

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Pengertian Komposit adalah campuran dua atau lebih material yang berbeda, dengan adanya ikatan permukaan diantara campuran material tersebut. Komposit bukan saja dimanfaatkan untuk sifat struktural tetapi bisa untuk berbagai sifat yang lainnya seperti listrik, panas, atau material material yang membutuhkan keramahan lingkungan. Komposit pada dasarnya dibedakan menjadi 2 bagian, yaitu matriks dan penguat (Surdia dan Shinroku,1995). Beberapa definisi dasar dari komposit menurut (Alam et al., 2023) sebagai berikut: Sub-Mikro (nano) yang artinya molekul tunggal dan kisi kristal, bila material yang disusun dari dua atom atau lebih disebut komposit (contoh: senyawa, paduan (alloy), polimer, dan keramik). Mikrostruktur yang artinya pada kristal, fase, dan senyawa, bila material disusun dari dua fase atau senyawa atau lebih disebut komposit (contoh: paduan Fe dan C). Makrostruktur yang artinya material yang disusun dari campuran dua atau lebih penyusun makro yang berbeda dalam bentuk dan/atau komposisi dan tidak larut satu dengan yang lain disebut material komposit (definisi secara makro ini yang biasa dipakai dalam mendefinisikan komposit). Secara umum, penyusun komposit terdiri dari dua atau lebih material yang menimbulkan beberapa istilah dalam komposit, seperti: matrik (penyusun dengan fraksi volume terbesar), penguat (penahan beban utama), interphase (pelekat antara matrik dan penguat) dan interface (permukaan fase yang berbatasan dengan fase lain).

2.1.1 Sifat dan Karakteristik Komposit

Sifat maupun karakteristik dari komposit ditentukan oleh beberapa faktor (Rahmat dkk, 2013):

- a. Material yang menjadi penyusun komposit. Karakteristik komposit ditentukan berdasarkan karakteristik material penyusun dan dapat ditentukan secara teoritis, sehingga akan berbanding secara proporsional.
- b. Bentuk dan struktur penyusun dari komposit. Bentuk (dimensi) dan struktur (ikatan) penyusun komposit akan mempengaruhi karakteristik komposit.
- c. Interaksi antar penyusun. Bila terjadi interaksi antar penyusun akan meningkatkan sifat dari komposit.

2.1.2 Klasifikasi Komposit

Menurut Pada umumnya komposit dapat dibagi menjadi tiga kategori, antara lain:

- a. Komposit Matrik Polimer (*Polymer Matrix Composites-PMC*).

Bahan ini merupakan bahan yang paling sering digunakan atau sering disebut dengan polimer berpenguat Serat (Fibre Reinforced Polymers of Plastics – FRP). Komposit ini menggunakan suatu polimer berbasis resin sebagai matriknya, dan jenis serat tertentu sebagai penguat, seperti: serat kaca, karbon, dan aramid (kevlar).

- b. Komposit Matrik Keramik (*Ceramic Matrix Composites – CMC*).

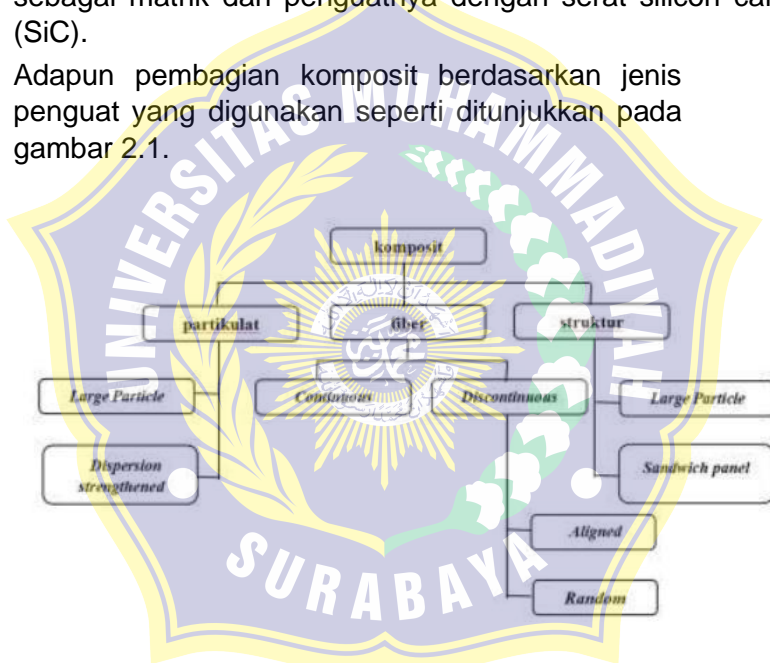
Material komposit ini biasanya digunakan pada lingkungan bertemperatur sangat tinggi, bahan ini

