3) pada batuan kalsit, kalsium sulfat (CaSO_4) pada pualam atau gipsum, kalsium fluorida (CaF_2) pada fluorit, dan kalsium fosfat. ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$) terdapat pada batuan fosfat dan silikat. Meskipun reaksi kalsium dengan oksigen berlangsung lambat pada suhu kamar, kalsium dapat menyebabkan kebakaran bila dipanaskan.

Ke tiga adalah Logam mulia seperti logam-logam berharga seperti emas, perak, dan sejenisnya.

1. Emas:

Emas dikenal juga sebagai pure gold, merupakan logam dengan kandungan Aurum (Au) sebesar 99.5% atau lebih. Logam campur emas terdiri dari kombinasi logam mulia, termasuk emas murni, bersama dengan logam kurang mulia contohnya perak, tembaga, platina, palladium, serta seng. Pemanfaatan logam mulia ini melibatkan teknik tatahan, pembuatan tiara, dan pembangunan jembatan karena kekuatannya yang tahan terhadap karat.

2. Perak:

Perak termasuk dalam kategori logam mulia karena tidak akan terjadi korosi, meskipun dapat mengalami oksidasi yang menghasilkan lapisan kehitaman yang dikenal sebagai "tarnish". Proses oksidasi ini tidak merusak sifat dasar perak, berbeda dengan korosi pada logam besi (Fe). Sebagai bahan dalam membuat perhiasan, secara umum perak sering kali ditutupi dengan elemen lain yang memiliki ketahanan lebih resisten terhadap proses oksidasi, misalnya rhodium. Dengan adanya elemen ini, perhiasan perak lebih tahan terhadap oksidasi dan memiliki kilauan yang lebih menonjol.

3.6 Proses Pembentukan Logam Dasar

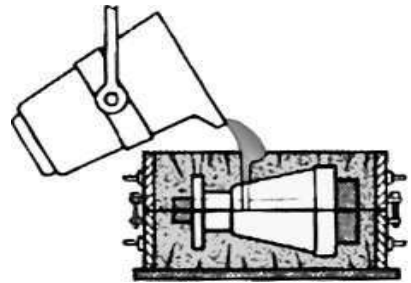
Segala benda yang terbuat dari logam tidak kita jumpai secara langsung dalam bentuk logam, melainkan melalui beberapa proses pembentukannya. Logam-logam ini pertama kali ditemukan dan kemudian ditambang dalam bentuk bijih logam. Kemudian diolah dan dipisahkan dari bahan lain untuk mendapatkan logam yang diinginkan dan akhirnya diubah menjadi produk setengah jadi atau jadi. Sebagian besar benda yang kita lihat telah melalui beberapa tahapan dalam proses pembentukan logam.. Proses ini melibatkan beberapa tahapan, antara lain:

1. Pengecoran Logam (*Casting Process*):

Pencairan logam adalah Metode di mana bahan cair, seperti logam atau plastik, mengalir ke dalam cetakan dan kemudian dibiarkan mengeras di dalam cetakan sebelum diekstraksi atau dipatahkan untuk membentuk komponen mesin dikenal sebagai proses pengecoran. Proses pengecoran umumnya digunakan untuk menciptakan bagian mesin yang memiliki susunan yang rumit

Pengecoran melibatkan penggunaan logam dalam keadaan cair yang sesuai dengan cetakan yang telah disiapkan. Jenis pengecoran dapat melibatkan logam cair atau bahan sintetis yang dapat meleleh, seperti polimer lunak. Selain itu, bahan yang dapat terlarut dalam air, seperti beton atau campuran gips, serta bahan lain yang dapat menjadi cair atau pasta ketika dalam keadaan basah, seperti tanah liat atau bahan serupa, juga dapat digunakan dalam proses pengecoran

Proses pengecoran dibagi menjadi dua jenis: cetakan yang dapat diperluas (*expandable*) dan cetakan yang tidak dapat diperluas (*non-expandable*) untuk mengakomodasi berbagai kebutuhan manufaktur.



Gambar 3.4. Proses pengecoran logam
Sumber google.com

Proses awal pengecoran dimulai dengan membuat cetakan menggunakan media cetak, seperti pasir. Cetakan pasir dapat dibuat dengan cara manual atau menggunakan mesin. Jika jumlah komponen yang akan dibuat tertentu dan memiliki banyak variasi, pembuatan cetakan secara manual dapat dilakukan. Cetakan manual dengan ukuran yang besar dapat menggunakan kombinasi tanah liat sebagai perekat. Saat ini, pembuatan cetakan banyak dilakukan secara mekanik dengan mesin untuk mencapai tingkat presisi yang lebih tinggi dan dapat diproduksi dalam jumlah besar dengan kualitas yang seragam.

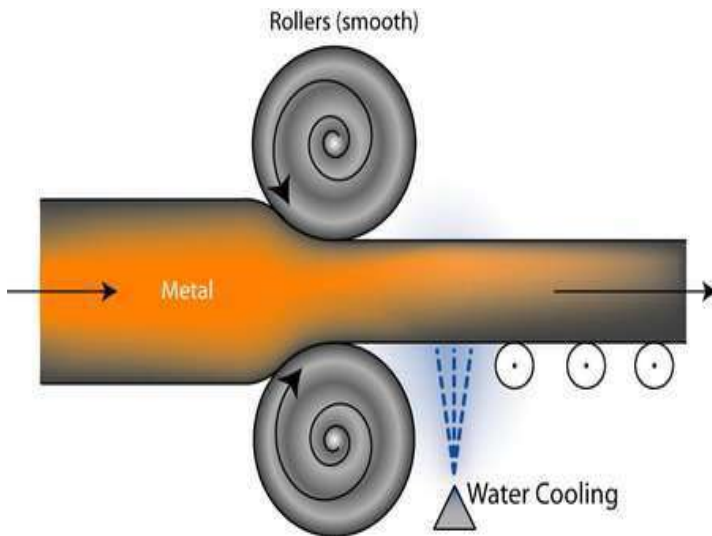
2. Proses Pembentukan:

Proses pembentukan logam melibatkan pemberian gaya luar seperti tekanan, pemadatan, atau tarikan untuk mengubah bentuk logam secara plastis. Sebelumnya bahan logam dipanaskan hingga mencapai batasan tertentu atau tetap dalam rentang suhu yang ditentukan. Salah satu bentuk dari proses pembentukan logam adalah:

a. Pengerolan (*Rolling*):

Proses pemadatan dapat dilakukan dengan menggunakan metode pengerolan, yang melibatkan penjepitan pelat di antara dua rol yang berputar berlawanan arah. Penggiling utama dan penekan bergerak

secara berlawanan, sehingga memungkinkan pelat dapat bergerak linier bergerak diatas rol pembentuk. Rol utama terletak pada bagian bawah jalur pergerakan pelat, menyebabkan tekanan pada pelat dan mengakibatkan deformasi. Proses pengerolan terbentuk dari tekanan rol pembentuk dan rotasi rol penjepit, menghasilkan radius pengerolan yang seragam saat pelat bergerak melalui rol pembentuk.



Gambar 3.5. Proses pengerolan logam
Sumber google.com

Efek dari proses pengolahan termasuk perhalusan butir akibat rekristalisasi. Komposisi yang semula kasar akan mengalami perubahan menjadi susunan yang lebih memanjang melalui proses penggilingan. Dalam proses pengerolan logam, terjadi perubahan pada ketebalan logam paling signifikan, sementara lebar logam hanya sedikit bertambah. Keseragaman suhu sangat penting dalam operasi pengerolan karena memengaruhi sifat aliran dan plastisitas logam. Pengerjaan panas, seperti pengerolan, umumnya diterapkan dalam pembuatan rel dan batang.

3. Proses Pemotongan:

Proses pemotongan logam melibatkan penggunaan alat pemotong dalam membentuk model yang diinginkan dengan menghilangkan beberapa material. Peralatan pemotong umumnya menggunakan material yang memiliki tingkat kekerasan lebih tinggi dibandingkan dengan potongan logamnya.

4. Metode Penggabungan atau Pengikatan.:

Metode ini selalu diidentifikasi sebagai proses pengelasan, meskipun sebenarnya pengelasan merupakan salah satu bagian dari metode perakitan. Proses ini dapat dilakukan dengan maupun tidak menlelehkan terlebih dahulu material yang akan dirakit, dapat menggunakan atau tidak menggunakan logam pengisi, serta dengan atau tidak adanya tekanan. Pengikat atau adhesif juga dapat digunakan dalam proses ini. Contoh proses penyambungan meliputi pengelasan, soldering, penghalusan, dan lain sebagainya.

5. Proses pengolahan fisik.

Metode pengolahan fisik adalah serangkaian metode yang dikerjakan mulai mengubah sifat-sifat fisik logam yang tidak akan mengubah bentuk fisiknya secara signifikan. Beberapa contoh proses perlakuan fisik meliputi pemberian panas, perlakuan dengan tumbukan (*Shot Peening*), dan berbagai metode lainnya.

6. Proses terakhir:

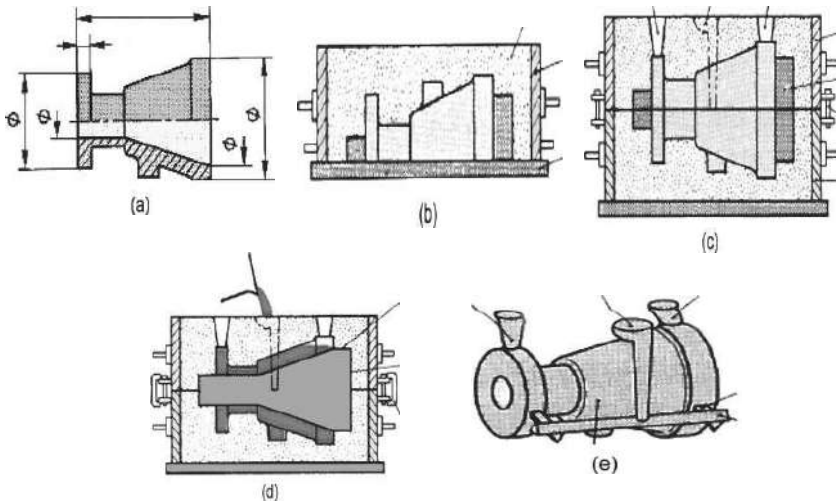
Kegiatan ini dilakukan untuk menambahkan bentuk tertentu pada permukaan produk, dengan tujuan untuk mendapatkan modifikasi yang minim. Secara umum, ukuran maupun bentuknya tidak mengalami perubahan yang signifikan. Beberapa bentuk permukaan yang dihasilkan melibatkan kilau yang menarik, perlindungan dan pencegahan perubahan unsur, serta modifikasi bentuk permukaan. Hal ini dapat dicapai melalui berbagai metode, seperti pemberian

warna, proses anoda, melapisi permukaan dengan unsur tertentu, dan lainnya.

Cara Membuat Cetakan Manual

Cetakan manual dibuat dengan cara membuat bagian atas (kup) dan bagian bawah (drag), seperti pada gambar di bawah ini dimana :

1. Menyelimuti pola pada permukaan cetakan menggunakan pasir
2. Cetakan siap digunakan
3. Memulai Proses pengecoran
4. Hasil akhir dari proses pengecoran



Gambar 3.5. Dimensi benda kerja yang akan dibuat
Sumber : mengenal proses pembentukan logam

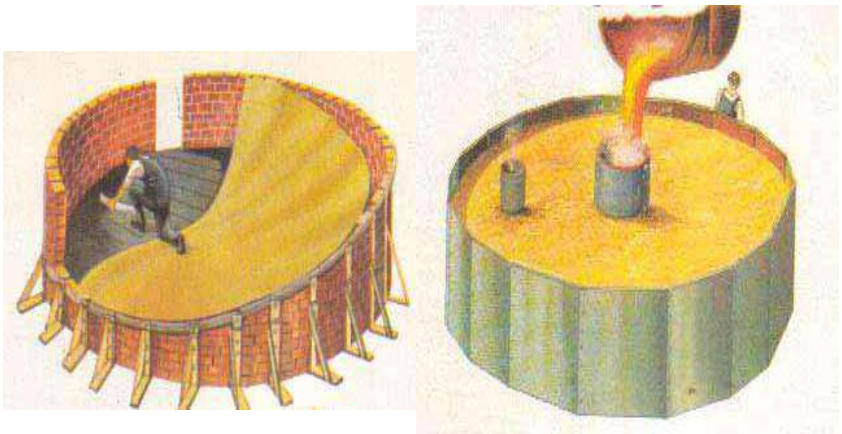
Selain metode manual, terdapat beberapa teknik pembuatan cetakan menggunakan mesin seperti mesin guncang, mesin pendesak, mesin guncang desak, mesin bertekanan tinggi, dan mesin yang melemparkan pasir.

3.7 Klasifikasi Pengecoran logam sesuai dengan jenis alat cetakannya

1. Pengecoran menggunakan Pasir atau Sand Casting

Pengecoran dengan Pasir: Pengecoran dengan pasir merupakan metode paling tua dan dikenal sampai saat ini. Proses ini melibatkan pencetakan benda dengan menggunakan cetakan yang terbuat dari pasir. Pengecoran logam menggunakan pasir membutuhkan beberapa hari untuk melalui proses produksi, menghasilkan sekitar 1 sampai 20 lembar per jam dalam proses cetakannya. Proses pengecoran ini memerlukan waktu yang lebih panjang, terutama saat memproduksi dengan jumlah yang sangat besar. Pasir yang digunakan berasosiasi dengan lempung sama dengan warna hijau pada proses sandblasting atau menggunakan lem kimia/minyak polimer.

Secara umum penggunaan pasir pada proses pengecoran diterapkan untuk memproses logam dengan suhu lebih kecil, seperti besi, tembaga, aluminium, magnesium, dan nikel. Meskipun proses ini dapat dilakukan pada logam yang mempunyai suhu lebih besar, namun tidak efektif untuk material lain kecuali yang disebutkan sebelumnya.



Gambar 3.6. Pengecoran logam pada cetakan pasir
Sumber : google.com

2. Pengecoran dengan Gips (*Plaster Casting*):

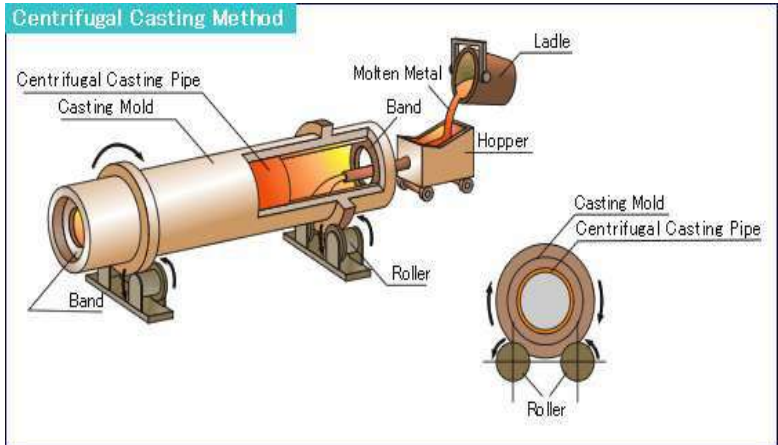
Proses pengecorannya mirip dengan pasir, hanya saja pasirnya diganti dengan plester. Campuran batu gipsum biasanya terdiri dari 70-80% gipsum, 20-30% tulangan gipsum dan air. Persiapan plesteran biasanya memakan waktu kurang dari 1 minggu, jika produksi sekitar 1-10 pcs/jam maka berat produksi maksimal 45 kilo gram dan minimal 30 kilo gram. Hasilnya memiliki resolusi dan kehalusan tinggi pada permukaannya. Patahan pada gips cenderung sulit untuk diperbaiki. Pengecoran menggunakan gips ini umumnya diterapkan pada logam yang tidak mengandung belerang, seperti aluminium, seng, dan tembaga.

3. Peleburan menggunakan Gips, Beton, atau Plastik Resin:

Penggunaan beton dalam proses pengecoran tanpa melibatkan gips memungkinkan pembuatan ukiran, elemen pancuran air, atau tempat duduk di luar ruangan. Contohnya, pembuatan meja cuci, wastafel, dan shower stalls dengan berbagai warna dapat menciptakan pola menarik, mirip dengan yang ditemukan pada bahan seperti kelereng atau travertine.

4. Pengecoran Sentrifugal:

Proses pengecoran sentrifugal mempunyai perbedaan dengan pengecoran berat bebas dan tekanan bebas karena menggunakan gaya sentrifugal yang dihasilkan oleh perputaran cetakan pasir. Pengecoran sentrifugal roda kereta api adalah salah satu penerapan awal metode ini, yang dikembangkan oleh perusahaan industri Jerman Krupp, yang meluncurkan perkembangan pesat perusahaan tersebut.



Gambar 3.7. Metode Pengecoran secara Sentrifugal
(Sentrifugal Casting)
Sumber : google.com

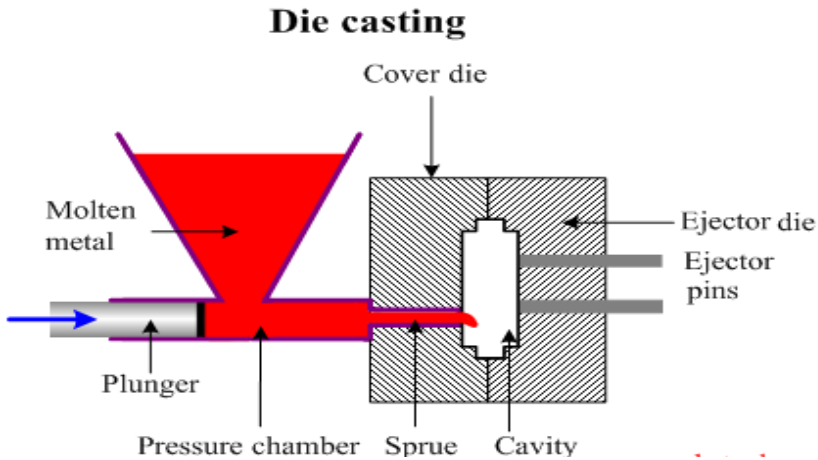
5. Mold Die- cast

Die casting merupakan metode pencetakan logam yang melibatkan tekanan lebih besar pada suhu kecil menggunakan cetakan yang disebut Die. Proses ini digunakan guna menghasilkan berbagai bentuk logam, mulai dari keran cuci hingga cetakan mesin termasuk perangkat keras, suku cadang mesin, dan mobil mainan..



Gambar 3.8. Mesin Die Casting
Sumber. Google.com

Proses die casting sering melibatkan penggunaan logam umum seperti seng dan aluminium secara umum tentu tidak dalam bentuk yang murni akan tetapi merupakan campuran logam yang memiliki sifat fisik yang lebih unggul.



Gambar 3.9. Proses Kerja Die casting
Sumber. Google.com

Cara kerja cetakan injeksi, Sebelum memulai proses siklus, perlu dilakukan pemasangan mesin cetakan injeksi dan penyesuaian suhu yang sesuai. Proses penyesuaian ini lebih lama sekitar 1 sampai 2 jam, setelah itu masa persiapan tergantung pada ukuran casting, proses ini dapat memakan waktu mulai dari beberapa detik hingga beberapa menit. Batasan berat maksimum magnesium, seng, dan aluminium kurang lebih 4.5 kilo gram, 18 kilo gram, dan 45 kilo gram.



Gambar 3.10. Produk *Die Casting*
Sumber: Google.com

Cetakan ini dapat menahan hingga 500 ribu tembakan selama jangka waktu penggunaan, masa pakai die sangat dipengaruhi oleh temperatur peleburan dari logam yang digunakan. Penggunaan unsur aluminium biasanya mempercepat umur *die* akibat penggunaan suhu tinggi dari pencairan logam sehingga dapat menyebabkan aus pada rongga bagian dalam cetakan baja. Cetakan *die casting* dari unsur seng, cenderung bertahan lebih lama dikarenakan seng memiliki temperatur yang rendah. Namun, cetakan untuk die casting tembaga memiliki umur yang lebih pendek dibandingkan dengan logam lainnya, karena tembaga adalah logam dengan titik leleh tertinggi.

Belakangan ini, komponen-komponen Produk plastik mulai menggantikan injection molding karena lebih ekonomis. (bobotnya lebih ringan, terutama digunakan dalam komponen-komponen mobil yang memerlukan penggantian atau pemeliharaan pada kendaraan bermotor yang berhubungan dengan standar efisiensi bahan bakar). Dimasa sekarang bahan pengganti yang terbuat dari bahan plastik tentu lebih nyaman sebagai akibat dari perkembangan teknologi. Proses pemotongan bahan plastikpun semakin mudah meskipun mengorbankan kekuatan, mudah direkayasa kembali untuk memenuhi kekuatan yang diinginkan.

3.8 Penggunaan Logam

Secara umum, logam memberikan manfaat yang besar bagi manusia melalui penggunaannya dalam berbagai sektor seperti industri, pertanian, dan kedokteran. Sebagai contoh, merkuri memiliki peran penting dalam metode elektrolisis untuk produksi klor-alkali, yang memberikan kontribusi signifikan dalam industri kimia dan industri pengolahan. Beberapa bahan kimia diproduksi melalui elektrolisis melibatkan logam-logam seperti natrium, kalsium, magnesium, aluminium, tembaga, seng, perak, bersama dengan unsur-unsur hidrogen, klor, fluor, serta zat kimia seperti natrium hidroksida, kalium dikromat, dan kalium permanganat. Contoh spesifiknya adalah proses elektrolisis larutan garam natrium klorida, yang menghasilkan natrium hidroksida di elektroda negatif dan gas klor di elektroda positif.

Dalam industri antariksa dan bidang kedokteran, penggunaan aloi titanium diperlukan karena sifatnya yang kuat, tahan karat, dan non iritatif. Beberapa jenis logam juga diperlukan dalam fungsi biokimiawi tertentu. Di masa lampau, logam seperti tembaga, besi dan timah digunakan untuk membuat perkakas, peralatan mesin dan senjata. Logam mulia, termasuk emas, perak, perunggu, dan platina, umumnya digunakan untuk perhiasan karena warnanya yang indah, ketahanan terhadap korosi, dan keunikannya. Emas dan perak yang mempunyai sifat penghantar listrik yang baik, sering digunakan untuk menutupi konektor elektronik.

Duktilitas, yaitu kemampuan suatu logam untuk ditarik bila ditarik digunakan untuk membuat kawat atau kabel seperti tembaga. Besi lunak, yang mengacu pada kemampuan logam untuk berubah bentuk selama penempaan, digunakan untuk membuat berbagai macam barang, termasuk parang, pisau, dan cangkul.

Sebagai konduktor panas yang efisien, logam digunakan untuk pembuatan panci. Kekuatan logam memungkinkan penggunaannya dalam konstruksi rangka bangunan dan jembatan. Suara dering yang dihasilkan saat logam dipukul membuatnya cocok digunakan dalam pembuatan bel. Logam berat, dengan kepadatan lima atau lebih dan nomor atom 22 hingga 92, memiliki dampak tidak bagus bagi kesehatan manusia jika terkumpul

didalam tubuh. Beberapa logam berat dapat menjadi karsinogen, menyebabkan kekhawatiran terhadap pangan yang mengandung kadar logam berat berlebihan.

Kasus-kasus pencemaran lingkungan telah menyebabkan kontaminasi logam berat dalam beberapa produk pangan. Contohnya, sindrom Minamata terjadi karena akumulasi merkuri dalam ikan konsumsi. Ikan yang berasal dari Teluk Jakarta dan udang yang berasal dari tambak Sidoarjo pernah tidak diterima karena memiliki tingkat kadmium dan timbal yang melampaui ambang batas yang aman.. Pupuk TSP yang digunakan di perkebunan juga diduga menjadi sumber kadmium pada kakao dari Indonesia yang ditolak di pasar internasional.

DAFTAR PUSTAKA

- Agung, K. (2009) 'Diktat Kuliah Ilmu Material Teknik', *Material Teknik*, pp. 1–108.
- BAADILLA, A. (2019) *Makalah bahan logam*.
- Hultquist, G. and Leygraf, C. (1980) 'Materials Science and Eng.', *Materials Science and Engineering: A*, 42(1).
- Kencanawati, C. I. P. K. (2017) 'Diktat Mata Kuliah Metalurgi', (Mkk 2013).
- Mazínová, I. and Florian, P. (2014) 'Materials selection in mechanical design', *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, 16, pp. 145–153. doi: 10.1007/978-3-319-05203-8_21.
- Nugraha, M. G. (2014) 'Logam', 15314(021), pp. 136–139.
- Puspitasari, E. T. R. I. (2018) 'LOGAM Sebagai bahan konstruksi'.
- Rahmanita, F. and Anwar, S. (2022) *LOGAM*. Available at: https://repository.unpam.ac.id/8898/1/PIE0042_PENGANTAR_ILMU_MANAJEMEN-full.pdf.
- Schmid, K. dan (2018) *Manufacturing Processes for Engineering Materials*.
- Simanjuntak, A. D. I. P. *et al.* (2017) 'MAKALAH MATERIAL TEKNIK LOGAM (METAL)'.
- Soedarmadji, W. (2019) 'Bahan Ajar Material Teknik'.
- Suarsana (2017) 'Ilmu Material Teknik', *Universitas Udayana*.
- Zamrodah, Y. (2016) 'Ilmu Bahan Teknik', 15(2).
- ZULFIANTO, M. R. (2018) *MAKALAH TEKNOLOGI MATERIAL DAN MEKANIK*.

BAB 4

MATERIAL NON LOGAM

Oleh Enni Sulfiana

4.1 Pengertian Material Non Logam

4.1.1 Definisi Material Non Logam

Material non-logam adalah bahan yang tidak memiliki sifat konduktivitas listrik yang tinggi dan umumnya tidak mengandung logam dalam struktur kimianya. Mereka sering kali digunakan dalam berbagai aplikasi teknik dan industri seperti kaca, plastik, serat, karet, keramik, dan polimer (Achmad, Rudi, 2016).

