



MATERIAL UNTUK TEKNIK



Melya Dyanasari Sebayang S.Si, MT

MATERIAL UNTUK TEKNIK

Penulis:

Melya Dyanasari Sebayang S.Si., M.T.



UKI PRESS

Pusat Penerbitan dan Pencetakan

Buku Perguruan Tinggi

Universitas Kristen Indonesia

Jakarta

2026

MATERIAL UNTUK TEKNIK

Penulis:

Melya Dyanasari Sebayang, S.Si., M.T.

Editor:

Prof. Dr. -Ing. Ir. Uras Siahaan, M.Sc.

Desain Sampul Buku & Tata Letak:

Matthew Jotham Katuuk, Amd.Kom.

Nesy Luchyani Sinaga, S.E.

ISBN: 978-634-7589-68-2

Penerbit: UKI Press

Anggota APPTI

Anggota IKAPI

Redaksi: Jl. Mayjen Sutoyo No.2 Cawang Jakarta – 13630

Telp. (021) 8092425

Cetakan I Jakarta: UKI Press, 2026

Hak cipta dilindungi undang-undang.

Dilarang mengutip atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis ucapkan kepada Tuhan yang telah memberi rahmatNya sehingga penyusun dapat menyelesaikan buku “**Material Untuk Teknik**”. Buku ini bisa digunakan pembaca umum yang mengambil mempelajari tentang konsentrasi Material Manufaktur seperti Material Teknik, Pemilihan Bahan.

Buku Material Untuk Teknik ini mempunyai capaian pembelajaran agar pembaca dapat memahami pengertian Material maufaktur dan jenis-jenis material seperti Logam dan Non Logam, Polimer, keramik dan komposit. Pencapaian akhir yang diharapkan dari buku ini menjadi dasar dalam memilih material dalam pengembangan teknik. Penulis berharap semoga buku ini bermanfaat dan segala kritik serta saran untuk kemajuan dan perbaikan penulis menerimanya dengan besar hati.

Demikianlah buku ini ditulis dan penulis menyadari bahwa tanpa adanya bantuan dan kerjasama berbagai pihak, maka penyusunan buku ini akan terhambat tulis tidak akan terwujud tanpa bantuan orang-orang sekitar saya sehingga saya mengucapkan banyak terimakasih kepada, Suami penulis Jona Sitepu SE, MM dan anak penulis serta keluarga besar yang selalu mendukung penulis membuat buku ini. Review dan para editing tulisan penulis. Terima kasih.

Penulis

Melya Dyanasari Sebayang, S.Si., M.T.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	ii
BAB I MATERIAL MANUFAKTUR.....	1
1.1. Pendahuluan	1
BAB II LOGAM DAN NON-LOGAM	5
2.1. Pendahuluan	5
2.2. Logam	9
2.3. Non-Logam	17
2.4. Kesimpulan.....	22
2.5. Daftar Pustaka	23
BAB III POLIMER.....	25
3.1. Pengertian Polimer.....	25
3.2. Sifat-Sifat Polimer	27
3.3. Polimer Alam.....	31
3.4. Polimer buatan.....	41
3.5. Kesimpulan.....	53
3.6. Daftar Pustaka	54
BAB IV KERAMIK	56
4.1. Pengertian Keramik	56
4.2. Sejarah Keramik	58

4.3.	Komposisi Keramik	60
4.4.	Karakteristik Keramik.....	61
4.5.	Fungsi Keramik	72
4.6.	Keramik Baru	72
4.7.	Teknik Pemrosesan Keramik.....	74
4.8.	Struktur Bentuk Mikro Keramik.....	76
4.9.	Aplikasi Keramik.....	78
BAB V	KOMPOSIT	80
5.2.	Faktor Karakteristik Dan Sifat Komposit	83
5.3.	Material Penyusun Komposit	84
5.4.	Klasifikasi Material Komposit (<i>Composite</i>)	87
5.5.	Klasifikasi Struktur Komposit	99
5.6.	Contoh proses pada komposit.....	104
5.7.	Daftar Pustaka	107

BAB I

MATERIAL MANUFAKTUR

1.1. Pendahuluan

Material selalu menjadi tonggak dari sejarah peradaban manusia sejak zaman batu, zaman perunggu, dan zaman besi. Saat ini, material pun memainkan peranan yang sangat penting dalam perkembangan teknologi. Dalam bidang apa pun, seorang insinyur (*engineer*) tidak dapat membuat barang baru tanpa memperhitungkan sifat material yang akan digunakan. Pada umumnya, kemampuan mesin atau suatu struktur akan bergantung pada sifat material yang menyusunnya. Material pada dasarnya adalah sesuatu yang ada di mana saja, kapan saja, dan dalam keadaan apa saja. Jenis material padat berdasarkan pada susunan atom dan kimiawi secara konvensional terdiri dari tiga jenis yaitu logam, polimer, dan keramik namun terdapat juga jenis material dari penggabungan material konvensional seperti komposit, semikonduktor, dan biomaterial.

Material logam tersusun dari atom-atom logam saling berikatan dalam bentuk ikatan logam dan merupakan unsur terbanyak di dalam tabel periodik seperti pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1. Material logam

Elektron valensi bebas ikatan logam bergerak sehingga memiliki konduktivitas listrik dan termal yang baik dan tidak tembus cahaya. Logam memiliki kekuatan yang cukup tinggi dan hampir ulet dengan dideformasi atau diubah bentuk seperti besi, baja, aluminium, tembaga, emas, perak.

Material polimer tersusun dari unsur dasar berupa karbon, oksigen, dan hydrogen tersusun dalam bentuk rantai sehingga memiliki ukuran molekul yang besar seperti pada Gambar 1.2.



Gambar 1.2. Sebagian jenis polimer

Atom-atom pada rantai polimer saling berikatan secara kovalen dan ikatan antar rantai adalah ikatan van der Waals. Pada umumnya polimer umumnya ringan dengan memiliki massa jenis yang rendah dan sangat fleksibel atau mudah diubah bentuk.

Material keramik adalah senyawa antara unsur logam dan nonlogam berikatan kovalen atau ionik. Pada umumnya material keramik berbentuk senyawa oksida (Al_2O_3 , ZnO_2 , MgO , dan lain-lain), nitrida (AlN , TiN , dan lain-lain), karbida (SiC , WC , dan lain-lain). Contoh keramik adalah gelas atau kaca, semen, dan keramik yang terbuat dari lempung karena umumnya bersifat tahan terhadap temperatur tinggi, isolator listrik dan panas serta keras, namun getas.

Material komposit merupakan gabungan lebih dari satu macam material seperti *fiberglass* yang terdiri atas serat gelas seperti keramik sebagai penguat pada material polimer. Komposit *fiberglass* didesain untuk memperoleh efek sinergis dari sifat-sifat material penyusunnya supaya memiliki kekuatan yang cukup tinggi dari kontribusi dari material gelas, namun memiliki fleksibilitas yang cukup baik dari kontribusi dari material polimer.

Semikonduktor memiliki sifat penghantar listrik antara konduktor dan isolator sehingga sifat penghantar listriknya sangat sensitif terhadap adanya atom pengotor, walau hadir dalam jumlah kecil sekali pun dan dikontrol dalam daerah yang sangat kecil. Material semikonduktor memberikan terobosan yang besar pada sirkuit terintegrasi atau *integrated circuit* dan sering dikenal dengan IC dengan menghadirkan perubahan revolusioner pada berbagai perangkat elektronik dan komputer pada dua dekade terakhir ini. Contoh

semikonduktor adalah ukuran telepon selular kini semakin ramping dengan kapabilitas yang semakin canggih.

Biomaterial mencakup material pengganti bagian tubuh yang rusak atau sakit yang dicangkokkan maupun ditanamkan atau *implant* ke dalam tubuh manusia. Material ini tidak boleh menghasilkan unsur yang beracun ketika bereaksi dalam cairan tubuh serta harus kompatibel dengan jaringan tubuh. Semua material seperti logam, polimer, keramik, komposit, atau semikonduktor dapat dipakai sebagai biomaterial seperti baja tahan karat yang dilapis dengan titanium merupakan salah contoh biomaterial yang dimanfaatkan sebagai bahan tulang pinggul buatan sehingga reaksi biologis yang buruk tidak boleh terjadi pada penggunaan biomaterial.

BAB II

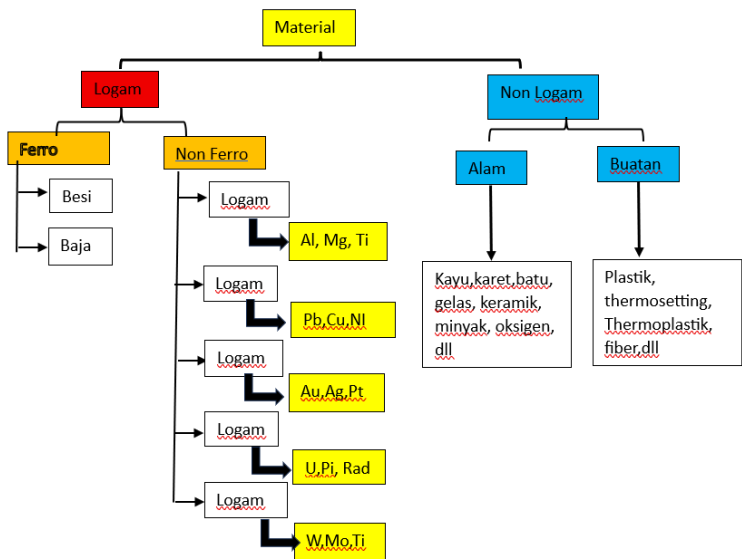
LOGAM DAN NON-LOGAM

2.1. Pendahuluan

Ilmu logam merupakan ilmu yang mempelajari tentang logam ferro atau non-ferro. Material Teknik yang banyak dipelajari dan dikembangkan dalam pembuatan mesin atau alat-alat pemesinan lainnya dengan mengetahui unsur-unsur yang terkandung dalam logam tersebut. Logam umumnya berbentuk silvat dan berupa batuan yang mengandung biji besi. Logam merupakan paduan dari senyawa besi yang dihasilkan dari tambang atau alam dan oksigen. Material kelompok logam dan bukan logam diidentifikasi seperti pada Gambar 2.1 dan ada kelompok lain yang dikenal dengan nama metaloid yang sifatnya menyerupai logam yang sebenarnya termasuk bahan bukan logam. Logam merupakan unsur kimia yang pada umumnya mempunyai titik cair tinggi dan yang mempunyai sifat keras, mengkilap kuat, liat, penghantar panas dan penghantar listrik. Logam dibagi menjadi 2 (dua) kelompok yaitu logam ferro atau logam yang mengandung unsur besi dan logam non-ferro atau tidak mengandung unsur besi.

Logam pada umumnya terdapat di alam seperti tambang dalam bentuk biji-biji seperti batuan maupun mineral. Contoh besi murni sebagai bahan lunak sedangkan karbon atau zat arang sejenis non-logam merupakan bahan rapuh sehingga paduan besi dengan zat arang menjadi baja yang keras. Biji besi berupa batuan atau mineral masih terikat dengan unsur-unsur lainnya sebagai sulfida, oksida atau karbon sehingga logam dapat didefinisikan sebagai unsur kimia yang

mempunyai sifat kuat, ulet, keras juga sebagai penghantar baik listrik maupun panas. Pada umumnya biji besi mempunyai titik cair yang tinggi tetapi terlalu lunak dan rapuh sebagai bahan kerja konstruksi tapi pesawat jika menggunakan besi murni.



Gambar 2.1. Diagram material teknik

Penggunaan logam dalam bidang industri sangat banyak dalam pembuatan blok mesin kendaraan, perhiasan, cakar ayam atau material bangunan, bagian mesin industri dan kabel.

Logam mempunyai sifat-sifat seperti:

1. Sifat secara Fisika

Secara fisika logam memiliki Konduktivitas listrik, densitas, konduktivitas termal yang tinggi. Umumnya logam bersifat lentur dan liat, berubah bentuk dibawah

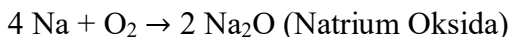
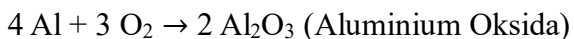
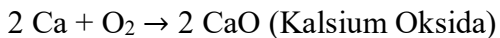
tekanan tanpa terbelah. Secara sifat optik logam mengkilat dan berkilau.

2. Sifat kelistrikkannya

Logam mudah melepaskan elektron terluar sehingga terdelokalisasi sehingga struktur atom logam bergerak bersamaan dengan elektron cepat sehingga konduktivitas termal dan listrik, kapasitas bahan dapat dihitung dari model elektron bebas tanpa memperhatikan struktur detail kisi ion.

3. Sifat secara kimia

Kecenderungan terbentuknya kation pada logam melalui kehilangan elektron bereaksi dengan oksigen diudara sehingga terbentuk oksida melalui beragam skala waktu seperti besi berkarat setelah bertahun-tahun. Contoh logam yang bereaksi secara kimia adalah



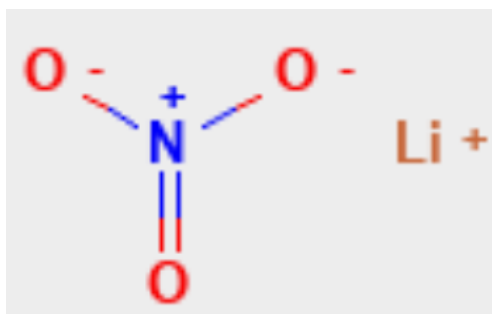
Tembaga, seng, nikel merupakan logam transisi yang melakukan oksidasi lebih lambat karena mereka membentuk lapisan pelindung bagian dalam logam lainnya seperti palladium, platina atau dikenal dengan lapisan pasivasi sedangkan emas tidak bereaksi sama sekali dengan atmosfer. Beberapa logam membentuk lapisan oksida penghalang pada permukaannya yang tidak dapat ditembus lebih jauh oleh molekul-molekul oksigen sehingga beberapa logam seperti aluminium, magnesium dan beberapa jenis baja dan titanium mempertahankan kilau dan konduktivitasnya selama beberapa decade. Oksida logam umumnya bersifat basa, sedangkan

nonlogam yang bersifat asam kecuali untuk oksida dengan tingkat oksida sangat tinggi.

Logam mempunyai klasifikasi berdasarkan golongannya dan unsur penyusunnya. Klasifikasi berdasarkan unsur penyusunnya seperti:

1. Ikatan logam antar unsur sejenis

Ikatan yang tidak dicampur dengan logam lainnya seperti unsur litium dengan unsur litium lainnya seperti pada Gambar 2.1.



Gambar 2.2. Ikatan sejenis pada lithium

2. Ikatan logam antar unsur berbeda jenis

Ikatan logam tak sejenis atau dikenal dengan alloy merupakan unsur yang bercampur atau dicampur dengan unsur lainnya. Alloy atau Paduan terbentuk jika leburan dua atau lebih macam logam dicampur atau leburan suatu logam dicampur dengan unsur-unsur non-logam yang campuran tersebut tidak saling bereaksi serta masih menunjukkan sifat sebagai logam setelah didinginkan.

Unsur paduan terdiri dari 2 jenis yaitu paduan substitusi dan paduan selitan. Paduan substitusi terbentuk apabila jari-jari unsur yang dipandukan lebih besar dari jari-jari atom logam, sedangkan paduan selitan memiliki jari-jari atom unsur sama atau lebih kecil dari jari-jari atom logam bila dipandukan.

Sedangkan berdasarkan golongannya logam dibagi menjadi:

1. Ikatan Logam pada unsur golongan utama

Ikatan logam ini relative lebih lemah dibandingkan dengan unsur golongan transisi seperti kristal besi lebih kuat dibandingkan dengan kristal logam magnesium.

2. Ikatan Logam pada unsur transisi

Logam transisi seperti Ag, Cu, Fe lebih banyak electron yang dapat terlibat dan cenderung memiliki titik didih dan titik leleh yang tinggi. Logam cenderung daya tarik semakin kuat karena logam ini melibatkan 3d dalam kondisi delokalisasi seperti elektron pada 4s.

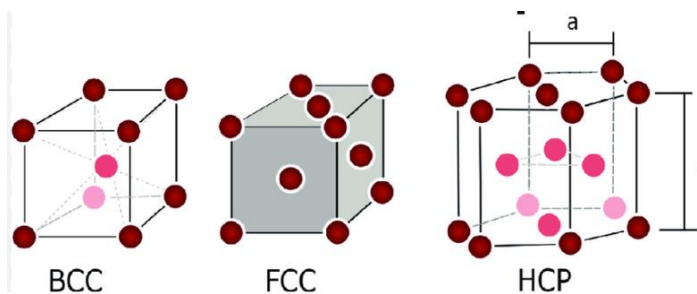
2.2. Logam

Logam dari jenisnya dapat dibagi menjadi logam murni dan logam paduan baik dari kadar kemurnian, kuat tarik, titik lebur, daya hantar dan daya tahan.

2.2.1. Logam Murni

Material logam murni atau metal merupakan material pada tabel periodik terdapat 91 unsur logam dari 118 unsur sisanya non-logam atau metaloid yang umumnya bersifat keras dan tidak tembus cahaya baik pada unsur atau paduan, berkilau dan memiliki konduktivitas termal serta listrik yang

baik. Logam murni mempunyai kadar kemurnian 99,9%, daya tahan terhadap karat baik, daya hantar listrik baik, titik lebur tinggi, kekuatan tarik rendah. Logam mudah ditekan atau ditempa secara permanen hingga berubah bentuk tanpa patah atau retak mudah dilelehkan atau *fusible*, ulet atau dapat ditarik sehingga membentuk kawat halus. Atom logam tersusun pada salahsatu struktur kristal seperti Hexagonal Close Park (HCP), Body Centered Cubic (BCC), Face Centered Cubic (FCC) seperti pada Gambar 2.3. Struktur kristal BCC masing-masing atom terletak dipusat kubus dan dikelilingi atom lainnya sedangkan pada FCC dan HCP masing-masing atom dikelilingi oleh 12 atom lainnya namun tersusun lapisan yang berbeda. Atom logam mudah kehilangan elektron valensinya atau elektron terluar menghasilkan elektron bebas yang mengalir pada sifat padatnya hal ini menyebabkan kemampuan zat logam menjadi mudah menghantarkan panas dan listrik.



Gambar 2.3. Struktur Kristal

Jenis logam dari asalnya dibagi 2 (dua) yaitu Logam Fero dan logam Non-Fero seperti:

2.2.1.1. Logam Fero

Logam fero atau logam besi (Fe) atau besi karbon atau baja karbon mempunyai bahan dasar atau mengandung

unsur besi (Fe) dan karbon (C) dan logam yang penting di bidang teknik. Besi murni terlalu lunak dan rapuh dalam bidang konstruksi sehingga besi selalu bercampur dengan unsur lain seperti arang atau karbon (C). Logam juga mengandung unsur lain seperti mangan, belerang, fosfat, silisium namun kadar yang relatif rendah dan mempengaruhi sifat besi dan baja namun pengaruh terbesar adalah unsur karbon (C) terhadap kekerasan dari baja atau baja. Besi dari penyusunannya dibagi menjadi 2 (dua) yaitu besi murni dan besi teknik. Perolehan besi murni bersimbol Fe hanya dapat diperoleh dengan reaksi kimia, sedangkan besi teknik sudah bercampur dengan unsur lain. Besi Teknik terdiri dari 3 jenis yaitu Baja atau besi tempa yaitu kadar karbonnya kurang dari 1,7% dan dapat ditempa, besi tuang yang kadar karbonnya antara 2,3 sampai 3,6% dan tidak dapat ditempa, besi mentah / besi kasar yang kadar karbonnya lebih besar dari 3,7%. Contoh logam fero besi cor, baja perkakas, stainless steel, High Speed Steel (HSS), baja karbon. Pengolahan biji besi dalam dapur tinggi dalam pembuatan besi atau baja akan menghasilkan besi kasar atau besi mentah. Besi kasar belum dapat digunakan sebagai bahan pembuatan benda jadi atau setengah jadi sehingga harus diolah kembali dalam dapur baja menjadi besi atau baja karbon.

2.2.1.2. Logam Non-Fero

Logam non-fero merupakan logam yang tidak mengandung unsur besi (Fe) seperti perak, emas, kuningan, duralluminium dan platina. Logam fero murni umumnya tidak digunakan jika tidak dipandukan dengan logam lainnya karena sifat umumnya jauh dari syarat industri. Logam non-ferro umumnya mempunyai sifat yang baik seperti ketahanan

kimia dan daya hantar listrik yang baik dan cukup kuat sehingga dapat digunakan dalam keadaan murni namun harganya mahal. Logam non-fero ringan seperti magnesium, titanium, kalsium digunakan juga dalam campuran besi atau baja seperti, nikel, kromium, molybdenum, tungsten sehingga memperbaiki sifat baja.