menggunakan keramik sebagai matrik dan diperkuat dengan serat pendek, atau serabut-serabut (whiskers) yang terbuat dari silikon karbida atau boron nitrida.

c. Komposit Matrik Logam (*Metal Matrix Composites – MMC*).

Berkembang pada industri otomotif, bahan ini pada umumnya menggunakan suatu logam seperti aluminium (Al) sebagai matrik dan penguatnya dengan serat silikon karbida (SiC).

Adapun pembagian komposit berdasarkan jenis penguat yang digunakan seperti ditunjukkan pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Pembagian komposit berdasarkan jenis penguat yang digunakan (Najjar et al., 2023)

Berdasarkan Gambar 2.1 diketahui bahwa, berdasarkan jenis penguat yang digunakan komposit dapat dibagi menjadi tiga jenis, yaitu:

- a. *Particulate composite*, penguatnya berbentuk partikel
- b. *Fibre composite*, penguatnya berbentuk serat.
- c. *Structural composite*, cara penggabungan material komposit berbentuk laminat atau panel. (Pramono, 2008).

komposit berdasarkan penguat dapat dilihat pada gambar 2.2 dibawah ini.



Gambar 2.2 Ilustrasi komposit berdasarkan penguat yang digunakan (Najjar et al., 2023)

2.2 Metal Matrix Composite (MMC)

Metal matrix composite adalah kombinasi rekayasa material yang terdiri dari dua atau lebih bahan material termasuk logam, dengan berbagai bentuk dan sifat yang dilakukan secara kombinasi dan sistematis pada kandungan- kandungan berbeda yang memiliki sifat dan karakteristik lebih baik dari bahan dasar penyusunnya material tersebut sehingga menghasilkan suatu material baru.

Sejak tahun 1960an sudah mulai melakukan Penelitian dan pengembangan mengenai matrix metal composite namun masih ada beberapa kendala seperti biaya yang mahal ,serta sedikitnya informasi tentang pengembangan komposit matrik logam dan lain lain. Beberapa kendala yang

menghambat proses pembuatan komposit matrik logam kini sudah diatasi dikarenakan berkembangnya teknologi rekayasa material, Selain itu bahan material yang berkarakteristik menjadi pilihan yang tepat dari pada bahan konvensional, serta ketersediaan bahan baku seperti serat karbon dan boron kristal whisker dan secara tak langsung oleh keberhasilan komposit materi polimer.

Beberapa bidang industri yang tertarik dengan material jenis komposit matrik logam yaitu industri di bidang aerospace dan teknologi pertahanan, karena material tersebut memiliki kekuatan dan tahan terhadap temperatur yang tinggi. Selain hal tersebut konsep yang di gunakan dalam pembuatan komposit matrik logam seperti memiliki karakteristik bahan yang tahan terhadap suhu yg tinggi, fatigue daya hantar listrik, sifat rendaman, konduktivitas termal, tahan terhadap korosi, keras, massa yang ringan, ketahanan aus dan koefisien muai termal yang baik. (Song & Peng, 2023)

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.

Matrik berbasis logam dengan kerapatan (densitas) yang rendah secara bertahap telah banyak dikembangkan. 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. Disamping itu, pembuatan komposit matrik logam juga sering menggunakan penguat alumina.

Seperti yang telah dijelaskan, logam aluminium adalah matrik yang paling banyak digunakan dalam Proses fabrikasi karena sifatnya yang unik untuk dikembangkan sebagai proses pembuatan komposit matrik logam yaitu: mempunyai densitas yang ringan, tahan korosi, mempunyai sifat panas dan penghantar listrik yang tinggi.