4.1.2 Perbedaan antara material non logam dan logam

Material non-logam dan logam memiliki perbedaan mendasar dalam sifat-sifat mereka. Berikut adalah beberapa perbedaan utama:

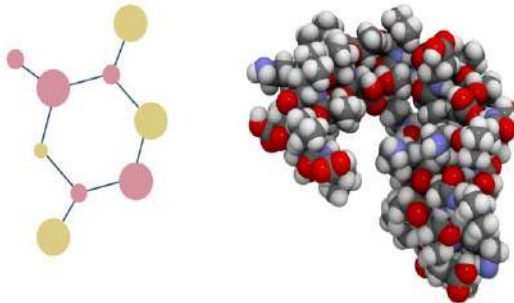
1. **Sifat Konduktivitas:** Logam umumnya memiliki konduktivitas listrik dan panas yang tinggi, sedangkan material non-logam biasanya memiliki konduktivitas yang lebih rendah dalam kedua hal tersebut.
2. **Struktur Atom:** Logam memiliki struktur kristal dengan lapisan elektron bebas yang memungkinkan pergerakan relatif bebas dari elektron, sedangkan material non-logam sering kali memiliki struktur atom yang mengikat elektron dengan cara yang berbeda, seperti ikatan kovalen atau ikatan ionik.
3. **Kekerasan:** Logam umumnya lebih keras daripada material non-logam. Meskipun ada pengecualian, seperti keramik yang bisa sangat keras.
4. **Ketahanan terhadap Korosi:** Material logam biasanya rentan terhadap korosi, sementara material non-logam seperti plastik dan karet bisa lebih tahan terhadap korosi.
5. **Kehilangan Elastisitas:** Material non-logam sering kali memiliki elastisitas yang lebih tinggi daripada logam. Mereka

cenderung dapat mengembalikan bentuk mereka setelah dideformasi lebih baik daripada logam (Achmad, Rudi, 2016).

4.2 Jenis-jenis Material Non Logam

Terdapat berbagai jenis material non-logam yang digunakan dalam berbagai aplikasi teknik dan industri. Beberapa jenis material non-logam yang umum meliputi:

1. **Polimer:** Polimer adalah material non-logam yang terdiri dari rantai molekul panjang yang disebut polimer. Mereka memiliki beragam sifat termasuk fleksibilitas, kekuatan, kekerasan, dan tahan terhadap korosi. Contoh polimer meliputi polietilena, polivinil klorida (PVC), polipropilena, polistirena, dan poliuretan.



Gambar 4.1. Polimer sebagai senyawa molekul yang memiliki massa molar yang tinggi

(Sumber : Kompas.com/Retia Kartika Dewi)

2. **Keramik:** Keramik adalah material non-logam yang umumnya terbuat dari oksida, nitrida, atau karbida logam bersama dengan elemen non-logam seperti oksigen, nitrogen, atau karbon. Mereka dikenal karena kekerasannya, ketahanan terhadap suhu tinggi, dan isolasi listrik yang baik. Contoh keramik meliputi porselen, silikon karbida, oksida aluminium, dan keramik nitrida silikon.



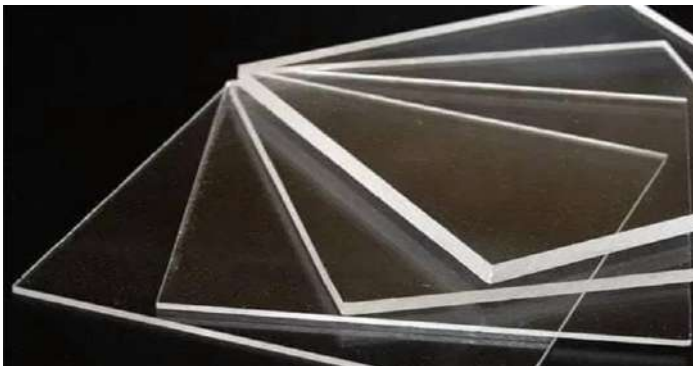
Gambar 4.2. Material Keramik
(Sumber : Achmad, Rudi, 2016)

Struktur kristal keramik (terdiri dari berbagai ukuran atom yang berbeda atau minimal terdiri dari 2 jenis unsur) merupakan salah satu yang paling kompleks dari semua struktur bahan. Ikatan antara atom-atom ini umumnya ikatan kovalen (berbagi elektron, sehingga ikatan ini kuat) atau ion (terutama ikatan antara ion bermuatan, sehingga ikatan ini kuat). Ikatan ini jauh lebih kuat daripada ikatan logam. Akibatnya, sifat-sifat seperti kekerasan dan ketahanan panas dan listrik secara signifikan lebih tinggi keramik dari pada logam. Keramik dapat berikatan kristal tunggal atau dalam bentuk polikristalin. Ukuran butir mempunyai pengaruh besar terhadap kekuatan dan sifat-sifat keramik; ukuran butir yang halus (sehingga dikatakan keramik halus), semakin tinggi kekuatan dan ketangguhannya. Kebanyakan bahan pembentuk keramik memiliki ikatan ion, ikatan kovalen dan ikatan antara. Sebagai misal, bagian ikatan ion dalam sistem Mg-O, Al-O, Zn-O dan Si-O dapat dikatakan masing-masing 70%, 60%, 60% dan 50%. Yang sangat menarik adalah bahwa pada ReO_3 , V_2O_3 dan TiO_2 , yang merupakan oksida dan tidak pernah menunjukkan sifat liat atau dapat di deformasikan, tetapi memiliki hantaran listrik yang relatif dapat disamakan dengan logam biasa. Dalam

Kristal yang rumit, berbagai macam atom berperan dan ikatannya merupakan ikatan campuran dalam banyak hal. Struktur Kristal demikian dapat dimengerti apabila mengingat bahwa Kristal tersusun oleh kombinasi dari polyhedron koordinasi, dimana satuan kecil dari kation dikelilingi oleh beberapa anion. Salah satu contoh adalah silikat yang merupakan bahan baku penting bagi keramik.

(Dede Jaya, 2018)

3. **Kaca:** Kaca adalah material non-logam yang terbuat dari pembekuan cairan yang tidak beraturan, biasanya silika (pasir), soda, kapur, dan aditif lainnya. Mereka memiliki sifat transparansi optik yang baik, kekerasan, dan ketahanan terhadap korosi. Contoh aplikasi kaca termasuk jendela, botol, wadah, dan perangkat optik.



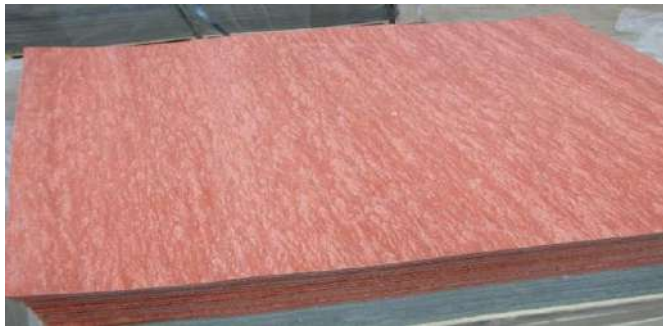
Gambar 4.3. Material Kaca
(Sumber : Achmad, Rudi, 2016)

4. **Serat:** Serat non-logam digunakan dalam pembuatan bahan komposit yang kuat dan ringan. Mereka dapat terbuat dari bahan seperti serat karbon, serat stekel, serat aramid (seperti Kevlar), dan serat kaca. Serat ini sering digunakan dalam industri otomotif, aerospace, dan konstruksi.



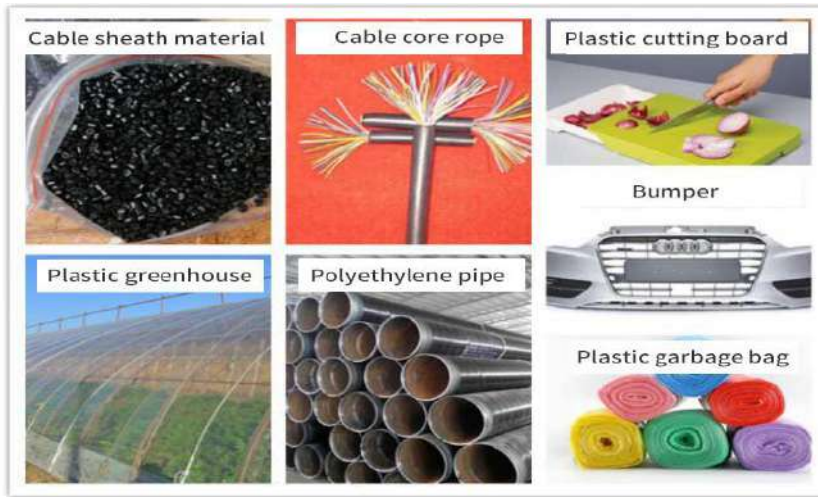
Gambar 4.4. Material Serat Sabut Kelapa
(Sumber : Achmad, Rudi, 2016)

5. **Karet:** Karet adalah material elastomerik yang elastis dan dapat digunakan dalam berbagai aplikasi penyegelan, isolasi, dan redaman getaran. Karet alam dihasilkan dari getah pohon karet, sementara karet sintetis diproduksi melalui proses kimia. Contoh karet meliputi karet nitril, karet silikon, dan karet fluoroelastomer.



Gambar 4.5. Material Karet bentuk lembaran
(Sumber : Achmad, Rudi, 2016)

6. **Plastik:** Plastik adalah material non-logam yang dibentuk dari polimer sintetis atau campuran polimer dan aditif. Mereka memiliki beragam sifat termasuk fleksibilitas, ketahanan terhadap korosi, dan kekuatan. Plastik digunakan dalam berbagai aplikasi seperti kemasan, elektronik, peralatan rumah tangga, dan otomotif.



Gambar 4.6. Material Plastik
(Sumber : Achmad, Rudi, 2016)

4.2.1 Polimer

Polimer adalah jenis material non-logam yang terdiri dari rantai molekul panjang yang terdiri dari unit berulang yang disebut monomer. Proses di mana monomer-monomer digabungkan bersama untuk membentuk rantai polimer disebut polimerisasi.

Beberapa karakteristik polimer yang penting termasuk:

1. **Fleksibilitas:** Polimer sering kali memiliki fleksibilitas yang baik, membuatnya cocok untuk berbagai aplikasi di mana elastisitas dan kekenyalan diperlukan.
2. **Kekuatan:** Meskipun beberapa polimer bisa cukup kuat, kekuatan umumnya lebih rendah daripada logam. Namun, polimer sering digunakan dalam aplikasi di mana kekuatan yang cukup untuk beban tertentu masih diperlukan.
3. **Ringan:** Sebagian besar polimer memiliki densitas yang rendah, menjadikannya pilihan yang baik untuk aplikasi yang membutuhkan material yang ringan.
4. **Tahan terhadap Korosi:** Banyak polimer tahan terhadap korosi, membuatnya pilihan yang baik untuk lingkungan yang keras atau berbahaya.
5. **Isolator Listrik:** Polimer biasanya memiliki konduktivitas listrik yang rendah, membuatnya baik sebagai isolator listrik.

6. Ketahanan terhadap Suhu: Polimer memiliki beragam ketahanan terhadap suhu, mulai dari suhu rendah hingga suhu tinggi, tergantung pada jenis polimer dan penggunaan spesifiknya.

Beberapa contoh polimer yang umum digunakan termasuk:

- 1. Polietilena:** Digunakan dalam kemasan plastik, pipa air, dan banyak aplikasi lainnya.
 - 2. Polivinil Klorida (PVC):** Digunakan dalam pipa, kemasan, dan produk konstruksi.
 - 3. Polipropilena:** Digunakan dalam kemasan, serat tekstil, dan berbagai aplikasi lainnya.
 - 4. Polistirena:** Digunakan dalam kemasan, peralatan rumah tangga, dan insulasi.
 - 5. Poliuretan:** Digunakan dalam busa, kemasan, dan bahan isolasi.
- (Ihsan, 2023).

4.2.2 Keramik

Keramik adalah jenis material non-logam yang terbuat dari material anorganik yang dipanaskan dan kemudian didinginkan, sering kali dalam bentuk padat. Mereka memiliki beragam sifat yang membuat mereka sangat berguna dalam berbagai aplikasi teknik dan industri.

Tabel 4.1. Perbandingan Mekanikal dan Fisikal Struktur Keramik (SiC, Si3N4, ZrO2) dengan Besi dan Paduan Alumunium

Material	Massa Jenis (g/cm ³)	Kekuatan Tarik pada Temperatur Ruang (MPa)	Kekuatan tarik di temperatur 1.095 ⁰ C	Kekerasan (kg/mm ²)	Termal Konditivitas 250/1, 100 ⁰ C (W/m ⁰ C)
Variasi sintered SiC material	3,2	340-550 (flexure)	340-550 (flexure)	2500-2790	85/175
Variasi sintered Si3N4 material	2,7-3,2	205-690 (flexure)	205-690 (flexure)	1.366	17/60
Transformation toughened ZrO2	5,8	345-620 (flexure)	-	625-1.125	1.713,5
Steels (4100,4300, 8600, and 5600 series)	7-8	1.035-1.380 (tensile yield)	Cair	450-650	43
Alumunium	2,5	415-4895 (tensile yield)	Cair	100-500	140-225

Sumber (Nathan, R, 1985)

Berikut adalah beberapa karakteristik utama dari keramik:

1. **Kekerasan:** Keramik sering kali sangat keras, membuatnya tahan terhadap abrasi dan goresan. Ini membuat mereka cocok untuk digunakan dalam aplikasi di mana kekerasan dan ketahanan terhadap aus penting, seperti pelapisan dan komponen mesin.
2. **Ketahanan terhadap Suhu Tinggi:** Banyak jenis keramik dapat menahan suhu yang sangat tinggi tanpa mengalami deformasi atau kerusakan. Ini membuat mereka ideal untuk aplikasi seperti perlindungan termal dalam industri penerbangan dan energi.
3. **Isolasi Listrik dan Termal:** Keramik memiliki konduktivitas listrik dan termal yang rendah, menjadikannya pilihan yang baik untuk isolasi di mana perlunya menghentikan aliran panas atau listrik.
4. **Ketahanan terhadap Korosi:** Beberapa jenis keramik memiliki ketahanan yang baik terhadap korosi, membuatnya cocok untuk digunakan dalam lingkungan yang korosif.
5. **Ringan:** Meskipun keramik cenderung lebih berat daripada polimer, mereka biasanya lebih ringan daripada logam, membuatnya cocok untuk aplikasi di mana berat merupakan pertimbangan penting.

Beberapa contoh aplikasi keramik meliputi:

1. Porselen: Digunakan untuk pembuatan peralatan makan, isolator listrik, dan ubin lantai.
2. Oksida Aluminium: Digunakan dalam bahan bakar pelindung reaktor nuklir, alat potong, dan bantalan mesin.
3. Silikon Karbida: Digunakan sebagai material abrasif, dalam komponen mesin yang membutuhkan kekerasan tinggi, dan sebagai pelapis.
4. Keramik Nitrida Silikon: Digunakan dalam pembuatan alat potong, bantalan bola, dan komponen mesin yang memerlukan kekuatan dan ketahanan terhadap suhu tinggi.

(Ihsan, 2023)

4.2.3 Material Kaca

Kaca adalah jenis material non-logam yang paling sering digunakan dan memiliki berbagai aplikasi dalam berbagai industri dan kehidupan sehari-hari. Ini terbuat dari pembekuan cairan yang tidak beraturan yang disebut amorf. Kaca terutama terbuat dari bahan-bahan seperti silika (pasir), soda, kapur, dan aditif lainnya. Berikut adalah beberapa karakteristik utama kaca:

1. **Transparansi:** Kaca memiliki transparansi optik yang baik, yang berarti cahaya dapat melewati dengan mudah. Ini membuatnya ideal untuk penggunaan dalam jendela, kaca depan, dan berbagai aplikasi optik.
2. **Ketahanan terhadap Korosi:** Kaca biasanya tahan terhadap korosi kimia, membuatnya cocok untuk digunakan dalam wadah kimia, labware, dan aplikasi lingkungan yang keras.
3. **Kekerasan:** Kaca biasanya cukup keras untuk menahan goresan dan abrasi dalam penggunaan sehari-hari. Namun, itu juga rentan terhadap kerusakan dari dampak keras.
4. **Thermal Stability:** Kaca memiliki ketahanan terhadap perubahan suhu yang ekstrem, membuatnya cocok untuk digunakan dalam aplikasi yang membutuhkan ketahanan terhadap suhu tinggi atau perubahan suhu yang cepat.
5. **Recyclability:** Kaca dapat didaur ulang dengan relatif mudah dan tidak kehilangan kualitasnya saat didaur ulang. Ini membuatnya menjadi salah satu material yang ramah lingkungan.

Beberapa aplikasi umum kaca meliputi:

1. Jendela dan pintu kaca: Untuk bangunan komersial dan rumah tangga.
2. Botol dan wadah: Untuk penyimpanan makanan, minuman, dan obat-obatan.
3. Kaca otomotif: Seperti kaca depan, kaca samping, dan kaca belakang di kendaraan.
4. Perangkat optik: Seperti lensaacamata, teleskop, dan mikroskop.
5. Dekorasi dan seni: Termasuk piring kaca, vas, dan karya seni kaca. (Nasmi, 2018)

4.2.4 Serat

Serat adalah jenis material non-logam yang terdiri dari struktur panjang dan tipis yang terbuat dari polimer atau material anorganik. Serat-serat ini sering kali digunakan sebagai bahan baku dalam pembuatan bahan komposit yang kuat dan ringan. Berikut adalah beberapa karakteristik utama serat:

1. **Kekuatan:** Serat sering kali memiliki kekuatan yang sangat tinggi relatif terhadap beratnya. Ini membuat mereka sangat berguna dalam pembuatan material komposit yang kuat.
2. **Ringan:** Sebagian besar serat memiliki densitas yang rendah, menjadikannya pilihan yang baik untuk aplikasi di mana berat merupakan pertimbangan penting, seperti dalam industri otomotif dan aerospace.
3. **Fleksibilitas:** Banyak serat memiliki fleksibilitas yang baik, memungkinkan mereka untuk digunakan dalam berbagai aplikasi yang memerlukan kemampuan penyesuaian dengan bentuk yang kompleks.
4. **Ketahanan terhadap Korosi:** Beberapa jenis serat memiliki ketahanan yang baik terhadap korosi, membuatnya cocok untuk aplikasi di lingkungan yang keras atau berbahaya.
5. **Konduktivitas:** Tergantung pada bahan dasarnya, beberapa serat dapat memiliki konduktivitas listrik yang baik, sementara yang lain memiliki konduktivitas rendah.

Beberapa contoh serat yang umum digunakan termasuk:

1. **Serat Karbon:** Dikenal karena kekuatan dan kekakuan tinggi, serat karbon digunakan dalam berbagai aplikasi aerospace, otomotif, dan industri lainnya yang membutuhkan material yang sangat kuat dan ringan.
2. **Serat Stikel:** Serat stikel, atau fiberglass, sering digunakan dalam konstruksi, pembuatan kapal, dan industri otomotif karena kekuatannya yang tinggi dan ketahanannya terhadap korosi.
3. **Serat Aramid:** Termasuk di dalamnya serat seperti Kevlar, serat aramid digunakan dalam pembuatan pelindung tubuh, peralatan militer, dan komponen kendaraan yang

membutuhkan ketahanan terhadap penetrasi dan kekuatan yang tinggi.
(Nasmi, 2018)

4.2.5 Karet

Karet adalah jenis material non-logam yang elastis dan fleksibel, biasanya terbuat dari polimer organik yang disebut elastomer. Sifat utama karet termasuk elastisitas, fleksibilitas, ketahanan terhadap aus, dan isolasi listrik yang baik. Berikut beberapa karakteristik utama karet:

1. **Elastisitas:** Salah satu sifat paling mencolok dari karet adalah elastisitasnya yang tinggi, yang memungkinkannya untuk kembali ke bentuk aslinya setelah diberi beban atau ditarik.
2. **Fleksibilitas:** Karet umumnya sangat fleksibel, sehingga mudah ditempa atau dibentuk sesuai kebutuhan dalam berbagai aplikasi.
3. **Kekuatan:** Meskipun karet umumnya tidak sekuat logam, beberapa jenis karet seperti karet sintetis tertentu memiliki kekuatan tarik yang tinggi.
4. **Ketahanan Terhadap Aus:** Karet memiliki ketahanan yang baik terhadap aus dan abrasi, menjadikannya pilihan yang baik untuk digunakan dalam aplikasi yang memerlukan kontak atau gesekan berulang.
5. **Isolasi Listrik:** Karet memiliki konduktivitas listrik yang rendah, membuatnya cocok untuk digunakan sebagai bahan isolator listrik dalam berbagai aplikasi.
6. **Tahan Terhadap Suhu:** Karet memiliki ketahanan yang baik terhadap perubahan suhu, meskipun beberapa jenis karet bisa menjadi lunak atau keras tergantung pada suhu.

Beberapa contoh aplikasi karet meliputi:

1. **Ban Kendaraan:** Karet digunakan dalam pembuatan ban untuk mobil, sepeda motor, dan sepeda karena elastisitas dan ketahanan ausnya.
2. **Peralatan Industri:** Karet digunakan dalam pembuatan tali, karet pegas, dan komponen elastomer lainnya dalam berbagai aplikasi industri.

3. **Peralatan Rumah Tangga:** Karet sering digunakan dalam pembuatan alat-alat rumah tangga seperti sarung botol, tatakan gelas, dan tatakan pintu untuk mencegah goresan pada permukaan.
 4. **Peralatan Kesehatan:** Karet medis digunakan dalam pembuatan sarung tangan, selang infus, dan perangkat medis lainnya karena fleksibilitas dan ketahanan terhadap cairan tubuh.
- (Nasmi, 2018)

4.2.5 Plastik

Plastik adalah jenis material non-logam yang terdiri dari polimer sintetis atau campuran polimer dengan aditif. Plastik memiliki beragam sifat tergantung pada komposisi kimianya, sehingga dapat dibentuk menjadi berbagai bentuk dan digunakan dalam berbagai aplikasi. Berikut adalah beberapa karakteristik utama plastik:

1. **Kekuatan dan Kekakuan:** Plastik memiliki berbagai tingkat kekuatan dan kekakuan, tergantung pada jenis polimer dan teknik pengolahan. Beberapa plastik memiliki kekuatan yang cukup untuk digunakan sebagai pengganti logam dalam beberapa aplikasi.
2. **Fleksibilitas:** Banyak plastik memiliki fleksibilitas yang baik, yang memungkinkan mereka untuk ditempa atau dibentuk menjadi berbagai bentuk.
3. **Ringan:** Plastik umumnya memiliki densitas yang rendah, menjadikannya material yang ringan. Hal ini membuatnya cocok untuk digunakan dalam berbagai aplikasi di mana berat merupakan pertimbangan penting.
4. **Tahan Terhadap Korosi:** Banyak jenis plastik tahan terhadap korosi kimia, menjadikannya pilihan yang baik untuk aplikasi di lingkungan yang keras atau korosif.
5. **Isolator Listrik:** Plastik biasanya memiliki konduktivitas listrik yang rendah, menjadikannya baik sebagai bahan isolator listrik.
6. **Kemudahan Pengolahan:** Plastik dapat dicetak, dibentuk, dan diolah dengan berbagai cara, termasuk injeksi, ekstrusi, dan pencetakan 3D.

Beberapa contoh aplikasi plastik meliputi:

1. **Kemasan:** Plastik digunakan dalam pembuatan botol, kemasan makanan, dan wadah lainnya karena kekuatan, ketahanan terhadap korosi, dan kemudahan pembentukan.
2. **Otomotif:** Plastik digunakan dalam pembuatan bagian interior dan eksterior mobil, termasuk panel instrumen, bumper, dan trim.
3. **Elektronik:** Plastik digunakan dalam pembuatan perangkat elektronik seperti casing ponsel, laptop, dan peralatan rumah tangga.
4. **Konstruksi:** Plastik digunakan dalam pembuatan pipa, panel dinding, dan bahan bangunan lainnya karena kekuatan dan ketahanannya terhadap cuaca.
5. **Kesehatan:** Plastik medis digunakan dalam pembuatan peralatan medis seperti tabung infus, alat tes, dan alat bantu medis lainnya.

(Nasmi, 2018)

4.3 Sifat-sifat Material Non Logam

Material non-logam memiliki sejumlah sifat yang membedakannya dari logam. Berikut adalah beberapa sifat utama material non-logam:

1. **Konduktivitas Listrik:** Material non-logam umumnya memiliki konduktivitas listrik yang rendah. Mereka tidak memiliki elektron bebas seperti logam, yang membuatnya kurang efisien dalam menghantarkan listrik.
2. **Konduktivitas Panas:** Material non-logam juga memiliki konduktivitas panas yang lebih rendah daripada logam. Mereka cenderung memiliki struktur molekuler atau kristal yang lebih longgar, yang menghambat perpindahan panas.
3. **Kekerasan:** Kekerasan material non-logam bervariasi tergantung pada jenisnya. Beberapa material non-logam seperti keramik memiliki kekerasan yang sangat tinggi, sementara yang lain seperti karet lebih lunak.
4. **Ketahanan Terhadap Korosi:** Banyak material non-logam, seperti plastik dan karet, memiliki ketahanan yang baik terhadap korosi kimia. Namun, beberapa material non-

logam seperti logam tanah jarang memiliki ketahanan yang rendah terhadap korosi.