Sifat mekanik Logam non-Fero umumnya memiliki yang dapat diperbaiki dengan cara memadukannya, sifat tahan korosi karena memiliki lapisan oksida yang kuat dan beberapa logam non-fero memiliki daya hantar panas dan listrik yang baik. Pengelompokkan logam non-fero dari sifatnya dibagi menjadi 5 yaitu:

1. Logam radioaktif

Logam radioaktif seperti uranium, radium, plutonium merupakan logam yang dapat memancarkan radioaktif seperti sinar alpha, sinar beta dan sinar gamma.

2. Logam Refraktori (Logam Tahan Api)

Logam seperti wolfram, titanium, zirkonium, molybdenum merupakan logam tahan api sehingga digunakan sebagai panduan alat-alat listrik, silinder liner pada motor bakar torak dan alat-alat lainnya yang memerlukan ketahanan panas

3. Logam mulia

Logam mulia seperti emas, perak dan platina merupakan logam yang nilai ekonomis tinggi dan digunakan untuk keperluan khusus seperti alat tukar uang, aksesoris, perhiasan

4. Logam ringan

Logam ringan merupakan logam yang berat jenisnya lebih kecil atau sama dengan 5 kg/dm^3 seperti magnesium, titanium, kalium, aluminium, kalsium, natrium, barium

5. Logam berat

Logam berat merupakan logam yang berat jenisnya lebih besar dari 5 kg/dm^3 seperti tembaga, besi, seng, kromium, timah hitam, timah putih, nikel.

2.2.2. Logam Paduan

Logam paduan merupakan campuran dari dua atau lebih unsur dengan komponen utamanya logam. Sifat logam murni umumnya terlalu lunak, reaktif secara kimia untuk penggunaan praktis dan rapuh sehingga diperlukan modifikasi sifat logam dengan rasio logam yang berbeda dan menghasilkan karakteristik yang diinginkan.

Logam campuran dua unsur atau lebih umumnya dalam keadaan cair dikelompokkan menjadi dua yaitu paduan logam berat dan Paduan logam ringan. Paduan logam berat seperti kuningan, perunggu, paduan nikel, paduan seng sedangkan logam paduan ringan seperti paduan aluminium, paduan magnesium dan paduan titanium. Sifat dari logam campuran seperti kekuatan Tarik dapat diperbesar, daya pemuaian dapat dikurangi, kekerasan dapat ditingkatkan dari kekerasan aslinya, titik lebur dapat diturunkan atau dinaikkan sebanding logam asalnya. Paduan logam seperti baja karbon dengan penambahan kromium, nikel, dan molybdenum pada baja karbon (lebih dari 10%), besi tuang, besi cor dihasilkan dari penambahan silikon, baja paduan, baja perkakas

menghasilkan sifat tahan terhadap korosi, lebih keras, memiliki warna dan keharuman yang diinginkan baik kuantitas dan kualitas pada nilai komersil. Besi yang dipadu dengan variasi karbon memberikan baja berkadar karbon rendah, menengah dan tinggi sehingga peningkatan level karbon mengurangi keuletan dan ketangguhan.

2.2.3. Proses Manufaktur Logam

Proses manufaktur logam dapat dilakukan dengan cara yaitu:

1. Pengecoran Logam

Salah satu proses manufaktur adalah pengecoran logam dengan menggunakan logam cair dan cetakkan untuk menghasilkan bentuk yang mendekati bentuk geometri akhir produk jadi. Logam cair akan ditekan atau dituangkan ke dalam cetakkan yang memiliki rongga cetak sesuai dengan design atau bentuk yang diinginkan. Setelah rongga cetak dan tersolidifikasi cetakkan disingkirkan sehingga hasil cor digunakan untuk proses sekunder. Penggunaan coran dengan bahan seperti:

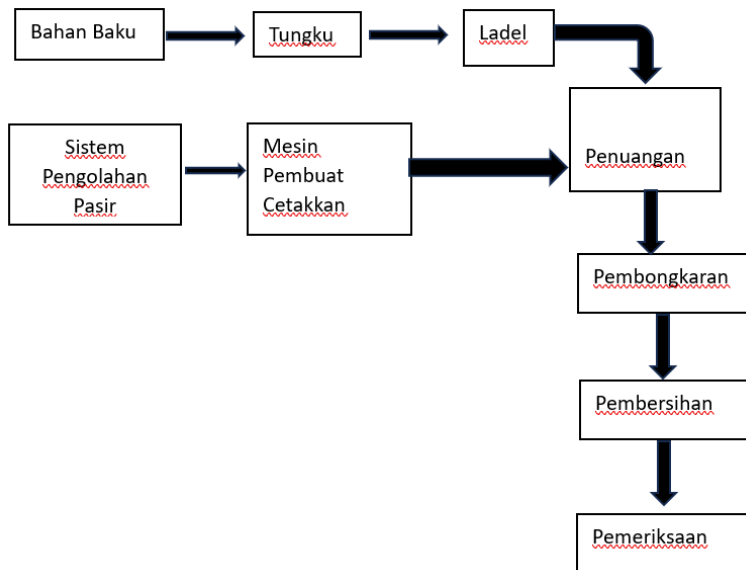
a) mencairkan logam

Proses penuangan coran yang dibuat dari logam yang dicairkan ke dalam cetakkan dan dibiarkan mendingin dan membeku

b) cetakkan

Logam cair yang dituangkan ke dalam rongga yang dibuat dalam batu yang berbahan seperti pasir, batu gamping atau yang mudah diolah.

Pembuatan Coran dilakukan proses dengan urutan pencairan logam, membuat cetakkan, menuang, membongkar dan membersihkan coran seperti pada Gambar 2.2.



Gambar 2.4. Aliran Proses Pada pembuatan Coran

2. Pengolahan Logam

Pengolahan logam atau *metal working* merupakan proses mengolah logam untuk membuat perkakas atau suku cadang mesin seperti pada Gambar 2.5. Istilah *metal working* mencakup semua pekerjaan logam dari pembuatan kilang minyak lepas pantai atau pengeboran, pembuatan kapal-kapal besar dengan komponen baja yang besar dan keras sampai pembuatan instrument mesin yang presisi serta pembuatan perhiasan yang kecil dan halus.



Gambar 2.5. Pengolahan Logam

Proses pengolahan logam seperti:

1. Rolling

Merupakan proses deformasi dengan ketebalan dari benda kerja dikurangi atau direduksi menggunakan daya tekan dan menggunakan dua buah roll atau lebih. Perputaran roll untuk menekan dan menarik secara bersamaan dengan benda kerja tepat diantaranya.

2. Fabrikasi Logam

Proses produksi logam yang meliputi perancangan atau rekayasa, pemotongan, pembentukkan, penyambungan, perakitan dan pengerjaan akhir.

3. Pembengkokkan (bending)

Merupakan deformasi plastik dari logam terhadap sumbu linier dengan hanya sedikit atau hampir tidak mengalami perubahan luas permukaan dengan bantuan tekanan piston pembentuk dan cetakkan atau die. Contoh bending adalah sepotong besi yang dibengkokkan akibat tekanan mesin sederhana dengan menggunakan press.

4. Logam lembaran

Merupakan proses pembuatan lembaran metal atau fibrikasi untuk berbagai keperluan dan kegunaan. Lembaran logam yang dihasilkan dibentuk menjadi produk-produk standard untuk kebutuhan perlengkapan rumah sakit, kantor, sekolah, alat-alat rumah tangga, bengkel kerja atau produk khusus yang dibuat sesuai kebutuhan.

5. Forging atau penempaan

Merupakan proses deformasi akibat penekanan benda kerja diantara 2 (dua) die atau cetakan sehingga menghasilkan bentuk kerja yang sesuai diharapkan. Penekanan tekanan kejut atau tekanan berangsur-angsur atau perlahan.

6. Galvanisasi

Merupakan proses pemberian lapisan seng pelindung untuk besi dan baja agar terhindar dari karat. Galvanisasi merupakan metode celupam panas seperti baja dicelupkan ke seng cair.

7. Pengecoran kontinu

Proses logam cair dipadatkan menjadi setengah jadi

2.3. Non-Logam

Non-logam merupakan unsur kimia yang bersifat elektronegatif atau lebih mudah menarik elektron valensi daripada melepaskannya. Tabel periodik yang termasuk non-logam adalah gas mulia, halogen, karbon (C), hydrogen (H), nitrogen (N), fosfor (P), oksigen (O), belerang (S) dan selenium (Se). Bahan bukan logam umumnya dibutuhkan dalam bidang teknik mesin, teknik bangunan, teknik proses

selain itu digunakan sebagai pengganti logam seperti bahan isolasi seperti isolasi getar, isolasi listrik dan isolasi panas, karet, plastik, termoplastik, thermosetting. Pencampuran non-logam dengan logam pun sebagai bahan bakar baik padat, cair dan gas, bahan paking seperti perapat gas dan perapat cairan, bahan pelumas seperti minyak dan gemuk, keramik. Ciri- ciri unsur non-logam tidak dapat ditempa, tidak mengkilat kecuali karbon dalam bentuk intan, penghantar panas yang buruk, penghantar listrik yang buruk kecuali karbon dalam bentuk grafit, wujud dapat berupa padat, gas dan cair.

Bahan bukan logam yang digunakan sebagai bahan teknik dibagi 2 kelompok yaitu:

2.3.1. Bahan Tiruan (*Syntetic Materials*)

Bahan yang diperoleh dari senyawa kimia dengan komposisi unsur diperoleh sifat tertentu secara spesifik atau merupai sifat bahan alam disebut bahan tiruan atau bahan plastik. Bahan plastik atau *plastiks materials* terbagi adad beberapa kelompok seperti thermosetting, plastik, karet sintetis atau *synthetic-rubbers*, termoplastik. Bahan tiruan dapat sebagai bahan isolasi seperti penyekat panas, penyekat suara, penyekat listrik, penyekat kontruksi bangunan mesin, penyekat bangunan, penyekat getaran. Bahan tiruan pun sebagai bahan paking yang digunakan untuk perapat ruangan yang berisi gas atau cair

2.3.2. Bahan Alam (*Natural Material*)

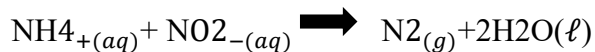
Bahan ini umumnya diperoleh dan digunakan secara langsung dari bahan alam sehingga produk akhir memiliki sifat yang sama dengan bahan asalnya seperti oksigen, senyawa karbon, batu, nitrogen, senyawa fosforus, kayu,

keramik, kulit. Senyawa atau unsur karbon memiliki bentuk seperti karbon black adalah jelaga yang dibuat pada pembakaran hidrokarbon dengan oksigen yang terbatas, batu bara terbentuk dari proses fosilisasi tumbuhan, karbon monoksida berasal dari pembakaran tak sempurna dari kendaraan bermotor dan industri, natrium bikarbonat atau senyawa yang mengandung ion CO_3 , CO_2 sering digunakan sebagai bahan pengembang kue, arang dibuat dari kayu atau serbuk gergaji dengan pemanasan pada suhu tinggi tanpa udara, gas karbon dioksida terdapat di udara dengan kadar 0,035%. juga terdapat dalam air. karbon dioksida lebih mudah larut dalam air laut karena sifatnya basa sedangkan CO_2 bersifat basa, grafit mempunyai struktur yang berbentuk lapisan dan jarak antar lapisan hampir 2,5 kali lebih besar dari jarak atom dalam satu lapisan, intan merupakan zat padat yang bening berkilau dan merupakan zat yang sangat keras. Senyawa fosforus terdiri dari asam fosfat, Natrium tri fosfat ($\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$), Iodin, pupuk super fosfat, fosforus

Manfaat dan Pembuatan Unsur Non-Logam

1. Nitrogen

- a. Pembuatan Nitrogen dengan pemanasan garam ammonia (NH_4Cl) dan garam Nitrit (NaNO_2) dengan persamaan reaksi:



- b. Manfaatnya digunakan sebagai bahan pembeku pada industry pengolahan makanan, pembuatan gas amoniak dan pupuk nitrogen.

2. Hidrogen

- a. Pembuatan hidrogen dapat dibuat dilaboratorium maupun industry dengan 2 (dua)

cara yaitu pada temperature tinggi dilakukan reaksi metana (CH_4) dengan uap air, elektrolisis antara larutan garam alkali dan larutan alkali tanah.

- b. Manfaat pembuatan hidrogen untuk pengisian balon, sebagai bahan bakar yang tidak menghasilkan polusi, bahan dasar pembuatan amoniak, bahan dasar pembuatan methanol.

3. Belerang

- a. Proses pembuatan belerang yang terdapat pada batuan dikenal dengan istilah frash. Batu yang mengandung belerang dimasukkan 3 (tiga) buah pipa yang berdiameter berbeda. Pipa berdiameter terbesar diberikan aliran uap air bertekanan besar sedangkan pipa kecil dipompakan udara bertekanan besar sehingga belerang cair keluar melalui pipa berukuran sedang dan dibiarkan beku,
- b. Belerang bermanfaat dalam pembuatan asam, pembuatan Gas SO_2 yang bisa dipakai dalam mencuci bahan yang terbuat dari wol dan sutra.

4. Silikon

- a. Pembuatan silicon dari pencampuran silika dan kokas sebagai reduktor yang dipanaskan dalam tanur bersuhu 3000°C seperti $\text{SiO}_2(\ell) + \text{C}(\text{s}) \longrightarrow \text{Si}(\ell) + 2\text{CO}(\text{g})$
- b. Manfaat dari silikon umumnya digunakan pada transistor, chip computer, dan sel surya. Sedangkan senyawa silicon berupa silika

digunakan dalam pembuatan gelas, porselen, keramik dan semen.

5. Batubara

- a. Proses perubahan batubara menjadi bahan bakar disebut gasifikasi Batubara, namun proses ini baru tahap pengembangan karena kendala dalam investasi besar yang diperlukan dalam pengolahan.
- b. Batubara bermanfaat untuk bahan bakar pada industry PLTU, bahan bakar rumah tangga dalam bentuk briket.

6. Oksigen

- a. Proses pembuatan oksigen dapat dibuat skala kecil dilaboratorium maupun dalam skala besar di industri
- b. Oksigen bermanfaat dalam proses pembakaran, rpses pengolahan baja dan besi.

7. Fosfor

- a. Pembuatan fosfor $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_3$ dengan pencampuran karbon dan silika (SiO_2) dengan bunga api listrik bertemperature 1400°C hingga 1500°C sehingga menghasilkan $\text{PO}_{10}(\text{g})$
- b. Pembuatan korek api setelah dicampur karbon dan belerang, sabun cuci dan pembuatan pupuk merupakan manfaat dari fosfor.

8. Karbon

- a. Proses pembuatan karbon dikenal dengan karbonisasi yaitu pemanasan bahan yang mengandung karbon

- b. Manfaat pada temperature tinggi bereaksi dengan oksigen dan menghasilkan oksidasi dalam suatu reaksi yang mereduksi oksidasi logam menjadi logam
- c. Reaksi bersifat eksotermik dan pengontrol kandungan karbon dalam baja pada industri besi dan baja seperti $Fe_3O_4 + 4C_s \longrightarrow 3Fe_s + 4CO_g$

2.4. Kesimpulan

Kesimpulan dari logam dan non-logam adalah:

1. Logam non-ferro atau logam bukan besi merupakan logam yang tidak mengandung unsur besi (Fe) karena biasanya sifat-sifat belum memenuhi syarat yang diinginkan. Non-logam tidak ditemukan sebagai murni di alam bebas biasanya terikat sebagai oksida dengan kotoran-kotoran membentuk bijih. Pengolahan bijih non-logam mengikuti beberapa tahap yaitu tahap penghalusan mineral, tahap pencucian, tahap pemisahan antara logam dan kotoran dan tahap peleburan.
2. Logam merupakan penghantar listrik dan penghantar panas yang baik sedangkan non-logam penghantar listrik yang sangat buruk. Non-logam lebih banyak terdapat di alam dari pada logam tetapi logam banyak terdapat dalam tabel periodik.
3. Logam fleksibel, kuat sedangkan non-logam logam bersifat rapuh karena titik lebur dan titik didih logam lebih tinggi dari pada non-logam, Logam biasanya dalam bentuk padat sementara non-logam dapat berupa padat, cair ataupun gas.

2.5. Daftar Pustaka

1. Suprpto, W. (2017). *Teknologi Pengecoran Logam*. Universitas Brawijaya Press.
2. Rasyid, S. (2014). *Teknologi Pengolahan Logam*. Deepublish.
3. Sayuti, M. (2019). PENGANTAR PENGOLAHAN BAHAN LOGAM.
4. Lawrence H. Van Vlack (terjemahan). 1995. Ilmu dan Teknologi Bahan, Erlangga, Jakarta.
5. Tata Surdia dan Saito Shinroku. 1999. Pengetahuan Bahan Teknik. Pradnya Paramita, Jakarta.
6. Hari Amanto dan Daryanto. 1999. Ilmu Bahan, Bumi Aksara. Jakarta.
7. Achmad Kuasiri Samlawi, Rudi Siswanto. 2016. Diklat Bahan Kuliah Matrial Teknik. universitas lambung mangkurat.
8. Van Vlack, L.H., diterjemahkan Djaprie, S., Ir. M.E., M.Met.,”*Ilmu dan Teknologi Bahan (Ilmu Logam dan Bukan Logam)*”. edisi kelima. Erlangga, Jakarta.
9. Lawrence H. Van Vlack (terjemahan), 1995, *Ilmu dan Teknologi Bahan*, Erlangga, Jakarta.
10. Tata Surdia dan Saito Shinroku, 1999, *Pengetahuan Bahan Teknik*, Pradnya Paramita, Jakarta.

11. Van Vlack, L.H., diterjemahkan Djaprie, S., Ir. M.E., M.Met., "*Ilmu dan Teknologi Bahan (Ilmu Logam dan Bukan Logam)*", edisi kelima, Erlangga, Jakarta.
12. Anonim, 1983, "*Ilmu Bahan*", Departemen Mesin PEDC, Bandung
13. Bangyo Sucahyo, 1999, *Ilmu Logam*, PT. Tiga Serangkai Pustaka Mandiri, Surakarta.

BAB III

POLIMER

3.1. Pengertian Polimer

Pada tahun 1833 pertama kali material polimer digunakan oleh seorang kimiawan bernama Swedia Berzelius dan sepanjang abad 19 para ilmuwan bekerja secara makromolekul karena tidak memahami pengertian teknologi polimer khususnya pada struktur. Ditahun 1953 Hermann Staudinger kimiawan dari Jerman menghasilkan penelitian menolak rasionalisasi senyawa alam yaitu karet dan selulosa sehingga menyatakan senyawa merupakan kumpulan dari molekul kecil. Senyawa merupakan makromolekul yang tersusun atas lebih dari 10.000 atom sehingga terformulasikan struktur dari unit-unit ulang isoprene yang kemudian dikenal monomer. Monomer yang digabungkan menghasilkan istilah polimer yang berasal dari bahasa Yunani artinya mono adalah satu dan poli adalah banyak sedangkan meros adalah bagian.

Polimer merupakan senyawa besar yang terbentuk dari hasil penggabungan unit molekul yang kecil pembentuk senyawa atau monomer. Sifat dari molekul polimer yang memiliki massa molekul yang besar sehingga sifatnya berbeda seperti Polipropena (PP) yang tersusun dari monomer propena. Polimer mempunyai luas spektrum variasi polimer pada sifat mekanik dan fisik sehingga tahan terhadap korosi dan mudah dibentuk dan diisi material lain selain itu memiliki berat jenis rendah sehingga pemrosesan pembentukkan mudah yang mengakibatkan penurunan biaya produksi. Polimer merupakan material yang banyak diteliti dan dikembangkan karena memiliki nilai estetika yang tinggi dan

relatif ringan dibandingkan material logam lainnya. Polimer memiliki potensi untuk ditingkatkan sifat mekanik seperti ketangguhannya dan sifat termalnya. Peningkatan ketangguhan pada material polimer bersifat getas, sedangkan ketahanan terhadap temperatur tinggi yang rendah merupakan sifat termal ditingkatkan.

Perkembangan polimerisasi atau penggabungan polimer menghasilkan bahan polimer baru berkembang pesat salahsatunya menghasilkan perekat dan mempunyai massa molekul relatif besar, yaitu sekitar 500 - 10.000 kali berat molekul unit ulangnya. Pada umumnya merupakan senyawa kimia organik terdiri dari hidrogen, karbon dan unsur bukan logam seperti Si, O dan N. Perekat berbahan poliuretan sebagai bahan pembentuk serat untuk mengganti serat nylon merupakan terbanyak disekitar kita yang pertama kali dikenalkan oleh Prof. Otto Bayer pada tahun 1971. Penelitian ditingkatkan menunjukkan bahwa poliuretan juga dapat digunakan untuk membuat busa, bahan elastomer, lem, pelapis dan lain-lain.

Polimer dibagi menjadi dua jenis yaitu polimer alam seperti selulosa, karet, pati, sutra dan polimer buatan seperti Polietilena (PE), poli vinil clorida, nilon yang memiliki kepadatan rendah dan karakteristik mekanik pada umumnya berbea dengan logam atau bahan keramik. Industri polimer berawal ketika Charles Goodyear dari Amerika Serikat berhasil menemukan vulkanisasi pada tahun 1839. Pada tahun 1870 terjadi perkembangan modifikasi selulosa dengan asam nitrat, damar fenolik tahun 1907, Poli fenol etena atau Polistirena tahun 1930, Polietena atau Polietilena tahun 1933. Perkembangan modifikasi polimer bermanfaat penting pada keperluan konstruksi.