Perpaduan Al-Si, Al-Cu, dan sebagainya merupakan logam aluminium yang biasa digunakan, untuk komposit matrik aluminium biasanya menggunakan penguat Al₂O₃, SiC, C sedangkan SiO₂, B, BN, B₄C, AlN adalah unsur yang masih dalam tahap pengembangan dan sedang diteliti, dalam penelitian tersebut biasanya menggunakan serbuk SiC. (Karabulut et al., 2023)

Berkembangnya partikel sebagai penguat SiC yang menjadi bahan pengisi dikarenakan SiC mempunyai sifat seperti mekanis dan fisik baik yaitu: mempunyai nilai modulus elastisitas tinggi, kuat, tahan akan korosi, serta rendahnya nilai koefisien ekspansi termal. Digunakannya material aluminium yang menjadi matrik dan partikel SiC sebagai bahan penguat yang menghasilkan sifat getas dan liat, selain itu hal yang dapat dihasilkan (Z. Z. Lv et al., 2023)

Adalah material yang mempunyai bobot rendah dan mempunyai masa yang lama untuk pemakaiannya karena tahan akan korosi.

Pada tabel 2.1 dijelaskan beberapa sifat mekanis, fisik, dan thermal metal matrix composite.

Tabel 2.1 Sifat mekanik dan sifat fisik pada komposit metal matrix composite dengan bubuk SiC sebagai penguat (Mahardika, 2024)

Sifat Fisik	Satuan
Masa jenis	2.6 - 3.1 g/cm ³
Modulus <i>young</i>	300 - 450 MPa 180-200 Gpa
Koefisien Ekspansi Termal	7-20 x 10 ⁻⁶ /°C

Dibandingkan dengan logam monolitik, komposit matrik aluminium berpenguat partikel SiC memiliki sifat-sifat sebagai berikut:

1. Mempunyai kekuatan yang baik.
2. Mempunyai sifat kekuatan yang baik.
3. Mempunyai ketahanan leleh yang baik.
4. Tahan akan temperature tinggi.
5. Memiliki koefisien termal dan konduktifitas termal yang tinggi.

Keunggulan MMC berpenguat partikel SiC dibanding dengan PMC:

- 1) Tahan temperatur tinggi.
- 2) Tidak mudah terbakar.
- 3) Mempunyai nilai kekakuan dan kekuatan yang lebih tinggi.

- 4) Tahan terhadap suhu yang lembab.
- 5) Mempunyai konduktivitas termal dan listrik baik.
- 6) Tahan akan radiasi.

Dalam proses tersebut komposit matrik logam dengan cara menggunakan matrik Al dan penguat SiC. Beberapa komponen siap pakai maupun setengah jadi akan di peroses lebih lanjut seperti billet untuk ekstrusi, pengerolan, dan pengempaan) metode yang di gunakanpun beragam dalam proses pembuatan MMC dan akan terus diteliti di dalam labotarium atau skala pengembangan industri. Metode dalam pembuatan MMC, meliputi: peleburan liquid matrik, metalurgi serbuk, atau deposisi uap.

Komposit matrik aluminium berpenguat keramik SiC umumnya diproses dengan metode metalurgi serbuk (powder metallurgy), proses pembuatan komposit dengan metode serbuk memiliki tiga tahapan yaitu pencampuran (*mixing*), penekanan (*compaction*), dan proses pensinteran. Campuran serbuk matrik logam aluminium dan partikel penguat SiC juga dapat dilakukan dengan cara: pencampuran mekanik (*mechanical alloying*), pencampuran partikel dengan logam cair (pengadukan lelehan), pencoran kempa (*compachasting*), *rheocasting*, dan *spray deposition*. (Alam et al., 2023)

Pada era 1980-an, komposit matrik aluminium dengan menggunakan penguat tak kontinu telah dikembangkan dan diaplikasikan dibidang transportasi. Komposit matrik logam dengan menggunakan penguat tak kontinu merupakan jenis komposit yang isotropik dan memiliki sifat mekanik yang lebih baik (dibandingkan dengan logam tanpa penguat) dan memiliki harga yang relatif murah

(proses pembuatan murah karena penguat tak kontinu banyak tersedia di alam seperti partikel SiC dan Al₂O₃).