5. **Elastisitas:** Beberapa material non-logam, seperti karet dan polimer elastomerik, memiliki elastisitas yang tinggi. Mereka dapat ditarik atau ditekan dan kemudian kembali ke bentuk aslinya setelah beban dilepaskan.
6. **Transparansi Optik:** Beberapa material non-logam, seperti kaca dan beberapa plastik, memiliki transparansi optik yang baik. Ini memungkinkan cahaya untuk melewati material dengan sedikit atau tanpa hambatan, membuatnya berguna untuk aplikasi seperti jendela dan kaca depan.
7. **Ringan:** Material non-logam umumnya memiliki densitas yang lebih rendah daripada logam, membuatnya lebih ringan. Ini membuatnya ideal untuk aplikasi di mana berat merupakan pertimbangan penting.
8. **Ketahanan Terhadap Suhu Tinggi:** Beberapa material non-logam seperti keramik memiliki ketahanan yang baik terhadap suhu tinggi, sementara yang lain seperti plastik dapat meleleh pada suhu yang relatif rendah.

4.4 Penggunaan Material Non Logam

Material non-logam digunakan dalam berbagai aplikasi teknik dan industri karena memiliki sifat-sifat yang unik dan berguna. Berikut adalah beberapa contoh penggunaan material non-logam:

1. **Industri Otomotif:** Material non-logam seperti plastik, karet, dan serat karbon digunakan dalam berbagai bagian mobil dan kendaraan lainnya. Contohnya termasuk panel interior, bumper, pipa karet, dan komposit serat karbon untuk bagian struktural.
2. **Konstruksi:** Kaca dan plastik digunakan dalam pembuatan jendela, pintu, dan panel dinding. Selain itu, berbagai jenis keramik digunakan dalam aplikasi konstruksi seperti ubin lantai, pelat dinding, dan batu bata tahan api.
3. **Industri Penerbangan:** Material non-logam seperti komposit serat karbon digunakan dalam pembuatan bagian struktural pesawat terbang karena kekuatan dan kekuatan beratnya yang

- tinggi. Selain itu, plastik dan karet digunakan dalam berbagai komponen pesawat, seperti kabin dan selang hidrolis.
4. **Industri Elektronik:** Plastik digunakan dalam pembuatan berbagai perangkat elektronik, termasuk casing perangkat, kabel, dan konektor. Selain itu, kaca digunakan untuk layar dan lensa optik, sementara keramik digunakan dalam pembuatan substrat sirkuit cetak dan komponen semikonduktor.
 5. **Industri Medis:** Plastik medis steril digunakan dalam pembuatan alat medis sekali pakai seperti tabung infus, jarum suntik, dan kemasan obat-obatan. Karet medis juga digunakan dalam pembuatan sarung tangan, selang, dan perangkat medis lainnya.
 6. **Industri Makanan dan Minuman:** Plastik digunakan dalam pembuatan botol minuman, wadah makanan, dan kemasan sekali pakai lainnya. Selain itu, karet digunakan dalam pembuatan seal dan selang untuk peralatan pengolahan makanan.
 7. **Industri Energi:** Material non-logam seperti plastik, karet, dan serat karbon digunakan dalam peralatan dan sistem untuk pengolahan minyak dan gas, pembangkit listrik, dan energi terbarukan seperti tenaga angin dan surya.

Penggunaan material non-logam terus berkembang seiring dengan inovasi teknologi dan permintaan akan material yang lebih ringan, kuat, dan tahan lama. Kemampuan material non-logam untuk memenuhi berbagai kebutuhan dalam berbagai aplikasi membuatnya menjadi pilihan yang penting dalam industri modern.

4.5 Perkembangan dan Teknologi Material Non Logam

Perkembangan dan teknologi material non-logam terus berkembang seiring dengan kemajuan dalam riset dan inovasi teknologi. Berikut beberapa tren dan perkembangan terbaru dalam bidang material non-logam:

1. **Komposit Serat Karbon:** Komposit serat karbon terus mengalami perkembangan signifikan dalam aplikasi struktural yang membutuhkan kekuatan tinggi dan berat ringan. Inovasi

dalam proses manufaktur, seperti pemrosesan nanomaterial dan rekayasa struktur, telah memungkinkan pengembangan komposit yang lebih kuat dan lebih efisien.

2. **Plastik Daur Ulang:** Dengan meningkatnya kesadaran akan masalah lingkungan, plastik daur ulang menjadi fokus utama dalam penelitian dan pengembangan. Teknologi daur ulang plastik terus ditingkatkan untuk mengurangi limbah plastik dan memperpanjang siklus hidup produk.
3. **Keramik dan Material Refraktori:** Inovasi dalam teknologi keramik telah membuka pintu untuk penggunaan yang lebih luas dalam berbagai aplikasi, termasuk industri penerbangan, energi, dan elektronik. Pengembangan material refraktori yang lebih tahan terhadap suhu tinggi dan korosi membantu meningkatkan efisiensi dan daya tahan sistem.
4. **Kaca Cerdas:** Kaca cerdas adalah bidang penelitian yang berkembang pesat, di mana material kaca dipadukan dengan teknologi sensor dan kontrol untuk menciptakan aplikasi baru dalam bidang otomotif, bangunan pintar, dan elektronika konsumen.
5. **Polimer Berkinerja Tinggi:** Pengembangan polimer berkinerja tinggi terus menjadi fokus penelitian untuk aplikasi dalam otomotif, kesehatan, dan elektronik. Polimer dengan sifat-sifat seperti kekuatan tinggi, ketahanan terhadap suhu ekstrem, dan konduktivitas listrik yang baik sedang dikembangkan.
6. **Nanoteknologi:** Nanoteknologi telah memainkan peran penting dalam pengembangan material non-logam dengan sifat-sifat khusus. Partikel nano dan struktur nano telah digunakan untuk meningkatkan kekuatan, konduktivitas, dan responsivitas material non-logam dalam berbagai aplikasi.
7. **Material Biodegradable:** Pengembangan material non-logam yang dapat terurai secara alami dan ramah lingkungan sedang aktif dikejar, terutama dalam aplikasi kemasan dan produk sekali pakai. Material biodegradable yang dibuat dari polimer alami atau sumber terbarukan dapat membantu mengurangi dampak lingkungan limbah plastik.

Inovasi terus mendorong batas-batas kemungkinan dalam penggunaan material non-logam, membuka pintu untuk aplikasi yang lebih canggih, ramah lingkungan, dan efisien. Dengan terus majunya teknologi material non-logam, dapat diharapkan bahwa akan ada peningkatan terus-menerus dalam kinerja dan keberlanjutan material tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad,dkk. 2016. *Diktat Bahan Kuliah Material Teknik*. Banjarmasin: Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat.
- A. Aris Setiawan, B. Wiro Karuniawan, and N. Arumsari,2018 *“Optimasi Parameter 3D Printing Terhadap Keakuratan Dimensi dan Kekasaran Permukaan Produk Menggunakan Metode Taguchi Grey Relational Analysis,” Proceedings Conference on Design Manufacture Engineering and its Application*, pp. 165–168.
- F. Putri Dewanti,2015 *“Sistem Pendeteksi Dan Pemisah Material Logam Dan Non Logam Dengan Memanfaatkan Elektromagnet,” Unej Jurnal*, vol. 13, no. 2, pp. 1–16.
- H. Zou *et al.*, 2020*“Quantifying and understanding the triboelectric series of inorganic non-metallic materials,” Natural Communications Journal*, vol. 9, no. 3, pp. 1–7, doi: 10.1038/s41467-020-15926-1.
- Ihsan. 2023. *Pengantar Fisika Material Metal, Ceramic, Polymer, Composite*. Gowa: CV Tohar Media.
- Komarudin komaudin and A.Neilinda Novta,2015 *“Perencanaan Penggunaan material Plastik Daur Ulang Dengan Sistem manufaktur Berkelanjutan di Politeknik Manufaktur Astra,”* pp. 1–12.
- Nasmi Herlina Sari. 2018. *Material Teknik*. Yogyakarta: Deepublish.
- R. K. Ali, N. Qadaryati, and S. Widadi, 2023. *Analisis Kualitas untuk Optimasi Pemanfaatan Potensi Sumber Daya Mineral Non Logam dan Batuan di Kecamatan Lumbir, Kabupaten Banyumas” Teknik*, vol. 40, no. 3, p. 161, 2019, doi: 10.14710/teknik.v39i3.21889.

BAB 5

KERAMIK

Oleh Suhdi

5.1 Pendahuluan

Keramik, salah satu bahan tertua yang digunakan umat manusia, memiliki tempat penting dalam sejarah manusia dan kemajuan teknologi. Keramik adalah material yang telah dikenal manusia sejak zaman dahulu kala. Bukti arkeologi menunjukkan bahwa pembuatan keramik sudah dilakukan sejak 26 juta tahun lalu di Afrika Timur, dan berkembang pesat di berbagai wilayah dunia pada zaman Neolitik (15.000-10.000 tahun yang lalu) Berdasarkan sifat uniknya, keramik adalah senyawa anorganik non-logam yang biasanya dihasilkan melalui penerapan panas (Rahaman, 2017). Kelas bahan ini mencakup beragam produk, mulai dari tembikar tradisional dan seni dekoratif hingga keramik teknis canggih yang digunakan dalam industri mutakhir seperti dirgantara, elektronik, dan teknik biomedis (David W. Richerson, 2016). Kereserbagunaan keramik terletak pada kombinasi sifat-sifatnya yang luar biasa, termasuk kekerasan tinggi, tahan panas, tahan korosi, dan isolasi listrik, menjadikannya sangat diperlukan dalam berbagai aplikasi di berbagai sektor.

Perkembangan keramik telah menjadi bagian integral dari peradaban manusia, dengan bukti artefak keramik yang berasal dari ribuan tahun yang lalu (W. David Kingery, H. K. Bowen, 1976). Seiring berjalannya waktu, kemajuan dalam ilmu material dan proses manufaktur telah merevolusi produksi dan penerapan keramik. Dari teknik tembikar kuno hingga metode modern seperti pemrosesan bubuk dan sintering tingkat lanjut, evolusi teknologi keramik telah memungkinkan terciptanya bahan inovatif yang disesuaikan untuk memenuhi kebutuhan industri tertentu. Selain itu, penelitian yang sedang berlangsung di bidang ini terus mengungkap kemungkinan-kemungkinan baru pada keramik, mendorong inovasi lebih lanjut dan memperluas potensi

penerapannya. Perkembangan teknologi keramik terus berlanjut hingga saat ini. Para ilmuwan terus mencari cara untuk meningkatkan sifat-sifat keramik, seperti kekuatan, ketahanan, dan konduktivitas. Hal ini membuka peluang baru bagi penggunaan keramik di berbagai bidang, seperti energi terbarukan dan bioteknologi.

5.2 Jenis Jenis Keramik

Keramik adalah material anorganik, non-logam yang dihasilkan melalui proses pembakaran pada suhu tinggi. Material ini memiliki berbagai aplikasi dalam kehidupan sehari-hari dan industri, mulai dari peralatan makan hingga komponen elektronik dan bahan bangunan. Berdasarkan bahan, metode pembuatannya dan karakteristik fisiknya, keramik dapat dibagi menjadi 2 jenis utama, yaitu keramik tradisional (*traditional ceramics*) dan keramik maju (*advanced Ceramics*) (Barsoum, 2003).

5.2.1 Keramik Tradisional

Traditional ceramics adalah jenis keramik yang paling dikenal oleh masyarakat umum. Termasuk dalam kategori ini adalah produk-produk seperti tembikar, porselen, dan terracotta (David W. Richerson, 2016). Keramik tradisional umumnya terbuat dari tanah liat dan bahan alami lainnya yang dibentuk dan kemudian dibakar pada suhu tinggi.

Tanah liat, bahan dasar untuk pembuatan keramik tradisional, bervariasi dalam komposisi mineral dan karakteristik fisiknya tergantung pada lokasi geografisnya. Namun, secara umum, tanah liat terdiri dari partikel-partikel kecil yang bersifat lempung dan dapat diproses menjadi pasta keramik yang dapat dibentuk dengan mudah. Setelah dibentuk, produk keramik kemudian dikeringkan secara perlahan untuk menghilangkan kelembaban sebelum dibakar pada suhu tinggi dalam tungku. Hasil akhir dari proses pembakaran adalah produk keramik yang keras dan tahan lama. Keramik tanah liat memiliki berbagai macam warna dan tekstur tergantung pada jenis tanah liat yang digunakan, proses pembakaran, dan teknik dekorasi yang diterapkan. Produk-produk keramik tanah liat termasuk gerabah, tembikar, patung, vas, dan

berbagai barang dekoratif lainnya. Contoh produk keramik tanah liat dapat dilihat pada gambar 5.1 berikut.



Gambar 5.1. Produk keramik tanah
(Sumber : (Saiyan, 2017))

Meskipun keramik tanah liat memiliki keindahan estetika yang unik, mereka juga memiliki sifat-sifat praktis yang membuatnya cocok untuk berbagai aplikasi. Mereka tahan terhadap suhu tinggi, sehingga dapat digunakan untuk memasak dan menyajikan makanan, serta memiliki ketahanan yang baik terhadap korosi dan abrasi.

Porselen merupakan jenis keramik yang terbuat dari campuran bahan baku seperti kaolin, batu kapur, dan felspar yang dicampur dengan air, dibentuk, dan kemudian dibakar pada suhu tinggi. Proses pembuatan porselen melibatkan tahap pencampuran bahan baku yang teliti untuk mencapai komposisi yang tepat, diikuti dengan proses pembentukan, pengeringan, dan pembakaran yang cermat. Porselen terkenal karena keindahan estetikanya yang tinggi. Permukaannya yang halus dan transparan memberikan kesan mewah dan elegan. Porselen sering digunakan dalam pembuatan peralatan makan seperti piring, mangkuk, cangkir, dan teko, serta barang-barang dekoratif seperti vas dan patung. Contoh produk Porselen dapat dilihat pada gambar 5.2 berikut.



Gambar 5.2. Produk porselen
(Sumber:(Britannica, 2024))

Selain keindahannya, keramik porselen juga dikenal karena kekuatan dan ketahanannya. Porselen memiliki kekuatan yang tinggi dan ketahanan terhadap retakan dan goresan, membuatnya menjadi pilihan yang tahan lama untuk penggunaan sehari-hari. Selain itu, porselen juga tahan terhadap suhu tinggi, sehingga cocok untuk digunakan dalam pembuatan peralatan memasak yang sering terpapar panas, seperti piring tahan panas dan mangkuk untuk oven.

5.2.2 Keramik Maju

Advanced Ceramics ini menggunakan bubuk sintetis seperti aluminium oksida (Al_2O_3), silikon karbida (SiC), dan Baron nitride (BN) (Rahaman, 2017). Mereka dirancang dan direkayasa agar memiliki sifat khusus untuk aplikasi berkinerja tinggi. Keramik tingkat lanjut biasanya dibuat dari campuran bubuk dengan kemurnian tinggi yang diproses menggunakan teknik khusus untuk memberikan sifat unik pada produk akhir seperti memiliki kekuatan, kekerasan, isolasi, konduktivitas termal, ketahanan suhu tinggi, ketahanan oksidasi, ketahanan korosi, ketahanan aus, kekuatan suhu tinggi dan karakteristik lainnya yang sangat baik.

Alumina, atau aluminium oksida (Al_2O_3), dengan berat molekul 102, merupakan elemen dasar dalam bidang keramik

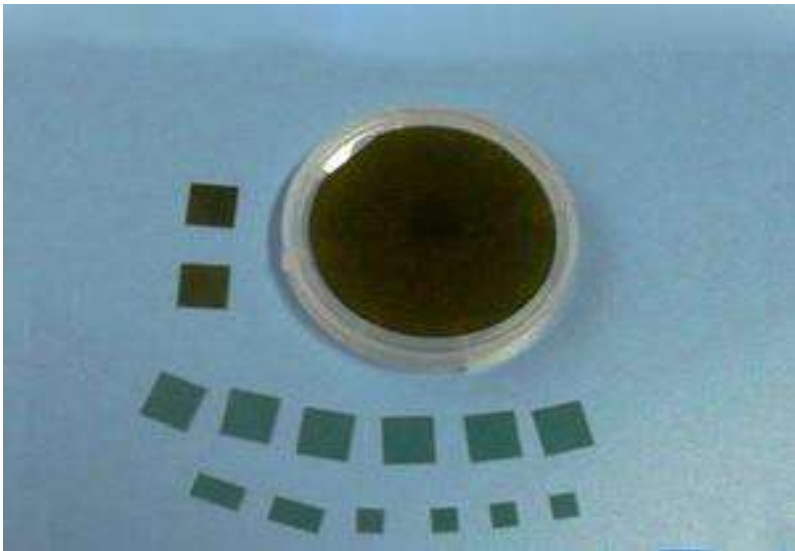
teknis, dengan titik leleh tinggi yang mengesankan yaitu 2.072°C. Hal ini menjadikannya bahan keramik yang paling umum digunakan di berbagai industri, terkenal karena perannya sebagai bahan tradisional namun penting. Versi alumina aluminium oksida dengan kemurnian tinggi dapat diterapkan secara luas di berbagai sektor, berkat kegunaan dan kemampuan adaptasinya yang komprehensif. Penggunaannya yang luas dalam teknologi dan industri disebabkan oleh sifat alumina yang luar biasa, termasuk isolasi listrik yang luar biasa, konduktivitas termal yang tinggi, dan ketahanan kimia yang kuat, yang secara kolektif menjadikannya bahan serbaguna dan sangat diperlukan. Selain itu, karakteristik alumina seperti ketahanan aus yang baik dan ekspansi termal yang rendah semakin meningkatkan kesesuaiannya untuk beragam aplikasi, memastikan komponen yang terbuat dari alumina dapat bertahan dalam kondisi ekstrem dan tekanan mekanis. Adapun serbuk aluminium oksida (Al_2O_3) dapat dilihat pada gambar 5.3 dibawah ini.



Gambar 5.3. Aluminium oksida (Al_2O_3)
(Sumber:(ACM, 2024a))

Silikon karbida (SiC), atau karborundum, merupakan keramik teknis yang menonjol karena sifatnya yang ringan, sangat keras, dan kuat. Bila digunakan pada suhu tinggi 1200 °C ~ 1400 °C, keramik silikon karbida masih dapat mempertahankan kekuatan lentur yang tinggi. Selain itu, keramik silikon karbida juga memiliki

konduktivitas termal yang baik, ketahanan oksidasi, konduktivitas listrik, dan ketangguhan dampak yang tinggi. Ini adalah bahan struktural suhu tinggi yang baik dan dapat digunakan untuk nosel ekor roket, selongsong termokopel, tabung tungku, dan komponen suhu tinggi lainnya mulai dari teknik mesin hingga elektronik.



Gambar 5.4. XY2426 Silicon carbide (SiC) crystal substrate
(Sumber:(ACM, 2024c))

Boron Nitrida (BN) mencakup beragam bentuk, termasuk Boron Nitrida Heksagonal (h-BN) dan Boron Nitrida Pirolitik (PBN), menjadikannya bahan keramik sintesis canggih yang tersedia dalam bentuk padat dan bubuk, terkenal karena sifatnya yang luar biasa. Struktur mikro boron nitrida menjadikannya sebagai isolator listrik yang sangat baik dengan suhu oksidasi yang lebih tinggi. Memiliki kapasitas panas yang tinggi, konduktivitas termal yang luar biasa, kemampuan mesin yang mudah, pelumasan, konstanta dielektrik yang rendah, dan kekuatan dielektrik yang unggul, Boron Nitrida menonjol sebagai material serbaguna.



Gambar 5.5. Boron nitride powder
(Sumber : (ACM, 2024b))

5.3 Teknik Pembuatan Keramik

Teknik pembuatan keramik melibatkan serangkaian langkah yang kompleks untuk mengubah bahan baku menjadi produk keramik akhir. Teknik yang digunakan dalam proses pembuatan keramik tergantung jenis keramiknya. Antara jenis *traditional ceramics* dan *advanced Ceramics* ada perbedaan teknik pengerjaannya karena disebabkan bahan baku juga berbeda. Adapun proses keramik tradisional umumnya mengikuti urutan berikut (Saiyan, 2017):

- 1. Pencampuran Bahan Baku:** Proses dimulai dengan pencampuran bahan baku utama seperti tanah liat, kaolin, atau bahan baku keramik lainnya dengan air untuk membentuk pasta atau lumpur keramik yang homogen. Campuran ini seringkali juga melibatkan bahan tambahan seperti pengikat, agen pengikat, atau bahan tambahan lainnya untuk mengatur sifat-sifat fisik dan kimianya.
- 2. Pembentukan:** Setelah pencampuran, pasta keramik dibentuk menjadi bentuk yang diinginkan melalui berbagai teknik seperti pencetakan, pemintalan, pencetakan tangan, atau pencetakan tekan. Proses pembentukan ini dapat dilakukan secara manual oleh tukang keramik terampil atau menggunakan mesin cetak modern dalam produksi massal.

3. **Pengeringan:** Setelah pembentukan, produk keramik perlu dikeringkan secara perlahan untuk menghilangkan kelembaban yang tersisa. Proses pengeringan ini dapat dilakukan secara alami di udara terbuka atau menggunakan oven pengering untuk mempercepat prosesnya.
4. **Pengerasan:** Setelah pengeringan, produk keramik harus dihasilkan menjadi bentuk yang lebih kuat dan tahan lama melalui proses pengerasan atau pembakaran. Proses ini biasanya dilakukan di dalam tungku pada suhu tinggi yang mencapai ratusan hingga ribuan derajat Celsius, tergantung pada jenis keramik dan komposisinya. Proses pembakaran ini disebut juga sintering.
5. **Glazing (Opsional):** Setelah proses pembakaran, produk keramik dapat dihias atau dilapisi dengan lapisan glasir untuk memberikan warna, kilap, dan perlindungan tambahan. Glazing dilakukan dengan menyemprotkan, mencelupkan, atau mengecatkan lapisan glasir pada permukaan produk, kemudian produk keramik tersebut dikeringkan dan dibakar kembali pada suhu yang lebih rendah.
6. **Finishing dan Dekorasi:** Setelah proses pembakaran dan glazing, produk keramik mungkin memerlukan tahap finishing seperti polesan atau dekorasi tambahan seperti lukisan tangan atau cetakan.

Teknik pembuatan keramik teknik lanjut (*advanced ceramics*) melibatkan serangkaian proses yang canggih untuk menghasilkan material dengan sifat mekanik, termal, dan kimia yang superior. Berikut adalah beberapa teknik utama yang digunakan dalam pembuatan keramik teknik lanjut (David W. Richerson, 2016)

1. **Powder Preparation**

Tahap awal dalam pembuatan keramik teknik lanjut adalah persiapan bubuk. Bahan baku seperti aluminium oksida, silikon karbida, dan silikon nitride, diolah menjadi bubuk halus melalui proses penggilingan atau sintesis kimia.

Pengendalian ukuran partikel dan distribusi ukuran partikel sangat penting untuk memastikan sifat akhir produk.

2. *Forming Techniques*

Berbagai metode digunakan untuk membentuk bubuk keramik menjadi bentuk yang diinginkan sebelum sintering:

- a. *Uniaxial Pressing*: Bubuk keramik dikompresi dalam cetakan menggunakan tekanan tinggi untuk menghasilkan bentuk sederhana seperti tablet atau disk.
- b. *Isostatic Pressing*: Tekanan diterapkan secara seragam dari semua arah menggunakan media cair atau gas, menghasilkan bentuk dengan kepadatan yang lebih merata dan sifat mekanik yang lebih baik.
- c. *Injection Molding*: Bubuk keramik dicampur dengan bahan pengikat untuk membentuk pasta yang kemudian disuntikkan ke dalam cetakan. Setelah pembentukan, bahan pengikat dihilangkan melalui proses debinding, dan benda kerja siap untuk disinter.
- d. *Extrusion*: Pasta keramik dipaksa melalui die untuk menghasilkan bentuk dengan penampang konstan seperti batang atau tabung.
- e. *3D printing*: proses 3D merevolusi bidang keramik dengan memungkinkan produksi bentuk dan desain kompleks yang sulit atau tidak mungkin dicapai dengan metode tradisional (Chen *et al.*, 2019).

3. *Debinding*

Setelah pembentukan, benda kerja mentah yang mengandung bahan pengikat perlu melalui proses debinding. Proses ini melibatkan pemanasan benda kerja secara bertahap untuk menguapkan atau mengurai bahan pengikat tanpa menyebabkan deformasi atau kerusakan pada bentuk benda kerja.

4. *Sintering*

Sintering adalah proses pemanasan benda kerja mentah pada suhu tinggi di bawah titik leleh bahan, memungkinkan partikel untuk berikatan dan membentuk struktur padat dan homogen. Sintering dapat dilakukan dalam atmosfer

udara, gas inert, atau dalam kondisi vakum, tergantung pada sifat bahan dan produk akhir yang diinginkan. Proses ini meningkatkan kekuatan mekanik, ketahanan termal, dan stabilitas kimia keramik.

5. *Finishing*

Setelah sintering, keramik teknik lanjut sering memerlukan proses finishing untuk mencapai toleransi dimensional yang ketat dan permukaan yang halus. Teknik finishing meliputi penggilingan, pemolesan, dan lapisan pelindung atau fungsional tambahan.

5.4 Sifat Sifat Keramik

Sifat-sifat keramik memiliki keunggulan dan kekurangan yang perlu dipertimbangkan dalam aplikasi mereka dibandingkan dengan material lain. Berikut adalah gambaran umum tentang keunggulan dan kekurangan keramik (Rahaman, 2017)

Keunggulan Keramik:

1. **Kekerasan tinggi:** Keramik memiliki kekerasan yang tinggi, membuatnya tahan terhadap goresan dan abrasi.
2. **Ketahanan terhadap suhu tinggi:** Sebagian besar keramik dapat menahan suhu tinggi tanpa meleleh atau berubah bentuk, membuatnya ideal untuk aplikasi dalam industri yang melibatkan panas tinggi.
3. **Ketahanan terhadap korosi:** Banyak jenis keramik memiliki ketahanan yang baik terhadap korosi dan reaksi kimia, menjadikannya pilihan yang baik untuk lingkungan yang keras dan korosif.
4. **Isolator termal dan listrik:** Beberapa keramik memiliki sifat isolasi termal dan listrik yang baik, yang menjadikannya pilihan yang baik untuk aplikasi yang membutuhkan isolasi termal atau listrik.
5. **Kemampuan untuk dicetak dan diukir:** Keramik dapat dibentuk menjadi berbagai bentuk dan dihias dengan berbagai cara, membuatnya cocok untuk seni dan dekorasi.