Material polimer sebagai bagian dari bahan teknik digunakan dalam konstruksi atau suku cadang, sedangkan dalam komoditas semakin meningkat digunakan pada keperluan konsumen seperti keperluan rumah tangga, alat kantor, mainan dan sebagainya. Bahan polimer pun dimodifikasi secara fisika dan kimia menjadi bahan khusus dengan karakteristik tertentu seperti pembuatan peralatan Kesehatan dan komponen elektronika seperti Polikarbonat, Polietilena (PE), Polivinil Klorida (PVC), Etilena.

3.2. Sifat-Sifat Polimer

Sifat polimer dibagi ke dalam tiga kelompok umum yaitu serat, elastomer dan plastik dengan karakteristik masing-masing yaitu:

1. Serat

Serat bagian dari polimer alam mempunyai sifat gaya regang yang tinggi di sepanjang sumbunya yang dapat ditenun seperti benang menjadi kain. Contoh polimer serat adalah kapas, wool, dan sutera.

2. Plastik

Sifat dari plastik di antara elastomer dan serat yang mempunyai bermacam-macam sifat pada suhu kamar seperti polistirena (PS) dan polipropilena (PP)

3. Elastomer

Karakter elastomer adalah mudah diregang di bawah tekanan atau direntangkan dan dapat kembali pada bentuk awalnya bila tekanan dikurangi berbentuk elastis seperti karet baik alam maupun sintetis dan silikon.

Penggolongan polimer berdasarkan sifat fisika, kimia, mekanika, dan termal dari 3 sifat polimer adalah:

1. Sifat Kimia

Gaya tarik menarik antara rantai polimer memainkan peranan yang besar terhadap sifat polimer. Karena rantai polimer sangat panjang, gaya antar rantai menjadi berlipat ganda dibandingkan tarik menarik antara molekul biasa. Gugus samping yang berbeda dapat mengakibatkan polimer berikatan ion atau ikatan hidrogen pada rantai yang sama. Semakin kuat gaya akan berakibat naiknya kuat tarik, titik leleh, dan tingkat kristalinitas. Gaya intermolekuler pada polimer dapat dipengaruhi oleh dipol pada unit monomer. Polimer yang mengandung gugus amida atau karbonil dapat membentuk ikatan hydrogen antara rantai yang berdekatan.

2. Sifat Fisika

Faktor yang mempengaruhi sifat fisik polimer seperti panjang rata-rata rantai polimer yaitu kekuatan dan titik leleh meningkat dengan makin panjangnya rantai polimer, gaya antarmolekul pada rantai polimer membesar maka polimer akan menjadi kuat dan sukar meleleh. Faktor lainnya terjadinya cabang rantai polimer makin banyak dan memiliki daya tegang rendah sehingga mudah meleleh. Ikatan silang antar rantai polimer menyebabkan terjadinya jaringan yang kaku dan membentuk bahan yang keras sedangkan jika ikatan silang semakin banyak maka polimer semakin kaku dan mudah patah, struktur polimer tidak teratur juga faktor yang mempengaruhi sifat fisik. Polimer berstruktur tidak teratur memiliki kristalinitas rendah dan bersifat

amorf (tidak keras). Sedangkan polimer dengan struktur teratur mempunyai kristanilita tinggi sehingga lebih kuat dan lebih tahan terhadap bahaan-bahan kimia dan enzim.

3. Sifat Termal Polimer

Bahan polimer yang berstruktur dan berdimensi besar akan berubah struktur karena pergerakan benda yang dipengaruhi oleh perubahan suhu. Perubahan panas, kadar oksigen dan air bersama-sama membuat reaksi kimia molekul yang mengakibatkan oksidasi, hidrolisa, depolimerisasi pada perubahan temperatur makin tinggi.

4. Sifat Mekanik Polimer

Beberapa sifat mekanik polimer seperti:

4.1. Elogasi (*Elogation*)

Salahsatu jenis deformasi atau perubahan ukuran yang terjadi pada material yang diberi gaya % adalah elongasi. Elogasi merupakan Panjang sebuah materual setelah diberikan gaya (L_t) dibagi dengan panjang sebelum sampel diberi gaya (L_o) dan dikalikan 100%

4.2. Ketangguhan

Energi yang dapat diserap oleh suatu material sebelum material patah menunjukkan sifat atau pengukuran dari ketangguhan bahan.

4.3. Modulus

Sifat mekanik material polimer modulus diukur dari perhitungan tegangan yang dibagi dengan elongasi dan bersatuan (N/cm^2)

4.4. Kekuatan

Salahsatu sifat mekanik dari material polimer adalah kekuatan yang mempunyai beberapa macam seperti:

4.4.1. Ketahanan pada tekanan.

Ketahanan pada tekanan atau compressive strength seperti beton. Beton merupakan contoh paling baik karena dapat menahan berat dari bawah dengan kekuatan tekan yang baik

4.4.2. Kekuatan patah

Kekuatan patah atau impact strength adalah tegangan yang dibutuhkan untuk mematahkan atau memutuskan suatu sampel dari tarikan. Contoh kekuatan tarik yang baik dengan tegangan yang datang tiba-tiba misal saat kuat dipukul dengan palu yang sangat keras adalah fiber.

4.4.3. Kekuatan tarik

Kekuatan tarik atau tensile strength merupakan kekuatan sampel polimer yang ditarik hingga putus

4.4.4. Ketahanan pada bending

Kekuatan bending (flexing) atau dikenal dengan flexural strength merupakan kekuatan material saat dibengkokkan.

3.3. Polimer Alam

3.3.1. Pengertian Polimer Alam

Polimer alam merupakan material yang berasal dari alam. seperti dari hewan, tumbuhan dan manusia sehingga dikenal sebagai biopolimer. Industri banyak menggunakan biopolimer karena sumber daya alam terbatas, mudah dilakukan perubahan bentuk sesuai sifat yang diinginkan, mudah diuraikan atau dikenal dengan biodegradable dan bio compatible, mempunyai sifat mekanis yang baik. Keberagaman polimer alam seperti protein merupakan polimer asam amino dalam berbagai bentuk serta fungsi dalam bidang biologi seperti struktur sel dan enzim, polisakarida seperti selulosa, polilaktida dalam material gula. Keberagaman melewati tahapan teknologi pembuatan polimer alam yang terdiri dari molekul bahan kimia alam, molekul oligomer alam dan molekul alam yang dikenal dengan reaksi polimerisasi metabolisme. Polimer merupakan senyawa kimia organik yang didasarkan dengan rantai karbon, hydrogen dan unsur bukan logam yang biasanya kita gunakan pada botol minum, kertas, pakaian, ban kantong plastik. Contoh polimer alam lainnya seperti kapuk, karet, enzim, protein, pati, kitin, selulosa, kayu dan lainnya.

Sebagian jenis-jenis polimer alam dapat dijelaskan seperti:

1. Kitin

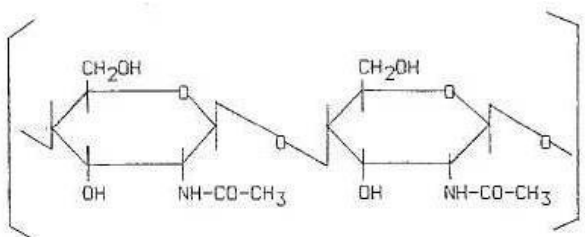
Polimer kitin ditemukan pertama kalinya tahun 1811 oleh Henry Bracanit pada residu ekstrak jamur atau fungi. Tahun 1823 Odiers memisahkan suatu zat dari sari kutikula serangga jenis elytra sehingga diusulkan dengan nama kitin. Kitin merupakan polimer alam terbanyak di dunia yang terdapat di eksoskeleton atau kutikula kelompok hewan serangga, fungi, crustacea,

dan moluska selain bahan selulosa. Keberadaan kitin di alam selalu bergabung dengan senyawa lain seperti pigmen, mineral dan protein yang umumnya ditemukan pada hewan bergolongan orthopoda, thopeda, annelida, corlengterfa, molusca dan nematoda yang tidak hanya pada permukaan kulit, namun terletak di trachea, dinding usus, insang bahkan bagian dalam kulit seperti pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Bahan kitin

Ikatan kitin hampir sama dengan selulosa terjadi antara monomernya terangkai dengan ikatan glikosida pada posisi β - (1-4). Perbedaan kitin dengan selulosa terletak dalam gugus hidroksil yang terikat pada atom karbon kedua pada kitin diganti dengan gugus asetamida (NHCOCH_2) seperti pada gambar 3.2. Perubahan tersebut membentuk polimer berunit N-Asetilglukosamin atau berumus molekul $\text{C}_{18}\text{H}_{26}\text{N}_2\text{O}_{10}$



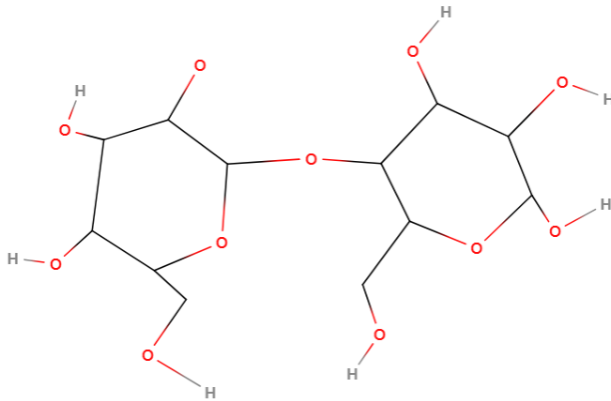
Gambar 3.2. Struktur Kitin

Kitin berbentuk kristal putih dan larut dalam asam mineral seperti asam sulfat, asam nitrit, asam fosfat dan asam formiat anhidrida yang pekat, alkohol pekat dan pelarut organik lainnya. Kitin banyak digunakan sebagai bioaktivitas atau surfaktan sebagai sumber zat makanan khitin dapat menurunkan kadar kolesterol, dimanfaatkan mengatasi pencemaran logam beracun dan zat pewarna tekstil. Kitin terakumulasi dalam perairan sehingga dapat memacu pertumbuhan penghasil laktase yang biasa hidup di dalam organ pencernaan bayi, berpotensi sebagai bahan antibiotika dan benang operasi yang aman, dapat menyerap bahan berprotein yang terdapat dalam air limbah industri pengolahan pangan.

2. Pati

Pati merupakan polimer dari unit anhidroglukosa (AHG) dengan 2 tipe yaitu amilosa dan amilopektin. Amilosa adalah polimer rantai lurus α -D-(1,4)-glukosid sedangkan amilopektin merupakan polimer yang mempunyai rantai bercabang secara periodik yang terikat α -D-(1;6)-glukoksida. Seperti pada Gambar 3.3. Pati merupakan zat tepung dari karbohidrat dengan suatu polimer senyawa glukosa yang terdiri dari dua komponen utama yaitu amilopektin dan amilosa. Polimer linier dari D-glukosa membentuk amilosa dengan ikatan (α)-1,4-glukosa. Sedangkan polimer amilopektin adalah terbentuk dari pektin adalah terbentuk dari ikatan (ikatan (α)-1,4- glukosida dan membentuk cabang pada ikatan (α)-1,6-glukosida. Pati dihasilkan dari proses fotosintesis tanaman yang dibentuk (disintesa)

di dalam daun (plastid) dan amiloplas seperti umbi, akar atau biji dan merupakan komponen terbesar dari singkong, sagu, jagung, beras, kentang, ubi jalar dan talas.



Gambar 3.3. Struktur Pati

3. Protein

Protein adalah polimer asam-asam amino yang dihubungkan oleh ikatan peptide sehingga membentuk senyawa organik kompleks berbobot molekul tinggi. Banyak manfaat dari protein seperti membentuk jaringan baru bersamaan dengan menjaga jaringan yang sudah ada. Di dalam tubuh protein berfungsi sebagai zat pembangun, pengatur, pertahanan, dan sebagai sumber energi setelah karbohidrat dan lemak. Protein dapat digolongkan berdasarkan strukturnya, bentuknya, dan fungsinya. Karakteristik dari struktur protein terdiri dari empat macam yang ditentukan dari konfigurasi asam aminonya. Dua buah asam amino dinamakan dipeptide, tiga asam amino disebut tripeptide sedangkan polypeptide gabungan lebih dari

tiga asam amino dan biasanya mengandung 100 asam amino.

Fungsi protein secara garis besar dibagi dalam dua kelompok sebagai bahan structural dan sebagai mesin yang bekerja pada tingkat molecular. Fungsi protein dapat dikelompokkan sebagai berikut:

1. Enzim

Berfungsi sebagai katalisator secara fungsi anabolic maupun katabolik. Kelenjar ludah amilase merupakan salahsatu enzim pada sebagai pencernaan mahluk hidup.

2. Fungsi dan struktur membrane sel

Protein yang berfungsi untuk membuat otot bekerja, sebagai perekat seperti kolagen, sebagai pelindung seperti keratin.

3. Antibodi

Protein khusus yang dapat mengenali dan mengendapkan juga menetralkan serangan virus, bakteri juga protein asing.

4. Hormon

5. Penyeimbang cairan

6. Sumber energi dan glukosa

7. Penyeimbang asam utama

8. Transport

Protein berfungsi sebagai transportasi dalam plasma darah yang mengikat dan membawa molekul atau ion non-spesifik dari organ satu ke organ lainnya.

Contoh hemoglobin yang berfungsi transportasi oksigen dan CO₂, Lipoprotein yang mengangkut lipid.

Protein memiliki kegunaan seperti:

1. Protein yang dihasilkan oleh mikroorganisme atau sel tumbuhan dapat digunakan pada bioteknologi untuk produksi enzim, bahan kimia atau bahan baku industry
2. Sutra salahsatu protein serat alami digunakan dalam produksi tekstil. Selain itu protein digunakan pada produksi serat sintesis dengan sifat khusus.
3. Protein juga digunakan sebagai bahan utamapada produksi makanan seperti daging olahan, makanan nabati, bahan pengental, pengemulsi dan produk susu serta perekat dalam berbagai produk makanan.
4. Protein pada pengelolaan limbah digunakan pada teknologi pemurnian dan pemulihan limbah juga membantu dalam menghilangkan polutan atau zat berbahaya
5. Protein merupakan produk sebagai perekat atau pelapis dalam berbagai produk manufaktur seperti produk kayu, kertas atau tekstil
6. Protein dapat diintegrasikan pada pembuatan biopolymer atau material berkelanjutan sebagai alternatif yang ramah lingkungan pada produksi kemasan atau berbahan baku bioplastik.
7. Protein dapat digunakan sebagai pelapis dengan sifat tertentu sehingga tahan terhadap korosi dan

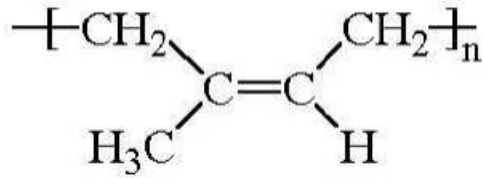
sifat mekanis ditentukan pada permukaan logam atau bahan lainnya.

8. Protein dapat digunakan pada formulasi produk kosmetik seperti sampo, produk perawatan kulit, kondisioner sehingga memberikan kelembababn, kelembutan atau sifat lainnya.

4. Karet

Polyisoprenen atau karet alam merupakan bagian dari plimer alam yang mudah diregangkan dan kembali ke bentuk awal atau dikenal elastomer. Polimer sintesis seperti polybutadiene dan polyurethanes juga bersifat elastomer yang banyak digunakan dalam dunia industri karena memiliki sifat elastisitas tinggi, daya Tarik kuat, kelekatan dan keliatan tinggi, daya lengket yang baik dan daya elastis tinggi. Dengan sifat tersebut karet alam dilakukan penyadapan terhadap batang pohon karet yang menghasilkan getah kekuning-kuningan atau lateks dan banyak digunakan pada peluru karet, bola. Penyadapan lateks dapat dilakukan dengan mengiris Sebagian dari kulit batang dan harus dilakukan secara hati- hati karena kesalahan dapat memtikan pohon karet.

Karet alam membentuk rangkaian isoprena yang berasal dari alam yang awalnya lunak akan menjadi keras setelah divulkanisir dengan menambahkan sedikit belerang. Pada umumnya lateks karet yang baru mengandung 20%-60% karet, 33-75% air, 2% resin atau lipid, 1-2 % protein, 0,3-0,7% abu mempunyai struktur molekul seperti pada Gambar 3.4. sehingga banyak digunakan dalam indutri.



Gambar 3.4.Struktur molekul karet alam

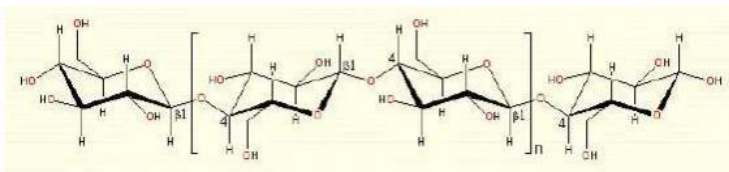
Beberapa industri yang memanfaatkan karet alam seperti aneka ban kendaraan, sabun, sepatu karet, penggerak mesin besar dan mesin kecil, pipa karet, kabel, isolator dan bahan-bahan pembungkus logam. Bahan baku karet banyak digunakan untuk membuat perlengkapan seperti sekat atau alat-penahan getaran dan alat penghubung. Karet dipakai untuk tahanan dudukan mesin serta dipasang pada kaca mobil, kaca pintu dan pada alat-alat lainnya.

5. Selulosa

Selulosa merupakan unsur struktural dan komponen utama dari dinding sel tanaman tinggi ataupun tanaman rendah seperti lumut, paku, jamur dan ganggang seperti gambar 3.5. Beberapa molekul selulosa membentuk mikrofib sehingga memberntuk microfibril berdiameter 2-20 nm dan panjang 100 – 40000 nm dan ditemukan ditanaman atau sebagian daerah teratur atau kristalin juga diselingi daerah amorf yang kurang teratur. Beberapa microfibril membentuk fibril memberntuk serat selulosa seperti karbohidrat. Karbohidrat dalam selulosa berasal dari tumbuh-tumbuhan hampir 50% karena merupakan bagian terpenting pada dinding sel tumbuhan. Serat kapas merupakan serat alami termurni dengan terdiri

hampir 98% selulosa.

Selulosa merupakan polimer yang terbentuk dari monomer β -D-glukosa melalui ikatan β (1 $\rightarrow$ 4) glikosidik dengan panjang rantai beragam, dari ratusan sampai ribuan unit glukosa seperti kayu mengandung sekitar 50% berat selulosa dan kapas hampir 90% mengandung selulosa. Selulosa dari serat kayu mengandung banyak pengotor yang dapat dimurnikan dengan cara melarutkannya ke dalam campuran NaOH dan CS₂. Dalam proses pelarutan ini akan terbentuk cairan kental. Karakteristik selulosa mempunyai ikatan glikosida mengakibatkan struktur selulosa linier dengan β -1,4 poli glukosa serta keteraturan struktur menimbulkan ikatan hidrogen secara intra dan intermolekul. Selulosa mempunyai kuat tarik yang tinggi dan tidak larut dalam pelarut karena ikatan pada struktur serat dan kuatnya ikatan hidrogen.



Gambar 3.5. Struktur Selulosa

Penggunaan terbesar selulosa alam industri adalah serat kayu pada industri kertas baik produk kertas dan karton, serat tekstil. Beberapa industri yang memanfaatkan selulosa seperti:

1. Pada bidang farmasi

Selulosa sebagai bahan pengisi dalam pembuatan tablet ataupun kapsul

2. Pada bidang pembetonan
Selulosa berfungsi dalam pencampuran beton untuk mengikat sifat isolasi termal dan akustik.
3. Meningkatkan kekakuan dan kekuatan dalam material komposit
4. Merupakan bahan dasar pembuatan kertas dan kardus karena selulosa berserat panjang mengakibatkan kekuatan dan kestabilan mekanis dalam kardus
5. Selulosa sering digunakan pada insulasi termal dan akustik sehingga sifat termal dan akustik selulosa baik pada bahan isolasi dalam konstruksi bangunan.
6. Dapat diolah menjadi berbagai material pelapis yang digunakan dalam industri manufaktur
7. Selulosa mudah terurai sehingga ramah lingkungan sehingga produk-produknya mengurangi dampak lingkungan.