Gambar 2.3 komposit *metal matrix composite* di dalam *industry otomotif* (a) *Brake Rotors*, (b) *Breaking System*, (c) *automotive pushrod*, (d) *Cor for HV electrical wires* (Islam, 2026)

Dari gambar 2.3 dapat dilihat beberapa aplikasi dari pengembangan komposit matrik aluminium dengan menggunakan partikel penguat SiC, gambar *brake rotors* ICE-1 dan ICE-2 dikembangkan oleh Knorr Bremse AG - Jerman dengan menggunakan matrik aluminium (Al) dengan menggunakan partikel penguat (AlSi7Mg + SiCp) yang display oleh Duraclan Inc (USA). *Breaking systems* yang diproduksi oleh New Lupo from Volkswagen (VW) dengan menggunakan matrik aluminium dengan menggunakan partikel penguat yang display oleh Duraclan. Komposit matrik aluminium dengan penguat serat kontinu yang dibuat untuk pushrods 3M untuk mesin balap. *Pushrods* yang dibuat dengan menggunakan komposit aluminium mempunyai bobot yang lebih ringan 40% bila dibandingkan dengan menggunakan baja, memiliki kekuatan dan kekakuan yang lebih baik, dan ketahanan terhadap suhu yang lembab dan juga pada kabel tegangan tinggi (*HV electrical wires*) dibuat dengan menggunakan komposit aluminium.

2.3 Alumunium

Unsur yang sangat reaktif sehingga mudah teroksidasi adalah aluminium. Sifatnya yang reaktif menyebabkan aluminium tidak ditemukan berbentuk melainkan senyawa baik dalam bentuk oksida alumina ataupun silikon. Bauxit adalah sumber aluminium yang sangat ekonomis. Bauxit itu sendiri sebenarnya adalah bijih yang memiliki kandungan alumina (Al_2O_3) yakni 30 – 60% serta 12 – 30% adalah air. Jika oksida besi banyak tercampur oleh kotoran maka akan berubah warna menjadi gelap. Sedangkan bauxit berwarna putih, krem, kuning, merah atau coklat bisa juga sekeras batu, tapi ada yang selembek tanah. (Islam, 2026)

Menurut Simanjuntak dan Abda (2013) aluminium mempunyai karakteristik yang lebih baik dibanding logam lainnya. Karakteristik aluminium yang lebih baik jika dibandingkan logam lain yaitu:

1. Ringan Densitas pada suhu 29°C sebesar $2,7 \text{ gr/cm}^3$.
2. Kuat Aluminium mempunyai kemampuan renggang sebesar $8,2 \text{ kg/mm}^3$, namun mampu meningkat hingga dua kali lipat jika Aluminium dilakukan metode liquidifikasi. Aluminium mampu menjadi lebih baik jika ditambah beberapa unsur seperti Mg, Zn, Mn, Si.
3. Ketahanan terhadap korosi Aluminium dapat terjadi korosi dengan membuat lapisan- lapisan oksida dimana sangat keras dan pada permukaan ini dapat menahan timbulnya karat. Karena itu aluminium merupakan material yang memiliki ketahanan korosi yang lebih unggul dibanding besi dan baja.
4. Daya hantar listrik yang baik Aluminium merupakan

logam ekonomis untuk penghantar listrik karena densitasnya rendah dari tembaga, dengan arus dari aluminium sebesar dua kali dari arus tembaga.

5. Anti magnetis Aluminium merupakan material anti magnet.
6. Toksikitas Aluminium merupakan material tidak beracun dan tidak berbau.
7. Proses yang mudah Aluminium memiliki karakteristik yang lebih unggul untuk proses mekanis dalam kemampuan perubahan bentuknya, bisa dilihat dari proses penguangan, pemotongan, pembengkokan, ekstrusi dan penempatan.
8. Sifat dapat dipakai kembali Aluminium memiliki titik lebur yang rendah, dan dapat mendapatkan logam aluminium dari scrap.

Dari tabel 2.1 dapat dilihat beberapa sifat mekanik, fisis, dan termal komposit matrik aluminium.