Kekurangan Keramik:

1. **Rapuh:** Meskipun keras, keramik cenderung rapuh dan rentan terhadap retakan atau pecah saat terkena tekanan atau benturan yang tinggi.
2. **Ketidakmampuan untuk menahan gaya tarik:** Keramik memiliki ketahanan yang rendah terhadap gaya tarik, yang membuatnya kurang cocok untuk aplikasi di mana tegangan tarik tinggi mungkin terjadi.
3. **Mahal dalam proses pembuatan:** Proses pembuatan keramik, terutama proses pembakaran pada suhu tinggi, dapat mahal dan memerlukan peralatan dan energi yang khusus.
4. **Variabilitas dalam sifat-sifat:** Sifat-sifat keramik dapat bervariasi secara signifikan tergantung pada bahan baku, proses pembuatan, dan kondisi lingkungan, yang membuat konsistensi produksi menjadi tantangan.

Meskipun keramik memiliki kekurangan tertentu, keunggulannya dalam hal ketahanan terhadap suhu tinggi, korosi, dan isolasi membuatnya menjadi pilihan yang penting dalam berbagai aplikasi industri dan teknologi.

5.5 Penggunaan Keramik

Keramik merupakan salah satu material tertua yang digunakan oleh manusia, dengan sejarah yang dapat ditelusuri hingga ribuan tahun yang lalu. Seiring perkembangan zaman, penggunaan keramik tidak hanya terbatas pada kebutuhan dasar, tetapi juga meluas ke berbagai bidang kehidupan. Dengan sifat-sifat unik seperti ketahanan terhadap panas, kekuatan mekanis, dan fleksibilitas desain, keramik telah menjadi bagian integral dalam kehidupan sehari-hari. Berikut pembahasan tentang ragam aplikasi keramik dalam kehidupan sehari-hari, industri dan teknologi maju.

5.5.1 Penggunaan Keramik dalam kehidupan sehari-hari

Dalam rumah tangga, keramik digunakan dalam berbagai bentuk peralatan makan dan minum seperti piring, mangkuk, dan cangkir, yang dikenal karena ketahanannya terhadap suhu tinggi

dan kemampuannya untuk tidak bereaksi dengan makanan. Selain itu, barang-barang dekoratif dari keramik seperti vas bunga, patung, dan berbagai hiasan lainnya, menambah nilai estetika di banyak rumah.

Di bidang konstruksi, keramik berperan penting dalam pembuatan ubin lantai, dinding, dan atap. Ubin keramik menawarkan kombinasi kekuatan, ketahanan terhadap aus, dan kemudahan perawatan, menjadikannya pilihan populer untuk penggunaan di area dengan lalu lintas tinggi. Keramik juga digunakan dalam pembuatan bata tahan api, yang merupakan elemen penting dalam konstruksi bangunan industri dan komersial.

Keramik juga memainkan peran penting dalam sanitasi dan kebersihan, dengan produk-produk seperti wastafel, toilet, dan bathtub yang banyak digunakan di kamar mandi dan dapur. Keunggulan keramik dalam hal kebersihan dan kemudahan perawatan membuatnya menjadi pilihan utama dalam aplikasi ini.

5.5.2 Penggunaan Keramik dalam Industri

Keramik telah menjadi material esensial dalam berbagai sektor industri karena sifatnya yang unik dan beragam. Keramik di industri tidak hanya memberikan solusi untuk tantangan Penggunaan teknis tetapi juga memungkinkan pengembangan teknologi yang lebih inovatif dan berkelanjutan. Beberapa industri yang menerapkan penggunaan keramik adalah industri elektronik, industri otomotif, industri pemrosesan, industri metalurgi, dan industri energi.

Dalam industri elektronik, keramik digunakan dalam berbagai aplikasi seperti pembuatan komponen seperti kapasitor dan resistor, berkat sifat isolasi listrik dan stabilitas termalnya yang luar biasa. Keramik juga termasuk sebagai substrat dalam pembuatan sirkuit tercetak (PCB) dan sebagai bahan isolator listrik dalam komponen elektronik. Keramik alumina sering digunakan karena sifat isolasi listriknya yang tinggi dan ketahanannya terhadap suhu tinggi. Dalam pembuatan semikonduktor, keramik sering digunakan sebagai paket atau wadah untuk chip semikonduktor. Keramik tahan panas dan tahan terhadap korosi membuatnya menjadi pilihan yang baik untuk aplikasi ini.

Di industri otomotif, keramik digunakan dalam pembuatan komponen mesin seperti pelapis katalitik untuk konverter katalitik dan rem cakram. Kartrid katalis dibuat dari bahan keramik yang tahan terhadap suhu tinggi dan korosi untuk mengurangi emisi gas buang. Keramik tahan suhu tinggi dan memiliki koefisien gesekan yang rendah, menjadikannya pilihan yang baik untuk aplikasi rem cakram yang memerlukan performa tinggi.

Dalam industri pemesinan, keramik memiliki beberapa aplikasi yang penting, terutama dalam pembuatan alat potong dan komponen yang memerlukan toleransi yang ketat serta ketahanan terhadap suhu tinggi dan keausan (Kuzin, Grigoriev and Volosova, 2020). Beberapa contoh penggunaan keramik dalam industri pemesinan antara lain sebagai pisau potong (*cutting tools*) seperti pada gambar 5.6, pahat bubut (*turning inserts*), bantalan (*bearing*), dan sebagai komponen optik dalam mesin pemotong laser. sering menggunakan keramik sebagai bahan dasar. Penggunaan keramik dalam industri pemesinan memberikan keuntungan dalam hal kekerasan, ketahanan terhadap suhu tinggi, dan kestabilan dimensi, yang semuanya penting untuk memastikan hasil pemesinan yang presisi dan efisien.



Gambar 5.6. *Cutting tools*
(Sumber : (Sastry, 2017))

Pada saat ini keramik juga sering digunakan dalam industri metalurgi. Dalam hal ini keramik digunakan sebagai bahan tahan api dalam pembuatan tungku peleburan logam dan proses pemrosesan

logam lainnya. Keramik refraktori tahan terhadap suhu tinggi dan tekanan mekanis yang ekstrem, menjadikannya pilihan yang ideal untuk lingkungan yang keras ini.

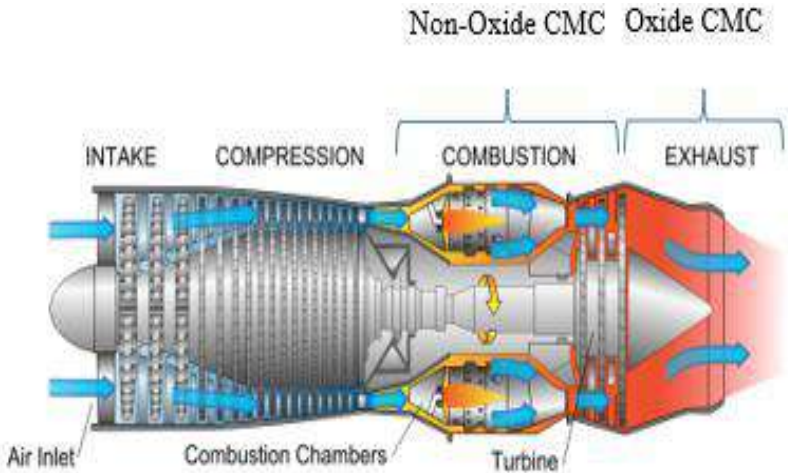
Selain itu, keramik juga digunakan pada industri energi. Keramik digunakan dalam berbagai aplikasi industri energi termasuk sebagai bahan isolasi dalam pembangkit listrik tenaga panas, komponen dalam turbin gas, dan panel surya. Pada saat ini keramik juga dikembangkan untuk aplikasi penyimpanan energi berdaya tinggi (Liu *et al.*, 2019). Sifat isolasi termal yang baik membuatnya ideal untuk aplikasi yang melibatkan suhu tinggi.

5.5.3 Penggunaan Keramik dalam Teknologi Maju

Keramik memainkan peran vital dalam teknologi maju, menawarkan solusi inovatif untuk berbagai tantangan teknis. Dalam teknologi maju, keramik banyak digunakan dalam bidang teknologi kesehatan, teknologi penerbangan dan dirgantara, dan teknologi komunikasi. Dengan kemampuan untuk beroperasi dalam suhu tinggi, memiliki ketahanan terhadap korosi, dan stabilitas mekanis yang unggul, keramik terus menjadi kunci dalam pengembangan teknologi maju yang lebih efisien dan berkelanjutan.

Di sektor teknologi medis, bahan keramik biokompatibel seperti hidroksiapatit digunakan dalam implan tulang dan gigi. Bahan ini tahan korosi dan dapat membantu meningkatkan penyembuhan dan integrasi dengan jaringan tubuh manusia (Vaiani *et al.*, 2023).

Dalam bidang teknologi penerbangan dan dirgantara, keramik digunakan dalam pembuatan komponen mesin seperti baling-baling pesawat, turbin dan sistem propulsi terutama penggunaan komposit matriks keramik (Karadimas and Salonitis, 2023).



Gambar 5.7. CMC component parts in a gas turbine engine.
(Sumber : (Sastry, 2017))

Selain itu juga keramik digunakan dalam pembuatan perlengkapan dan komponen untuk pesawat luar angkasa, termasuk pelapis termal untuk melindungi pesawat dari panas ekstrim saat memasuki atmosfer kembali ke Bumi. Keramik tahan panas dan tahan terhadap korosi, serta memiliki kekuatan yang tinggi dan bobot yang ringan, menjadikannya material yang ideal untuk aplikasi ini.

Di bidang teknologi komunikasi, keramik memiliki peran penting dalam teknologi komunikasi modern, berkat sifatnya yang unggul seperti isolasi listrik yang tinggi, stabilitas termal, dan ketahanan terhadap lingkungan ekstrem. Dalam industri telekomunikasi, keramik digunakan untuk membuat komponen seperti isolator, kapasitor frekuensi tinggi, dan substrat sirkuit terpadu, yang diperlukan untuk kinerja optimal perangkat komunikasi. Antena keramik, misalnya, menawarkan keandalan dan efisiensi tinggi dalam transmisi dan penerimaan sinyal, menjadikannya komponen penting dalam perangkat seperti ponsel pintar, satelit, dan sistem GPS (Hill, Cruickshank and MacFarlane, 2021). Selain itu, filter keramik digunakan dalam pemrosesan sinyal untuk mengurangi gangguan dan meningkatkan kualitas komunikasi. Dengan kemampuan untuk mendukung frekuensi

tinggi dan stabilitas yang luar biasa, keramik terus mendorong kemajuan dalam teknologi komunikasi, memastikan konektivitas yang lebih baik dan lebih cepat di era digital ini.

5.6 Inovasi Terbaru dalam Bidang Keramik dan Potensinya Dimasa Depan.

Inovasi dalam bidang keramik menunjukkan potensi besar untuk berbagai aplikasi industri, mulai dari penerbangan hingga medis dan energi. Peningkatan dalam sifat material dan teknologi manufaktur membuka peluang baru untuk efisiensi yang lebih tinggi, produk yang lebih tahan lama, dan solusi yang lebih ramah lingkungan. Seiring dengan kemajuan penelitian dan pengembangan, keramik akan terus menjadi bahan kunci dalam banyak teknologi masa depan.

Beberapa inovasi terbaru dalam bidang keramik antara lain adalah:

1. *Ceramic Matrix Composites (CMCs)*

CMCs adalah inovasi signifikan dalam teknologi keramik yang menawarkan kombinasi kekuatan tinggi, ketahanan suhu, dan ketahanan terhadap keausan. CMCs banyak digunakan dalam industri penerbangan dan otomotif, terutama untuk komponen mesin jet dan rem kendaraan berperforma tinggi. Potensi CMCs di masa depan terletak pada pengurangan berat dan peningkatan efisiensi bahan bakar, serta kemampuannya untuk bertahan dalam kondisi ekstrem (Sastry, 2017).

2. *Additive Manufacturing (3D Printing) of Ceramics*

Teknologi pencetakan 3D keramik telah mengubah cara produksi komponen keramik dengan memungkinkan pembuatan bentuk kompleks yang sebelumnya tidak dapat dicapai melalui metode konvensional. Ini penting untuk aplikasi di bidang medis, seperti pembuatan implan tulang yang disesuaikan dengan pasien, serta di bidang energi untuk komponen yang memerlukan desain khusus (Chen *et al.*, 2019).

3. *Bioceramics*

Bioceramics seperti hidroksiapatit dan bioglass sedang dikembangkan untuk aplikasi dalam rekayasa jaringan dan

kedokteran gigi. Inovasi terbaru termasuk pengembangan scaffolds keramik yang dapat mendukung pertumbuhan jaringan baru dan integrasi dengan tulang alami, meningkatkan penyembuhan dan regenerasi (Hench and Jones, 2015).

4. *Energy Storage Ceramics*

Pengembangan material keramik untuk penyimpanan energi, seperti superkapasitor dan baterai keramik, telah menunjukkan potensi besar dalam meningkatkan kapasitas dan stabilitas penyimpanan energi. Keramik dielektrik dengan kepadatan energi tinggi dan stabilitas suhu tinggi sedang dieksplorasi untuk meningkatkan efisiensi dan masa pakai perangkat penyimpanan energi (Liu *et al.*, 2019).

5. *Ceramic Coatings*

Pelapis keramik, seperti thermal barrier coatings (TBCs), digunakan untuk melindungi komponen mesin dari suhu ekstrem dan korosi. Inovasi terbaru dalam teknologi pelapis mencakup pengembangan pelapis yang lebih tipis dan lebih efisien, yang dapat memperpanjang umur komponen dan meningkatkan kinerja mesin (Padture, 2016).

Dengan perkembangan teknologi dan penelitian yang terus berlangsung, keramik memiliki potensi besar untuk terus berinovasi dan memberikan kontribusi signifikan di berbagai bidang industri. Inovasi seperti Ceramic Matrix Composites, additive manufacturing, dan bioceramics menunjukkan bagaimana keramik dapat mengatasi tantangan teknis dan membuka jalan bagi aplikasi baru yang lebih efisien dan berkelanjutan. Selain itu, penggunaan keramik dalam penyimpanan energi dan pelapis termal menunjukkan bahwa material ini tidak hanya relevan di masa kini tetapi juga sangat penting untuk masa depan. Pengembangan berkelanjutan dalam teknologi keramik menjanjikan peningkatan kinerja, efisiensi, dan ketahanan produk di berbagai sektor, mulai dari medis hingga energi dan permesinan. Dengan demikian, keramik akan terus menjadi material yang mendukung kemajuan teknologi dan industri, menawarkan solusi yang lebih baik dan inovatif di masa depan.

DAFTAR PUSTAKA

- ACM (2024a) *Alumina-al2o3*, *preciseceramic.com*. Available at: <https://www.preciseceramic.com/products/alumina-al2o3.html> (Accessed: 16 May 2024).
- ACM (2024b) *boron-nitride-bn*, *preciseceramic.com*. Available at: <https://www.preciseceramic.com/products/boron-nitride-bn.html> (Accessed: 15 May 2024).
- ACM (2024c) *silicon-carbide-sic*, *preciseceramic.com*. Available at: <https://www.preciseceramic.com/products/silicon-carbide-sic.html> (Accessed: 16 May 2024).
- Barsoum, M.W. (2003) *Fundamentals of ceramics, Fundamentals of Ceramics*. Available at: <https://doi.org/10.1887/0750309024>.
- Britannica, T.E. of E. (2024) *Porcelain pottery*, *Britannica*. Available at: <https://www.britannica.com/art/porcelain> (Accessed: 10 May 2024).
- Chen, Z. *et al.* (2019) '3D printing of ceramics: A review', *Journal of the European Ceramic Society*, 39(4), pp. 661–687. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2018.11.013>.
- David W. Richerson, W.E.L. (2016) *Modern Ceramic Engineering Properties, Processing, and Use in Design*. 4th Editio, *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952. 4th Editio. CRC Press. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1201/9780429488245>.
- Hench, L.L. and Jones, J.R. (2015) 'Bioactive glasses: Frontiers and Challenges', *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 3(NOV), pp. 1–12. Available at: <https://doi.org/10.3389/fbioe.2015.00194>.
- Hill, M.D., Cruickshank, D.B. and MacFarlane, I.A. (2021) 'Perspective on ceramic materials for 5G wireless communication systems', *Applied Physics Letters*, 118(12). Available at: <https://doi.org/10.1063/5.0036058>.
- Karadimas, G. and Salonitis, K. (2023) 'Ceramic Matrix Composites for Aero Engine Applications—A Review', *Applied Sciences (Switzerland)*, 13(5). Available at: <https://doi.org/10.3390/app13053017>.

- Kuzin, V. V., Grigoriev, S.N. and Volosova, M.A. (2020) 'Selecting a Coating for Ceramic End Mill Based on the Stress-Strain Behavior of its Cutting Edge. Part 1', *Refractories and Industrial Ceramics*, 60(6), pp. 599–602. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11148-020-00413-3>.
- Liu, S. *et al.* (2019) 'Glass-ceramic dielectric materials with high energy density and ultra-fast discharge speed for high power energy storage applications', *Journal of Materials Chemistry C*, 7(48), pp. 15118–15135. Available at: <https://doi.org/10.1039/c9tc05253d>.
- Padture, N.P. (2016) 'Advanced structural ceramics in aerospace propulsion', *Nature Materials*, 15(8), pp. 804–809. Available at: <https://doi.org/10.1038/nmat4687>.
- Rahaman, M.N. (2017) *Ceramic Processing*. CRC Press. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1201/9781315157160>.
- Saiyan, L. (2017) *Traditional Ceramic Methods in Making Earthenware, Stoneware and Porcelain*, steemit. Available at: <https://steemit.com/science/@asbonclz/traditional-ceramic-methods-in-making-earthenware-stoneware-and-porcelain> (Accessed: 5 May 2024).
- Sastry, P.K. (2017) 'an Overview of Ceramic Matrix Composites', *International Journal of Advance Engineering and Research Development*, 4(05), pp. 23–26. Available at: <https://doi.org/10.21090/ijaerd.33292>.
- Vaiani, L. *et al.* (2023) 'Ceramic Materials for Biomedical Applications: An Overview on Properties and Fabrication Processes', *Journal of Functional Biomaterials*, 14(3). Available at: <https://doi.org/10.3390/jfb14030146>.
- W. David Kingery, H. K. Bowen, D.R.U. (1976) *The Emergence of Pottery: Technology and Innovation in Ancient Societies*. 2nd edn. John Wiley & Sons.

BAB 6

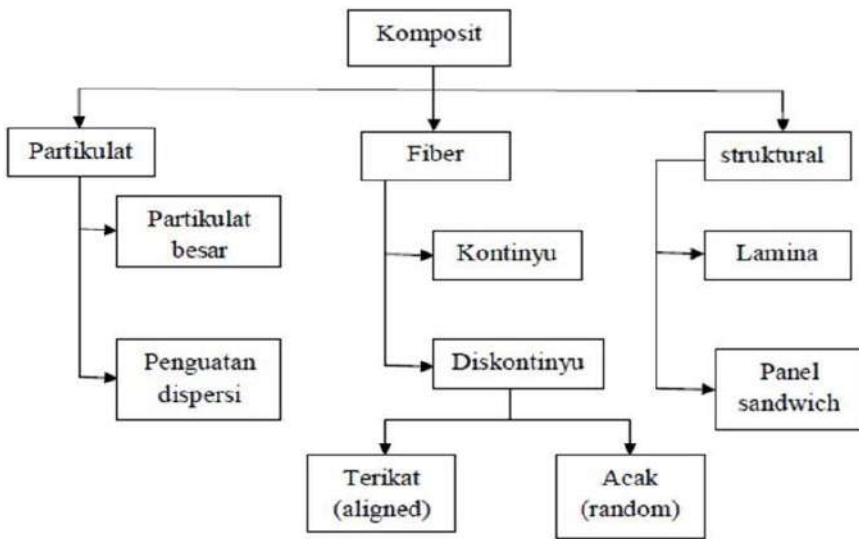
MATERIAL KOMPOSIT

Oleh Andiyan

6.1 Pendahuluan

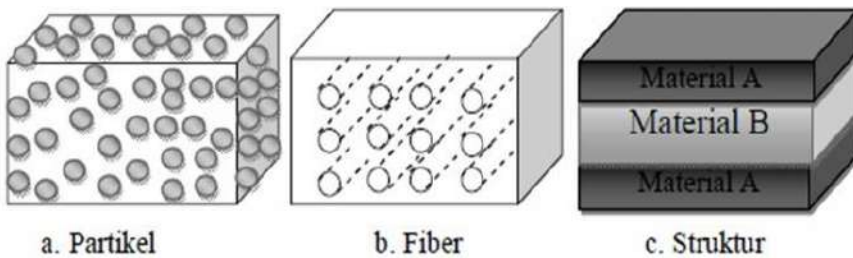
Material komposit dibuat dengan menggabungkan dua atau lebih material dengan pencampuran yang tidak merata, sehingga menghasilkan material dengan karakteristik mekanis yang berbeda(Suryati, 2012). Material komposit menunjukkan sifat mekanik yang unggul dibandingkan dengan logam, termasuk kemampuan penyesuaian kekuatan yang tinggi (*tailorability*), kekuatan fatik yang sangat baik, rasio kekuatan-terhadap-berat yang lebih besar, dan rasio kekakuan-terhadap-kepadatan yang lebih tinggi. Material ini juga memiliki ketahanan terhadap korosi, sifat insulasi untuk panas dan suara, dan dapat berfungsi sebagai penghalang listrik yang efektif. Selain itu, mereka dapat digunakan untuk memperbaiki kerusakan yang disebabkan oleh pembebanan dan korosi(Sirait, 2010).

Dalam bukunya "*Natural Fibre Composites*," (Van Rijswijk et al., 2001) memberikan deskripsi lain tentang komposit. Menurut penulis, komposit adalah bahan hibrida yang terdiri dari resin polimer yang diikat dengan serat(Adrian, 2019; Pranoto, 2019). Material ini menggabungkan kualitas mekanik dan fisik. Komposit adalah material multifase yang terdiri dari antarmuka makroskopik yang berbeda dan memiliki kualitas yang merupakan perpaduan dari atribut yang menguntungkan dari elemen komponennya. Komposit dikategorikan menjadi tiga jenis tergantung pada jenis penguatnya: komposit partikel, komposit serat, dan komposit struktural, seperti yang terlihat pada Gambar 6.1.



Gambar 6.1. Klasifikasi komposit menurut jenis penguatnya
(Sumber : (Widyastuti, 2009))

Komposit diklasifikasikan ke dalam dua kategori, isotropik dan anisotropik, berdasarkan jenis penguat yang dimilikinya. Seperti yang terlihat pada Gambar 6.2.



Gambar 6.2. Klasifikasi komposit menurut penguatnya
(Sumber : (Hariyanto, 2010))

Kualitas material komposit ditentukan oleh tiga elemen, yaitu:

1. Fabrikasi material. Karakteristik yang melekat pada material yang digunakan dalam proses pembentukan secara signifikan memengaruhi kualitas komposit.

2. Konfigurasi elemen. Tampilan keseluruhan komposit dipengaruhi oleh bentuk, orientasi, ukuran, dan distribusi setiap komponen struktural.
3. Saling mempengaruhi antar komponen. Komposit, yang merupakan perpaduan dari beragam komponen dalam hal material dan bentuk, pasti menunjukkan kualitas yang berbeda dibandingkan dengan konstituennya masing-masing(Sirait, 2010).

(Gibson, 2007) menyatakan bahwa matriks konstruksi komposit dapat berasal dari bahan polimer, logam, atau keramik. Matriks terutama berfungsi untuk mengkonsolidasikan serat ke dalam struktur komposit.

6.2 Klasifikasi Material Komposit

6.2.1 Komposit serat (*fiber composite*)

Untuk memberikan kekuatan yang lebih besar, komponen penguat harus memiliki rasio aspek yang tinggi, yang berarti bahwa rasio panjang terhadap diameter harus besar. Hal ini memastikan bahwa beban disalurkan melampaui titik di mana fraktur kemungkinan besar akan terjadi(Van and Lawrence, 2004).

Akibatnya, serat bertanggung jawab untuk menahan beban hingga mencapai kapasitas maksimumnya. Oleh karena itu, serat harus memiliki tegangan tarik dan modulus elastisitas yang lebih besar dibandingkan dengan matriks komponen komposit(Van Vlack, 1985).

Material komposit dapat diklasifikasikan ke dalam dua kategori utama: komposit partikel dan komposit serat. Material komposit partikel terdiri dari partikel yang disatukan oleh matriks. Ada dua jenis komposit serat: komposit serat pendek, yang terdiri dari serat kecil atau kumis, dan komposit serat panjang, yang terdiri dari serat kontinu.

1. Komposit serat pendek (*short fiber composite*)

Material komposit yang diperkuat dengan serat pendek dapat diklasifikasikan ke dalam dua kategori berdasarkan orientasinya: serat acak (dengan orientasi acak dalam bidang) dan serat satu arah.