3.3.2. Sifat-Sifat Polimer Alam Dan Contoh

Sifat-sifat polimer alam kurang menguntungkan disebabkan mempunyai sifat hidrofilik (suka air), sukar dilebur dan sukar dicetak. Karet alam kadang-kadang cepat rusak, tidak elastis, dan berombak karena tidak tahan terhadap minyak bensin atau minyak tanah serta lama terbuka di udara. Sutra dan wol merupakan senyawa protein bahan makanan bakteri, sehingga wol dan sutra cepat rusak. Faktor itulah

sangat sukar mengembangkan fungsi polimer alam untuk tujuan-tujuan yang lebih luas dalam kehidupan masyarakat sehari-hari. Contoh polimer alam dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 3.1. Contoh polimer alam

No.	Polimer	Monomer	Polimerisasi	Contoh
1.	Pati/amilum	Glukosa	Kondensansi	Biji-bijian, Akarumbi
2.	Selulosa	Glukosa	Kondensansi	Sayur,Kayu,kapas
3.	Protein	Asam Amino	Kondensansi	Susu,daging,telur.wol
4.	Asam nukleat	Nukleotida	Kondensasi	Molekul DNA dan RNA
5.	Karet alam	Isoprena	Adisi	Getah pohon karet

3.4. Polimer buatan

Polimer buatan atau sintetis merupakan polimer organik yang telah dilakukan melalui proses kimia sehingga sifat atau karakteristiknya terkadang cenderung sama namun memiliki sifat yang lebih baik dari polimer alami. Salahsatu contoh polimer buatan adalah Nilon, poliester, kantong plastik dan botol, pita karet, dan masih banyak produk lain dalam kehidupan Polimer sintetik dihasilkan dari pengabungan monomer lewat reaksi adisi dengan melibatkan senyawa tak jenuh yang mengandung ikatan rangkap dua atau lebih maupun pengabungan menggunakan reaksi kondensasi. Contoh polimer buatan dengan menggunakan reaksi adisi adalah hidrogenasi dan reaksi hidrogen halida dan halogen alkena dan alkuna sedangkan contoh reaksi kondensasi terjadi pada heksa metilena diamina dengan asam adipat dan digunakan dalam produksi polyester atau dacron. Seorang kimiawan kelahiran Belgia pada tahun 1907 pertama kali Leo

Baekeland memperkenalkan hasil kondensasi fenol dengan formaldehida yaitu bakelit.

3.4.1. Jenis Polimer Sintesis

1. Orlon

Polimer Orlon merupakan adisi dari monomer akrilonitril seperti wol yang digunakan dalam tekstil sebagai campuran karpet, kaus kaki atau wol.

2. Karet Sintesis

Karet sintesis dibuat dengan menggunakan bahan dasar monomer yang dikopolimerisasi seperti butadiene dan stirena. dan menjadi dasar pembuatan ban mobil atau motor. Polibutadiena stirena dalam produk dagang dikenal sebutan Buna atau SBR (Stirena-butadiena rubber) mempunyai perbandingan monomer tidak seperti lainnya yang 1:1 terdiri dari 2 jenis yaitu Buna-N dan Buna-S. Pada Buna-N perbandingan antara 1,3 butadiena dan stirena adalah 3:1 sedangkan perbandingan Buna-S adalah 7:3 sehingga kuat tariknya menyamai karet alam karena resisten oksidasi dan abrasi dibandingkan karet alam. Saat ini Buna banyak digunakan sebagai ban mobil karena pengandungan ikatan rangkap dan mudah dicreos-linked kandungan sulfur lewat proses vulkanisasi. Jika karet divulkanisasi diregangkan maka rantai polimer tertahan dari ikatan belerang tidak mudah putus dan akan kembali ke bentuk semula. Polimer neoprene yang berasal dari monomer kloropropena, polibutadiena dan Thiokol contoh karet sintesis lainnya.

3. Plastik

Polimer buatan yang sering digunakan dalam kehidupan sehari-hari adalah plastik. Dari jenis monomernya ada beberapa jenis plastik seperti:

1. PVC (Polivinil Klorida)

Ciri dari PVC adalah bersifat keras dan kaku sehingga digunakan pada pipa paralon, pipa kabel listrik, ubin plastik, pipa plastik, kulit sintesis

2. Teflon (Tetrafluoroetena)

Material teflon merupakan lapisan tipis yang sangat tahan terhadap bahan kimia dan tahan panas sehingga digunakan untuk pelapis wajan, pipa antipatah, pelapis tangga di pabrik kimia juga kabel listrik.

3. Polietena (Polietilena)

Polimer plastik jenis ini bersifat massa jenis rendah. lentur, ulet atau liat, sukar rusak dalam keadaan terbuka di udara atau terkena tanah lumpur, namun material tak tahan panas. Polietena banyak diproduksi dan dicetak lembaran untuk pembungkus halaman, ember, kantong plastik.

4. Polipropena (Polipropilena)

Kekuatan polipropena lebih besar dari polietena sehingga sifatnya hampir sama dengan polietena dan lebih tahan terhadap reaksi asam dan basa serta lebih tahan panas. Plastik dari polipropena digunakan dalam pembuatan karung, bak air, tali, insulator dan botol plastik.

5. Bakelit (Fenol Cormaldehida)

Sifat polimer ini sangat keras karena bakelit merupakan jenis yang dibuat dari dua monomer yaitu fenol dan formaldehida sehingga tahan api dan titik leburnya sangat tinggi. Bakelit umumnya untuk instalasi listrik atau alat-alat tahan suhu tinggi seperti fitting lampu listrik dan asbak.

6. Serat sintetik

Salahsatu contoh serat sintetik adalah nilon dan polyester seperti dakron atau tetoron. Polyester sangat lentur, sangat kuat dan transparan dan biasanya digunakan untuk membuat sintesis atau lembaran tipis yang disebut mylar. Aplikasi Mylar banyak dilakukan untuk pita rekam magnetic dan untuk membuat gelembung balon yang dimanfaatkan pada penelitian cuaca di atmosfer sedangkan Nilon 66 yang titik leburnya tinggi tersusun dari enam atom C dari 1,6 heksametilena diamuna dan enam atom C dari molekul asam 1,6 hesanadionat digunakan untuk serat kain.

3.4.2. Kegunaan Beberapa Polimer Buatan Dan Kode Identifikasi Resin Pada Botol Plastik

Banyak polimer yang dihasilkan oleh manusia dalam mengatasi melonjaknya kebutuhan manusia dan para industri memberikan kode identifikasi pendaaur ulangan polimer buatan seperti:

1. Plastik Nilon

Plastik Nilon ditemukan oleh Wallace Carthersvdari Du Pont Company pada tahun 1934 dengan perekasian asam adipat dan heksametilendiamin atau proses pembentukkannya seperti pembuatan protein atau polimer poliamida. Plastik bersifat sangat kuat sehingga tidak cepat rusak dan halus sehingga banyak digunakan untuk peralatan kemah dan panjat tebing, pakaian, peralatan rumah tangga serta peralatan laboratorium.

2. Polivinil Klorida (PVC)

Sifat plastik ini kedap dan tahan terhadap minyak dan bahan organik karena bersifat termo plastik dengan daya tahan kuat. Tipe plastik PVC ada dua jenis yaitu bentuk kaku yang digunakan mainan anak-anak, pipa PVC (paralon), piringan hitam, meja, lemari dan beberapa komponen mobil, membuat konstruksi bangunan dan bentuk fleksibel untuk membuat selang plastik, isolasi listrik. Plastik PVC masuk dalam urutan ketiga dalam penggunaan dan sekitar 68% untuk konstruksi bangunan seperti pipa saluran air.

Material PVC penulisan logonya pada umumnya berwarna merah di angka 3 ditengahnya dan bertuliskan v dibawah segitiga seperti pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6. Logo daur ulang berbahan PVC

Logo V singkatan dari PVC yang mempunyai sifat paling sulit didaur ulang biasanya ditemukan di plastik pembungkus (cling wrap) dan botol lainnya. Reaksi pada makanan yang dikemas dengan bahan ini berpotensi bahaya pada ginjal, berat badan dan hati karena mengandung klorin dan mengeluarkan racun jika dibakar. PVC tidak boleh digunakan dalam kemasan makanan atau menyiapkan makanan dan bahan ini dapat diolah kembali menjadi mudflaps, tikar, panel dan lainnya

3. Plastik Polietena/Polietilena (PE)

Plastik PE terdiri dari 2 jenis yaitu HDPE (High Density Polyethylene) yang digunakan bahan dasar mainan anak-anak, tangki korek api gas, pipa yang kuat, badan radio atau televisi serta pringan hitam dan LDPE (Low Density Polyethylene) yang penggunaannya pada pembungkus makanan dan barang, kantung plastik.

Botol plastik berbahan HDPE dibagian bawah kemasan berlogo angka 2 ditengahnya dan disertai tulisan HDPE dibawah segitiga seperti pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7. Logo daur ulang material HDPE

Bahan jenis HDPE memiliki sifat bahan yang lebih kuat, keras, lebih tahan lama terhadap suhu tinggi dan

buram sehingga dipakai pada botol susu berwarna putih susu, kursi lipat, galon air minum. Bahan ini salah satu yang aman digunakan sebab mencegah reaksi kimia antara kemasan plastik berbahan HDPE dengan makanan/ minuman yang dikemasnya, namun tetap bahan ini hanya sekali pakai karena pelepasan senyawa antimoni trioksida terus meningkat jika sering digunakan. Bahan ini didaur ulang untuk bahan lantai ubin, botol HDPE baru, pipa, drainase dan lainnya. Logo daur ulang bahan bermaterial LDPE ditandai dengan angka 4 ditengah dan bertuliskan LDPE berwarna coklat seperti pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8. Logo daur ulang LDPE

LDPE merupakan jenis plastik bertipe coklat atau bersifat thermoplastik karena dibuat dari minyak bumi biasanya dipakai untuk plastik kemasan, tempat makanan, botol-botol lembek, mebel, pakaian dan sebagainya. Mempunyai sifat mekanis yang tembus pandang, kuat, fleksibel dan permukaan agak berlemak, sangat resisten terhadap reaksi kimia pada suhu 60 derajat, gaya proteksi terhadap uap air tergolong baik, dapat didaur ulang serta baik untuk barang yang fleksibel namun kuat. Bahan LDPE sulit dihancurkan, namun baik untuk tempat makanan

karena sulit bereaksi secara kimiawi dengan makanan yang dikemas. Pendaaurulangan dapat dilarutkan ke dalam kaleng atau keranjang kompos.

4. Plastik Polipropilen (PP)

Polypropilen (PP) adalah jenis polimer terbaik khususnya untuk kemasan makanan dan minuman khususnya botol susu bayi. Logo pendaaurulangan plastik PP dengan angka 5 ditengah dan dibawah segitiga ditulis PP seperti pada Gambar 3.9



Gambar 3.9. Logo daur ulang plastik PP

Sifat PP lebih kuat namun ringandengan daya tembus uap yang rendah dan biasanya transparan yang tidak jernih seperti berawan, ketahanan baik terhadap lemak, cukup mengkilap dan stabil terhadap suhu tinggi. Daur ulang PP dapat dilakukan menjadi garpu, nampan, sapu dan lainnya.

5. Polistyrene (PS)

Bahan PS adalah bahan yang sangat dihindari dan berbahaya karena termasuk polimer aromatic yang dapat mengeluarkan bahan styrene kedalam makanan ketika bersentuhan. Material ini umumnya sebagai wadah makanan Styrofoam, tempat minum sekali pakai dan sebagainya. Logo daur ulang dengan angka

6 serta bertuliskan PS dibawah segitiga seperti pada gambar 3.10



Gambar 3.10 Logo daur ulang PS

Bahan Styrene juga bisa didapat dari asap kendaraan, asap rokok dan bahan konstruksi Gedung. Selain tempat makanan, styrene juga bisa didapatkan dari asap rokok, asap kendaraan dan bahan konstruksi gedung. Bahan ini harus dihindari, karena selain berbahaya untuk kesehatan otak, mengganggu hormon estrogen pada wanita yang berakibat pada masalah reproduksi, dan pertumbuhan dan sistem syaraf, Juga karena bahan ini sulit didaur ulang. Pun bila didaur ulang, bahan ini memerlukan proses yang sangat panjang dan lama. Bahan ini dapat dikenali dengan kode angka 6, namun bila tidak tertera kode angka tersebut pada kemasan plastik, bahan ini dapat dikenali dengan cara dibakar (cara terakhir dan sebaiknya dihindari). Ketika dibakar, bahan ini akan mengeluarkan api berwarna kuning-jingga, dan meninggalkan jelaga. PS mengandung benzene, suatu zat penyebab kanker dan tidak boleh dibakar. Bahan ini diolah kembali menjadi isolasi, kemasan, pabrik tempat tidur, dan lain-lain.

6. Plastik Polietilentereftalat (PET)

Serat sintetis dakron atau polyester transparan dengan

daya tahan terhadap asam, kuat, kedap udara, tidak rapuh dan fleksibel sehingga terbanyak dalam penggunaannya. Penggunaan PET 72% sebagai kemasan minuman karena berkualitas baik. PET dapat dicampur dengan polimer alam seperti wol, sutra atau katun untuk menghasilkan bahan pakaian yang mudah perawatan dan tahan lama.

Plastik PET atau PETE (Polyethelene Etilen Terephalate) umumnya berlogo dengan angka 1 ditengah serta tulisan PETE atau PET dibawa segitiga seperti pada gambar 3.11



Gambar 3.11. Logo PETE atau PET

Botol jenis PET/PETE berwarna transparan atau jernih atau tembus pandang dan direkomendasikan hanya sekali pakai seperti botol air mineral, wadah makanan, botol jus atau hampir semua botol minuman lainnya. Bahan dari PET/PETE yang sering dipakai apalagi diisi air hangat atau panas akan mengakibatkan lapisan polimer pada material meleleh dan mengeluarkan material karsinogenik atau bahan penyebab kanker dalam jangka panjang. Bahan ini tidak mudah didaur ulang namun bisa dijadikan komoditi lainnya karena Tingkat daur ulang bahan ini hanya sebesar 20% sehingga dikombinasikan dengan buku domba kutub, karpet, serat dan lainnya.

7. Polycarbonate

Poly carbone atau sering ditulis OTHER merupakan jenis polimer dari 4 jenis yaitu SAN styrene acrylonitrile, ABS acrylonitrile butadiene styrene, PC polycarbonate, dan nylon. Pada logo daur ulang dengan angka 7 dan dibawah segitiga bertuliskan OTHER seperti pada Gambar 3.12



Gambar 3.12. Logo daur ulang Oher

Material dalam jenis ini dibentuk untuk botol minum olahraga, alat-alat rumah tangga, suku cadang mobil, alat-alat elektronik, computer dan plastik kemasan.

3.4.3. Penanganan Limbah Polimer Buatan

Polimer buatan menghasilkan limbah yang sulit diolah kembali dan sekitar 20% volume sampah perkotaan berupa limbah plastik dan umumnya dibuang ke tempat pembuangan sampah. Sampah yang dibuang tidak dapat diuraikan oleh mikroorganisme sehingga pemerintah harus terus membuka lahan penampungan sampah. Limbah polimer buatan tidak beracun, namun mencemarkan tanah juga merusak pemandangan.

Mengatasi limbah plomer buatan dikenal dengan metode 3R seperti pada buku saya Pengolahan sampah yaitu Recycle, Reduce, Reuse, walau ada teknik Incinerasi (Incineration). Metode 3R salahsatu cara terbaik dalam

pengolahan sampah khususnya plastik dengan berbagai jenis yang bisa dilihat dari logo daur ulangnya. Adapun 3R itu adalah:

1. *Recycle* (Daur Ulang)

Proses penanganan limbah plastik paling ideal adalah daur ulang namun sulit dijalankan khususnya pengumpulan dan pemisahan. Tahapan dari daur ulang melalui pengumpulan atau sortir, pelelehan dan pembentukan ulang. Produk bekas atau daur ulang lebih fleksibel sehingga memiliki nilai ekonomis. Pemanfaatan sampah yang tak terpakai hingga memiliki nilai tanpa mencemari lingkungan mampu mengurangi penyebaran sampah plastik secara dratis.

2. *Reuse*

Reuse berarti menggunakan kembali produk yang sudah terpakai sehingga produk polimer buatan dapat berkurang. Salahsatunya dengan penggunaan botol bekas air minum sebagai pot tanaman kecil, penggunaan kaleng biskuit hingga snack sebagai kotak penyimpanan di rumah, menggunakan botol sabun mandi atau shampoo dan mengisinya dengan membeli produk isi ulang. Dengan metode reuse bahan habis pakai dapat dibeli untuk dimanfaatkan kembali seperti sedia kala atau mengurangi jumlah limbah.

3. *Reduce*

Reduce berarti mengurangi penggunaan produk yang sekali pakai seperti kantong plastik belanja. Target utama reduce adalah produk berbahan plastik.

4. Incinerasi (*Incineration*)

Incineration atau pembakaran adalah metode menghilangkan limbah plastic dengan membakar pada suhu tinggi atau incinerasi karena mempunyai nilai kalor yang tinggi sehingga hasilnya digunakan sebagai sumber tenaga pembangkit listrik. Beberapa pembangkit listrik menggunakan batubara yang dibakar dengan beberapa persen plastic bekas atau ban, namun menimbulkan pencemaran udara. Pembakaran PVC menghasilkan HCl yang bersifat racun atau korosif begitu juga pembakaran ban bekas yang menghasilkan asap hitam pekat sehingga gasnya bersifat korosif dan menimbulkan mudah korosi. Pembakaran harus dilakukan dengan pengontrolan baik untuk mengurangi polusi seperti dibebaskannya gak dioksin yang sangat beracun pada pembakaran senyawa yang mengandung klorin di PVC.

3.5. Kesimpulan

1. Polimer merupakan molekul raksasa (makromolekul) yang terbentuk dari susunan ulang ratusan bahkan ribuan molekul sederhana yang disebut monomer.
2. Sifat-sifatnya polimer dapat dibagi ke dalam tiga kelompok umum, yaitu elastomer, serat, dan plastik
3. Polimer alam dalam kehidupan sehari – hari seperti pati, selulosa, protein, asam nukleat, dan karet alam.
4. Polimer seperti plastik, karet, serat, nilon, senyawa penting dalam tubuh makhluk hidup, yaitu karbohidrat (polisakarida), protein, dan asam nukleat merupakan suatu golongan kimia penting dalam kehidupan kita sehari-hari maupun dalam industri.

3.6. Daftar Pustaka

1. Riswiyanto, “*Kimia Organik*”, Edisi Kedua.2009.Jakarta, Erlangga, <https://www.scribd.com/document/462230230/Kimia-Organik-Edisi-Kedua-Riswiyanto-2009-Jakarta-Erlangga>
2. Anton J. Hartomo (1992). Komposit Metal. Cetakan Pertama. Yogyakarta. Andi Offset.
3. Bayer, Otto Prof, (1947). "*Das Di-Isocyanat-Polyadditionsverfahren (Polyurethane)*". *Angewandte Chemie*. 59: 257–272. doi:10.1002/ange.19470590901.; Lihat pula Paten Jerman 728.981 (1937) I.G. Farben
4. Anonim, “*Farmakologi dan Terapi*”, Departemen Farmakologi dan terapeutik FKUI, Jakarta, edisi 5, 2007
5. Riswiyanto, “*Kimia Organik*”, Edisi Kedua.2009.Jakarta, Erlangga, <https://www.scribd.com/document/462230230/Kimia-Organik-Edisi-Kedua-Riswiyanto-2009-Jakarta-Erlangga>
6. Admadi, H Bambang., Arnata, I Wayan. 2015.Teknologi Polimer. Program Studi Industri Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Udayana
7. Nisah, Khairun. 2018. “*Pembuatan Plastik Biodegradable dari Polimer Alam*”. Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri. Aceh
8. Nopianto Eko. 2010. Polimer alam
9. D. Rosana, “*Struktur Dan Fungsi Protein Dan Enzim*,” *Biofisika*, vol. 2, no. 5, p. 54, 2013.Akses:

<http://staffnew.uny.ac.id/upload/132058092/pendidikan/modul-2-struktur-dan-fungsi-protein.pdf>.