Tabel 2.2 Sifat fisis aluminium

Simbol	Al
Massa jenis	2,70 gram/ cm ³
Massa jenis pada wujud cair	2,375 gram/ cm ³
Titik lebur	660,32 °C
Titik didih	2519 °C
Kalor jenis	900 J/kg. °C

Sumber: Wikipedia.com

2.4 Silicone Carbide (SiC)

Silicon carbida (SiC) Silikon karbida (SiC) merupakan material keramik yang dibuat melalui

pemanasan Si dan C. Beberapa fase dalam dari SiC, yaitu fase kristalin yang tersusun atas α -SiC struktur hexagonal selanjutnya β -SiC struktur kubus. Menurut Simanjuntak dan Abda (2013) silikon karbida termasuk material keramik non oksida. SiC membentuk struktur tetrahedral dari ikatan atom karbon C dan atom Si. Silikon karbida tergolong material keras dan kuat terhadap abrasif. Bubuk SiC terdapat dua jenis berdasarkan bentuknya, yaitu: partikular dan serabut. (Bagheri et al., 2023)

Silikon karbida (SiC) mempunyai 70 bentuk kristal, dan umumnya digunakan yaitu struktur kristal hexagonal dengan (α - SiC) dan terbentuk pada temperatur sebesar 2000°C. selain α -SiC ada pula struktur (β -SiC), fasa ini terjadi dibawah temperatur 2000°C, dan yang banyak dijumpai adalah β -SiC [4].

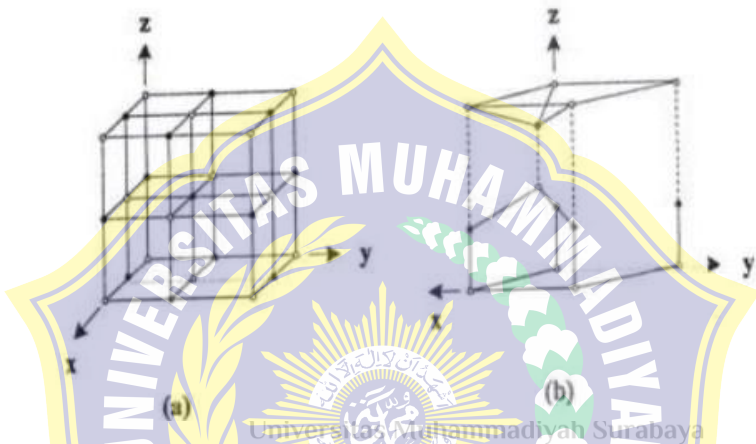
Silikon karbida mempunyai massa jenis sebesar 3.2 g/cm³, mempunyai suhu sublimasi sebesar 2700°C menjadikannya diminati untuk dipergunakan dalam pembuatan bearing dan sparepart. Silikon karbida sukar mencair pada berbagai kondisi tekanan, dan kuat akan bahan kimia. Gambar di bawah memperlihatkan (a) struktur β -SiC dan (b) struktur hexagonal α -SiC. (Wu et al., 2023)

SiC mempunyai kemampuan tekan hingga 4600 Mpa dan koefisien ekspansi termal yang rendah sebesar: 4.51 – 4.73 $\mu\text{m}/\text{moC}$ [6]. karakteristik SiC yang paling unggul, antara lain: kemampuan menghantarkan panas yang baik, kemampuan akan suhu tinggi, nilai

kekerasanyang baik, tahan kejutan panas dan kemampuan terhadap menahan korosi.

Kemampuan SiC terhadap menahan korosi dapat dilihat melalui terdapatnya abu batubara, slag asam dan slag netral ketika bahan ini digunakan. Kemampuan menahan panas SiC dilihat dari temperatur hingga mencapai 2200 – 2700(°C). Pada 1000°C terjadi lapisan oksidasi baru yaitu SiO₂. SiC memiliki kemampuan menahan oksidasi di udara terbuka hingganmencapai temperatur 1700°C. Silikon karbida dibentuk dari perlakuan reduksi silika dengan karbon pada temperatur yang sangat tinggi. Untuk menciptakan SiC dengan kemurnian yang baik maka pertama-tama silika dibersihkan dengan hydrofluoric (adalah asam anorganik sangat kuat dan sangat korosif yang tersusun dari hidrogen dan fluor. Meskipun tergolong asam lemah secara kimia (dalam hal ionisasi), sifatnya sangat berbahaya) didalam β – SiC atom Si dan C teletak pada posisi acak dari tipe intan kubus, sedangkan α-SiC mempunyai susunan hexagonal. ketika temperatur 2700°C SiC terdekomposisi menjadi gas Si dan grafit. Pada suhu oksidatif SiC cenderung membuat lapisan oksida SiO₂, karena itu pada atmosfer oksidatif SiC kuat sampai temperatur 1500-1699°C dan tahan hingga suhu 2200°C pada suhu ruangan. karakteristik SiC yang unggul, diantaranya mempunyai masa jenis 3,3 g/cm³, mampu mengahntarkan panas hingga temperatur tinggi, kuat akan suhu tinggi,