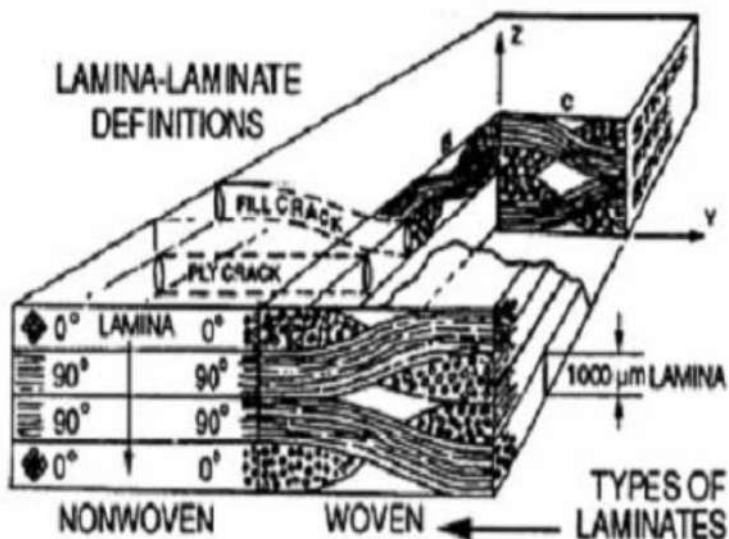
Penggunaan jenis serat acak umum digunakan dalam manufaktur bervolume tinggi karena keunggulan biaya produksinya. Jenis serat acak memiliki kelemahan karena kualitas mekanisnya masih lebih rendah dibandingkan dengan penguat dengan serat lurus dari jenis yang sama.

2. Komposit serat panjang (*long fiber composite*)

Perbedaan antara serat panjang dan serat pendek terletak pada kenyataan bahwa serat pendek dibebani secara tidak langsung atau sifat-sifatnya ditentukan oleh kelemahan matriks. Hal ini berbeda dengan serat panjang, yang mengandung kekuatan yang jauh lebih besar. Penggunaan serat pendek membantu mengurangi masalah dispersi dan meminimalkan jumlah serat penguat yang diperlukan. Serat yang sangat kuat akan mengoptimalkan dispersi dan tidak diragukan lagi memberikan bantuan. Menurut (Smallman and Bishop, 2000), matriks yang menunjukkan kecenderungan pengerasan regangan yang signifikan membutuhkan proporsi serat yang relatif tinggi dalam komposisinya.

6.2.2 Komposit Laminat (*laminated composite*)

Komposit laminasi adalah jenis material komposit tertentu yang dibentuk dengan menggabungkan dua atau lebih lapisan, dengan masing-masing lapisan memiliki sifat yang berbeda dan unik. Gambar 6.3 menampilkan empat jenis komposit laminasi: komposit serat kontinu, komposit serat anyaman, komposit serat acak, dan komposit serat hibrida.



Gambar 6.3. Struktur mikro lamina
(Sumber : (Widodo, 2008))

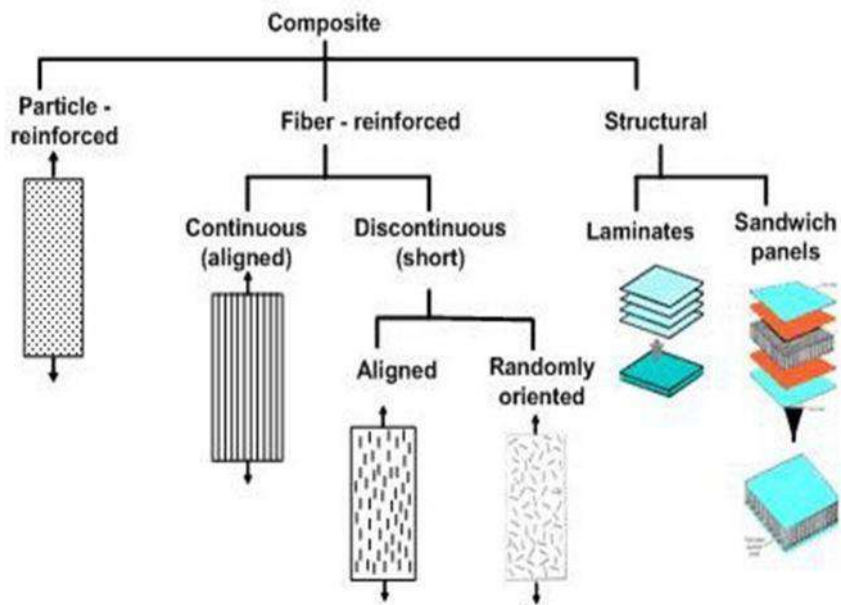
6.2.3 Komposit Partikel (*particulated composite*)

Komposit partikel adalah material komposit yang menggunakan partikel atau serbuk sebagai penguat, yang tersebar merata di seluruh matriks. Komposit yang terdiri dari partikel dan matriks dikenal sebagai butiran yang diperkuat semen (seperti batu dan pasir) yang sering kita temui sebagai beton, yang merupakan senyawa rumit yang dibentuk dengan menggabungkan berbagai elemen.

6.2.4 Komposit serpihan (*flake composite*)

Komposit serpih terdiri dari serpihan yang disatukan dengan permukaan yang terikat atau diintegrasikan ke dalam matriks. Flake didefinisikan sebagai partikel kecil yang sengaja dihasilkan dalam mesin khusus, dengan serat yang tersusun dalam orientasi paralel ke permukaan. Flakes memiliki karakteristik yang unik, seperti berukuran besar dan rata, yang memungkinkan pengaturannya yang padat dan produksi bahan penguat yang sangat efektif di dalam area penampang tertentu. Biasanya, serpihan dalam komposit disusun dengan cara yang tumpang tindih untuk

menyediakan jalur bagi aliran fluida atau uap. Susunan ini membantu meminimalkan kerusakan mekanis yang disebabkan oleh penetrasi atau perembesan. Untuk informasi lebih lanjut, silakan lihat Gambar 6.4.



Gambar 6.4. Diagram klasifikasi komposit
(Sumber : (Ramatawa, 2008))

6.3 Konstituen utama dari komposit *Fiber Reinforced Plastics (FRP)*

Fiber Reinforced Plastics (FRP) terdiri dari dua komponen penting: serat dan bahan pengikat yang dikenal sebagai matriks. Serat adalah konstituen utama bahan komposit dan memainkan peran penting dalam menentukan sifat mekaniknya, termasuk kekuatan, keuletan, kekakuan, dan fitur lainnya. Serat dalam material komposit menanggung sebagian besar tekanan, sedangkan matriks berfungsi untuk menghubungkan serat bersama-sama, menjaganya, dan memfasilitasi transmisi gaya antar serat (Van and Lawrence, 2005).

Komposit dapat dibentuk dengan menggabungkan kombinasi berbeda dari dua atau lebih komponen, termasuk logam,

zat organik, dan zat non-organik. Konstituen utama bahan komposit biasanya terdiri dari serat, partikel, laminasi atau lapisan, pengisi serpihan, dan matriks. Matriks kadang-kadang disebut sebagai konstituen utama, karena terutama terdiri dari matriks yang membentuk komposit (Van and Lawrence, 2005).

6.3.1 Serat

Serat pada material komposit berfungsi sebagai komponen penahan beban utama, oleh karena itu kekuatan material komposit bergantung pada kekuatan serat penyusunnya. Menurut (Diharjo and Triyono, 2003), material dengan ukuran yang lebih kecil, yaitu diameter serat yang mendekati ukuran kristal, cenderung lebih kuat karena memiliki lebih sedikit cacat.

1. Sebagai pengangkut barang. Serat dalam konstruksi komposit menanggung 70%-90% beban.
2. Meningkatkan kekakuan, daya tahan, ketahanan termal, dan karakteristik lain dari material komposit.
3. Memberikan insulasi listrik pada material komposit, meskipun efektivitasnya bergantung pada jenis serat yang digunakan.

6.3.2 Matrik

(Gibson, 2007) menyatakan bahwa matriks dalam konstruksi komposit dapat diperoleh dari bahan polimer, logam, atau keramik. Kriteria utama untuk matriks yang digunakan dalam komposit adalah kemampuannya untuk menahan beban, yang mengharuskan pengikatan serat.

Komposit dibuat dengan menggabungkan dua jenis bahan yang berbeda, khususnya:

1. Penguatan memiliki karakteristik yang kurang mudah dibentuk namun lebih fleksibel dan kuat.
2. Matrik sering dicirikan dengan keuletan yang lebih tinggi tetapi kekuatan dan kekakuan yang lebih rendah.

Pada material komposit, karakteristik yang melekat pada komponen pendukungnya tetap terlihat jelas, tetapi pada paduan alloy, elemen pendukungnya menjadi tidak terlihat. Material

komposit memberikan manfaat dengan memadukan berbagai elemen yang luar biasa dari masing-masing material komponennya, yang membedakannya dari material lainnya. Kombinasi dari bahan-bahan ini diantisipasi untuk meningkatkan kualitas yang kurang pada masing-masing bahan. Sifat terbarukan (Jones, 2018).

Kapasitas-kapasitas ini tidak dapat hidup berdampingan secara bersamaan (Jones, 2018). Saat ini, kemajuan teknologi komposit mengalami pertumbuhan yang signifikan. Komposit sekarang digunakan dalam beragam komponen, termasuk yang digunakan dalam mobil, penerbangan, pesawat ruang angkasa, kapal, dan peralatan olahraga seperti ski, stik golf, raket tenis, dan lain-lain. Komposit ini dirancang untuk memiliki hubungan yang kompatibel antara serat dan bahan matriks. Biasanya, matriks dipilih berdasarkan ketahanan panas yang sangat baik (Diharjo and Triyono, 2003).

Komposit membutuhkan matriks yang mampu menyalurkan beban, memastikan adhesi yang tepat antara serat dan matriks, dan kompatibilitas antara kedua komponen untuk mencegah reaksi yang merugikan. (Diharjo and Triyono, 2003) menyatakan bahwa material komposit matriks memiliki beberapa aplikasi sebagai berikut:

1. Matriks ini dengan aman menahan dan menstabilkan serat pada posisi yang ditentukan.
2. Ketika dikenai beban, ia berubah bentuk dan menyebarkan gaya ke komponen utamanya, yaitu serat.
3. Menawarkan karakteristik tertentu, seperti kelenturan, ketahanan, dan non-konduktivitas listrik.

6.4 Abu Terbang Batubara

Saat ini, penggunaan batu bara di sektor industri semakin meningkat karena biayanya yang relatif murah, serta meningkatnya biaya bahan bakar minyak khusus untuk keperluan industri. Meskipun batu bara merupakan alternatif yang bermanfaat untuk bahan bakar minyak sebagai sumber energi, batu bara juga memiliki kekurangan berupa abu batu bara, yang merupakan produk sampingan dari pembakaran batu bara. Ketika sejumlah batu bara digunakan, maka akan menghasilkan abu batu bara, biasanya

berkisar antara 2-10% tergantung pada jenis batu bara, apakah batu bara tersebut berkalori rendah atau berkalori tinggi. Sebelumnya, industri hanya membuang sampah abu batubara di dalam batas-batas lokasi pabrik.

Abu batubara adalah residu yang tersisa setelah pembakaran batubara. Abu ini terdiri dari partikel kecil amorf dan terdiri dari bahan anorganik yang dihasilkan dari perubahan kimiawi yang terjadi selama proses pembakaran. Selama proses pembakaran batu bara di unit pembangkit listrik tenaga uap, ada dua bentuk abu yang berbeda yang dihasilkan: abu terbang dan abu dasar. Abu batubara yang dihasilkan terdiri dari 10-20% abu dasar, dengan sisanya 80-90% berupa abu terbang. Sebelum dilepaskan ke atmosfer melalui cerobong asap, abu terbang dikumpulkan dengan menggunakan alat pengendap elektrostatik.

Komite ACI 226 menyatakan bahwa fly ash terdiri dari partikel-partikel kecil yang dapat melewati ayakan dengan ukuran 325 (45 mili mikron). Biasanya mengandung 5-27% dari partikel-partikel ini dan memiliki berat jenis berkisar antara 2,15 hingga 2,6. Selain itu, abu terbang dicirikan dengan warnanya yang abu-abu kehitaman. Abu batubara terdiri dari sekitar 80% silika dan alumina, dengan sebagian silika dalam bentuk amorf. Abu batubara memiliki kepadatan 2,23 gram per sentimeter kubik, kadar air sekitar 4%, dan sebagian besar terdiri dari mineral α -kuarsa dan mullite. Lebih lanjut, abu batubara terdiri dari 58,75% SiO₂, 25,82% Al₂O₃, 5,30% FeO, 4,66% CaO, 1,36% alkali, 3,30% MgO, dan 0,81% unsur (Munir, 2008). Abu batubara mengandung banyak logam berat, antara lain tembaga (Cu), timbal (Pb), seng (Zn), kadmium (Cd), dan kromium (Cr).

Abu terbang adalah produk sampingan yang dihasilkan oleh perusahaan yang menggunakan batu bara sebagai sumber bahan bakar dalam operasi manufaktur mereka. Abu terbang memiliki karakteristik pozzolan, yaitu zat yang mengandung silika atau alumina silika dan tidak memiliki kemampuan perekat yang melekat. Namun, ketika butirannya sangat kecil, secara kimiawi dapat bereaksi dengan kapur dan air pada suhu yang umum untuk menghasilkan bahan perekat.

Saat ini, produksi limbah batubara (*fly ash*) secara global yang dihasilkan dari proses pembakaran batubara di pembangkit listrik cukup besar, termasuk di Indonesia. Pembangkit listrik penghasil limbah batubara di Indonesia adalah PLTU Paiton di Jawa Timur, PLTU Suralaya di Banten, dan PLTU Bukit Tinggi di Sumatera Barat. Pada tahun 1996, PLTU Suralaya dan PLTU Paiton menghasilkan sekitar satu juta ton limbah batubara, yaitu abu terbang (*fly ash*), setiap tahunnya. Selain itu, sekarang ada semakin banyak pembangkit yang beroperasi di dalam ketiga PLTU tersebut. Limbah batu bara yang sangat besar ini memiliki efek polusi yang signifikan. Oleh karena itu, sangat penting untuk mempertimbangkan solusi alternatif untuk masalah polusi ini (Husni and Amir, 2005).

Abu terbang adalah zat berbutir halus berwarna keabu-abuan yang dihasilkan dari pembakaran batu bara. Abu terbang terdiri dari berbagai unsur kimia, termasuk silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), besi oksida (Fe_2O_3), dan kalsium oksida (CaO). Selain itu juga mengandung unsur-unsur tambahan seperti magnesium oksida (MgO), titanium oksida (TiO_2), senyawa basa (Na_2O dan K_2O), sulfur trioksida (SO_3), fosfor oksida (P_2O_5), dan karbon.

DAFTAR PUSTAKA

- Adrian, M.F., 2019. Pengaruh fraksi volume tandan kosong kelapa sawit terhadap kekuatan tekan dan kekuatan lentur pada blok rem komposit kereta api.
- Diharjo, K., Triyono, T., 2003. Buku Pegangan Kuliah Material Teknik. Univ. Sebel. Maret, Surakarta.
- Gibson, R.F., 2007. Principles of composite material mechanics. CRC press.
- Hariyanto, A., 2010. Pengaruh perlakuan alkali pada rekayasa bahan komposit berpenguat serat rami bermatrik poliester terhadap kekuatan mekanis.
- Husni, H., Amir, A., 2005. Pemanfaatan Limbah Untuk Bahan Bangunan. jakarta.
- Jones, R.M., 2018. Mechanics of composite materials. CRC press.
- Munir, M., 2008. Pemanfaatan abu batubara (fly ash) untuk hollow block yang bermutu dan aman bagi lingkungan.
- Pranoto, H., 2019. II. TINJAUAN PUSTAKA. homogen, dimana sifat mekanik dari masing-masing material pembentuknya [WWW Document]. <https://docplayer.info/>. URL <https://docplayer.info/60176462-li-.html?cv=1>
- Ramatawa, R., 2008. komposit (part 1: definisi, klasifikasi, dan aplikasi) [WWW Document]. wordpress.com. URL <https://ramatawa.wordpress.com/2008/11/23/komposit-part-definisiklasifikasiaplikasi/>
- Sirait, D.H., 2010. Material Komposit Berbasis Polimer Menggunakan Serat Alami. Dipetik Februari 5, 2012.
- Smallman, R., Bishop, R., 2000. Metalurgi Fisik Modern dan Rekayasa Material. Erlangga, jakarta.
- Suryati, S., 2012. Pembuatan Dan Karakterisasi Genteng Komposit Polimer Dari Campuran Resin Poliester, Aspal, Styrofoam Bekas Dan Serat Panjang Ijuk. Universitas Sumatera Utara.
- Van Rijswijk, M.S., Brouwer, W.D., Beukers, A., 2001. Natural Fibre Composites. Delft Univ. Technol.
- Van, V., Lawrence, H., 2005. Ilmu dan teknologi bahan. Erlangga. Jakarta.

- Van, V.L.H., Lawrence, H., 2004. Elemen-elemen Ilmu dan Rekayasa Material. Terjem. Djaprie. Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Van Vlack, L.H., 1985. Elements of Material Science and Engineering. 5th Ed. Adison-Wesley. New York.
- Widodo, B., 2008. Analisa sifat mekanik komposit epoksi dengan penguat serat pohon aren (ijuk) model lamina berorientasi sudut acak (random). J. Teknol. technoscientia 51.
- Widyastuti, W., 2009. Rekayasa Proses Laminasi Komposit Laminat Hibrid Al/SiC-Al/Al₂O₃ dalam fasa padat. Universitas Indonesia.

BAB 7

PERBEDAAN MASING-MASING MATERIAL

Oleh Shanti Kumbarasari

7.1 Pendahuluan

Di negara Indonesia terdapat beberapa jenis produk yang dihasilkan di dunia industri manufaktur serta berdasarkan standar *International Standard Industrial Classification* (ISIC) maka produk industri dapat dibedakan menjadi 9 kategori yaitu sebagai berikut:

1. Industri makanan, minuman dan tembakau (ISIC 31)
2. Industri tekstil, pakaian jadi dan kulit (ISIC 32)
3. Industri kayu dan barang-barang dari kayu termasuk perabot rumah tangga (ISIC 33)
4. Industri kertas dan barang-barang dari kertas, percetakan dan penerbitan (ISIC 34)
5. Industri kimia dan barang-barang dari bahan kimia, minyak bumi, batu bara, karet dan plastik (ISIC 35)
6. Industri barang galian bukan logam, kecuali minyak bumi dan batu bara (ISIC 36)
7. Industri logam dasar (ISIC 37)
8. Industri barang dari logam, mesin dan peralatan (ISIC 38)
9. Industri pengolahan lainnya (ISIC 39)

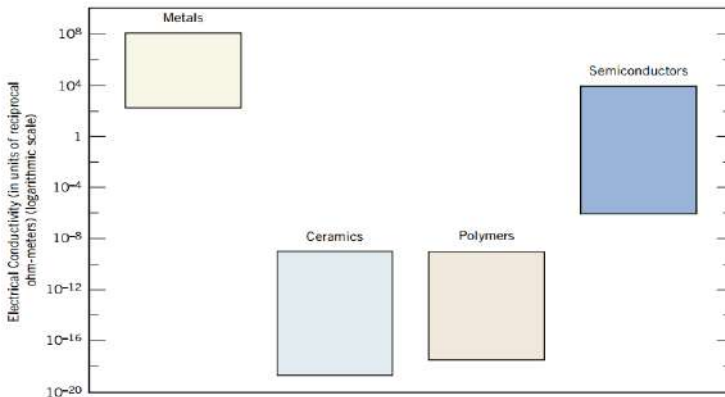
Untuk meningkatkan produktivitas, efisiensi ekonomi, daya saing di pasaran industri serta mendapatkan produk berkualitas maka perlu diperhatikan beberapa aspek yang meliputi desain, material, proses manufaktur, kontrol kualitas dan kesesuaian standar yang ditetapkan. Dalam konteks pemilihan material maka akan mempengaruhi fungsi, kualitas, keamanan, berbiaya efektif serta produk yang ramah lingkungan.

7.2 Klasifikasi Material

Pemilihan serta penggunaan material di dalam dunia industri dapat dibedakan berdasarkan beberapa kategori utama yaitu sebagai berikut :

1. Berdasarkan sifat termal

Sifat termal material adalah karakteristik yang menunjukkan bagaimana material merespon terhadap panas. Salah satu sifat termal material adalah konduktivitas termal (k) dimana kemampuan material untuk menghantarkan panas. Material dengan konduktivitas termal tinggi dan dapat memindahkan panas dengan cepat misalnya logam sedangkan konduktivitas termal rendah dengan insulator yang baik contohnya plastik. Satuan konduktivitas termal adalah Watt per meter Kelvin (W/mK). Perilaku termal dapat dipresentasikan dengan kapasitas panas dan termal daya konduksi ditampilkan pada gambar 7.1.



Gambar 7.1. Nilai konduktivitas pada suhu ruang untuk material logam, keramik, polimer dan bahan semikonduktor

- a. Material Logam (Metal)

Bahan logam memiliki sejumlah besar elektron yang tidak terlokalisasi dimana elektron-elektron tidak terikat pada atom tertentu. Banyak sifat logam didistribusikan secara langsung kepada elektron-

elektron sehingga logam merupakan konduktor listrik yang sangat baik, panas, tidak transparan terhadap cahaya tampak, permukaan logam yang dipoles sehingga memiliki permukaan yang berkilau. Pada gambar 10.1 menunjukkan data konduktivitas pada suhu ruang pada material.

Untuk material logam mempunyai sifat-sifat misalnya mengkilap, konduktivitas listrik, panas yang tinggi serta memiliki titik leleh yang tinggi contohnya aluminium, tembaga dan emas.

b. Material Non Logam (Non- Metal)

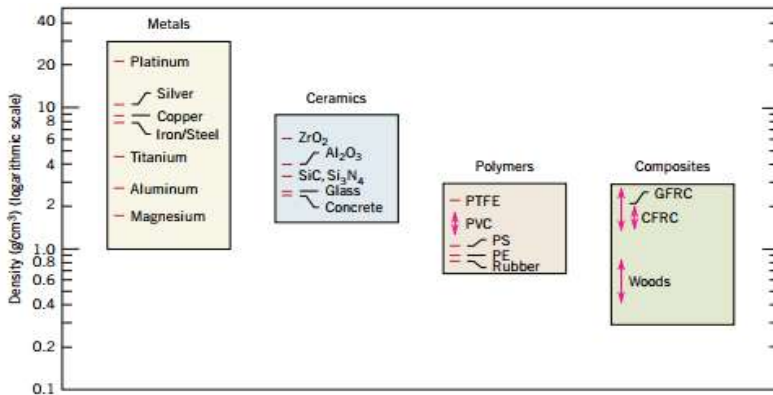
Material non logam mempunyai titik leleh rendah dan bersifat isolasi terhadap aliran panas dan listrik (konduktivitas listrik dan panas yang rendah) serta permukaannya kusam. Contoh material non logam adalah plastik, karet, kaca dan keramik.

Pada material keramik lebih tahan terhadap suhu tinggi dan lingkungan yang keras dibandingkan logam dan polimer.

Sifat –sifat termal dapat diukur dengan kalorimeter, dilatometer dan pyrometer.

2. Berdasarkan struktur atom

Atom-atom yang terusun pada logam dan paduannya tersusun sangat teratur dan relatif padat jika dibandingkan pada material keramik dan polimer dan ditunjukkan pada gambar 7.2.



Gambar 7.2. Nilai berat jenis pada suhu ruang untuk material logam, keramik, polimer dan komposit

a. Material Logam (Metal)

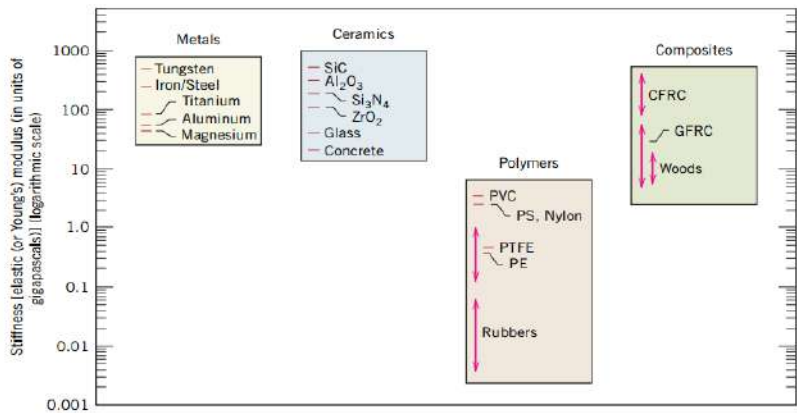
Mempunyai struktur atom yang rapat dengan ikatan antar unsur logam bersifat kuat sehingga memungkinkan elektron yang tidak masuk dalam ikatan dapat bergerak bebas.

b. Material Non Logam (Non- Metal)

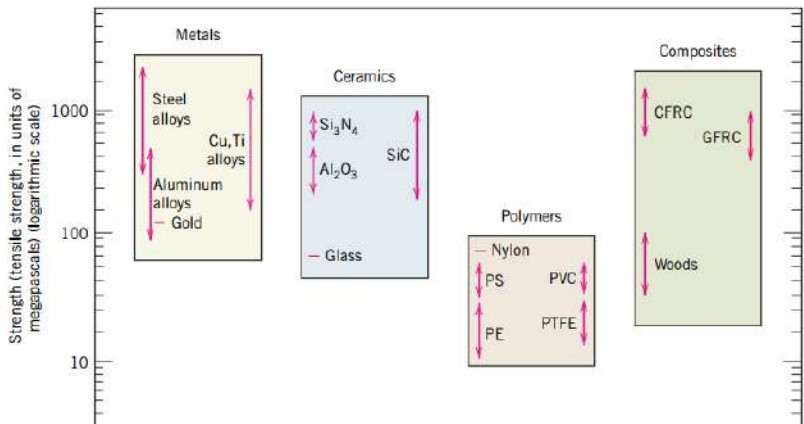
Memiliki berbagai macam struktur atom serta ikatan kimia karena tergantung pada jenis material pembentuknya. Misalnya ikatan kovalen pada material plastik dan karet, ikatan ionik pada keramik serta ikatan hidrogen pada selulosa.