10. Avella, M. e. (2015). Eco-challenges of bi o- based polymer composites. *Materials*, 2, 911-925
11. Dr.Kurniasih, M.Si. & Sri Wahyuni, M.Pkim.2019. Paket Unit Pembelajaran Program PKB melalui PKP Berbasis Zonasi. Jakarta: Direktorat pembinaan guru pendidikan menengah dan Pendidikan khusus, Direktorat Jenderal Guru dan Tenaga pendidikan Kementrian Pendidikan dan Kebudayaan Muchataridi.2017. Kimia. Penerbit yudhistira.
12. Dani, I Made, and Lizda Johar. 2012. “*Pembuatan Dan Karakterisasi Polimer Ramah Lingkungan Berbahan Dasar Glukomanan Umbi Porang.*” *Jurnal Sains dan Seni Pomits* 1(1): 1–6.
13. Sagu, Pati, D A N Ubikayu, and D I Indonesia. 2017. “*Potensi Pengembangan Plastik Biodegradable Berbasis Pati Sagu Dan Ubi Kayu di Indonesia*”, *The Development Potential of Sago and Cassava Starch Based Biodegradable Plastik in Indonesia.*”

BAB IV

KERAMIK

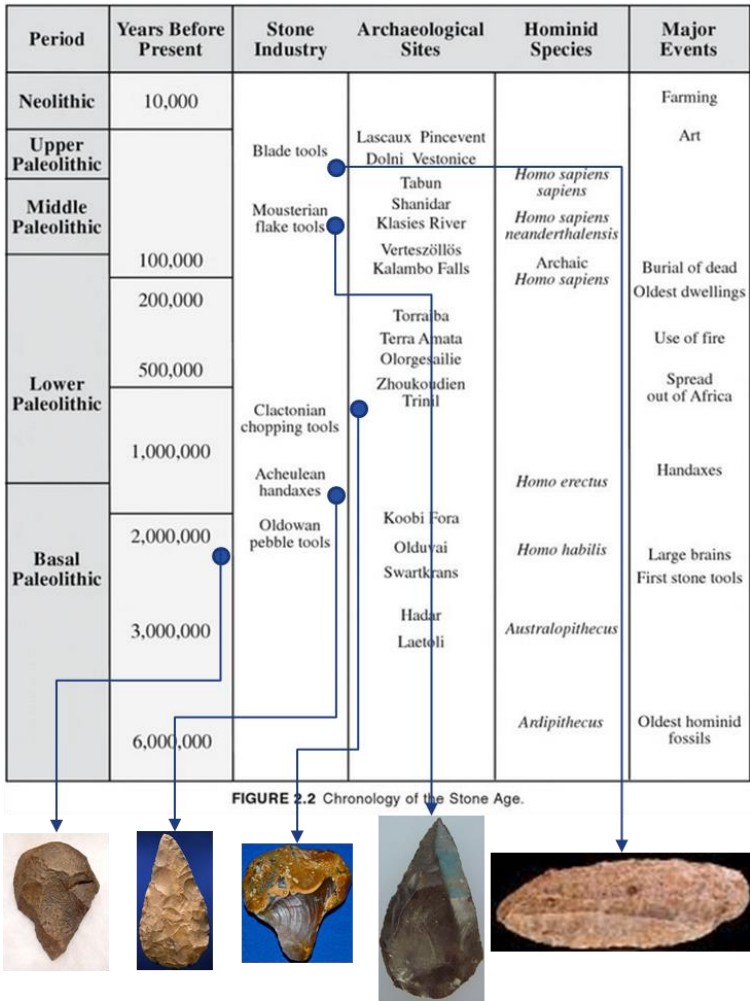
4.1. Pengertian Keramik

Keramik merupakan suatu material yang kerap kita gunakan dalam keseharian kita dan terbuat dari tanah liat yang dibakar. Keramik pada awalnya berasal dari bahasa Yunani “keramikos”, yang artinya "benda yang dibakar" atau suatu bentuk dari tanah liat yang telah mengalami proses pembakaran. Definisi keramik berdasarkan ensiklopedia tahun 1950-an mendefinisikan keramik sebagai suatu hasil seni dan teknologi untuk menghasilkan barang dari tanah liat yang dibakar, seperti gerabah, genteng, porselen, dan lain-lain. Keramik merupakan campuran yang terdiri dari unsur logam (semi logam), bukan logam serta inorganik yang terdiri atas unsur-unsur logam dan non-logam yang terikat bersamaan secara primer dengan ikatan ion dan/atau ikatan logam. Material Keramik merupakan material non-logam. Komposisi kimia keramik bervariasi dari senyawa sederhana hingga campuran dari berbagai fasa kompleks yang terikat bersamaan. Material keramik mengandung senyawa murni atau hampir murni seperti aluminium oksida (Al_2O_3), Silikon Karbida (SiC), Silikon Nitrida (Si_3N_4). Sifat yang diinginkan dari bahan-bahan ini biasanya dicapai melalui proses perlakuan panas bersuhu tinggi yang disebut *firing*. Keramik penting sebagai material teknik karena mudah dijumpai di alam dan sifat fisiknya sangat berbeda dibanding dengan logam. Hingga beberapa tahun terakhir, bahan dalam jenis ini disebut keramik tradisional yang bahan bakunya adalah tanah liat. Produk yang dianggap keramik tradisional adalah *china*,

porcelain, batu bata, ubin, dan gelas. Keramik pada awalnya hanya di produksi secara tradisional dari mineral alam, namun sekarang kegunaan keramik bermacam-macam fungsinya, dahulu hanya digunakan sebagai barang pecah belah, gerabah, namun sekarang telah menjadi industri yang cukup besar dengan aplikasi kegunaan seperti keramik porselin sebagai salah satu bahan isolator listrik, peralatan pabrik dan lain-lain sebagainya. Metode pembuatan untuk memperkuat keramik seperti membuat bahan awal lebih beragam, mengurangi ukuran butir dalam produk keramik polycrystalline, meminimalkan porositas, menggunakan penguat serat, perlakuan panas sehingga keramik mempunyai beberapa keunggulan dan kelemahan. Keunggulan material keramik yaitu tahan lama sehingga mampu bertahan hingga puluhan tahun, mudah dibentuk dan memiliki berbagai tekstur sesuai komposisi, tahan dan tidak menyerap air, harga yang ditawarkan sangat bervariasi dari yang murah sampai mahal, tahan panas, keras dan tahan tekanan, tahan larutan korosif. Keramik pun mempunyai kekurangan seperti rapuh karena tidak mampu menerima beban dengan deformasi plastis yang besar, tidak mampu menerima beban tarik yang tinggi.

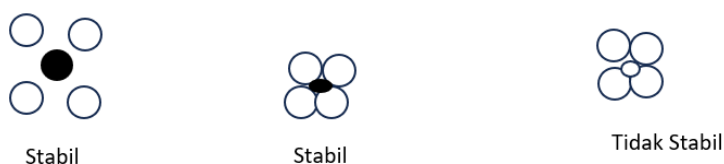
Saat ini perkembangan teknologi material keramik cenderung spesifikasi kegunaannya pada berbagai kebutuhan seperti kebutuhan rumah tangga, industri mekanik, elektronika, cordierite, refraktori, teknologi ruang angkasa, keramik berpori. Material keramik banyak dijumpai seperti silika atau silicon dioxide sebagai bahan baku produk-produk kaca atau beling atau cermin, alumina atau aluminium oxide yang biasa digunakan untuk membuat tulang buatan, Kaolinit atau hydrous Aluminium silikat sebagai bahan pembuatan produk-produk tanah liat atau porselen.

Perkembangan struktur kristal dimulai dari periodic Neolitik 10.000 SM seperti ditunjukkan pada Gambar 4.2. hingga tercipta keramik baru. Struktur kristal dapat dikelompokkan berdasarkan gaya utama yang bekerja pada ikatan atomnya. Ikatan atom atau ion terbagi dua muatan yaitu atom bermuatan positif dan atom bermuatan negatif.



Gambar 4.2. Perkembangan struktur keramik

Atom positif merupakan atom logam disebut kation sedangkan non-logam bermuatan negative disebut anion seperti calcium fluoride (CaF_2). CaF_2 mempunyai anion F dan kation Ca^{+} . Struktur kristal keramik dipengaruhi oleh karakteristik ion-ionnya termasuk besar muatan listrik pada masing-masing ion. Besar relatif antara ion seperti ditunjukkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3. Konfigurasi kordinasi anion-kation yang stabil dan tidak stabil. Lingkaran tertutup menunjukkan kation, sedangkan lingkaran terbuka menunjukkan anion (Sumber: Callister, 2007)

4.3. Komposisi Keramik

Komposisi keramik terbagi dari 4 jenis yaitu bahan atau mineral yang terbuat dari tanah liat (clay) yang dibakar, material anorganik yang tersusun atas unsur logam dan non-logam yang berkaitan ionik atau kovalen yaitu kwarsa (flint), feldspar serta semua material yang bersifat keras, rapuh, tahan panas, dan tahan korosi serta mengandung satu atau lebih unsur logam termasuk oksigen seperti serbuk kaca (cullet). Komposisi keramik yang terdiri dari 4 tersebut yaitu

4.3.1. Tanah Liat (Clay)

Tanah liat mengandung hidrated aluminum silica ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) merupakan bahan pokok untuk

pembuatan keramik. Salah satu bahan yang kegunaannya sangat menguntungkan bagi manusia karena bahanya yang mudah didapat pemakaian hasilnya yang sangat kuat karena kira-kira 70% atau 80% dari kulit bumi terdiri dari batuan merupakan sumber tanah liat.

4.3.2. Kwarsa (Flint)

Merupakan bentuk lain dari batuan silica (SiO_2). Tujuan pemakaian kwarsa selama pembakaran adalah mengurangi susut kering waktu dibakar dan mempertinggi kualitas, jadi mengurangi retak-retak dalam penegeringan.

4.3.3. Feldspar

Feldspar adalah suatu kelompok mineral yang berasal dari batu karang yang ditumbuk. Mineral tersebut dapat menghasilkan hingga 25% flux (pelebur) di badan keramik.

4.3.4. Serbuk Kaca (Cullet)

Serbuk Kaca adalah serbuk yang sangat kecil. Kaca biasanya dihasilkan dari campuran silicon atau bahan dioksida (SiO_2) yang merupakan benda amorf, dibentuk melalui proses pemadatan dari peleburan tanpa kristalisasi.

4.4. Karakteristik Keramik

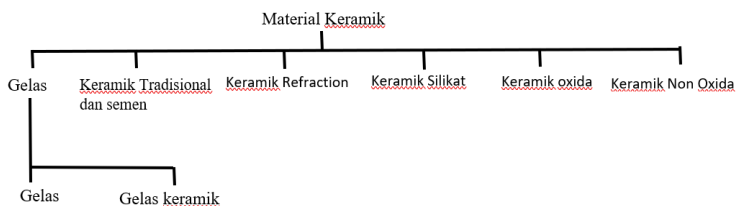
Klasifikasi material keramik berdasarkan struktur kristal dan komposisi kimia ditunjukkan pada Gambar 4.1. merupakan salah satu yang paling kompleks dari semua struktur bahan terdiri dari berbagai ukuran atom yang berbeda atau minimal terdiri dari 2 jenis unsur. Ikatan antara atom-atom ini umumnya ikatan kovalen atau ikatan yang elektron saling berbagi sehingga ikatan ini kuat atau ikatan ion

khususnya ikatan antara ion bermuatan sehingga ikatan menjadi kuat. Jenis ikatan covalent dan ionik cenderung lebih kuat dari ikatan logam. Secara teoretis kekuatan keramik harus lebih tinggi dari logam karena jenis ikatan atomnya tersebut. Keuntungan ikatan logam memungkinkannya selip karena logam berubah bentuk secara plastis saat mengalami tegangan tinggi. Ketidakmampuan untuk tergelincir membuat keramik lebih sulit menyerap tekanan. Ukuran butir mempunyai pengaruh besar terhadap kekuatan dan sifat-sifat keramik. Ukuran butir semakin halus maka mempunyai ketangguhan dan kekuatan makin tinggi. Keramik yang ukurannya halus disebut keramik halus, sedangkan ada material yang ukurannya bercampur yang disebut keramik rumit. Material keramik yang rumit tersusun dari berbagai macam atom dan ikatan pada struktur kristalnya. Struktur pada keramik tersusun oleh kombinasi dari polyhedron dengan ikatan kecil dari kation dikelilingi oleh beberapa anion. Salah satu contoh ikatan yang merupakan bahan baku penting bagi keramik adalah silikat. Keramik memiliki karakteristik yang digunakan untuk berbagai aplikasi seperti keras dan kuat tinggi namun rapuh, kapasitas panas yang baik dan konduktivitas panas yang rendah, tahan korosi, kerapuhan tinggi, titik lebur yang tinggi seperti ditunjukkan pada Tabel 4.1, kemampuan termal atau kapasitas panas yang baik, dapat bersifat magnetik dan non-magnetik, sifat listriknya berupa isolator atau semikonduktor maupun konduktor bahkan superkonduktor. Sifat-sifat material keramik tersebut sangat baik digunakan sebagai material pendukung karena keterbatasan yaitu kerapuhan atau kecenderungan untuk patah atau retak tiba-tiba dengan deformasi plastis yang sedikit.

Tabel 4.1. Beberapa Jenis Keramik dengan Titik Leburnya

Keramik campuran	Titik lebur(⁰ C)	Keramik campuran	Titik lebur(⁰ C)
Hafnium Carbida (HfC)	4150	Boron Carbida (B ₄ C)	2450
Titanium Carbida (TiC)	3120	Alumunium Oksida (Al ₂ O ₃)	2050
Tungsen Carbida (WC)	2850	Silikon Diodida (SiO ₂)	1715
Magnesium Oksida (MgO)	2798	Silikon Nitrida (Si ₃ N ₄)	1900
Silikom Karbida (SiC)	2500	Titanium Diodida (TiO ₂)	1605

Pengujian kekerasan bahan keramik menggunakan *microindentation* knoop atau vickers yang menggunakan *indenter* berbentuk piramida. Pengujian keramik sulit diukur karena kerapuhan dan kerentanannya terhadap keretakan saat diindentifikasi. Karakteristik keramik membuatnya bisa digunakan sebagai bahan abrasif. Kemampuan bahan untuk mengabsorbsi panas dari lingkungan disebut kapasitas panas bahan. Panas yang diserap disimpan pada padatan dalam bentuk getaran atau vibrasi atom atau ion penyusun padatan tersebut.



Gambar 4.4. Klasifikasi keramik Material Berdasarkan Komposisi Chemical

Klasifikasi Bahan Keramik dapat dibagi menjadi:

1. Stoneware

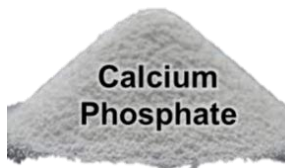
Bahan keramik terbuat dari bahan lempung plastik yang dibakar dan dibentuk pada suhu 1200°C -1300°C. Pada umumnya bahan ini lebih kuat dan tidak mudah keropos.



Gambar 4.5. Contoh bahan Stoneware

2. Spode China

Bahan dasar bone china atau spode china sama dengan hard paste porcelain dan ditambahkan sebanyak 50 % abu tulang hewan atau calcium phosphate. Pada umumnya material ini dibakar dan dibentuk pada suhu 1300°C – 1400°C dan penambahan abu ini menambah kekuatan dari keramik, mengkilap dan warna lebih cerah



Gambar 4.6. Contoh bahan Spode china

3. Earthenware

Pada umumnya terbuat dari tanah bata merah yang dibakar dan dibentuk pada 950°C - 1050°C . Hasil dari bahan ini seperti pado, kendi, bata, genteng, pot, anglo, gentong.



Gambar 4.7. Contoh bahan Earthenware

4. Porselin Pasta Lunak

Bahan yang sering disebut *Soft-Paste Porcelain* mengandung lempung dan alumina dan terbentuk dari lempung merah dan gelas tanah.



Gambar 4.8. Contoh bahan Porselin Pasta Lunak

5. Porselin Pasta Keras

Kandungan alumina yang tinggi dicampur dengan lempung dan felspar disebut dengan Hard-paste

Porcelain. Plastisitas material mudah dibentuk dan dapat dibakar dengan suhu antara 1300°C - 1400°C .



Gambar 4.9. Contoh bahan Porselin Pasta Keras

6. Porselin

Bahan Porselin terbuat dari 50% kaolin, 25% felspar, dan 25% kuarsa. Dapat dibakar dan dibentuk dua kali. Pembakaran pertama pada suhu 1250°C - 1300°C dan dibakar kedua kali di suhu 1380°C – 1450°C selama 24 jam.



Gambar 4.10. Contoh bahan Porselin

Penyerapan panas pada keramik kadang menghasilkan cacat titik seperti cacat intersisi, cacat Frenkel, cacat vakansi, cacat Schooty. Adapun cacat-cacat itu disebabkan oleh:

1. Cacat Interstisi

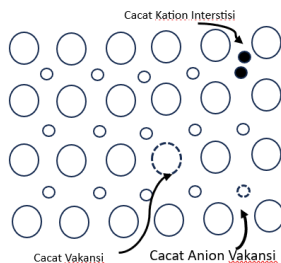
Cacat interstisi merupakan cacat kristalografi akibat atom menempati tempat kosong antara 2 atom atau lebih dalam struktur kristal sehingga dapat berbagi satu situs kisi sehingga meningkatkan energi totalnya

2. Cacat Frenkel

Cacat yang disebabkan oleh pasangan cacat kation interstisi dan kation vakansi disebut dengan cacat Frenkel atau cacat dislokasi. Penemu cacat ini adalah Yakov Frenkel dan sering disebut cacat titik pada kristal padatan yang terbentuk Ketika ion atau atom yang lebih kecil atau kation meninggalkan tempatnya di kisi atom, menciptakan kekosongan dan menghasilkan interstisi dengan menempati lokasi terdekat

3. Cacat vakansi

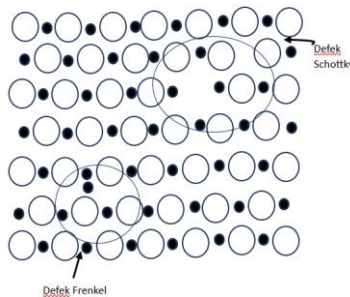
cacat ini terjadi akibat penumpukan yang salah ketika proses kristalisasi atau dapat juga terjadi akibat energi termal yang tinggi sehingga memungkinkan atom-atom meninggalkan posisinya yang menghasilkan kekosongan atom pada posisi tertentu.



Gambar 4.11. Contoh cacat Vakansi

4. Cacat Schoottky dan Frenkel

Cacat Schottky dan Frenkel merupakan kristal ionik yang disebabkan oleh pasangan cacat kation vakansi dan anion vakansi. Cacat Schottky merupakan kekosongan pada suatu titik kisi bersama-sama dengan cacat sisipan di permukaan. Cacat karena pasangan kosong yang tersisipan di dalam kristal membentuk cacat Frenkel.



Gambar 4.12. Contoh cacat frenkel

Keramik merupakan paduan antara logam dan non-logam dan memiliki ikatan ionik dan ikatan kovalen. Sifat-sifat keramik terbagi atas berikut.

1. Sifat Termal

Sifat termal bahan keramik adalah kapasitas panas, koefisien ekspansitermal, dan konduktivitas termal. Kapasitas panas bahan adalah kemampuan bahan untuk mengabsorpsi panas dari lingkungan. Panas yang diserep disimpan oleh padatan antara lain dalam bentuk vibrasi (getaran) atom/ion penyusun padatan tersebut

2. Sifat Mekanik

Keramik merupakan material yang kuat, keras dan juga tahan korosi. Kekerasan adalah salah satu keunggulan keramik. Kekerasan knoop dari beberapa keramik

diperlihatkan dalam Tabel. 4.1 dan berpengaruh pada kekuatan tekan. Kekuatan tekan bagian penting yang digunakan untuk struktur seperti bangunan dan biasanya lebih besar dari kekuatan tariknya.

Tabel 4.1. Perkiraan kekerasan knoop beberapa bahan keramik dengan beban 0,1 kgr

Material	Perkiraan kekerasan Knoop
Intan (karbon)	7000
Boron Karbida (B_4C)	2800
Silikon Karbida (SiC)	2500
Tungsten Karbida (WC)	2100
Alumunium Oksida (Al_2O_3)	2100
Kuarsa(SiO_2)	800

Keramik memiliki kerapatan yang rendah dan juga titik lelehnya yang tinggi sehingga keterbatasan utama keramik adalah kerapuhan atau cenderung untuk patah tiba-tiba dengan deformasi plastik yang sedikit. Pada keramik, karena kombinasi dari ikatan ion dan kovalen, patikel-partikelnya tidak mudah bergeser. Sifat keramik memiliki susunan yang stabil sehingga tahan korosi untuk larutan-larutan kimia.

3. Sifat Optik

Polarisasi merupakan distorsi awan elektron atom oleh medan listrik dari sebagian energi cahaya dikonversikan menjadi deformasi elektrik (fonon) yang menghasilkan panas. Dua mekanisme penting interaksi cahaya dengan partikel dalam padatan adalah polarisasi elektronik dan transisi elektron antara tingkat energi. Bahan bervariasi

dalam kemampuan untuk mentransmisikan cahaya yang bersifat transparan, translusen atau opaque. Gelas merupakan contoh material yang transparan. Bahan mentransmisikan cahaya dengan difus seperti gelas terfrosted disebut bahan translusen.

4. Sifat Fisik

Salah satu sifat fisik keramik adalah rapuh yang cenderung patah tiba-tiba dengan deformasi plastik yang sedikit. Ikatan keramik merupakan kombinasi ikatan ion dan kovalen yang partikel-partikelnya tidak mudah bergeser. Jika gaya yang dikenai terlalu besar, maka keramik mudah putus. Sebagian besar keramik adalah ikatan dari karbon, oksigen atau nitrogen dengan material lain seperti logam ringan dan semilogam. Hal ini menyebabkan keramik biasanya memiliki densitas yang kecil. Sebagian keramik yang ringan mungkin dapat sekeras logam yang berat. Keramik yang keras juga tahan terhadap gesekan. Senyawa keramik yang paling keras adalah berlian, diikuti boron nitrida pada urutan kedua dalam bentuk kristal kubusnya. Aluminium oksida dan silikon karbida biasa digunakan untuk memotong, menggiling, menghaluskan dan menghaluskan material-material keras lain.