kekerasan yang tinggi, kuat akan kejutan termal dikarenakan merupakan campuran antara kemampuan menghantarkan panas dan koefisien muai panas rendah, tahan akan korosi dan komposisi kimia dari SiC, seperti diperlihatkan pada gambar 2.4



Gambar 2.4 (a) Struktur kubus β -SiC, Struktur heksagonal α -SiC (b) Struktur Kristal (Singh et al., 2023)

Kemampuan SiC terhadap korosi dilihat dari kemampuan SiC terhadap ketahanan abu batubara, slag asam, dan slag netral. Kemampuan SiC dalam Ketahanan panas dilihat pada temperatur seesar 2200 - 2700 °C. Pada temperatur 1000 °C membentuk lapisan oksidasi yaitu SiO₂. kekurangan SiC yaitu ketahanan oksidasi di udara hanya sampai 1700 °C.

Tabel 2.3 Data sheet material silicone carbide

Nama	Silicon Carbide
Rumus Molekul	SiC
Berat Molekul	40,0962gr/mol
Young's modulus of elasticity	3896 Kbar
Densitas	2.923,8574 kg/m ³
Titik Leleh	2830°C
Indeks refraksi(<i>n_D</i>)	2,55
mobilitas elektron	900 Cm/(V-s)

Sumber : wikipedia.com

Tabel 2.4 Komposisi dari Silicone carbide

Element	SiC	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃
Wt %	94,7	0,3	4,4	0,6

Sumber : matweb.com

2.4.1 Karakterisasi Material

Komposit Dalam menentukan karakteristik dan kemampuan sebuah bahan maka butuh dilakukan pengujian dan analisis. Berbagai tipe pengujian dan analisis yang umumnya dilakukan untuk kepentingan penelitian yaitu: pengujian pada sifat fisik (massa jenis, daya serap air), pengujian sifat mekanik, analisis struktur mikro dan makro dengan memakai alat uji SEM (Scanning Electron Microscope), dan menganalisis struktur pada kristal dengan memakai alat uji XRD atau difraksi sinar X-Ray.

2.4.2 Sifat Fasis

Masa jenis merupakan jumlah kepadatan dari sebuah spesimen atau umumnya juga dijabarkan sebagai perbandingan antar massa (m) dengan volume (v) dalam hubungannya bisa dirumuskan sebagai berikut :

$$\rho = \frac{m}{v} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :

ρ = Massa jenis (gram/cm³)

m = Massa (g)

V = Volume (cm³)

Ketika pada proses penelitian berlangsung, terkadang spesimen yang telah dihitung memiliki ukuran bentuk yang beragam sehingga dalam menentukan volume akan lebih sulit, akibatnya nilai kerapatan yang didapatkan kurang presisi. Karena itu dalam mendapatkan nilai massa jenis suatu spesimen yang memiliki bentuk yang tidak teraturbisa menggunakan metode Archimedes.

2.5 Pengujian kekerasan (Hardness Test)

Menurut berbagai sumber, kekerasan merupakan kemampuan material tahan terhadap perubahan bentuk dan merupakan parameter ketahanan material terhadap perubahan bentuk plastis atau perubahan bentuk permanen (Dieter, 1987). Menurut para insinyur, kekerasan umumnya dijabarkan sebagai parameter kemampuan dan kuantitas yang menjelaskan sesuatu tentang kekuatan dan hot working dari sebuah material.