3. Berdasarkan sifat mekanik

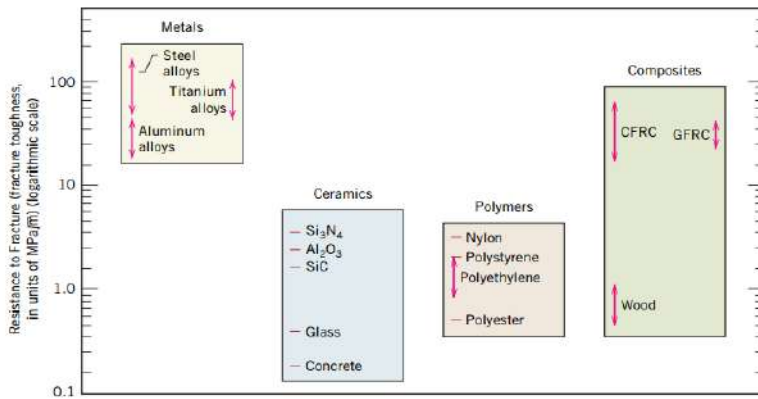
Sifat mekanik berhubungan dengan deformasi terhadap beban atau gaya yang diterapkan yang meliputi modulus elastisitas (kekakuan) gambar 10.3, kekuatan gambar 10.4 namun bersifat ulet (mampu melakukan deformasi dalam jumlah besar tanpa patah) dan tahan terhadap patahan gambar 10.5 untuk bahan material logam, keramik, polimer dan bahan komposit.



Gambar 7.3. Nilai-nilai Modulus Elastisitas pada suhu ruang pada material logam, keramik, polimer dan bahan komposit



Gambar 7.4. Nilai kekuatan tarik pada suhu ruang pada material logam, keramik, polimer dan bahan komposit



Gambar 7.5. Nilai ketahanan terhadap patahan pada suhu kamar untuk material logam, keramik, polimer dan bahan komposit

a. Material Logam (Metal)

Pada umumnya, material logam bersifat kuat, liat dan dapat di tempa menjadi berbagai bentuk.

b. Material Non Logam (Non- Metal)

Berdasarkan jenis material maka berpengaruh pada sifat mekaniknya misalnya material kaca bersifat rapuh, keramik keras serta getas. Sifat mekanik plastik dipengaruhi oleh temperatur.

Pada gambar 10.3 dan 10.4 material keramik menunjukkan relatif kaku dan kuat dimana kekakuan, kekuatannya sebanding dengan logam. Selain bersifat sangat keras, keramik menunjukkan kerapuhan yang ekstrim (keuletan yang rendah) serta rentan terhadap patah (gambar 10.5)

4. Berdasarkan sumber dan proses pembuatan

a. Material Logam (Metal)

Untuk mendapatkan material logam maka diperoleh dari proses ekstraksi bijih logam serta pemurnian.

- b. Material Non Logam (Non- Metal)
Diperoleh dari sumber daya alam misal selulosa atau melalui proses sintesis kimia contohnya adalah plastic.
5. Berdasarkan fungsi
- a. Material Logam (Metal)
Penggunaan material logam dapat sebagai konduktor listrik misalnya tembaga, aluminium, konstruksi contohnya besi, baja, stainless steel.
 - b. Material Non Logam (Non- Metal)
Material non logam dapat diaplikasikan sebagai isolator listrik misalnya plastik, bahan bangunan contoh semen, beton, kaca, tekstil seperti nylon, polyester, kemasan dapat menggunakan plastik dan peralatan medis dapat menggunakan karet.
6. Berdasarkan klasifikasi khusus
- a. Polimer
Polimer dapat diklasifikasikan berdasarkan jenis monomer penyusunnya yaitu termoset dan thermoplast.
 - b. Keramik
Keramik diklasifikasikan disesuaikan dengan komposisi penyusun serta metode proses produksinya misalnya porselen dan *stoneware*.

Klasifikasi material industri tidak selalu mutlak namun terdapat beberapa material memiliki sifat diantara sifat yang dimiliki logam dan non logam atau lebih dari satu klasifikasi. Pemilihan material yang tepat yang diperuntukkan pada sebuah aplikasi tertentu perlu mempertimbangkan dari sisi lain yaitu biaya, ketersediaan serta kemudahan.

7.2.1 Material Logam

Material logam adalah unsur kimia yang memiliki sifat-sifat khas yaitu :

1. Mengkilap

Pada umumnya permukaan logam bersifat mengkilap hal ini dikarenakan elektron-elektron bebasnya dapat bergerak bebas, berinteraksi dan memantulkan cahaya

2. Konduktivitas listrik dan panas yang tinggi

Logam dapat menghantarkan arus listrik dan panas dengan baik karena elektron-elektron bebasnya dapat bergerak bebas dapat bergerak bebas serta membawa muatan listrik dan energi panas.

3. Kuat dan liat

Material logam pada umumnya kuat serta liat karena struktur atomnya yang rapat dan terikat kuat sehingga logam memungkinkan dapat dibentuk menjadi berbagai bentuk tanpa patah

4. Titik leleh dan titik didih yang tinggi

Adanya struktur atom yang rapat dan terikat kuat pada penyusunan material logam mengakibatkan titik leleh dan didih yang tinggi

5. Kepadatan tinggi

Penyusunan struktur atom yang rapat pada material logam mengakibatkan pengaruh kepadatan tinggi.

Berdasarkan sifat-sifatnya maka logam dapat dikelompokkan menjadi beberapa kategori yaitu sebagai berikut :

1. Logam alkali

Sifat logam alkali pada umumnya lunak, reaktif serta memiliki titik leleh yang rendah. Yang termasuk logam alkali yaitu Litium (Li), Natrium (Na), Kalium (K) dan lain-lain.

2. Logam alkali tanah

Secara umum sifat logam alkali tanah adalah lebih keras, lebih reaktif daripada logam alkali. Contoh logam alkali tanah yaitu Magnesium (Mg), Kalsium (Ca), Barium (Ba) dan lain-lain.

3. Logam transisi

Pada logam transisi mempunyai sifat yaitu keras, titik leleh dan didih yang tinggi dan magnetik misalnya Chromium (Cr), Mangan (Mn), Wolfram (W), Perak (Ag) dan lain-lain.

4. Logam semimulia

Untuk logam semimulia memiliki sifat tahan korosi, konduktivitas listrik dan panas tinggi contohnya Tembaga (Cu), Timah (Sn), Nikel (Ni) dan lain-lain.

5. Logam mulia

Secara umum logam mulia bersifat tahan korosi, konduktivitas listrik dan tahan panas misalnya Emas (Au), Perak (Ag) dan Platina (Pt).

Material logam dapat digunakan di bidang,

1. Konstruksi

Konstruksi bangunan, jembatan dan permesinan

2. Transportasi

Komponen kereta api, pesawat, kendaraan roda empat dan roda dua.

3. Elektronik

Peralatan kabel, sirkuit dan komponen elektronik

4. Alat kesehatan

Peralatan bedah, implan dan protesis.

5. Perhiasan

Perhiasan emas, perak dan platinum

6. Kemasan

Kemasan foil, drum, kaleng dan botol.

7.2.2 Material Non Logam

Material non logam terdiri dari berbagai unsur dan senyawa kimia yang mempunyai karakteristik sebagai berikut :

1. Kurang mengkilap

Pada material non logam tidak mempunyai elektron yang tidak terikat pada sebuah rangkaian ikatan atom sehingga elektron tidak berinteraksi dan memantulkan cahaya sehingga permukaan menjadi tidak mengkilap/buram.

2. Konduktivitas listrik dan panas yang rendah
Kandungan elektron pada material non logam tidak dapat bergerak bebas dalam membawa muatan listrik dan energi panas mengakibatkan konduktivitas listrik dan panas rendah.
3. Rapuh atau getas
Struktur atom penyusun material non logam bersifat tidak rapat dan tidak mempunyai ikatan yang kuat antar atom sehingga material non logam yang terbentuk rapuh atau getas
4. Titik leleh dan didih rendah
Ikatan antar atom lebih lemah jika dibandingkan material logam sehingga berpengaruh pada titik leleh dan titik didih menjadi rendah.
5. Kepadatan yang rendah
Adanya struktur atom tidak rapat mengakibatkan kepadatan rendah pada material non logam.

Beberapa contoh penggunaan material non logam yaitu sebagai berikut :

1. Plastik
Plastik terbuat dari polimer dan zat aditif yang disesuaikan dengan penggunaan. Dalam kehidupan sehari-hari plastik digunakan misalnya untuk kemasan, peralatan makanan, minuman, pipa dan tekstik sintetis.
2. Karet
Karet dapat digunakan ban kendaraan, selang dan lain-lain.
3. Kaca
Contoh pemakaian kaca yaitu serat optik, peralatan masak tahan panas, peralatan makan dan minum.
4. Keramik
Contoh penggunaan peralatan makan tahan panas, isolator listrik, keramik lantai dan genteng,
5. Kayu
Kayu digunakan untuk keperluan furniture, konstruksi bangunan, bahan bakar dan kertas.

6. Gas

Yang termasuk gas mulia misalnya unsur Helium(He), neon (Ne) dan gas molekul oksigen (O_2), Nitrogen(N_2), Karbondioksida (CO_2). Gas digunakan untuk pengelasan, pendinginan, anestesi dan bahan bakar.

7.2.3 Material Keramik

Keramik adalah senyawa antara unsur logam dan bukan logam, yaitu Oksida, Nitrida dan Karbida. Bahan keramik secara umum terdiri dari Aluminium Oksida (Alumina Al_2O_3), Silikon Dioksida (Silika SiO_2), Silikon Karbida (SiC), Silikon Nitrida (Si_3N_4) serta tambahan material lainnya.

Keramik tradisional merupakan material padat yang dibuat dengan menggunakan mineral tanah liat, semen, kaca, pasir serta bahan-bahan lainnya kemudian dipanaskan pada suhu tinggi sekitar $600^\circ C$ sampai $1500^\circ C$. Proses pemanasan mengakibatkan perubahan pada sifat kimia, fisika sehingga menghasilkan material keramik bersifat keras, tahan lama serta tahan panas.

Sifat karakteristik dari material keramik adalah sebagai berikut:

1. Keras

Keramik memiliki tingkat kekerasan yang tinggi sehingga tahan terhadap goresan dan abrasi

2. Tahan lama

Keramik tidak mudah rusak atau lapuk sehingga dapat dipakai dalam jangka waktu lama

3. Tahan panas

Keramik dapat menahan panas yang tinggi sehingga cocok digunakan pada peralatan masak serta peralatan yang membutuhkan lingkungan suhu tinggi.

4. Tahan air

Sebagian besar keramik tahan terhadap air sehingga tidak mudah berkarat atau berjamur.

5. Non konduktif

Keramik tidak dapat menghantarkan listrik sehingga aman dipakai untuk peralatan listrik.

6. Dapat dibentuk serta di warna sesuai dengan kebutuhan
Keramik dapat diproduksi dengan berbagai macam warna, bentuk sehingga dapat digunakan untuk dekorasi serta desain interior.

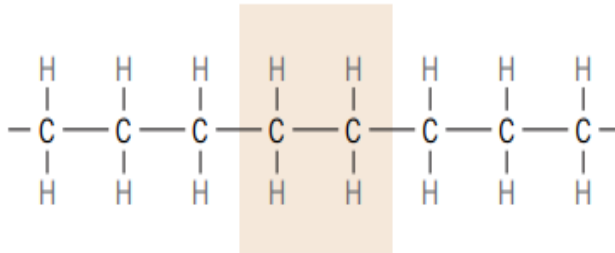
Jenis keramik dapat dibedakan menjadi :

1. Keramik tradisional
Jenis keramik tradisional terbuat dari tanah liat serta bahan alami lainnya. Cara pembuatannya menggunakan tangan dan memiliki desain yang sederhana.
2. Keramik *stoneware*
Untuk keramik *stoneware* berasal dari tanah liat dengan tekstur yang lebih halus kemudian dibakar pada suhu yang lebih tinggi. Keramik *stoneware* lebih keras dan tahan lama daripada keramik tradisional.
3. Porselen
Keramik jenis porselen terbuat dari tanah liat yang bertekstur sangat halus serta proses pembuatannya dengan dibakar pada suhu yang sangat tinggi. Porselen merupakan keramik yang paling keras, tahan lama dan halus.
4. Keramik teknik
Jenis keramik teknik dibuat dengan bahan baku khusus yang memiliki sifat-sifat tertentu yaitu tahan terhadap bahan kimia, suhu tinggi dan radiasi.

Keramik dapat digunakan sebagai peralatan makan, peralatan masak, ubin, sanitasi, dekorasi serta bahan bangunan.

7.2.4 Material Polimer

Polimer merupakan makromolekul yang tersusun oleh monomer-monomer (unit-unit terkecil). Jenis ikatan pada monomer-monomer yaitu ikatan kovalen sehingga menghasilkan rantai yang panjang dapat berbentuk lurus, bercabang atau terurai.



Gambar 7.6. Skema unit berulang dan struktur rantai Polyethylene

Pada gambar 7.6 di atas merupakan monomer-monomer pembentuk polietylene. Bahan dasar polimer adalah karbon, hidrogen serta unsur bukan logam lainnya yaitu unsur O, N dan Si. Secara umum, polimer bersifat yaitu sebagai berikut:

1. Massa molekul besar
Massa molekul polimer jauh lebih besar dari massa molekul monomer penyusunnya. Rata-rata massa molekul polimer berkisar antara ribuan hingga jutaan unit massa atom (amu)
2. Tahan terhadap bahan kimia, panas serta radiasi
3. Kekuatan
Misalnya nilon serta Kevlar
4. Kelenturan
Contoh karet alam serta plastik jenis *polyethylene*
5. Bersifat osilator
Secara umum polimer bersifat osilator listrik yang baik

Material polimer dapat diklasifikasikan menjadi dua kategori yaitu :

1. Material polimer alami
Jenis material polimer alami dapat dijumpai pada alam misalnya :
 - a. Selulosa
Selulosa adalah polisakarida dimana polimer alami ini tersusun oleh unit-unit monosakarida. Unit senyawa monosakarida atau karbohidrat $(\text{CH}_2\text{O})_n$ termasuk senyawa glukosa. Unit-unit senyawa glukosa yang

terdapat pada selulosa terikat satu sama lain melalui ikatan glikosidik beta-1,4. Ikatan ini berbentuk rantai panjang serta lurus yang dinamakan rantai utama. Selulosa terdapat pada dinding sel tumbuhan sehingga memberikan kekuatan dan kekakuan pada tumbuhan. Selulosa bersifat :

1) Kuat dan kaku

Polimer selulosa yang mempunyai struktur rantai yang panjang, lurus sehingga mengakibatkan kuat dan kaku.

2) Tahan air

Selulosa bersifat *hidrofobik* sehingga menjadikan tahan terhadap air.

3) *Biodegradable*

Mikroorganisme dapat menguraikan polimer selulosa

Di dalam dunia industri, selulosa digunakan sebagai bahan utama pembuatan *pulp*, kertas, tekstil, biokomposit, kosmetik, makanan, minuman, farmasi dan lain-lain.

b. Karet alam

Karet alam merupakan polimer poliisoprena yaitu polimer yang tersusun dari unit-unit isoprena. Isoprena yaitu senyawa organik C_5H_8 . Unit-unit (monomer) isoprena yang terdapat dalam karet alam dengan membentuk ikatan ganda dan memiliki berat molekul tinggi ($\pm 150.000-1.000.000.g/mol$). Sifat-sifat karet alam :

1) Elastis

Karet alam dapat diregangkan serta dapat kembali ke bentuk semula setelah diregangkan

2) Tahan air

Karet alam tidak mudah larut

3) Tahan bahan kimia

Karet alam tahan terhadap banyak bahan kimia

4) Isolator listrik

Karet alam tidak dapat menghantarkan arus listrik

Karet alam dapat digunakan sebagai bahan ban, selang, sarung tangan serta perekat misal lem kayu dan lem karet.

2. Material polimer sintetis

Polimer yang terbuat dari hasil inovasi material dan teknologi yang di buat di laboratorium misalnya *polyethylene*, *polypropylene* serta *polyester*.

Berdasarkan jenis aplikasi penggunaan material polimer antara lain:

1. Plastik

Contoh penggunaan plastik kemasan makanan dan minuman, pipa, mainan dan lain-lain

2. Karet

Misalnya ban, selang serta bantalan

3. Serat

Contoh tekstil, tali serta ban

4. Perekat

Fungsi perekat adalah menempelkan dua benda atau lebih

5. Cat dan pelapis

Kegunaan dari cat serta pelapis agar dapat melindungi permukaan benda. Polimer merupakan bahan utama penyusun cat dengan material tambahan yaitu pigmen, *aditif* serta pelarut.

Fungsi dari polimer dalam komposisi cat sebagai :

1. Binder (pengikat)

Fungsi polimer sebagai pengikat pigmen, *aditif* serta bahan-bahan yang lain sehingga membentuk satu kesatuan yang kohesif.

2. *Film-forming agent* (pembentuk film)

Polimer membentuk film tipis serta keras di atas permukaan yang di cat yang berfungsi untuk melindungi permukaan dari kerusakan serta kotoran.

Jenis polimer yang umum digunakan dalam cat adalah:

1. Akrilik
Cat yang berbahan dasar akrilik memiliki daya rekat yang baik, tahan terhadap air serta fleksibel.
2. Epoxy
Cat epoxy bersifat tahan lama, tahan terhadap bahan kimia serta digunakan untuk aplikasi industri dan komersial.
3. Urethane
Cat urethane mempunyai daya rekat yang sangat baik serta tahan terhadap goresan. Cat ini digunakan untuk aplikasi otomotif serta kelautan.
4. Alkyd
Cat alkyd merupakan jenis tradisional yang mempunyai kilau yang tinggi serta daya tahan yang kuat terhadap cuaca.

7.2.5 Material Komposit

Pada awalnya material komposit terbentuk dari kombinasi dari material logam, keramik serta polimer yang bertujuan agar dapat menghasilkan produk yang terbaik dari masing-masing material yang ada. Namun dengan perkembangan penelitian material komposit dapat terdiri campuran dari beberapa bahan alami misalnya kayu, tulang serta bahan sintetis (material yang dibuat oleh manusia). Contoh dari material komposit adalah *fiberglass* dan CFRP.

Material *fiberglass* merupakan salah satu material komposit yang terbuat dari kaca cair yang dijadikan serat tipis kemudian dicampur dengan resin plastik sehingga menghasilkan material yang kuat serta ringan.

Keunggulan dari material *fiberglass* adalah

1. Kuat serta tahan lama
Material *fiberglass* jauh lebih kuat daripada plastik serta dapat menahan banyak tekanan sehingga dapat digunakan di bidang konstruksi, transportasi serta permesinan. (polaridad.es)

2. Ringan
Apabila dibandingkan dengan material logam maka *fiberglass* merupakan alternatif utama dalam bidang alat transportasi penerbangan serta kedirgantaraan
3. Tahan korosi
Sifat material *fiberglass* yang tahan korosi dapat digunakan pada larutan air garam serta bahan kimia.
4. Tahan api
Untuk menjaga keselamatan dari kebakaran maka penggunaan material *fiberglass* menjadi salah satu material yang diaplikasikan di bagian konstruksi serta peralatan rumah tangga
5. Fleksibel
Serat *fiberglass* dapat dibentuk menjadi ragam variasi produk.
6. Harga relatif murah
Dari segi harga, material *fiberglass* termasuk dalam kategori relatif murah sehingga dapat diaplikasikan pada berbagai bentuk.

Kekurangan dari material *fiberglass* yaitu sebagai berikut :

1. Kepadatannya rendah
2. Sulit di daur ulang
Material *fiberglass* sulit di daur ulang sehingga memberikan dampak terhadap lingkungan
3. Bisa menyebabkan iritasi
Serat *fiberglass* dapat mengakibatkan iritasi pada kulit, mata serta saluran pernafasan sehingga apabila menggunakan serat *fiberglass* perlu adanya peralatan keselamatan kerja misalnya sarung tangan, kacamata pelindung serta masker
4. Berpotensi berbahaya untuk kesehatan
Dari beberapa penelitian paparan serat *fiberglass* dapat mengakibatkan resiko kanker.

CFRP singkatan dari *Carbon Fiber Reinforced Plastic* dimana material plastik diperkuat oleh serat karbon atau material plastik diperkuat oleh grafit. Bahan penyusun utama dari CFRP adalah:

1. Serat karbon

Serat karbon berasal dari atom karbon yang bersifat sangat kuat serta kaku dan serat karbon merupakan material utama dalam pembentukan material CFRP

2. Matriks

Matriks merupakan resin polimer yang berjenis plastik termosetting seperti epoksi atau poliester. Resin polimer ini berfungsi sebagai pengikat serat karbon agar menjadi satu kesatuan sehingga dapat menyalurkan beban antar serat.

Keunggulan dari material CFRP adalah:

1. Rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi

Untuk material CFRP, baja atau aluminium pada ukuran berat yang sama maka material CFRP jauh lebih kuat daripada baja atau aluminium sehingga material CFRP secara ideal dapat digunakan di bidang dirgantara, otomotif serta perlengkapan olah raga.

2. Kekakuan

Apabila material diberikan beban maka CFRP dapat menahan bengkokan karena sifatnya yang sangat kaku

3. Keawetan

Material CFRP tahan terhadap korosi serta kelelahan

4. Muai panas rendah

Dimensi material CFRP stabil pada saat terjadinya perubahan suhu sehingga tidak mudah memuai atau menyusut

Kekurangan material CFRP yaitu sebagai berikut

1. Getas

2. Biaya Produksi Tinggi

Harga material CFRP relatif mahal untuk diproduksi

3. Proses pembuatan rumit

Dalam proses pembuatan CFRP membutuhkan teknik serta peralatan khusus.

Material CFRP dapat digunakan pada berbagai bidang yaitu sebagai berikut :

1. Dirgantara

Konstruksi pesawat terbang, ruang angkasa pada umumnya menggunakan material CFRP misalnya bagian sayap. Panel badan pesawat serta sirip ekor

2. Otomotif

Untuk bidang otomotif, material CFRP digunakan pada bagian kap mesin, spatbor dan bumper mobil.

3. Perlengkapan olahraga

Peralatan olah raga yang menggunakan material CFRP adalah raket tenis, stick golf dan papan seluncur.

4. Sipil

Material CFRP digunakan untuk memperkuat struktur beton serta memperbaiki bagian bangunan yang rusak

DAFTAR PUSTAKA

- Prof. Ir. Tata Surdia MS.Met.E , Prof. DR. Shinroku Saito, 2000,
Pengetahuan Bahan Teknik, Jakarta:PT. Pradnya Paramita.
- William D. Callister, Jr. David G. Rethwisch, 2013, Materials Science
and Engineering An Introduction, The United States of
America: John Wiley & Sons Inc

BAB 8

MANFAAT DARI MASING-MASING MATERIAL

Oleh Fitri Puspasari

8.1 Pendahuluan

Material teknik adalah bidang yang mempelajari sifat, karakteristik, pengolahan, dan aplikasi material untuk memenuhi kebutuhan dalam berbagai industri dan teknologi. Dari bahan logam, polimer, dan keramik hingga material komposit dan semikonduktor yang inovatif, pengembangan material teknik telah membawa dampak yang signifikan dalam memajukan teknologi modern dan meningkatkan kualitas hidup manusia.

Dalam setiap aspek kehidupan, dari transportasi hingga kesehatan, dari komunikasi hingga energi, material teknik memberikan peran penting dalam menghadirkan solusi yang efisien, aman, dan berkelanjutan. Sebagai contoh, dalam industri otomotif, penggunaan material ringan seperti aluminium dan serat karbon telah menghasilkan kendaraan yang lebih efisien dalam penggunaan bahan bakar dan ramah lingkungan. Di sektor kesehatan, perkembangan material biokompatibel telah memungkinkan produksi perangkat medis dan implant yang aman digunakan dalam tubuh manusia.

Tidak hanya memberikan solusi untuk kebutuhan praktis, material teknik juga menjadi kunci dalam mendorong inovasi di berbagai bidang. Dari material cerdas yang mampu merespon lingkungan sekitar, hingga material nanostruktural dengan sifat yang unik, pengembangan terbaru dalam material teknik membuka pintu untuk inovasi-inovasi baru yang belum pernah terbayangkan sebelumnya.

Dalam konteks global, pemahaman dan penerapan material teknik tidak hanya menjadi faktor kunci dalam meningkatkan daya saing industri suatu negara, tetapi juga dalam menjawab tantangan-

tantangan global seperti perubahan iklim dan keberlanjutan sumber daya alam. Dengan terus menerapkan prinsip-prinsip material teknik dalam pengembangan produk dan proses, maka dapat mencapai masa depan yang lebih baik yang didasarkan pada inovasi yang berkelanjutan dan penggunaan sumber daya yang bijaksana. Dalam bab ini, disampaikan berbagai manfaat yang ditawarkan oleh jenis-jenis material teknik dalam berbagai bidang kehidupan dan industri.

8.2 Logam

Material logam adalah jenis material yang terdiri dari unsur kimia dengan sifat-sifat khas seperti kelenturan, kekuatan, kekerasan, kemampuan menghantarkan listrik dan panas, serta permukaan yang mengkilap. Logam memiliki titik lebur yang tinggi. Contoh umum logam termasuk besi, aluminium, tembaga, emas, dan perak.



Gambar 8.1. Logam Sebagai Bahan Material Pesawat
(<https://sttkd.ac.id/berita/ini-4-bahan-material-pesawat-terbang-salah-satunya-titanium/>)

Logam sering digunakan dalam berbagai aplikasi teknik dan industri karena sifat-sifat mekanis dan termalnya yang unggul. Logam dapat dibentuk dan diolah menjadi berbagai komponen mesin, struktur bangunan, perangkat elektronik, dan kendaraan. Selain itu, logam juga memiliki kemampuan untuk dikombinasikan

dengan unsur lain untuk membentuk paduan yang memiliki sifat yang ditingkatkan, seperti baja, yang merupakan campuran besi dan karbon, serta paduan aluminium yang sering digunakan dalam industri penerbangan.