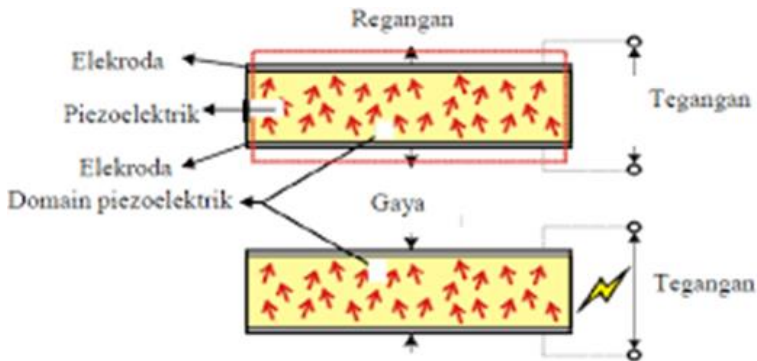
5. Sifat Kimia

Salah satu sifat khas dari keramik adalah kestabilan kimia. Sifat kimia dari permukaan keramik dapat dimanfaatkan secara positif. Karbon aktif, silika gel, zeolit, mempunyai luas permukaan besar dan dipakai sebagai bahan pengabsorb. Oksida logam dipanaskan

pada kira-kira 500°C sehingga permukaannya menjadi bersifat asam atau bersifat basa. Alumina, zeolit, lempung asam atau $\text{S}_2\text{O}_2 - \text{TiO}_2$ demikian juga berbagai oksida biner dipakai sebagai katalis, yang bermanfaat perubahan katalistik dari titik bersifat asam dan basa pada permukaan.

6. Sifat Elektrik

Sifat listrik bahan keramik sangat bervariasi namun umumnya keramik dikenal sebagai isolator yang baik. Bahan keramik seperti BaTiO_3 sebagai isolator dapat dipolarisasi dan digunakan untuk kapasitor. Keramik yang bersifat semikonduktor menghantar elektron bila energi ambangnya tercapai. Pada tahun 1986 tercipta jenis keramik baru yang bersifat superkonduktor dengan temperatur kritis tinggi ditemukan. Bahan superkonduktor terbentuk dibawah suhu kritisnya sehingga tidak memiliki hambatan atau hambatan nol. Keramik piezoelektrik atau kelistrikan tekan dapat menghasilkan respons listrik akibat tekanan mekanik atau sebaliknya. Valensi-valensi elektron terikat pada rantai tidak bebas pada logam disebabkan elektron bebas sebagai penentu sifat konduksi suatu barang. Sifat ini bagian yang sering digunakan untuk sensor. Pada bahan piezoelektrik umumnya tekanan atau gaya dipermukaannya akan menginduksi polarisasi dan akan terjadi medan listrik sehingga mengubah tekanan mekanis menjadi tegangan listrik. Bahan piezoelektrik sering digunakan untuk transduser yang ditemui pada mikrofon dan sebagainya seperti pada Gambar 4.13



Gambar 4.13. Bahan piezoelektrik

4.5. Fungsi Keramik

Berdasarkan fungsinya keramik dapat dibedakan menjadi dua kelompok, yaitu:

1. Keramik Tradisional

Keramik yang banyak digunakan untuk produk-produk yang sederhana, seperti bahan-bahan abrasif refraktor (tahan panas), gelas, porselin, dan bahan bangunan seperti beton, lantai dan lain-lain.

2. Keramik Modern atau baru

Penggunaanya pada teknologi canggih atau alat-alat teknik. Keramik modern memiliki sifat-sifat listrik, sifat mekanik, dan sifat termal yang baik, sehingga digunakan untuk teknologi canggih.

4.6. Keramik Baru

Definisi keramik berdasarkan ensiklopedia tahun 1950-an mendefinisikan keramik sebagai suatu hasil seni dan teknologi untuk menghasilkan barang dari tanah liat yang dibakar, seperti gerabah, genteng, porselen, dan lain-lain

namun saat ini tidak semua keramik berasal dari tanah liat yang disebut keramik baru. Keramik baru mengacu pada bahan keramik yang telah dikembangkan secara sintetis dan mencakup semua bahan bukan logam dan anorganik yang berbentuk padat. Bahan baku keramik yang umum dipakai adalah felspar, ball clay, kwarsa, kaolin, dan air.



Gambar 4.14. Jenis-jenis keramik baru

Pengembangan dilakukan selama beberapa dekade terakhir dan bertujuan untuk memperbaiki teknik pengolahan supaya bisa memberikan kontrol yang lebih besar pada struktur dan sifat bahan keramik. Keramik baru secara kimia seperti oksida, karbida, nitrida, dan borida biasanya lebih sederhana daripada keramik tradisional. Perbedaan antara keramik tradisional dan keramik baru sering kurang jelas dan lebih didasarkan pada metode pemrosesan daripada komposisi kimianya seperti aluminium oksida dan silikon karbida masuk di antara jenis keramik tradisional. Keramik oksida yang umumnya adalah *alumina* yang diproduksi secara sintetis dari bauksit dengan menggunakan metode *furnace* listrik. Kekuatan dan ketangguhan *alumina* bisa meningkat secara substansial dibandingkan dengan yang alami dengan melewati banyak proses. *Alumina* bersifat keras, konduktivitas rendah,

dan tahan korosi. Silikon karbida (SiC), *tungsten carbide* (WC), *titanium carbide* (TiC), *tantalum carbide* (TaC), dan *chromium carbide* termasuk keramik karbida sering dimasukkan kedalam kelompok keramik tradisional. Metode keramik buatan manusia produksinya telah dikembangkan sudah cukup lama.

4.7. Teknik Pemrosesan Keramik

1. Pembubukan

Bahan-bahan dasar keramik umumnya berbentuk serbuk yang diperoleh dengan metode konvensional atau non-konvensional. Milling atau proses menggiling atau menghaluskan bahan, kalsinasi atau menguraikan suatu bahan padatan menjadi beberapa bagian yang lebih sederhana, mixing merupakan pencampuran beberapa bahan menjadi satu bahan merupakan metode konvensional, sedangkan metode nonkonvensional menggunakan teknik larutan seperti metode fase uap, metode sol-gel, atau dekomposisi garam.

2. Pembentukan

Jenis metode pembentukan ini banyak seperti metode pres isostatic dan aksial, metode cetak lepas atau dicetak hingga lalu dilepas, metode cetak balut yaitu bahan dibiarkan tetap berada dalam cetakan atau cetak injeksi yaitu bahan dimasukkan kedalam cetakan dengan cara diinjeksikan kedalamnya.

3. Penekanan

Penekanan atau disebut juga kompaksi dilakukan untuk membentuk serbuk keramik menjadi suatu bentuk padatan berupa pelet mentah. Pelet mentah merupakan

serbuk yang telah menjadi bentuk padat namun belum disinter. Jenis prosedur dasar penekanan seperti hot pressing yaitu penekanan dilakukan secara simultan dengan perlakuan panas pada serbuk, isostatik atau penekanan serbuk dilakukan dengan menggunakan cairan dan uniaxial atau serbuk yang dibentuk dalam cetakan logam dengan penekanan satu arah.

4. Sintering

Sintering merupakan metode pemanasan yang dilakukan terhadap suatu material biasanya dalam bentuk serbuk pada suhu dibawah titik lelehnya sehingga menjadi bentuk padatan. Sintering terbagi menjadi 2 jenis, yaitu berdasarkan ada tidaknya fase cair selama proses sintering. Sintering yang terjadi disertai adanya fase cair disebut sintering fase cair, dan sintering yang terjadi tanpa fase cair disebut sintering padat. Tahap sintering dilakukan untuk memadatkan komposisi bahan, yang sudah dicetak dan dikeringkan dengan suhu tinggi.

5. Annealing dan Aging

Annealing adalah proses pemanasan yang lebih rendah dari sebelumnya karena parameter dan sifat yang diinginkan mencapai optimum. Sedangkan aging adalah proses pendinginan pada beberapa waktu tertentu

6. Tahap Akhir

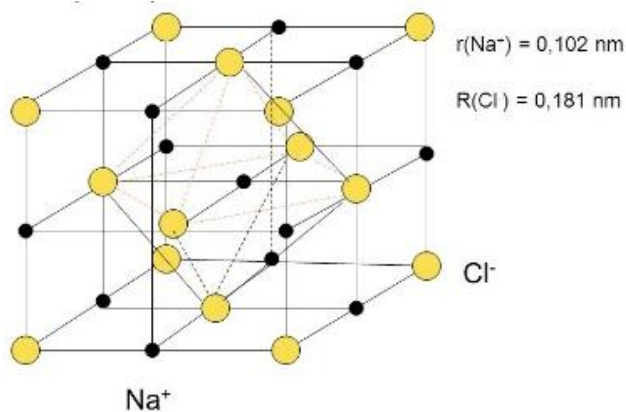
Tahap terakhir pembentukan keramik dilakukan sesuai dengan sifat bahan yang diinginkan. Pada umumnya perlakuan terakhir seperti mengasah, memoles, memberi lapisan logam, memberi mantel untuk perlindungan.

4.8. Struktur Bentuk Mikro Keramik

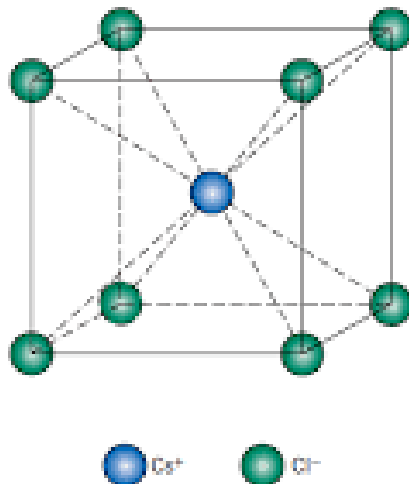
Struktur mikro keramik berasal dari kristal ion yang sering ditemukan dalam bentuk:

1. Struktur Kristal Tipe AX

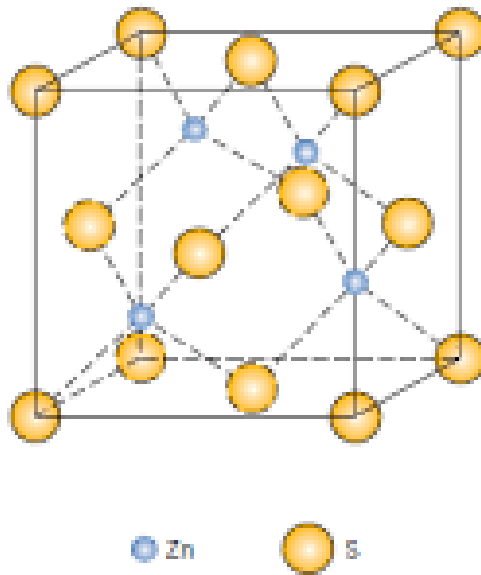
1.1. Jenis struktur kristal garam batu: berbentuk kubik bepusat muka (FCC). Contoh NaCl, CsCl, ZnS dan intan



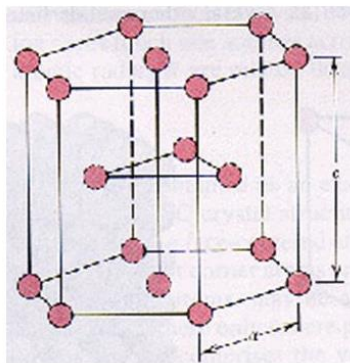
1.2. Struktur sesium Klorida: berbentuk kubik sederhana (simple cubic)



1.3. Struktur Zns: Bernetuk Sphalerite



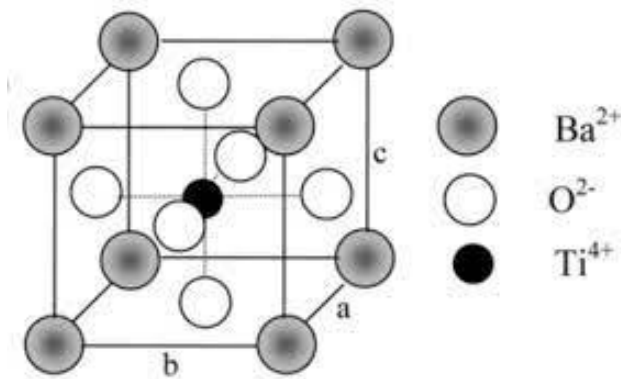
2. Struktur Intan: Berbentuk seperti ZnS, tetapi seluruh atomnya diisi atom C



Struktur kristal Al_2O_3

3. Struktur kristal AmXp
- (Korundum)
 - Berbentuk Heksagonal

4. Struktur Kristal $A_mB_nX_p$



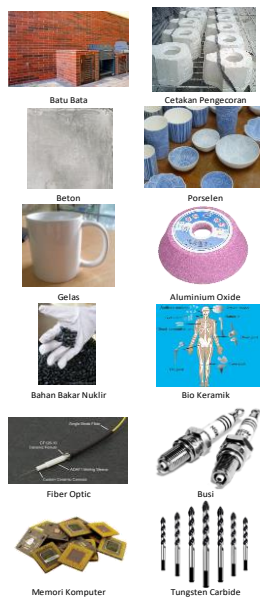
- $BaTiO_3$
- Berbentuk kristal perovskite

4.9. Aplikasi Keramik

Beberapa aplikasi dari bahan keramik seperti:

1. Produk tanah liat seperti batu bata, pipa tanah liat, ubin, genteng.
2. Keramik tahan panas, keramik ini memiliki ketahanan pada suhu yang tinggi dan digunakan sebagai cetakan pengecoran logam, tungku perapian, dapur peleburan, dll.
3. Semen sebagai bahan baku pembuatan beton untuk jalan maupun konstruksi.
4. Perabot berwarna putih seperti *china*, porselen, vas, *pottery*, *stoneware*, dll.
5. Kaca sebagai bahan pembuatanacamata, gelas, botol, jendela, bolam lampu, dll.
6. Abrasif seperti *aluminium oxide*, *silicon carbide*, dll.

7. Bahan bakar nuklir.
8. Bio keramik sebagai bahan baku pembuatan tulang dan gigi palsu.
9. *Glass fiber* untuk penguat plastik atau *fiberglass*, saluran komunikasi *fiber optic*, dll.
10. Isolator keramik yang digunakan pada komponen transmisi listrik dan busi.
11. Keramik magnetis seperti pada memori komputer.
12. Material alat potong seperti *tungsten carbide*, *cubic boron nitride*, *aluminium oxide*, dll.



Gambar 4.15. Aplikasi keramik dalam kehidupan

BAB V

KOMPOSIT

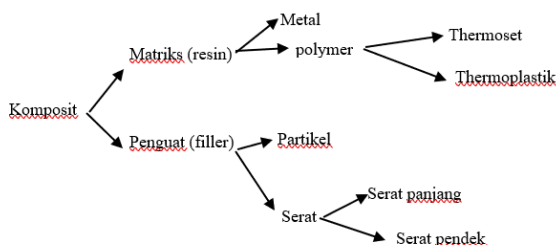
5.1. Pendahuluan

Material komposit merupakan salah satu rekayasa teknologi suatu material yang tersusun dari atau lebih 2 bahan yang membentuk suatu material baru dengan sifat-sifat yang berbeda, yang jauh lebih baik dari bahan baku yang digunakan dan lebih baik dari sifat-sifat material penyusunnya memiliki beberapa keuntungan dibandingkan dengan material konvensional yang bersifat ringan dan memiliki kekuatan yang luar biasa. Penggabungan pada material komposit ini merupakan penggabungan secara makroskopis, dimana material-material tersebut tidak saling melarutkan satu sama lain dan biasanya diaplikasikan pada industri otomotif, dirgantara, konstruksi, olahraga, dan teknologi seperti pada bodi mobil yang ringan namun kuat, sayap pesawat yang tahan terhadap gaya aerodinamis dan suhu tinggi, dan raket golf yang memiliki kekuatan tinggi. Tujuan pembuatan material komposit ini adalah untuk mengkombinasikan material yang sama atau berbeda guna mengembangkan sifat-sifat spesifik yang diinginkan, keleluasaan dalam bentuk design yang dapat menghemat biaya, menjadikan bahan lebih ringan, memperbaiki sifat mekanik dan sifat spesifikasi tertentu karena mempunyai kekuatan dan kekakuan spesifik yang lebih tinggi, mempermudah design yang sulit karena mempunyai ketahanan fatigue yang tinggi pada manufaktur, mempunyai sifat *tailoring* yaitu sifat yang dapat diarahkan ke segala arah sesuai tujuan, kuat dan kaku dapat disesuaikan sesuai kebutuhan, serta bahan komposit tidak mudah terkena

korosi. Salah satunya serat penguat memberikan kekuatan yang tinggi dibandingkan dengan beratnya dan matriks dapat membantu dalam menahan deformasi. Komposisi tahan terhadap korosi, tahan terhadap suhu tinggi, tahan terhadap keausan, dan sifat isolasi termal atau listrik yang dapat diatur sesuai kebutuhan.

Kekurangan bahan ini adalah keterbatasan bahan yang digunakan dan proses pembuatannya harus melewati beberapa tahapan sehingga penggunaan bahan komposit terbatas pada komponen-komponen yang membutuhkan ketelitian tinggi saja sehingga mengakibatkan harganya relative lebih mahal. Tidak bersifat plastik karena sifatnya dipengaruhi oleh suhu dan kelembaban, sulit deteksi secara visual kerusakan karena tumbukkan merupakan beberapa kelemahan dari material komposit. Komposit merupakan suatu jenis bahan baru hasil rekayasa yang terdiri dari dua atau lebih bahan dimana sifat masing-masing bahan berbeda satu sama lainnya baik itu sifat kimia maupun fisiknya dan tetap terpisah dalam hasil akhir bahan tersebut atau berbentuk komposit. Dengan adanya perbedaan dari material penyusunnya maka komposit antar material harus berkaitan dengan kuat, sehingga perlu adanya penambahan *wetting agent*.

Berikut adalah skema material komposit.



Gambar 5.1. Skema Material Komposit

Material komposit yang terbuat dari dua bahan atau lebih seperti pada Gambar 5.1. tetap terpisah dan berbeda dalam level makroskopik selagi membentuk komponen tunggal sehingga dihasilkan material komposit yang mempunyai sifat mekanik dan karakteristik yang berbeda dari material pembentuknya. Komposit pada dunia industri merupakan campuran atau gabungan antara bahan matrik atau pengikat yang diperkuat antara polimer atau bahan makromolekul dengan ukuran besar yang diturunkan dari minyak bumi ataupun bahan alam lainnya seperti karet dan serat sehingga bersifat heterogen dalam skala makroskopik. Bahan penyusun komposit tersebut masing-masing memiliki sifat yang berbeda dan ketika digabungkan dalam komposisi tertentu terbentuk sifat-sifat baru yang disesuaikan dengan industri. Bahan material terdiri dari dua bahan penyusun, yaitu bahan utama sebagai pengikat dan bahan pendukung sebagai penguat. Bahan penguat dapat dibentuk serat, partikel, serpihan atau dapat berbentuk yang lain, dibanding dengan material konvensional, bahan komposit memiliki banyak keunggulan, diantaranya memiliki kekuatan yang dapat diatur, berat yang lebih ringan, tahan terhadap keausan kekuatan, ketahanan yang lebih tinggi, dan tahan korosi.

Material komposit dapat diaplikasikan ke segala bidang seperti:

1. Olahraga

Penggunaan komposit serat stek dan serat karbon memberikan kinerja superior dan kekuatan pada peralatan olahraga dan rekreasi seperti pembuatan tongkat golf, Sepatu lari, papan seuncur salju dan raket tenis.

2. Dirgantara

Salahsatu sifat material komposit yang dimanfaatkan industri dirgantara karena ringan dan kuat dalam pembentukkan badan pesawat juga mengurangi bobot pesawat, mengurangi konsumsi bahan bakar dan meningkatkan efisiensi

3. Industri Otomotif

Pembuatan bodi mobil dengan menggunakan material komposit bertujuan mengurangi bobot kendaraan, meningkatkan keamanan dan meningkatkan efisiensi bahan bakar. Produk panel bodi, bumper dan bagian struktur lain pada mobil menggunakan komposit serat stek dan serat karbon.

5.2. Faktor Karakteristik Dan Sifat Komposit

Pembentukkan sifat ataupun karakteristik pada komposit ditentukan oleh beberapa factor seperti:

1. Interaksi antar partikel

Partikel penyusun berinteraksi akan meningkatkan sifat dari komposit

2. Material penyusun komposit

Karakteristik dari material penyusun membentuk karakter komposit secara teoritis sehingga berbanding secara proporsional.

3. Struktur penyusun dan bentuk dari komposit

Bentuk (dimensi) dan struktur (ikatan) penyusun komposit akan mempengaruhi karakteristik komposit.