Ukuran kekerasan dapat dibagi tiga tipe, tergantung dari proses melakukan pengujian, seperti: (1) Kekerasan goresan (scratch hardness); (2) Kekerasan lekukan

(indentation hardness); (3) Kekerasan pantulan (rebound). Khusus pada logam, hanya kekerasan lekukan yang paling menarik perhatian dalam kaitannya dengan bidang rekayasa.

Kekerasan suatu material bisa dihitung melalui pengujian kekerasan menggunakan mesin alat uji (hardness tester) memakai tiga metode atau proses yang banyak dilakukan seperti metode Brinell, Rockwell dan Vickers (Callister, 2000 ; Dieter,1996).

Metode hardness test yang dilakukan oleh J.A Brinell, tahun 1900an ini adalah uji kekerasan lekukan yang baru pertama dilakukan dan dibuat ketentuannya (dieter, 1987). Hardness test ini berupa pembentukan lekukan dilapisan permukaan indenter. Indenter pada mesin uji brinell berbentuk bola dengan jari-jari 5mm, jari-jari 2,5 mm dan jari-jari 0,5 mm adalah ukuran dari satuan internasional.

Bola brinell dengan standar internasional terdiri dari dua bahan pembentuknya. Ada yang terbentuk dari baja yang chrom sebagai pelapis, dan ada juga yang terbentuk dari tungsten carbide. Material tersebut mempunyai nilai kekerasan yang lebih baik dari baja, biasanya digunakan pada pengujian material yang nilai kekerasannya tinggi sehingga mampu merusak bola baja. Tetapi pada pengujian spesimen dengan tingkat kekerasannya belum diketahui, bagusnya kalau mengujinya terlebih dahulu memakai metode rockwell tipe c, yang memakai indenter intan, untuk menjaga indenter agar tetap bagus. Seperti yang kita sudah tahu kalau intan merupakan jenis logam terkeras, jadi intan akan tetap bagus jika diindentasikan ke spesimen yang nilai kekerasannya tinggi. Untuk

spesimen pengujian brinel pertama-tama harus disediakan spesimen yang siap uji. Spesimen tidak boleh kotor dan tidak boleh kasar, tidak boleh miring dan bergelombang, aman dari berbagai kotoran, karat, dan terak.

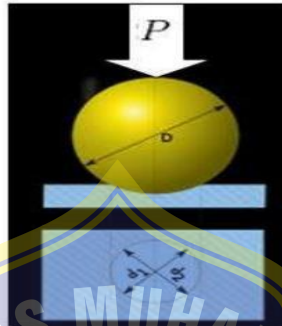
1. Standar

- ASTM E10
- ISO 6506

2. Metode pengujian Brinell

- Mempesiapkan berbagai keperluan pengujian :
- Mesin Uji kekerasan Brinell
- Indentor (Aluminium atau Carbide)
- Benda Uji yang sudah rata
- Dilakukan pengamplasan
- Menetapkan waktu
- Indentor di tekan ke benda uji/material dengan gaya tertentu
- Ditahan dengan waktu 15 detik

- Lepaskan gaya dan bebaskan indentor dari benda uji



Gambar 2.6 Ilustrasi pengujian Brinell

3. Rumus perhitungan pengujian Metod. Brinell

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

Dimana:

BHN = Brinell Hardness Number

P = Beban yang di berikan

D = Diameter Indentor (mm)

d = Diameter lekukan rata – rata hasil indentasi (mm)

4. Rumus dalam perhitungan beban dimana :

$$P = C \times D^2$$

P = Beban yang di berikan

C = Konstanta Bahan

D = Diameter Indentor

5. Kelebihan dan kekurangan metoda Brinell : Sangat dianjurkan untuk material-material atau bahan-bahan uji yang bersifat heterogen, sedangkan kekurangannya adalah butuh ketelitian saat mengukur diameter lekukan hasil indentasi Lama, sekali pengujian bisa menyita waktu hingga 5 menit, belum termasuk persiapan dan perhitungannya.

2.6 Pengujian Mikro (Metallorgraphic Examination)

Metallographic Examination atau uji mikro merupakan metode karakterisasi material yang bertujuan untuk mengamati struktur mikro suatu logam secara langsung menggunakan mikroskop optik atau mikroskop elektron. Melalui pengamatan ini dapat diketahui kondisi fasa, distribusi partikel, ukuran butir, porositas, cacat internal, serta kualitas ikatan antar fasa.