Kemampuan logam untuk ditempa, dicetak, dan dibentuk memberikan fleksibilitas dalam pembuatan berbagai struktur dan komponen, mulai dari bangunan bertingkat hingga peralatan elektronik yang halus. Selain itu, keberagaman jenis logam, mulai dari baja yang kuat hingga aluminium yang ringan, memungkinkan penggunaan yang luas dalam berbagai aplikasi, baik yang memerlukan kekuatan struktural yang tinggi maupun yang memprioritaskan bobot ringan. Berikut adalah beberapa manfaat dari material logam (Ashby, Shercliff and Cebon, 2007; William D. Callister and Rethwisch, 2007).

1. Sebagai Bahan Konstruksi
Logam memiliki kekuatan dan kekakuan yang tinggi, sehingga logam dapat digunakan sebagai bahan pembuatan pagar, rangka mobil, dan rangka bangunan.
2. Sebagai Penghantar Panas
Logam umumnya bersifat konduktif dan sebagai penghantar panas. Ini memungkinkan penggunaan logam pada peralatan masak seperti wajan, panci, dan teko. Beberapa logam yang baik sebagai konduktor panas antara lain perak, tembaga, dan emas.
3. Sebagai Penghantar Listrik
Logam juga merupakan penghantar listrik yang baik. Kabel yang terbuat dari tembaga atau aluminium memiliki hambatan listrik yang rendah, sehingga logam digunakan dalam berbagai perangkat elektronik dan sistem kelistrikan.
4. Daur Ulang
Sebagian besar logam dapat didaur ulang dengan efisiensi tinggi, sehingga mampu mengurangi kebutuhan akan sumber daya alam dan berdampak pada kelestarian lingkungan.

8.3 Polimer

Polimer telah menjadi komponen vital dalam bidang material teknik karena sifat-sifat uniknya yang ringan, fleksibel, dan mudah diproses. Kehadiran polimer dalam berbagai bentuk, mulai

dari plastik hingga serat sintetis, memberikan keberagaman yang luas dalam aplikasi teknik, termasuk kemasan makanan, komponen otomotif, dan peralatan medis.

Fleksibilitas polimer dalam proses manufaktur, seperti pencetakan injeksi dan cetakan kustom, memungkinkan pembuatan produk dengan biaya rendah dan kompleksitas desain yang tinggi. Selain itu, polimer juga tahan terhadap korosi dan berperan sebagai insulasi listrik, dan berbiaya produksi rendah sehingga menjadikannya pilihan yang menarik dalam berbagai aplikasi teknologi modern. Berikut adalah beberapa manfaat dari polimer (Fried, 2014).

1. Memiliki Sifat Ringan dan Fleksibel

Polimer umumnya memiliki massa jenis rendah dan fleksibilitas yang tinggi, umumnya dimanfaatkan dalam kemasan makanan.

2. Tahan Korosi dan Isolator Listrik

Beberapa polimer tahan terhadap korosi dan merupakan isolator listrik yang baik, sehingga dapat digunakan dalam lingkungan yang korosif dan sebagai isolator dalam elektronik.

3. Mudah Diproses

Polimer mudah untuk diproses, sehingga memungkinkan pembuatan berbagai bentuk dan desain.

Polimer memiliki beragam manfaat lainnya, termasuk dalam pembuatan botol, drum, pipa, perabotan rumah, dan berbagai produk lainnya. Material ini menawarkan fleksibilitas dan daya tahan yang menjadikannya pilihan populer dalam banyak aplikasi sehari-hari.

Selain itu, polimer juga memainkan peran penting dalam industri tekstil, pembungkusan, dan konstruksi. Penggunaan polimer di sektor-sektor ini menunjukkan betapa esensialnya material ini dalam berbagai aspek kehidupan modern, mulai dari pakaian hingga bahan bangunan.

8.4 Keramik

Keramik adalah salah satu jenis material teknik yang telah dimanfaatkan oleh manusia sejak lama. Material ini dikenal karena tingkat kekuatannya, ketahanan terhadap panas, dan sifat isolasinya.

Keramik modern bukan hanya digunakan untuk peralatan rumah tangga seperti piring dan gelas, tetapi juga memiliki aplikasi yang sangat penting dalam teknologi tinggi dan industri. Contohnya termasuk isolator listrik, komponen mesin pesawat terbang, dan bahkan dalam bidang kedokteran sebagai bahan implan dan prostetik.

Sifat unik keramik, seperti kekerasan tinggi, ketahanan aus, dan ketahanan kimia, membuatnya sangat berharga dalam banyak aplikasi industri. Namun, kekakuan dan kerapuhannya juga menjadi tantangan dalam penggunaannya.

Meskipun demikian, kemajuan teknologi terus memungkinkan pengembangan keramik yang lebih kuat dan lebih tahan lama. Dengan penelitian yang berkelanjutan, potensi penggunaan material keramik di berbagai sektor terus berkembang, menjadikannya salah satu material teknik yang paling serbaguna dan berharga dalam dunia modern.

Keramik memiliki beberapa keunggulan diantaranya tahan terhadap suhu tinggi, korosi, dan memiliki tingkat kekerasan yang baik. Kehadiran keramik dalam berbagai aplikasi, mulai dari pembangkit listrik hingga industri pesawat terbang, menunjukkan kebermanfaatannya dalam bidang teknologi modern. Keramik memiliki berbagai manfaat dalam industri modern. Beberapa di antaranya meliputi:

1. Tahan terhadap Suhu Tinggi

Keramik memiliki sifat tahan terhadap suhu tinggi, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai isolator listrik serta untuk aplikasi di mana ada paparan panas yang tinggi, seperti dalam pembangkit listrik, ruang mesin pesawat terbang, dan industri metalurgi (David W. Richerson and Lee, 2018).

2. Tahan terhadap Korosi

Beberapa jenis keramik, terutama yang dihasilkan dengan teknologi canggih, memiliki ketahanan yang tinggi terhadap korosi kimia, sehingga memungkinkan penggunaannya dalam industri kimia atau kelautan (Kingery, Bowen and Uhlmann, 1976).

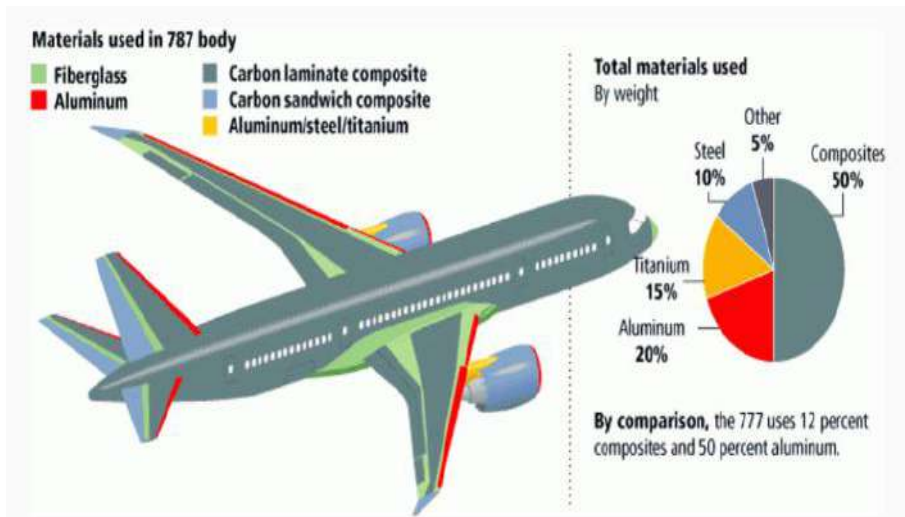
3. Tahan terhadap Aus dan Goresan
Keramik sering memiliki kekerasan yang tinggi, yang membuatnya tahan terhadap aus dan goresan, sehingga bermanfaat dalam pilihan yang baik untuk aplikasi yang memerlukan tingkat keawetan yang tinggi, seperti dalam pembuatan pelat pembelajaran untuk industri atau lapisan perlindungan untuk peralatan medis.
4. Kemampuan Isolasi Termal dan Listrik
Beberapa jenis keramik memiliki kemampuan isolasi termal dan listrik yang sangat baik, yang berguna dalam berbagai aplikasi, termasuk pembuatan elemen pemanas, kapasitor, dan isolator listrik (Kingery, Bowen and Uhlmann, 1976).
5. Ringan
Keramik umumnya memiliki massa jenis yang rendah, membuatnya ideal untuk aplikasi di mana bobot merupakan faktor penting, seperti dalam komponen pesawat terbang atau kendaraan luar angkasa (David W. Richerson and Lee, 2018).
6. Dielektrik yang Baik
Beberapa keramik memiliki sifat dielektrik yang sangat baik, digunakan dalam pembuatan kapasitor dan komponen listrik lainnya.

8.5 Komposit

Komposit adalah bahan teknik yang menggabungkan dua atau lebih material pada skala makroskopik untuk membentuk material yang berguna dan memiliki sifat yang lebih kuat dibandingkan bahan asalnya. Komposit merupakan salah satu jenis material teknik yang terdiri dari dua atau lebih fase yang berbeda, seperti serat dan matriks. Komposit memiliki keunggulan utama dalam menyatukan sifat-sifat yang baik dari masing-masing fase penyusunnya, sehingga menghasilkan material yang memiliki kinerja mekanik yang unggul, kekuatan yang tinggi, dan berat yang ringan. Karakteristik ini menjadikan komposit sangat diminati dalam berbagai aplikasi industri, mulai dari manufaktur pesawat terbang hingga otomotif dan konstruksi. Selain itu, penggunaan komposit juga sering kali memberikan keuntungan ekonomis karena memungkinkan pengurangan berat, konsumsi energi yang

lebih efisien, dan umur layanan yang lebih panjang (Gibson, 1994; Ashby, Shercliff and Cebon, 2007).

Dengan kombinasi yang sesuai, komposit dapat dirancang untuk memberikan kekuatan yang tinggi, ketahanan terhadap korosi, ringan, tahan panas, dan bahkan sifat-sifat khusus seperti konduktivitas listrik atau isolasi termal. Komposit digunakan secara luas dalam berbagai aplikasi, termasuk dalam industri otomotif, dirgantara, konstruksi, dan olahraga. Salah satu contohnya ialah serat karbon yang digunakan dalam pembuatan mobil balap atau pesawat terbang untuk meningkatkan kekuatan dan kekakuan, serta komposit polimer yang digunakan dalam pembuatan papan seluncur atau raket tenis untuk mengurangi bobot dan meningkatkan performa.



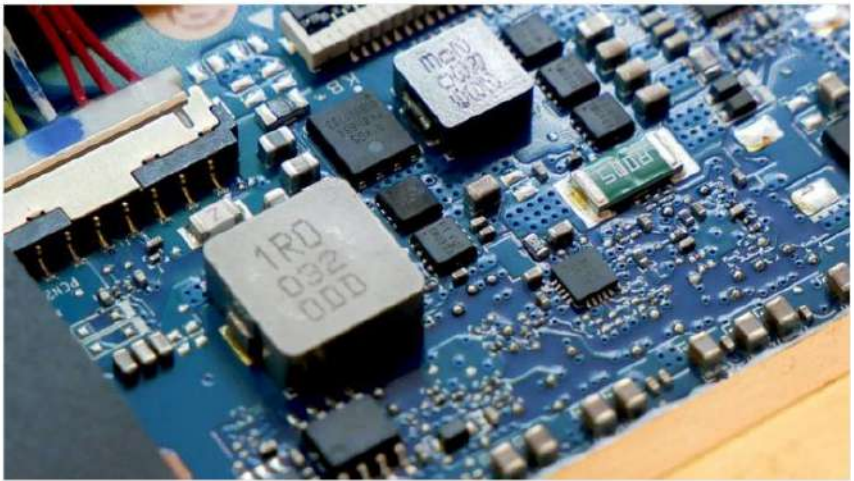
Gambar 8.2. Material komposit sebagai bahan pesawat terbang (<https://www.dictio.id/t/material-komposit-untuk-pesawat-terbang-dan-helikopter/146129/2>)

Beberapa penelitian dilakukan sejalan dengan kemajuan dalam eksploitasi penggunaan bahan alami dalam kehidupan sehari-hari, terutama penggunaan serat alam sebagai penguat matriks komposit. Keuntungan utama serat alam adalah ketersediaannya yang melimpah, biaya spesifik yang rendah, sifat

yang dapat diperbarui, serta ramah lingkungan (Purkuncoro, Djiwo and Rahardjo, 2014).

Keunggulan komposit dalam memberikan keseimbangan antara kekuatan, kekakuan, dan keringanan yang telah membuatnya menjadi pilihan yang populer dalam berbagai industri yang memerlukan material dengan kinerja tinggi. Seiring dengan terus berkembangnya teknologi komposit, komposit memiliki peran dalam mendorong inovasi dan kemajuan teknologi terus berkembang secara signifikan. Komposit menawarkan sejumlah manfaat yang signifikan sebagai berikut (Gibson, 1994).

1. Memiliki sifat kekuatan dan kekakuan yang tinggi
Komposit sering kali memiliki kekuatan dan kekakuan yang lebih tinggi daripada bahan tunggal, karena kombinasi matriks dan serat yang dipilih dengan cermat untuk meningkatkan sifat-sifat mekaniknya.
2. Memiliki Sifat Ringan
Polimer memiliki bobot yang ringan dibandingkan volumenya, sehingga sangat cocok untuk berbagai aplikasi yang membutuhkan bahan dengan berat rendah. Dengan menggunakan serat yang ringan seperti serat karbon atau serat kaca dalam matriks polimer, komposit dapat memberikan kekuatan yang tinggi dengan berat yang relatif rendah, sehingga bermanfaat untuk aplikasi di mana bobot merupakan pertimbangan penting.
3. Tahan terhadap korosi
Beberapa jenis komposit, terutama yang menggunakan serat berbasis polimer atau keramik, menawarkan ketahanan yang baik terhadap korosi.
4. Pengendalian Termal dan Listrik
Komposit dapat dirancang untuk untuk bahan dengan nilai konduktivitas termal atau listrik yang baik.



Gambar 8.3. Aplikasi Chip Semikonduktor (<https://voi.id>)

8.6 Semikonduktor

Semikonduktor memiliki tingkat konduktivitas di antara konduktor (biasanya logam) dan non-konduktor atau isolator (seperti keramik). Bahan semikonduktor bisa berupa senyawa seperti galium arsenida atau unsur murni seperti germanium atau silikon.

Dalam dunia elektronik, semikonduktor digunakan untuk membuat komponen-komponen vital seperti transistor, dioda, dan sirkuit terpadu (IC). Komponen-komponen ini adalah dasar dari semua perangkat elektronik modern, termasuk komputer, smartphone, dan peralatan rumah tangga. Selain itu, semikonduktor juga memainkan peran penting dalam industri komunikasi, di mana mereka digunakan dalam perangkat yang memungkinkan komunikasi nirkabel dan internet berkecepatan tinggi.

Penggunaan semikonduktor dalam teknologi energi terbarukan, seperti sel surya, juga berkontribusi signifikan terhadap upaya global dalam mengatasi perubahan iklim dan mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil. Berikut adalah beberapa manfaat penggunaan semikonduktor:

1. Sebagai Saklar Elektronik

Semikonduktor berperan sebagai saklar dalam rangkaian elektronika daya. Proses pensaklaran sangat penting dalam perangkat elektronik.

2. Sebagai Pengubah Energi

Selain pensaklaran, semikonduktor juga digunakan untuk mengubah jenis sumber energi dalam berbagai aplikasi.

3. Elemen Fotolistrik

Bahan semikonduktor dapat menggantikan sel foto dalam mengukur intensitas cahaya. Tumbukan elektron di dalamnya menghasilkan proses ionisasi. Semikonduktor memiliki peran krusial dalam industri elektronik dan teknologi informasi. Dengan kemampuan mengendalikan konduktivitasnya, semikonduktor memainkan peran vital dalam perangkat modern seperti motor, mobil, dan banyak lagi.

4. Efisiensi Energi yang Tinggi

Semikonduktor, khususnya dalam bentuk dioda dan transistor, memungkinkan pengendalian arus listrik dengan efisiensi tinggi. Komponen tersebut dapat dimanfaatkan pada rangkaian daya rendah dan tinggi untuk mengurangi kerugian energi yang terjadi pada komponen konvensional (S.M. Sze and Ng, 1988).

DAFTAR PUSTAKA

- Ashby, m., shercliff, h. And cebon, d. (2007) *Materials engineering, science, processing and design*.
- David w. Richerson and lee, w. E. (2018) *Modern ceramic engineering:properties, processing, and use in design*.
- Fried, j. R. (2014) *Polymer science & technology, prentice hall*.
- Gibson, r. F. (1994) *Principles of composite material mechanics, mcgraw-hill, inc*. Doi: 10.1201/9781420014242.
- Kingery, v. D., bowen, h. K. And uhlmann, d. R. (1976) *introduction toceramics, john wiley and sons*.
- Nisah, k. (2018) 'Pembuatan plastik biodegradable dari polimer alam', *elkawnie*, 4(2). Doi: 10.22373/ekw.v4i2.2849.
- Purkuncoro, a. E., djiwo, s. And rahardjo, t. (2014) 'Pemanfaatan komposit hybrid sebagai produk panel pintu rumah serat bulu ayam (chicken feather) dan serat ijuk (arenga pinata) terhadap sifat mekanik dan sifat thermal komposit hybrid matrik polyester', *industri inovatif: jurnal teknik industri*, 4(vol 4 no 2 (2014): jurnal industri inovatif), pp. 20–24.
- S.m. Sze and ng, k. K. (1988) *Physics of semiconductor devices, wiley*.
- William d. Callister, j. And rethwisch, d. G. (2007) *Materials science and engineering, ohn wiley & sons, inc*. Doi: 10.1007/bf01184995.

BAB 9

APLIKASI ILMU MATERIAL

Oleh Karyadi

9.1 Pendahuluan

Sebelum membahas tentang pengaplikasian ilmu material perlu diketahui dulu apa itu dari ilmu material. Teknik material, juga dikenal sebagai Ilmu bahan adalah subdisiplin ilmu teknik yang menyelidiki sifat material dan bagaimana mereka dapat digunakan dalam berbagai bidang ilmu dan teknik. Ilmu ini juga menyelidiki hubungan antara sifat material dan strukturnya. Ilmu material membahas kombinasi bahan kimia yang berasal dari proses pertambangan dan diproses menjadi bahan mentah, yang kemudian diproduksi dan digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Suatu material adalah suatu zat yang dibuat dengan tujuan tertentu; ini biasanya adalah zat padat, tetapi juga dapat mencakup fase kondensasi lainnya. Bahan ada di semua tempat kita hidup, mulai dari rumah hingga pesawat ruang angkasa. Material biasanya diklasifikasikan menjadi dua jenis: kristal dan non-kristal.. Logam, semikonduktor, keramik, dan polimer adalah contoh material tradisional, sementara material baru dan canggih seperti nano, biomaterial, dan energi sedang dikembangkan. Sebelum aplikasi material itu digunakan dalam kehidupan sehari-hari maka perlu adanya pengujian-pengujian yang dapat meyakinkan bahwa material bisa digunakan. Pengujian sebuah material dibagi menjadi 2 yaitu:

1. Pengujian merusak
2. Pengujian tidak merusak

9.2 Pengujian Material

Supaya logamtersebut memiliki kekuatan dan karakteristik yang sesuai pada penggunaan maka perlu adanya suatu material paduan dilakukan pengujian. Pengujian yang akan di bahas pada buku ini adalah pengujian yang merusak.

1. Uji Tarik

Kekuatan tarik logam adalah kemampuan logam untuk menahan beban tarik statis dalam ruang tertentu. Pengujian kekuatan tarik biasanya melibatkan pembuatan benda uji dari logam yang diuji, tetapi pengujian dapat dilakukan secara menyeluruh jika alat uji memungkinkan. Dengan melakukan uji tarik, karakteristik mekanik yang dihasilkan oleh pembebanan tarik statis dapat ditentukan. yaitu tensile strength, yield strength, ductility, toughness, elastic limit, breaking strength, elastic modulus, fracture type, stress/strain curve.



Gambar 9.1. Mesin Uji Tarik

(Sumber : <https://www.machinesseeker.id/galdabini-quasar+50+kn/i-408650>)

Pengujian tarik ini menghasilkan persamaan yaitu kekuatan tarik, regangan dan modulus elastisitas(Jasman and Huda, 2019):

Tegangan Tarik

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

σ = tegangan tarik (N/mm²)

F = gaya (N)

A = luas penampang(mm²)

Regangan

$$\varepsilon = \frac{L_i - L_o}{100} \times 100\%$$

ε = Regangan

L_i = Panjang spesimen setelah pengujian (mm)

L_o = Panjang spesimen sebelum pengujian (mm)

Modulus elastisitas (E)

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

E = elastisitas (N/mm²)

σ = tegangan (N/mm²)

ε = Regangan

Dalam membuat spesimen maka spesimen tersebut memiliki standar yang digunakan dalam pengujian tarik, adapun salah satu standarnya adalah ASTM E8 baik spesimen bundar atau plat.

2. Uji Tekuk

Uji tekuk, juga disebut uji bending, adalah pemeriksaan kualitas logam yang dilakukan dengan mengukur mandrel atau pendorong yang memaksa bagian tengah spesimen uji tekuk di antara dua penyangga oleh jarak yang telah ditentukan. Salah satu tujuan pengujian bending adalah untuk mengamati dorongan kembali, peristiwa atau reaksi yang terjadi saat logam ditekuk.



Gambar 9.2. Mesin Uji Bending
(Sumber : <https://testingindonesia.co.id/10-pengujian-menggunakan-alat-universal-testing-machine/>)

Kekuatan lentur dan kekuatan lengkung logam ditentukan dalam uji ini. Kekuatan lentur adalah kemampuan logam untuk menahan beban tekan. Rumus berikut dapat digunakan untuk menghitung nilai tegangan lentur(Umar, Junaidy and Karim, 2019)(Bethony, 2022):

$$\sigma = 3FL/2Wh^2$$

$$E_b = (L \frac{3F}{4wh} 3\delta)$$

σ = tegangan lentur [N/mm²]

F = beban patah [N]

L = panjang jarak tumpuan [mm]

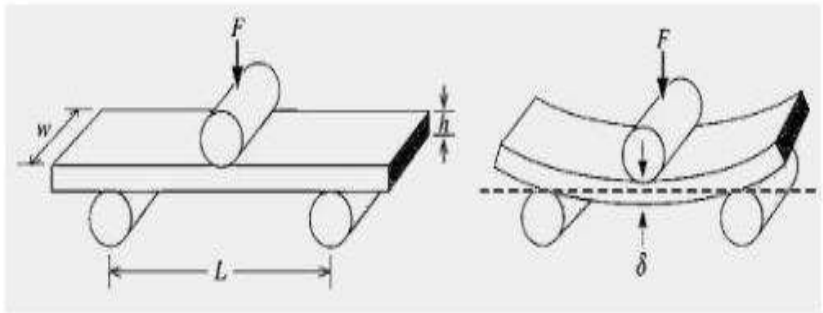
E_b = Modulus lentur [N mm]

w = lebar benda uji [mm]

h = tebal [mm] dan

δ = difleksi [mm]

Ilustrasi gambar dari persamaan diatas dapat dilihat pada Gambar 9.3.



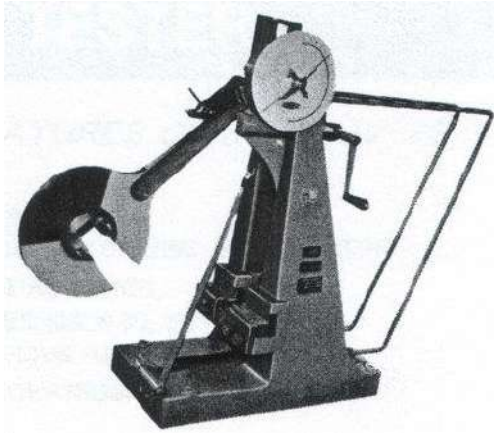
Gambar 9.3. Skema Uji Tekuk

(Sumber : <https://slideplayer.com/slide/6644864/>)

Dengan melihat pada uji tekuk maka dari sini dapat disimpulkan bahwa bukaan material yang di beri beban tekuk akan berpengaruh pada karakteristik material yang diuji, material yang diuji memiliki standar yang sesuai yaitu seperti ISO 7438, ASTM A370, ISO 849.

3. Uji Ketangguhan(Impact Test)

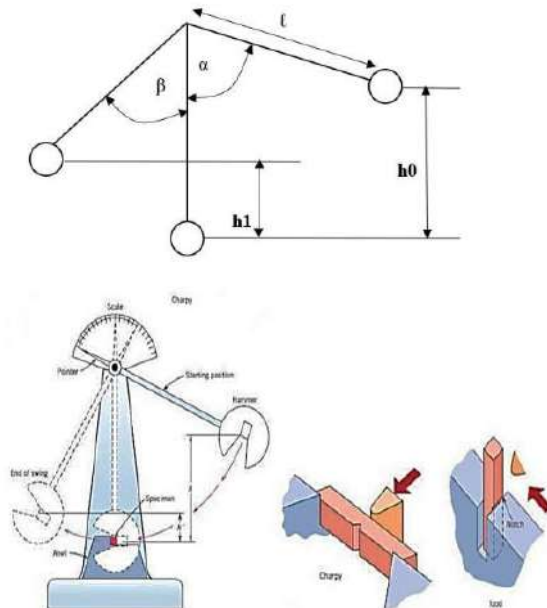
Salah satu pengujian merusak (DT) yang digunakan untuk mengukur ketangguhan (toughness), kerapuhan (brittleness), keliatan (ductility), dan temperatur transisi adalah pengujian ketangguhan logam. Ketika logam terbuat dari logam yang ulet, kerusakan pada struktur yang menunjukkan pola patah getas adalah salah satu jenis kegagalan logam. Beberapa faktor yang meningkatkan kemungkinan logam pecah termasuk tegangan triaxial, suhu yang rendah, dan laju regangan/pembebanan yang tinggi.