5.3. Material Penyusun Komposit

Material komposit terdiri dari dua komponen utama: matriks dan penguat. Matriks adalah fase yang mengelilingi dan menahan penguat dalam material komposit bisa berupa material polimer, logam, atau keramik. Penguat memberikan kekuatan dan kaku pada material komposit berupa serat-serat yang terbuat dari material seperti serat karbon, serat kaca, atau serat alami seperti serat rami.

5.3.1. Penguat (*Reinforcement*)

Salah satu bagian utama dari komposit yaitu penguat (*reinforcement*) yang berfungsi sebagai penanggung beban utama pada komposit seperti pada Gambar 4.2.



Gambar 5. 2. Ilustrasi reinforcement pada komposit

Fungsi penguat untuk menahan beban yang diterima oleh material komposit sehingga tinggi rendahnya kekuatan komposit sangat tergantung dari penguat yang digunakan. Bahan penguat yang umum digunakan berjenis partikel, serat seperti serat alam, serat karbon, serat gelas kristal, atau serat pendek, organik, anorganik, metal juga material keramik sehingga lebih kaku, lebih kuat dan lebih tangguh. Jenis penguat utama yang digunakan seperti glass, paper, cotton, polyamide, dan serat alami lainnya kadang penguat dalam bentuk karbon, grafit, boron, dan steel. Jenis-jenis material komposit berdasarkan penguatnya dibagi menjadi 3 seperti ^[5]:

1. Komposit serat

komposit yang terdiri dari serat dan bahan dasar yang difabrikasi seperti serat dan resin sebagai perekat.

2. Komposit berlapis (laminated composite)

Jenis komposit yang terdiri dari dua lapis atau lebih yang digabungkan menjadi satu dan setiap lapisannya memiliki karakteristik khusus.

Contohnya polywood, laminated glass yang sering digunakan sebagai bahan bangunan dan kelengkapannya.

3. Komposit partikel (particulate composite)

Jenis komposit yang menggunakan partikel atau serbuk sebagai penguatnya dan terdistribusi secara merata dalam matriks.

Komposit yang terdiri dari matriks seperti butiran (batu dan pasir) dan partikel.

Partikel seharusnya berukuran kecil seperti terdistribusi merata agar dapat menghasilkan kekuatan lebih seragam.

5.3.2. Matriks

Matriks pada struktur komposit umumnya berasal bahan polimer atau logam karena harus bisa meneruskan beban sehingga serat bisa melekat pada matriks dan kompatibel antara serat dan matriks. Matriks pada susunan komposit bertugas melindungi dan mengikat serat agar bekerja dengan baik sehingga berfungsi sebagai pelapis serat juga dapat melindungi serat dari gesekan mekanik, memegang dan mempertahankan serat pada posisinya, tetap stabil setelah proses manufaktur, mentransfer tegangan ke serat secara merata, melindungi dari lingkungan yang merugikan. Matriks merupakan fasa dalam komposit yang mempunyai bagian atau fraksi volume terbesar (dominan). Matriks mempunyai fungsi seperti mentransfer tegangan ke serat, membentuk ikatan koheren pada permukaan matrik/serat, melindungi serat, memisahkan serat, melepas ikatan. tetap stabil setelah proses manufaktur. Matrik mempunyai sifat lebih elastis dan mempunyai kekuatan yang lebih rendah sehingga diperlukan resin. Contoh resin yang umum digunakan: fluorocarbon, polyethylene, phenolic, alkyd, polyester, epoxy, silicone, melamin polyimide, polycarbonat, acrylic, acetal, polypropylene, ABS (acrylonitrile-butadiene-styrene) copolymer, dan polystyrene. Komposit matriks harus berguna agar matriks dapat mempertahankan serat pada posisinya, pada pembebanan dapat merubah bentuk dan mendistribusikan tegangan ke unsur utamanya yaitu serat, memberikan sifat: ductility, toughness dan electrical.

5.4. Klasifikasi Material Komposit (*Composite*)

Material komposit terdiri dari unsur-unsur penyusun dan komponen dapat berupa unsur organik, anorganik ataupun metalik dalam bentuk serat, partikel serbuk dan lapisan. Berdasarkan matriks, komposit diklasifikasikan menjadi tiga kelompok besar yaitu:

5.4.1. Polymer Matrix Composite (PMC)

Polymer Matrix Composite merupakan salahsatu jenis material komposit yang menggunakan matriks polimer sebagai fase yang mengelilingi dan menahan penguat dalam material. Dalam komposit ini, matriks polimer berperan sebagai medium yang menyatukan dan melindungi serat-serat penguat. PMC mengandung serat penguat 60% dari volumenya. Serat yang digunakan di dalam PMC umumnya masuk kategori fiberglass, grafit dan aramid. Fiberglass merupakan salah satu serat yang paling banyak digunakan karena memiliki kelakuan yang relatif rendah juga menunjukkan kekuatan tarik yang kompetitif dibandingkan serat lainnya sehingga biaya fiberglass lebih rendah dari pada serat lainnya. Serat penguat memiliki sifat mekanik tinggi sepanjang panjangnya daripada lebarnya sehingga serat penguat mungkin diatur dan berorientasi pada berbagai bentuk dan arahan untuk memberikan sifat fisik dan keuntungan yang berbeda berdasarkan kegunaannya. Pada matriks harus ditentukan sifatnya untuk menentukan ketahanan PMC terhadap proses yang mencakup kerusakan akibat benturan, penyerapan air, serangan kimia, dan creep suhu tinggi. Ikatan matriks PMC biasanya bersifat ikatan lemah. Matriks PMC terdiri dari resin yang merupakan thermoset atau thermoplastik. Komposit pada PMC bersifat tahan simpan

siklus pabrikasi dapat dipersingkat, lebih ringan, biaya pembuatan lebih rendah, dapat dibuat dengan produksi massal, ketangguhan baik, kemampuan mengikuti bentuk. Sifat dari material PMC ketangguhan baik, biaya pembuatan lebih rendah, ringan, dapat dibuat untuk produksi massal, mampu mengikuti bentuk. Jenis polimer yang banyak digunakan thermoplastic seperti poliester, Nylon 66, PP, PTFE, PET, PES dan termoset seperti poliimida (PI), Bakelit, Epoksida. Keuntungan Polimer Matriks Composite (PMC) yaitu ringan, specific stiffness tinggi, specific strength tinggi



Gambar 5.3. Contoh Matriks Pada Komposit

Contoh aplikasi dari material PMC dari bahan matriksnya:

1. Matriks berbasis polyester dengan fiber glass:
 - a. Panel pintu kendaraan
 - b. Alat-alat rumah tangga
 - c. Peralatan elektronik
 - d. Lemari perkantoran
2. Matriks berbasis thermoplastic
 - a. Reservoir air radiator
 - b. Interior mobil
3. Matriks berbasis termoplastik dengan serat gelas
 - a. kotak air radiator
4. Matriks berbasis termoset dengan carbon fiber

- a. Rotor helicopter
- b. Komponen Pesawat ruang angkasa
- 5. Matrik berbasis termoset dengan serat carbon
 - a. Rotor helicopter
 - b. Komponen ruang angkasa
 - c. Rantai pesawat terbang

5.4.2. Metal Matrix Composite – MMC

Metal Matrix Komposit (MMC) merupakan salah satu jenis komposit yang memiliki matrik logam yang berperan sebagai matriks yang memberikan kekuatan dan keuletan, sedangkan serat atau partikel penguat meningkatkan sifat mekanik dan termal material. Metal matrix komposite yaitu kombinasi rekayasa material yang terdiri dari dua atau lebih bahan material dengan salah satunya logam, dengan berbagai bentuk dan sifat yang dilakukan secara kombinasi dan sistematis pada kandungan- kandungan yang berbeda pada material tersebut sehingga menghasilkan suatu material baru yang memiliki sifat dan karakteristik yang lebih baik dari bahan penyusunnya. MMC merupakan jenis dari komposit yang matriksnya berupa logam ulet. Setelah digabungkan dengan material lain sebagai fillernya akan terbentuk komposit dengan sifat kekakuan, kekerasan, ketahanan abrasi, dan kestabilan dimensi yang lebih baik daripada sebelumnya. Matriks yang biasanya digunakan pada komposit ini adalah aluminium, magnesium, titanium, dan tembaga. Sedangkan untuk filler-nya dapat berupa partikel dan serat dengan komposisi 10 –60 %. Penelitian dan pengembangan terhadap MMC sudah mulai dilakukan pada tahun 1960-an, akan tetapi masih banyak mengalami kendala karena pembuatan

komposit matrik logam memerlukan biaya yang relatif tinggi, minimnya pengembangan tentang pengetahuan tentang komposit matrik logam dan lain-lain. Konsep pembuatan komposit matrik logam mempunyai prospek yang lebih menjanjikan karena karakteristik bahan yang tahan terhadap sifat redaman, memiliki batas kelelahan yang baik (*fatigue*), suhu tinggi, daya hantar listrik, ketahanan aus (*wear resistance*), ketahanan terhadap korosi, kekerasan yang cukup baik, memiliki bobot yang ringan, konduktivitas termal, dan koefisien muai termal yang lebih baik. Pembuatan komposit matrik logam telah dikembangkan dengan menggunakan penguat partikel, dan yang dapat diaplikasikan untuk berbagai industri karena penguat partikel merupakan komposit jenis Discontinuous Metal Matrix Composite's (DMMC), dan komposit jenis ini sering disebut dengan komposit isotropik yang artinya semua arah penguat memiliki nilai yang sama dan komposit dengan penguat jenis partikel juga mudah diproses. Material utama matrik yang umum dikembangkan adalah aluminium, titanium dan magnesium. Dalam pembuatan komposit matrik logam, yang paling banyak dikembangkan adalah komposit matrik logam berbasis aluminium, dan penguat yang digunakan adalah partikel SiC karena disamping harga bahan baku yang relatif murah juga mudah didapat, sehingga partikel SiC banyak digunakan untuk penguat dalam pembuatan komposit matrik logam. Kelebihan MMC adalah transfer tegangan dan regangan yang baik, kekuatan tekan dan geser yang baik, ketahanan aus yang lebih baik, kekuatan tekan dan geser yang baik, tidak mudah terbakar, ketahanan terhadap temperature tinggi, tidak menyerap kelembapan, tidak mudah terbakar, ketahanan terhadap temperature tinggi, ketahanan aus dan muai termal yang lebih baik, transfer tegangan dan regangan yang baik.

MMC pun mempunyai kekurangannya yaitu biayanya mahal, standarisasi material dan proses yang sedikit. Matriks pada MMC mempunyai keuletan yang tinggi, mempunyai titik lebur yang rendah, mempunyai densitas yang rendah. Proses pembuatan MMC seperti powder metallurgy, casting/liquid infiltration, compocasting, squeeze casting. Sifat dari MMC seperti mempunyai densitas yang rendah, mempunyai titik lebur yang rendah, mempunyai keuletan yang tinggi. Aplikasi material MMC dapat dilakukan pada peralatan tempur militer, peralatan militer, aircraft (rak listrik pada pesawat terbang), komponen automotive, komponen mesin kendaraan, heatsink pada komponen elektronik, peralatan elektronik.

5.4.3. Ceramic Matrix Composites – CMC

Ceramic Matrix Composites merupakan jenis material komposit yang terdiri dari matriks keramik yang mengikat serat atau partikel penguat keramik dan berfungsi sebagai medium yang mengikat dan melindungi serat-serat penguat. Bahan komposit matriks keramik (CMC) dapat direkayasa untuk aplikasi suhu tinggi di berbagai bidang seperti dirgantara, kelautan. CMC mempunyai sifat seperti tahan terhadap korosi, konduktivitas termal yang baik, memiliki kekuatan tinggi, stabilitas dimensi yang baik. CMC sulit membuat menggunakan metode pencetakan tradisional karena kerapuhan dan kekerasannya yang tinggi. Teknologi manufaktur aditif (AM), teknologi manufaktur digital, memberikan banyak keuntungan dibandingkan teknologi manufaktur tradisional, seperti fabrikasi komponen geometris yang kompleks, fabrikasi bebas cetakan, siklus pengembangan pendek. Berbagai teknologi AM dikembangkan untuk CMC ditinjau dengan penekanan pada

mekanisme manufaktur, karakteristik produksi, dan kemajuan penelitian terkini. Teknologi AM dari ide-ide inovatif dan karya perintis memiliki kemampuan pembentukan yang unik dalam membuat CMC, menunjukkan potensi kuat dalam penerapan CMC di ruang angkasa dan bidang lainnya. Namun tantangan CMC yang dibuat oleh teknologi AM, yaitu sifat mekanik dan akurasi geometris yang buruk, fraksi volume penguatan yang lebih rendah daripada proses manufaktur tradisional. Ceramic matrix-composite (CMC) suatu gelas-keramik, material keramik dan gelas-matriks yang mengandung fasa inklusi sekunder. Fasa inklusi sekunder ini dapat berupa fiber, *whisker*, platelet atau partikulat. Pada sebuah komposit sempurna fasa-fasa inklusi ini akan berinteraksi secara sinergi dengan matriksnya sehingga membentuk material yang memiliki sifat-sifat yang lebih baik dibandingkan dari material matriks atau material inklusinya sendiri. Gelas, gelas-keramik dan keramik merupakan material yang memiliki nilai modulus Young (stiffness) yang tinggi. Material tersebut memiliki kekuatan kompresi yang baik dan sedikit lebih padat dibandingkan dari kebanyakan logam struktural. Penggunaan material gelas, gelas-keramik dan keramik sangat terbatas pada aplikasi struktural, yang disebabkan oleh kerapuhan, ketahanan patahan yang rendah, sensitivitas terhadap cacat, dan kekuatan tarik yang sangat rendah pada kondisi bulk. Inklusi fasa kedua mampu meningkatkan toleransi terhadap kerusakan (toleransi toughness), meningkatkan reliabilitas (modulus weibull yang tinggi) dan kekuatan kelenturan dan tegangan yang tinggi. Matriks pada CMC dapat terbuat dari berbagai jenis keramik seperti oksida, karbida, nitrida, atau kombinasi dari oksida-karbida dan nitride seperti oksida aluminium (Al_2O_3), nitrida seperti nitrida silikon (Si_3N_4), dan karbida seperti karbida

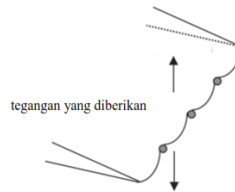
silikon (SiC). Keuntungan dari CMC yaitu unsur kimianya stabil pada temperatur tinggi, dimensi stabil bahkan lebih stabil daripada logam kekuatan serta ketangguhan tinggi, ketahanan korosi tinggi, mempunyai karakteristik permukaan yang tahan aus tahan dari keretakan pada temperatur tinggi, sangat tangguh, bahkan hampir sama dengan ketangguhan dari cast iron. CMC juga mempunyai kerugian seperti hanya untuk aplikasi tertentu, sulit untuk diproduksi dalam jumlah besar dan relative mahal dan non-cot effective. CMC pada umumnya digunakan untuk system knalpot pada mobil, bearing mesin, membrane pada pemrosesan bahan kimia, nozzle pembakaran pada mesin pesawat

5.4.3.1. Mekanisme Ketangguhan Pada Komposite Matriks Kramik

Komposit matriks keramik yang diperkuat dengan fiber kontinu menunjukkan adanya perilaku kausi-perpatahan ulet sejajar dengan panjangnya fiber hingga mampu lebih dari 20 MPa.m^{1/2} jika antara fiber dan matriks membentuk antarmuka cukup lemah. Komposit matriks keramik yang diperkuat partikulat atau *whisker* menghasilkan perilaku kerapuhan diiringi dengan peningkatan kekuatan dan ketangguhan perpatahan berkisar 10 M Pa m^{1/2} atau lebih.

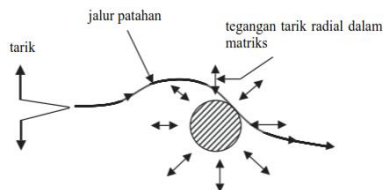
Material rapuh mengandung fasa kedua terdispersi memiliki kemampuan kekuatan yang tinggi dibandingkan material yang homogen. Kekuatan meningkat seiring dengan peningkatan fraksi volum partikel terdispersi dan akan menurun seiring menurunnya fraksi volum partikel terdispersi. Kekuatan dipengaruhi oleh jarak partikel dan tidak hanya ditemukan pada sistem dispersi partikel kuat saja tetapi ditemukan juga pada sistem yang mengandung kekosongan

disebabkan ujung retakan mengalami penumpukan yang terlokalisir pada kekosongan.



Gambar 5.4. Lengkung retakan akibat tarikan antara partikel terdispersi

Pada Gambar 5.4, ditunjukkan ilustrasi retakan yang melengkung diantara dua partikel terdispersi. Jarak antara partikel memegang peranan terhadap peningkatan fraksi muka retakan per satuan penambahan panjangnya. Dengan asumsi energi perpatahan tidak hanya bergantung pada luas permukaan yang baru terbentuk saja, tetapi bergantung juga pada panjang dari muka retakan yang baru terbentuk. Besar laju pelepasan energi regangan dari retakan yang terdefleksi mampu meningkatkan ketangguhan perpatahan. Butir dengan bentuk batang sangat efektif untuk mendefleksikan rambatan retakan. Mekanisme defleksi retakan yang meningkatkan ketangguhan keramik disebabkan adanya tegangan sisa disekitar partikel sekunder yang terdispersi



Gambar 5.5. Defleksi retakan oleh partikel terdispersi akibat adanya tegangan pada matriks akibat perbedaan pemuaian termal

Pada Gambar 5.5, ditunjukkan resultan tegangan tarik yang terjadi pada matriks menyebabkan terjadinya defleksi retakan disekitar partikel yang membuat peningkatan pada kekuatan dan ketangguhan patahan. Tegangan sisa pada partikel terdispersi akibat koefisien muai termal yang berbeda terjadi saat pendinginan pada proses termal. Tegangan sisa secara spontan menyebabkan retakan mikro. Bila tegangan sisa lebih rendah dari kekuatan lokal pada material, tegangan internal akan tetap berada di dalam material. Dalam kondisi tersebut, pemberian tegangan akan menyebabkan retakan mikro pada ujung retakan dimana terbentuk tegangan lokal yang besar, hal ini terjadi karena tegangan yang diberikan akan mengurangi ukuran kritis retakan mikro dari retakan mikro spontan. Mekanisme dari retakan mikro diawali dari munculnya retakan mikro pada ujung retakan. Terjadi perluasan area retakan mikro menuju retakan sehingga membentuk lapisan retakan yang mengakibatkan tegangan kompresi pada permukaan retakan dan menyebabkan peningkatan ketangguhan perpatahan.

Sifat Mekanik Lainnya

Serat pada komponen CMC disusun bertumpuk 2 Dimensi (2D) sebagai satin atau kain tenunan polos sehingga bahan yang dihasilkan berupa anisotropik dan lebih khusus ortotropik^[12]. Pada serat ini cenderung terjadi retakan antar lapisan atau delaminasi yang tidak ditutupi oleh serat sehingga diperlukan kekuatan geser interlaminar (ILS) serta kekuatan tegak lurus terhadap orientasi serat 2D rendah pada bahan-bahan tersebut sehingga terjadinya delaminasi secara mudah dibawah beban mekanis tertentu. Memperbaiki situasi

tersebut dengan menggunakan struktur serat dengan tiga dimensi

5.4.3.2. Sifat listrik dan Termal pada CMC

Kedua sifat dari komposit erupakan gabungan dari matriks, serat dan pori-pori juga komposisinya dan menghasilkan orintasi serat data anisotropik. Oksida CMC meupakan isolator listrik yang sangat baik karena mempunyai insulasi termalnya jauh lebih baik daripada keramik oksida konvensional dan porositasnya tinggi. Penggunaan serat karbon meningkatkan konduktivitas listrik karena serat saling kontak sebagai sumber tegangan. Secara elektrik matriks silikon karbida merupakan semikonduktor hingga tercapainya konduktor termal yang baik, namun resistansinya berkurang dengan peningkatan suhu. Serat SiC Amorf mempunyai perbedaan dari SiC(poli) kristal yang merupakan konduktor panas namun listrik yang relative buruk. Dari Tabel 5.1. material yang mempunyai konduktivitas termal tertinggi pada material LSI karena porositas yang rendah. Porositas rendah menguntungkan rem cakram saat digunakan.

Tabel 5.1. Sifat thermal dan Listrik pada CMC

Bahan	CVI- C/SiC	LPI- C/SiC	LSI- C/SiC	CVI- SiC/SiC	SiSiC
Konduktivitas termal (ρ) [W/(m.K)]	15	11	21	18	>100
Konduktivitas termal (v) [W/(m.K)]	7	5	15	10	>100
Ekspansi Linier (ρ) [10^6 1/K]	1.3	1.2	0	2.3	4

Bahan	CVI- C/SiC	LPI- C/SiC	LSI- C/SiC	CVI- SiC/SiC	SiSiC
Ekspanasi Linier (v) [10 ⁶ 1/K]	3	4	3	3	4
Resistivitas Listrik(ρ) [$\Omega \cdot \text{cm}$]	-	-	-	-	50
Resistivitas Listrik(v) [$\Omega \cdot \text{cm}$]	0.4	-	-	5	50

Keterangan tabel: (ρ) dan (v) masing-masing mengacu pada data paralel dan vertikal terhadap orientasi serat dari struktur serat 2D

Keramik konvensional sangat sensitive pada konduktivitas termal disebabkan elongasi yang rendah dan modulus Young tinggi. Konduktivitas termal yang rendah karena perbedaan suhu menghasilkan elongasi yang berbeda juga modulus Young tinggi. Modulus Young yang tinggi menghasilkan tegangan tinggi sehingga menyebabkan pecah, kegagalan getas dan keretakan.

Untuk mengurangi keretakan serta komponen tidak menghasilkan kerusakan makroskopik diciptakan keramik modern dalam bentuk CMC. Penerapan CMC pada cakram rem menghasilkan efektifitas bahan komposit keramik pada kondisi kejutan termal yang cepat.

5.4.3.3. Bahan matriks yang digunakan pada CMC

1. Silikon Karbida

Bahan matriks yang paling tahan korosi adalah karbida silikon murni dan bersifat basa kuat. Oksigen pada basa kuat bersuhu antara 1470⁰F atau 800⁰C dan bereaksi dengan logam cair membentuk silisida dan

karbida. Pereaksian dengan oksigen membentuk SiO_2 dan CO_2 pada lapisan permukaan SiO_2 akan memperlambat oksida pasif atau oksida berikutnya. Pada umumnya CO , CO_2 dan gas SiO merupakan oksidasi aktif bersuhu diatas sekitar 2910^0F atau 1600^0C dengan tekanan parsial yang rendah dari hasil oksigen sehingga terbentuk hilangnya SiC dengan cepat. Selain CVI matriks SiC diproduksi walau ketahanan korosinya tidak sebaik CVI.

2. Karbon

Karbon membentuk korosi karbon terbesar terjadi dengan adanya oksigen sekitar 932^0F atau 500^0C . Terbakarnya bahan membentuk karbon dioksida atau karbon monoksida yang mengoksidasi pada zat pengoksidasi kuat seperti asam nitrat pekat. Pada larutan logam cair membentuk karbida logam.

3. Alumina

Bahan matriks yang menunjukkan ketahanan korosi yang sangat baik dibandingkan sebagian besar bahan kimia adalah alumina murni. Fase silika dan kaca amorf pada batas butir mengakibatkan kecepatan korosi pada basa pekat dan asam sehingga terjadi perpatahan pada suhu tinggi. Terjadinya perpatahan membatasi penggunaan alumina terlebih pada logam cair hanya digunakan dengan emas dan platinum.

4. Serat Alumina

Sifat korosi pada serat alumina hampir sama dengan alumina, namun serat secara umum tidak terlalu murni karena kurang tahan. Serat ini mudah patah pada suhu diatas 1000^0C kecuali pada beberapa CMC oksida.

5. Keramik Gelas

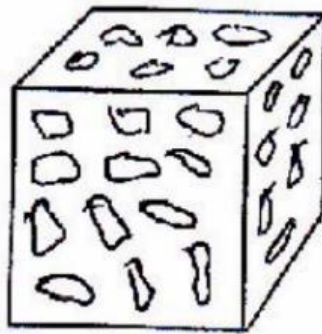
Bahan keramik mempunyai keunggulan yang tahan panas karena dibuat dengan cara pembakaran pada suhu $1500^0 - 3000^0\text{C}$

5.5. Klasifikasi Struktur Komposit

Pembagian struktur komposit dengan perubahan struktur dari serat sehingga menciptakan produk baru sesuai kebutuhannya yaitu:

1. Komposit Serpihan

Komposit serpihan digambarkan pada Gambar 5.6 merupakan kumpulan partikel kecil yang saling menahan dengan pengikatan permukaan atau dimasukkan kedalam matriks dan telah ditentukan sebelumnya yang dihasilkan dari pembentukkan khusus dengan orientasi serat sejajar dengan permukaannya. Sifat- sifat khusus dari komponen serpihan yaitu bentuknya datar dan besar sehingga bisa disusun dengan rapat untuk menghasilkan luas penampang lintang tertentu dengan bahan penguat yang tinggi.



Gambar 5.6. Bentuk Komposit serpihan

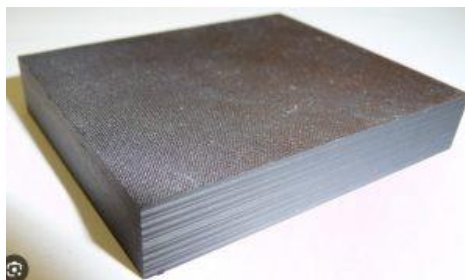
Contoh aplikasi material komposit serpihan seperti pada Gambar 5.7 yaitu seperti papan partikel bahan dasar meja belajar merek “Olimpic”



Gambar 5.7 Contoh aplikasi komposit serpihan

2. Komposit Laminat

Komposit laminat yang ditunjukkan pada Gambar 5.8 disebut juga komposit lapisan karena material penyusun struktur komposit merupakan lembaran-lembaran lamina atau satu lembar komposit dengan arah serat tertentu yang ditata dan diatur satu persatu sehingga terbentuk elemen struktur secara integral pada komposit.

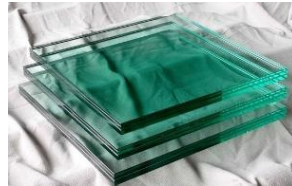


Gambar 5.8. Struktur komposit Laminat

Contoh aplikasi material komposit laminat seperti pada Gambar 5.9



Lantai kayu parket

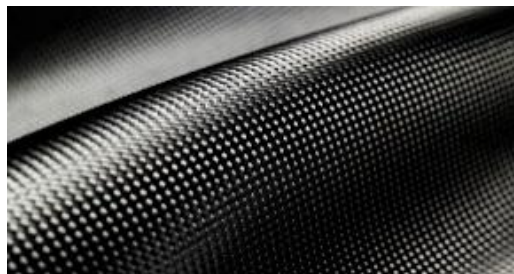


Kaca anti peluru

Gambar 5.9. Aplikasi komposit laminat

3. Komposit serat

Komposit Serat atau fiber composite seperti pada Gambar 5.10. merupakan jenis struktur yang pertama pada bahan komposit yang mempunyai susunan acak ataupun berorientasi tertentu bahkan bisa dalam bentuk yang lebih rumit seperti anyaman. Bahan serat yang digunakan umumnya seperti serat gelas, serat aramid, serat karbon dan lainnya.



Gambar 5.10. Komposit serat

Aplikasi material komposit serat seperti pada komponen otomotif yang menggunakan karbon serat, serat pembungkus kabel bawah laut seperti pada Gambar 5.11.

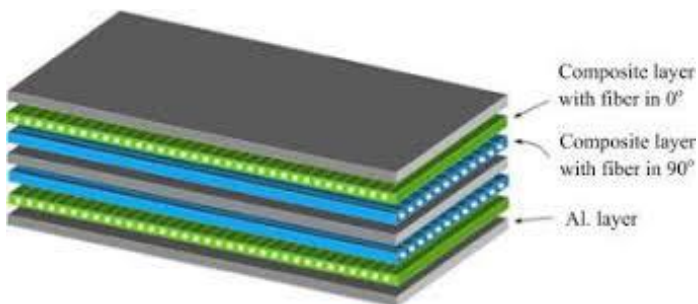


Carbon fiber (Komponen otomotif) Serat pembungkus kabel bawah laut

Gambar 5.11. Aplikasi material komposit

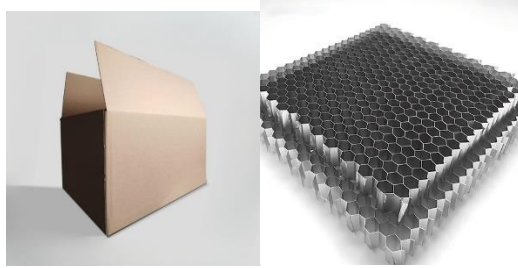
4. Komposit sandwich

Perbedaan struktur komposit sandwich yang menyerupai struktur komposit laminat terletak dalam penggunaan *honeycomb core* seperti pada Gambar 5.12 dimana tiap bagian memiliki fungsi tersendiri yang akan menunjang kinerja struktur sandwich.



Gambar 5.12 Struktur komposit sandwich

Aplikasi material komposit sandwich pada kardus tempat elektronik, aluminium panel honeycomb seperti pada Gambar 5.13.

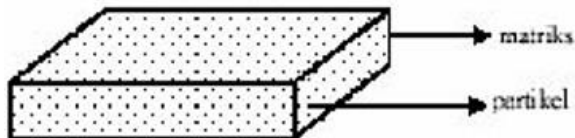


Kardus tempat elektronik Aluminium panel honeycomb

Gambar 5.13 Aplikasi komposit sandwich

5. Komposit Partikel

Suatu material komposit seperti pada Gambar 4.14 yang dihasilkan dengan cara penempatan partikel-partikel dan diikat dengan bersamaan dengan matriks dengan satu atau lebih unsur perlakuan seperti tekanan, kelembaban, panas, katalisator atau lainnya.



Gambar 5.14 Komposit Partikel

Aplikasi material komposit partikel seperti pada Kampas rem, asbes rumah, pasir yang dicampur sama semen seperti pada Gambar 4.15



Kampas rem Asbes rumah Pasir yang dicampur dengan semen

Gambar 5.15. Aplikasi penggunaan komposit partikel

5.6. Contoh proses pada komposit

Ada beberapa proses matriks pada komposit seperti:

1. Pembentukan matriks melalui elektroforesis

Partikel bermuatan listrik dengan proses elektroforesis terdispersi dalam cairan khusus yang diangkut melalui medan listrik ke bentuk awal yang polaritas muatan listrik yang berlawanan. Proses ini masih dalam pengembangan dan belum digunakan secara industri dengan menghasilkan beberapa porositas yang tersisa.

2. Pembentukan matriks melalui sintering

Pada umumnya menghasilkan bahan CMC serat oksida atau matriks oksida menggunakan proses ini karena sebagian besar serat keramik tidak dapat menahan suhu sintering normal yaitu di atas 1.600°C (2.910°F). Prekursor pada proses ini memungkinkan terjadi sintering dengan proses pembentukan keramik antara suhu $1000\text{--}1200^{\circ}\text{C}$ dengan pencampuran bubuk alumina dengan cairan tetra-etil-orto silikat sebagai donor

silikon dan aluminium-butilat sebagai donor Al yang menghasilkan matriks mullite dengan menggunakan cairan prekursor khusus untuk menyerap ke bentuk awal serat oksida. Teknik lain yang digunakan pada proses ini yaitu proses sol-gel dengan CMC yang diperoleh biasanya memiliki porositas tinggi antara 20%.

3. Pembentukan matriks melalui reaksi kimia

Metode ini terjadi disebabkan satu bahan yang terletak di antara serat bereaksi pada bahan kedua sehingga terbentuk matriks keramik. Beberapa keramik konvensional juga dihasilkan melalui reaksi kimia seperti silikon nitrida terikat-reaksi (RBSN) diproduksi dengan reaksi serbuk silikon dengan nitrogen atau karbon berpori bereaksi dengan silikon membentuk silikon karbida terikat reaksi, silikon karbida yang mengandung inklusi fase silikon. Produksi cakram rem salahsatu contoh pembuatan CMC dengan proses ini. Proses lainnya adalah *infiltrasi silikon cair* (LSI) merupakan reaksi silikon dengan bentuk awal berpori C/C dengan suhu proses di atas 1.414 °C (2.577 °F) atau diatas titik leleh silikon serta kondisi proses dikendalikan sedemikian rupa sehingga serat karbon dari bentuk awal C/C dengan mempertahankan sifat mekaniknya dan menghasilkan porositas sangat rendah sekitar 3%.

4. Pembentukan Matriks melalui Pirolisis polimer yang mengandung C dan Si

Metode ini menghasilkan polimer hidrokarbon menyusut selama pirolisis serta mengalami pelepasan gas dengan membentuk karbon dengan struktur seperti kaca amorf yang dengan perlakuan panas tambahan

dapat berubah menjadi struktur yang lebih mirip grafit. Polimer yang umum digunakan polimer prakeramik dengan beberapa atom karbon tergantikan oleh atom silikon atau dikenal silan polikarbo dengan menghasilkan silikon karbida amorf dengan komposisi stoikiometrik seperti silikon karbida, silikon oksikarbida, silikon karbonitrida dan prekursor silikon oksinitrida. Polimer prakeramik untuk pembuatan keramik turunan dari polimer sedang dikembangkan. Pembuatan bahan CMC, bentuk awal serat diinfiltrasi dengan polimer yang dipilih. Berikutnya dilakukan pirolisis hasil matriks sangat berpori yang tidak diinginkan untuk sebagian besar aplikasi. Siklus lebih lanjut dari infiltrasi polimer dan pirolisis dilakukan sampai kualitas akhir dan yang diinginkan tercapai dengan melewati lima hingga delapan siklus diperlukan. Proses ini disebut *infiltrasi polimer cair* (LPI), atau *infiltrasi dan pirolisis polimer* (PIP) sehingga proses porositas polimer menyusut sekitar 15%. dengan porositas berkurang setiap siklus.

5. Deposisi matriks dari fase gas

Adanya preform serat pada deposisi uap kimia (CVD) atau dikenal Infiltrasi uap kimia (CVI) sangat cocok untuk tujuan ini karena CVD terjadi di antara serat dan filamen masing-masing. Hasil CVI meninggalkan matriks dengan porositas sekitar 10-15%, karena akses reaktan ke bagian bentuk awal semakin terhalang oleh pengendapan di bagian luar. Pada pembuatan komposit C/C: preform C-fiber terkena campuran argon dan gas hidrokarbon seperti metana, propane dan sebagainya pada tekanan sekitar atau di bawah 100 kPa dan suhu di

atas 1000 ° C sehingga gas terurai menyimpan karbon di antara serat. Contoh lain adalah pengendapan silikon karbida yang biasanya dilakukan dari campuran hidrogen dan metil-triklorosilan (MTS, CH₃ SiCl₃) pada produksi silicon dengan kondisi yang ditentukan campuran gas ini mengendapkan silikon karbida halus dan kristal pada permukaan panas di dalam bentuk awal.

5.7. Daftar Pustaka

1. Ir. Faisal Arif Nurgesang, S.T., M.Sc., IPP , “ *Mengenal Material Komposit*”, 8 December 2022, <https://mechanical.uii.ac.id/mengenal-material-komposit/>
2. Lohdy Diana, Arrad Ghani S, Muhammad Nabel A, “*Analisis Kekuatan Tarik pada Material Komposisi dengan serat penguat polimer*”, 2020
3. Nurun Nayiroh, “*Teknologi Material Komposit*”, <https://muh-amin.com/mengenal-teknologi-material-komposit/>
4. MV ALFAZAR, ”*Komposit*”, Tugas Akhir, itenas, 2020, chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/,<https://eprints.itenas.ac.id/1179/1/05.pdf>
5. Ramadhoni, Syahrul. "Pembuatan komposit matriks logam berpenguat keramik (Al/SiC) dicampur kayu dengan metode metalurgi serbuk." (2010).
6. Nayiroh, Nurun. "Teknologi Material Komposit." Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim: Malang (2013).
7. Frans Armanto, “*Komposit ~ pengenalan, definisi bahan , tujuan, bagian-bagian utama dari komposit*”,blog,

<https://frans-armanto22.blogspot.com/2017/05/komposit-pengenalan-definisi-bahan.html>

8. Erlangga, G. P., Dwinanda, V. C., & Andnindyara, W. (n.d.). *Komposit Matrix Logam (metal matrix composite) ””*. 123dok.com. Retrieved November 17, 2021, from <https://123dok.com/document/zw13r10q-komposit-matrix-logam-metal-matrix-composite.html>.
9. Kartini, Ratni, et al. "*Pembuatan Dan Karakterisasi Komposit Polimer Berpenguat Serat Alam.*" *Jurnal Sains Materi Indonesia* 3.3 (2018): 30-38.
10. Jan Setiawan, "*Komposit Matriks Keramik- Kajian Literatur*", 2013, <https://jansetiawan.wordpress.com/2013/04/18/keramik-matriks-komposit-kajian-literatur/>
11. Jokosisworo, Sarjito. "*Pengaruh penggunaan serat kulit rotan sebagai penguat pada komposit polimer dengan matriks Polyester Yukalac 157 Terhadap Kekuatan Tarik Dan Tekuk.*" *Teknik* 30.3 (2009): 191-196.
12. Clareyna, Eqitha Dea, and Lizda Johar Mawarani. "*Pembuatan dan Karakteristik Komposit Polimer Berpenguat Bagasse.*" *Jurnal Teknik ITS* 2.2 (2013): F208-F213.
13. Nayiroh, Nurun. "*Teknologi Material Komposit.*" Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim: Malang (2013).
14. Sulaiman, Mochamad, and Muhammad Hudan Rahmat. "*Kajian potensi pengembangan material komposit polimer dengan serat alam untuk produk otomotif.*" *Seminar Nasional Teknik Mesin (SISTEM)*. Jember: Teknik Mesin Universitas Jember. 2018.

15. Tjahjanti, Prantasi Harmi. *"Buku Ajar Teori Dan Aplikasi Material Komposit Dan Polimer."* Umsida Press (2018): 1-24.
16. Dwi Kurniawan S., Tarkono, dan Harnowo Supriadi, *"Utilization Of Fiber And Shell Particles Palm Oil As Substitute Materials In Producing Eternite Ceiling"*, Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Lampung, JURNAL FEMA, Volume 1, Nomor 3, Juli 2013, chrome-extension://efaidnbmnmnibpcajpcgclclefindmkaj/https://media.neliti.com/media/publications/97568-ID-none.pdf
17. Salsabila Hasnah SSi, *"Particle Board adalah: Pengertian dan Keunggulan"*, <https://dextone.com/particle-board-adalah-pengertian-dan-keunggulannya/>
18. Assoc Prof DR.Zulfikar,ST,MT, *"Pengertian Bahan Komposit Laminat"*,14 Agustus 2023 , <http://zulfikar.blog.uma.ac.id/2023/08/14/pengertian-bahan-komposit-laminat/>
19. <https://indonesian.inlaidglass.com/sale-14374540-20mm-bulletproof-laminated-tempered-glass-door-curve-shape-acid-etched.html>
20. *"Penerapan komposit serat karbon"*, 11 November 2014, <https://id.semicorex.com/news-show-9039.html>
21. Sebastien Bell, *"Check Out The First Complete Carbon Fiber Body Of RML's Upcoming Short Wheelbase"*, October 28, 2021, blog, <https://www.carscoops.com/2021/10/check-out-the-first-complete-carbon-fiber-body-of-rmls-upcoming-short-wheelbase/>
22. Hilmi Iman Firmansyah, Wirawan, Moh. Nasir Hariyanto, *"Analysis of Fiber Metal Composite Shear Strength Using*

- Independent Variables of Fiber Angle Orientation and Metal Surface Roughness*”, Politeknik Negeri Malang, JETM: Jurnal Energi dan Teknologi Manufaktur p-ISSN: 2620-8741 Vol. 05, No. 02, Bulan Desember Tahun 2022, hal. 29-34,; <http://jetm.polinema.ac.id/file:///C:/Users/Dell/Downloads/29-34.pdf>
23. Tokopedia, “*Kardus eflute kotak penyimpanan barang dus elektronik*”, <https://www.tokopedia.com/restiwulyaningsi/kardus-eflute-kotak-penyimpanan-barang-dus-elektronik-size-60x40x40-cm>
 24. NEXCOMB - Aludecor's Revolutionary Aluminium Honeycomb Panels, <https://www.aludecor.com/aluminium-honeycomb-panel>
 25. “*Komposit Fibre*”, 19 Maret 2008, <https://adenholics.blogspot.com/2008/03/komposite.html>
 26. Arif Nugrahad, Azwar Ferdian,” *Ini Alasan Kampas Rem Mobil Tidak Habis Bersamaan*” 5 September 2021, Kompas.com, <https://otomotif.kompas.com/read/2021/09/05/154100815/ini-alasan-kampas-rem-mobil-tidak-habis-bersamaan>
 27. CNN Indonesia, “*Dinkes DKI Larang Warga Pakai Asbes, Ini Bahayanya untuk Kesehatan*”, 8 Mei 2024, <https://www.cnnindonesia.com/gaya-hidup/20240508100804-255-1095294/dinkes-dki-larang-warga-pakai-asbes-ini-bahayanya-untuk-kesehatan>
 28. Semen Rajawali, “*Mengenal Jenis-jenis Campuran Pasir dalam Adukan Bahan Bangunan Semen*”, 7 Oktober 2016, <https://semenrajawali.com/read/20161007/3/mengenal-jenis-jenis-campuran-pasir-dalam-adukan-bahan-bangunan-semen>



ukipressdigital.uki.ac.id



UKI PRESS

Pusat Penerbit dan Pencetakan
Universitas Kristen Indonesia
Jl. Mayjen Sutoyo No. 2, Cawang
Jakarta Timur 13630

ISBN 978-634-7589-68-2



9

786347

589682