Gambar 9.4. Mesin Impact Test

(Sumber : <https://www.dictio.id/t/pengujian-impact-pada-material/146837>)

Dari gambar 9.4 maka skematik dari perhitungan uji impact dapat dilihat pada Gambar 9.5.



Gambar 9.5. pengujian impact

(Sumber : <https://www.detch.co.id/impact-test/>)

Dari skema yang ada pada Gambar 9.5 maka ilustrasi tersebut memberikan sebuah persamaan sebagai berikut:

$$\Delta E = W l (\cos \beta - \cos \alpha)$$

$$E_0 = W.h_0$$

$$E_1 = W.h_1$$

$$\Delta E = E_0 - E_1$$

$$= W (h_0 - h_1)$$

$$h_0 = l - l \cos \alpha$$

$$= l (1 - \cos \alpha)$$

$$h_1 = l - l \cos \beta$$

$$= l (1 - \cos \beta)$$

Dari persamaan diatas maka keterangan dapat dilihat sebagai berikut:

E_0 = Energi awal (J)

E_1 = Energi akhir (J)

W = Berat bandul (N)

h_0 = Ketinggian bandul sebelum dilepas (m)

h_1 = Ketinggian bandul setelah dilepas (m)

l = Panjang lengan bandul (m)

α = Sudut awal ($^\circ$)

β = Sudut akhir ($^\circ$)

Spesimen uji impact juga memiliki standar yang telah ditetapkan misalnya standar ASTM E23 Uji benturan batang berlekuk, Charpy & Izod (Siddiq *et al.*, 2021).

4. Uji Kekerasan (*Hardness Test*)

Uji kekerasan adalah ujian merusak (DT) selanjutnya yang mengevaluasi kemampuan logam untuk menahan deformasi permukaan. Uji ini dilakukan pada logam yang terkena gesekan dan keausan saat digunakan. Pengujian logam dilakukan dengan menggoresnya menggunakan skala Mohs atau dengan menekan indenter ke permukaannya menggunakan metode Brinell, Vickers, atau Rockwell. Logam keras akan lebih sulit untuk digores atau diindentasi. Pengujian dapat dilakukan di laboratorium dengan sampel logam atau di lokasi dengan alat uji kekerasan.



Gambar 9.6. Mesin Hardness Test

(Sumber : <https://www.lfc.co.id/blog/detail/hardness-tester>)

Untuk perbedaan antara ke 3 pengujian harness test dapat dilihat pada Tabel 9.1.

Tabel 9.1. Tabel pengujian kekerasan

Test	Indenter	Shape of indentation		Load	Formula
		Side View	Top View		
Brinell	10 mm sphere of steel			P	$HB = \frac{2P}{\pi D [D - \sqrt{D^2 - d^2}]}$
Vickers	Diamond pyramid			P	$HV = 1.854 P / d^2$
Rockwell	{ Diamond cone $\frac{1}{8}, \frac{1}{16}, \frac{1}{32}$ in. diameter steel spheres	 	 	60 kg } Rockwell 100 kg } 150 kg } 15 kg } Superficial Rockwell 30 kg } 45 kg }	

Sumber: <https://www.google.ru/search?q=gambarpengujiankekerasanhardnesstest/>

Dari pengujian-pengujian yang telah dijelaskan pada sub bab sebelumnya maka dapat disimpulkan bahwa pengujian tersebut dapat menghasilkan keluaran berupa kekuatan mekanik yang menjadi landasan awal untuk membuat sebuah produk, dengan adanya pengujian tersebut aplikasi penerapan ilmu material teknik

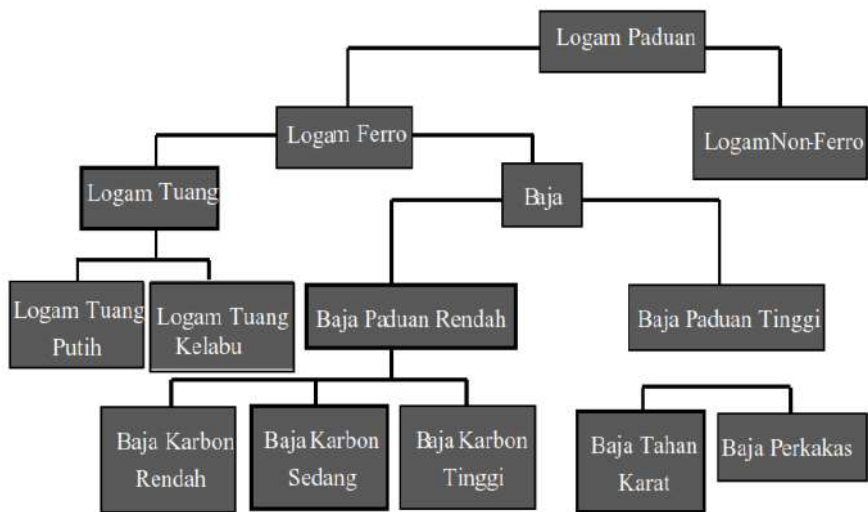
dapat diimplementasikan dalam membuat beberapa jenis produk yang menerima sifat mekanik yang besar maupun yang kecil. material-material yang digunakan baik logam maupun plastik harus diuji kekuatan mekanik untuk menilai seberapa besar kekuatan material tersebut.

9.3 Jenis Logam

Logam memiliki banyak jenis dan umumnya keras, tak tembus cahaya, berkilau, dan memiliki konduktivitas listrik dan termal yang baik.

9.3.1 Logam Besi

Logam ferro adalah 4% dari kerak bumi dan dianggap sebagai elemen (mineral) yang terbentuk secara alami. Ini adalah paduan yang terdiri dari campuran unsur karbon dengan besi dan dicampur dengan berbagai macam logam lainnya untuk menghasilkan logam paduan dengan dua sifat yang berbeda: karbon dan besi. Besi adalah logam yang biasanya digunakan dalam bidang teknik untuk membuat struktur, pipa, alat pabrik, dan lainnya.



Gambar 9.7. Klasifikasi logam

1. Logam Tuang

Cast Iron, atau logam tuang, sangat keras tetapi getas, dan sulit ditempa tetapi mudah dituang. Beberapa jenis logam tuang dibedakan berdasarkan warna pada bidang pecahan dan jenis strukturnya. Titik lebur logam tuang berkisar antara 1135° dan 1150°C , dan dipengaruhi oleh unsur C, Si, dan P, terutama Si.



Gambar 9.8. Logam Tuang

(Sumber : <https://mannabesi.com/besi-tuang/>)

2. Baja (*Steel*)

Selain logam tuang, baja terbuat dari paduan logam. Sangat banyak digunakan untuk kebutuhan manufaktur, pembangunan, teknik sipil, dan permesinan. Logam tuang memiliki kandungan karbon kurang dari 0,8% dari baja. Baja bervariasi dalam kekuatan, kekerasan, keuletan, kemampuan las, kemampuan bentuk, kemampuan tempa, dan ketahanan korosi dan aus. Proses pembuatan, kadar komposisi kimia, unsur pepadu, dan perawatan yang digunakan memengaruhi variasi ini.

9.3.2 Logam non fero

Setelah logam-baja, logam non-fero digunakan secara luas sebagai logam teknik. Logam-logam ini tidak magnetis, dan termasuk dalam kelompok ini:

1. Aluminium
2. Tembaga
3. Titanium
4. Nikel
5. Magnesium

9.4 Jenis Plastik

Dengan menambah polimer atau dengan kondensasi organik, plastik dapat diubah menjadi film atau serat sintetik. Plastik dapat digunakan untuk berbagai tujuan, seperti menahan panas, keras, dan tahan lama. Karena mudah digunakan, komposisi yang umum, dan beratnya yang ringan, plastik banyak digunakan di hampir semua bidang industri di seluruh dunia. Berbagai jenis logam dan plastik digunakan. Adapun jenis plastik sebagai berikut:

1. Plastik teknik adalah jenis plastik yang tahan panas dengan suhu operasi lebih dari 100 derajat Celcius dan karakteristik mekanik yang baik. penggunaan di komponen elektronik dan otomotif.
2. Plastik komoditas adalah plastik dengan sifat mekanik yang buruk dan tidak tahan panas. Bisa digunakan pada elektronik, pembungkus makanan, dan botol minuman.
3. Plastik teknik khusus adalah plastik yang memiliki suhu operasi di atas 150 °C dan memiliki kekuatan tarik di atas 500 Kgf/cm².

9.5 Aplikasi Ilmu Material

Setelah mengetahui kandungan material baja dan plastik dan juga mengetahui bagaimana menerapkan ilmu material teknik sehingga mengetahui sifat-sifat mekanik pada material maka implementasi ilmu material tersebut dapat diterapkan dalam proses Manufacturing. hasil Manufacturing dapat digunakan oleh masyarakat sesuai dengan kebutuhan. Dari dua material yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya maka proses Manufacturing material baja dan material plastik sangat berbeda. perbedaan itu dapat dilihat dari proses seperti proses belajar yang ditempah namun proses plastik yang dilakukan molding injection. Salah satu contoh penerapan ilmu material teknik pada proses pembuatan

batang hollow material baja carbon. Dan pada plastik proses pembuatan botol menggunakan metode molding injection.

9.5.1 Pembuatan Besi

Aplikasi dalam ilmu material teknik bermula dengan proses pengolahan sebuah biji besi yang dilakukan pada proses penambangan dinamakan *Physical metallurgy etraction*, metode yang digunakan di alam untuk mengekstraksi logam yang berasal dari tambang mineral, seperti melalui proses pemurnian mineral, pemisahan, proses kimiawi, dan ekstraksi logam murni dari paduannya. Kajian pengambilan logam berbeda dan berbeda tergantung pada jenis logam yang ditemukan di alam. Selanjutnya, proses peleburan bijih dilakukan. Ini adalah proses sintering di mana bijih logam murni (Fe_2O_3) dicampur dengan CaCO_3 dan batu bara (coal atau limestone). Kemudian campuran ini dimasukkan ke dalam pemanas berputar dan kemudian ke dalam pendingin berputar, di mana logam spon terpisah dari kapur dan kokas melalui separator magnet. Logam spon, atau sponge iron, adalah produk sintering. Setelah itu, logam spon dimasukkan ke dalam tanur yang tinggi, juga dikenal sebagai blast furnace, Dengan menggunakan skip car, jarak tujuh meter dapat dicapai karena tanur memiliki diameter 30-35 meter dan tinggi 30-35 meter. Karena hembusan panas dari udara di bagian bawah tanur, suhunya mencapai 1650 derajat Celcius. Kokas dan panas menghasilkan gas karbon dioksida, yang mengurangi logam dalam cairan. Logam kasar dibersihkan dengan memasukkan batu, logam bekas atau sisa, dan 75% logam kasar (juga disebut pig iron) ke dalam dapur oksigen basa dasar (BOF) atau dapur busur aliran listrik (EAF). kapur dan menambahkan oksigen ke logam cair di dapur, menyebabkan reaksi yang menghasilkan kadar karbon dan karbon monoksida dalam logam cair. Logam kasar atau sponge besi dimasukkan secara bertahap ke dalam tungku dengan dicampur dengan oksigen dan kapur untuk pemurnian EAF. Di bagian bawah dan bagian atas tungku, katoda dan anoda dipasang. Elektroda katoda mengalami panas di dekat permukaan logam selama aliran listrik melalui katoda dan anoda. Panas dapat menyebabkan logam melebur. Aliran oksigen akan mengurangi kadar karbon logam cair. Ketika batu kapur

ditambahkan, kotoran seperti sulfur, fosfor, silikon, dan alumunium akan terak. Oleh karena itu, baja disebut sebagai produk yang dihasilkan menjadi lebih murni. Uji mekanik harus dilakukan pada baja yang telah dibuat; sampel harus diuji baik dalam uji merusak maupun tak merusak. Jika hasilnya baik, proses tempah dilakukan untuk membuat bentuk material.

9.5.2 Pengolahan Material Plastik

Ada tahapan dalam proses pengolahan plastik mentah dimulai dengan proses polimerisasi, kondensasi, manufaktur, pengujian mekanik dan proses yang lainnya. Material plastik mentah, yang berfungsi sebagai bahan baku utama untuk produk plastik, biasanya dibuat melalui dua proses utama: kondensasi dan polimerisasi. Polimerisasi: Dalam proses polimerisasi, monomer, yang merupakan unit molekul kecil, diubah menjadi polimer, yang merupakan rantai panjang molekul yang disusun. Ini dapat dilakukan dalam beberapa cara: a. Memilih monomer: Monomer plastik yang tepat dipilih berdasarkan karakteristik dan tujuan akhir dari plastik yang akan dibuat. b. Inisiasi: Proses ini dimulai dengan reaksi polimerisasi. Jenis polimer yang diproduksi dapat memulai reaksi ini dengan menggunakan inisiator seperti panas, tekanan, atau bahan kimia tertentu. c. Pertumbuhan Rantai: Monomer yang diinisiasi mulai bereaksi satu sama lain, membentuk rantai polimer yang panjang. d. Terminasi: Proses polimerisasi berakhir ketika semua monomer digunakan atau ketika reaksi berakhir, yang menghentikan pertumbuhan rantai polimer. Kondensasi: Dalam proses kondensasi, dua molekul kecil (biasanya dua jenis monomer) bergabung untuk membentuk molekul yang lebih besar, dan molekul kecil seperti air atau alkohol dilepaskan. Langkah-langkahnya adalah sebagai berikut: a. Pemilihan Monomer: Seperti dalam polimerisasi, monomer yang tepat dipilih berdasarkan sifat dan tujuan plastik yang akan dibuat. b. Reaksi Kondensasi: Dua monomer berbeda bereaksi satu sama lain dengan pelepasan molekul kecil, seperti air atau alkohol, membentuk ikatan antara mereka dan membentuk rantai polimer. c. Pertumbuhan Rantai: Proses ini berlanjut hingga semua monomer telah digunakan atau

hingga terjadi terminasi rantai. Setelah mengolah plastik mentah maka dilakukan proses manufakturing yaitu :

1. Injeksi Molding adalah bijih plastik (pellet) yang dilelehkan dengan sekrup di dalam tabung berpemanas dan diinjeksikan ke dalam cetakan.
2. Ekstrusi adalah ketika bijih plastik (pellet) dilelehkan oleh sekrup di dalam tabung yang berpemanas secara kontinu. Ini ditekan melalui lubang, menghasilkan penampang yang kontinu.
3. Thermoforming adalah penerapan lembaran plastik yang dipanaskan ke dalam suatu cetakan.
4. Tiupan molding, dibuat dari biji plastik (pellet) yang dilelehkan oleh sekrup di dalam tabung yang berpemanas yang diekstrusi secara terus menerus, dan kemudian ditiup di dalam cetakan.

Setelah proses manufakturing maka pengujia merusak dan tak merusak perlu dilakukan untuk melihat seberapa besar kekuatan yang dapat diterima oleh material plastik tersebut.

Dua contoh penerapan ilmu material teknik pada material baja dan material plastik menjadi salah satu contoh dalam implementasi ilmu material teknik. Sama halnya dengan implementasi jenis material yang lain sehingga karakteristik dari material tersebut dapat diakui dengan penerapan ilmu-ilmu yang telah dijelaskan pada sebelumnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Bethony, F.R. (2022) *Metalurgi Fisik (Physical Metallurgy)*. Available at:http://repository.ukitoraja.ac.id/723/1/BUKU_AJAR_METALURGI_FISIKA_Frans_R._Bethony%5B1%5D.pdf.
- Jasman and Huda, N. (2019) 'Pengaruh Kuat Arus terhadap Uji Tarik Baja Karbon Rendah Menggunakan Metal Inert Gas (MIG)', *Ranah Research*, 2(1), pp. 219–229.
- Siddiq, M. *et al.* (2021) 'Analisa Pengaruh Kampuh Pengelasan Smaw Pada Penyambungan Baja Karbon Rendah Dan Karbon Sedang Terhadap Uji Ketangguhan', *Jurnal Mesin Sains Terapan*, 5(1), p. 31. doi:10.30811/jmst.v5i1.2141.
- Umar, K., Junaidy, I. and Karim, A. (2019) 'Effect of Fiber Surface Treatment on Mechanical Properties of Jute Fiber Reinforced Composites With Yukalac157-Catalys Resin', *Prosiding SNTTM XVIII*, pp. 9–10.

BIODATA PENULIS



Dr. Jan Setiawan, S.Si., M.Si.

Dosen Program Studi Teknik Elektro Universitas Pamulang
Periset Badan Riset dan Inovasi Nasional

Penulis lahir di Jakarta pada tahun 1980. Saat ini penulis adalah staf Peneliti Ahli Madya pada Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN). Penulis melaksanakan studi S1 di prodi Fisika Institut Pertanian Bogor pada tahun 1998 dan menyelesaikannya pada tahun 2003. Penulis melanjutkan studi S2 di prodi Ilmu Bahan-bahan Universitas Indonesia pada tahun 2008 dan menyelesaikannya pada tahun 2010. Pada tahun 2012, Penulis berkesempatan melanjutkan studi S3 di prodi Ilmu Bahan-bahan Universitas Indonesia dan menyelesaikannya pada tahun 2015. Penulis mengembangkan kepakaran peneliti dibidang teknik material. Selain berkarir sebagai peneliti Penulis juga aktif menjadi pengajar pada Program Studi Teknik Elektro - Universitas Pamulang. Selain meneliti penulis mendalami pengelolaan jurnal semenjak tahun 2006 yang dimulai dari Buletin Daur Bahan Bakar Nuklir Urania. Saat ini Penulis juga aktif menjadi editor untuk jurnal ilmiah nasional dan mitra bestari untuk jurnal ilmiah baik nasional maupun internasional. Penulis berkecimpung dalam penulisan buku untuk bidang MIPA dan keteknikan semenjak tahun 2020. Email Penulis: jansetiawan.lecturer@gmail.com.

BIODATA PENULIS



Dr. Muh. Setiawan Sukardin, ST., MT.

Dosen Program Studi Teknik Manufaktur Industri Agro
Politeknik ATI Makassar

Muh. Setiawan Sukardin lahir di Makassar, pada 28 Mei 1976. Dosen Program Studi Teknik Manufaktur Industri Agro Politeknik ATI Makassar Kementerian Perindustrian sejak tahun 2001. Pendidikan S1, S2, S3 di Teknik Mesin Universitas Hasanuddin. Ketua Komite Skema Sertifikasi Kompetensi Lembaga Sertifikasi Profesi Teknik Industri Politeknik ATI Makassar (2013-sekarang). Asesor Kompetensi BNSP (2013-sekarang). Ketua Asosiasi Pengelasan Indonesia API-IWS Sulawesi Selatan (2016-sekarang), Asesor BKD (2022-sekarang). email : setiawan_mkz@yahoo.co.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



Enni Sulfiana ST.,MT

Dosen Program Studi Teknik Manufaktur Industri Agro Politeknik
ATI Makasar

Penulis lahir di Wajo tanggal 03 April 1988. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Manufaktur Industri Agro Politeknik ATI Makassar. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Mesin dan melanjutkan S2 pada Jurusan Teknik Mesin di Universitas Hasanuddin. Penulis menekuni bidang Menulis. Penulis adalah asesor kompetensi BNSP di LSP Politeknik ATI Makassar dan Auditor AMI Politeknik ATI Makassar. Penulis juga sebagai asesor TVET 4.0 di Politeknik ATI Makassar. Saat ini penulis menjabat sebagai Kepala Laboratorium Pengujian Material di Jurusan Teknik Manufaktur Industri Agro Politeknik ATI Makassar.

BIODATA PENULIS



Suhdi, SST., M.T., Ph.D

Dosen Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Sain dan Teknik Universitas Bangka Belitung

Penulis lahir di Manggar pada tanggal 08 Maret 1973, yaitu sebuah daerah di pulau Belitung yang dikenal dengan sebutan “Laskar Pelangi”. Pada saat ini Penulis sebagai Dosen di Program Studi Teknik Mesin di Fakultas Sain dan Teknik Universitas Bangka Belitung (UBB) dengan tugas tambahan sebagai Ka. Laboratorium Teknik Mesin. Riwayat pendidikan penulis diantaranya Taman Kanak-Kanak “Melati” UPT.Bel Wilasi Lenggang (1979-1980), kemudian SDN I Gantung (1980-1986), menempuh sekolah menengah pertama di SMPN I Gantung (1986-1989), selanjutnya menempuh pendidikan di SMAN I Manggar, Belitung Timur (1989-1992). Penulis selanjutnya menempuh pendidikan tinggi pada program Diploma III Kerja Mesin di Politeknik Mekanik Swiss-ITB (Polman Bandung) (1997), kemudian Diploma IV pada program Rekayasa Manufaktur di Polman Bandung (2001), dan selanjutnya menyelesaikan pendidikan S2 Teknik Mesin di ITB (2009) dan pendidikan program S3 di bidang *Mechanical Engineering* di *Southern Taiwan University of Science and Technology* pada tahun 2022.

Beberapa pengalaman pekerjaan yang pernah jabat oleh penulis antara lain, sebagai dosen di Politeknik Manufaktur Timah Bangka (1997-2006), direktur SPMU-TPSDP – ADB (*Sub Project Manajemen Unit-Tehcnical Project Support Development Program-*

Asian Development Bank) di Polman Timah, sebagai Kepala Jaminan Mutu Pendidikan di Polman Timah (2005-2006), Kepala Lembaga Penjaminan Mutu Pendidikan di UBB (2006-2007), sebagai bagai Dekan pada Fakultas Teknik-UBB (2011-2014) dan sebagai Wakil Rektor III bidang Perencanaan, Pengembangan dan Kerja Sama di Universitas Bangka Belitung (2014-2016).

BIODATA PENULIS



Ar.Andiyan, S.T.,M.T.,IAI.

Dosen Program Studi Arsitektur
Fakultas Sains dan Teknik Universitas Faletahan

Lahir di Bandung 35 tahun yang lalu. S1 Teknik Arsitektur dilanjutkan S2 Magister Teknik Sipil Pendidikan ini menekuni bidang ilmu Arsitektur pada Sub bidang Desain Arsitektur, Teknologi Bangunan, *Green Architecture*, *Urban Design*, Manajemen Konstruksi. Dosen dan Kaprodi di Prodi Arsitektur FST Universitas Faletahan, ia juga tengah berkiprah sebagai praktisi di bidang Konsultan Arsitektur dan *Engineering* tahun 2006 sekaligus CEO/Founder PT.Fyra Karya Abadi sebagai Direktur Utaman, Serta aktif di organisasi profesi Ikatan Arsitek Indonesia (IAI) berlisensi STRA Madya serta sebagai Wakil III ATAKI Jawa Barat, Wakil ketua III INTAKINDO Jawa barat. Menjadi *Chief Editor* pada Jurnal Arsitektur *Archicentre* serta Editor Jurnal Internasional, Reviewer Jurnal Internasional Bereputasi Q1-Q4 Publisher *Elsevier*, *Springer Nature*, *Taylor and Francis & Hindawi*, 5 *Associate Editor*, 1 Jurnal Manager, 13 Editor Jurnal, 31 Reviewer Jurnal masing-masing ada yang terakreditasi Sinta 3, 4 dan 5 dan Nasional tidak terakreditasi serta aktif menulis buku dan Bersertifikat Penulis dan Editor BNSP pada genre buku Teknik khususnya arsitektur, mulai referensi, bookchapter, dan buku populer lainnya. Andiyan dapat dihubungi melalui e-mail: andiyanarch@gmail.com || IG: @andiyanarch

BIODATA PENULIS



Shanti Kumbarasari, S.T., M.T.

Dosen Program Studi Mesin Industri
Politeknik Industri ATMI

Penulis lahir di Blora tanggal 26 Mei 1979. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Mesin Industri Politeknik Industri ATMI. Menyelesaikan pendidikan S1 Universitas Sanata Dharma Yogyakarta pada Jurusan Teknik Mesin dan melanjutkan S2 Universitas Pancasila pada Jurusan Magister Teknik Manufaktur . Telah menulis buku bersama mengenai

1. Evaluating online Learning Challenges and Strategies,
Novateur Publication
ISBN :978-93-90753-23-9.
2. Elemen Mesin Untuk Teknik Industri
Penerbit Get Press Indonesia
ISBN: 978-623-198-921-5
3. Mekanika Bahan Dalam Teknik Mesin
Penerbit Get Press Indonesia
ISBN: 978-623-125-025-4

BIODATA PENULIS



Dr. Fitri Puspasari, S.Si., M.Sc

Dosen Program Studi Teknologi Rekayasa Elektro
Sekolah Vokasi Universitas Gadjah Mada

Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknologi Rekayasa Elektro Sekolah Vokasi, Universitas Gadjah Mada. Penulis lahir di Sragen tanggal 04 Maret 1991 dan telah menyelesaikan pendidikan doktor Fisika di FMIPA UGM pada tahun 2024. Ia aktif terlibat dalam berbagai proyek penelitian yang bertujuan untuk mengembangkan teknologi baru dan meningkatkan aplikasi rekayasa elektro dan fisika instrumentasi dalam berbagai bidang.

BIODATA PENULIS



Karyadi, S.T., M.T.

Dosen Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Buana Perjuangan Karawang

Penulis lahir di Karawang 09 Februari 1990 Provinsi Jawa Barat. Penulis merupakan dosen tetap Universitas Buana Perjuangan Karawang Prodi Teknik Mesin Fakultas Teknik. Penulis menyelesaikan S1 pada Program Studi Teknik Mesin DI Universitas Singaperbangsa Karawang dan Melanjutkan S2 Magister Teknik Mesin Universitas Pancasila Jakarta dengan keahlian Bidang proses Pproduksi Manufaktur.