Tujuan uji mikro :

Dalam konteks metalurgi, uji mikro dilakukan untuk:

1. Mengidentifikasi fasa yang terbentuk dalam logam atau komposit.
2. Menilai kualitas struktur seperti ukuran butir, homogenitas, dan pola presipitasi.
3. Mengetahui distribusi dan penyebaran partikel penguat (misalnya SiC pada komposit aluminium).
4. Mendeteksi cacat mikro seperti pori, inklusi, segregasi, dan retak mikro.
5. Membandingkan microstructure sebelum dan sesudah perlakuan tertentu (heat treatment, proses pencampuran, deformasi, dll).

6. Memvalidasi hasil uji mekanik dengan mengaitkan perilaku mekanik terhadap kondisi struktur mikro.

Prinsip Kerja Uji Mikro :

a. Pengambilan Sampel

Sampel dipotong dari material dengan mempertimbangkan arah struktur (longitudinal, transversal). Proses pemotongan harus menghindari panas berlebih agar tidak mengubah struktur mikro.

b. Mounting (Pemasangan)

Sampel yang kecil biasanya ditempelkan dalam resin agar mudah digenggam dan diamati. Mounting dapat dilakukan secara panas (hot mounting) atau dingin (cold mounting).

c. Grinding (Penggerindaan)

Permukaan sampel diratakan menggunakan kertas amplas bertingkat (umumnya grit 240 hingga 2000). Tujuannya menghilangkan goresan kasar dari proses pemotongan.

d. Polishing (Pemolesan)

Menggunakan kain poles dan suspensi alumina/silika untuk menghasilkan permukaan cermin bebas goresan. Tahap ini krusial agar struktur mikro tampak jelas.

e. Etching (Pencelupan dengan Reagen Kimia)

Sampel dicelupkan atau diusap dengan reagen kimia (misalnya Keller's Reagent untuk aluminium). Reagen akan memperjelas batas butir dan fasa dengan melarutkan sebagian kecil permukaan secara selektif.

f. Pengamatan Mikroskopis

Sampel dilihat di bawah mikroskop optik atau SEM dengan perbesaran tertentu (50x – 1000x). Struktur yang terlihat diabadikan melalui micrograph.

Untuk penelitian seperti milik Anda (Al 6061 + SiC):

- Uji mikro digunakan untuk melihat sebaran partikel SiC dalam matriks aluminium.
- Mengetahui apakah penambahan SiC menghasilkan ikatan yang baik atau menyebabkan getas/retak mikro.
- Mengamati adanya aglomerasi SiC pada fraksi volume tinggi (contoh 30%), yang sering menjadi penyebab material sulit diproses dan cenderung patah.
- Membuktikan bahwa komposit dengan SiC 10% memiliki struktur yang lebih halus dan homogen dibanding 30%, yang seringkali gagal diproses.

Output yang di tampilkan pada laporan berupa:

1. Foto struktur mikro dengan beberapa perbesaran (50x, 100x, 500x).
2. Penjelasan kondisi struktur pada tiap perbesaran.
3. Analisis hubungan struktur mikro dengan sifat mekanik.
4. Tabel perbandingan struktur antar variasi komposisi atau perlakuan.

2.6.1 Uji Komposisi (Chemical Analysis Test)

Uji komposisi atau *chemical analysis test* adalah metode analisis untuk mengetahui kandungan unsur dalam suatu material secara kuantitatif. Pengujian ini memastikan bahwa material memiliki komposisi kimia yang sesuai standar, atau untuk memverifikasi keberhasilan proses pencampuran material komposit seperti Aluminium 6061 dengan SiC.

Metode yang umum digunakan antara lain:

- Optical Emission Spectroscopy (OES)

- X-Ray Fluorescence (XRF)
 - Atomic Absorption Spectroscopy (AAS)
 - Inductively Coupled Plasma (ICP)
-
- Tujuan Uji Komposisi :
 - Mengidentifikasi unsur utama dan unsur paduan dalam logam.
 - Memastikan bahwa komposisi material telah sesuai dengan standar, misalnya Al 6061.
 - Memverifikasi penambahan partikel penguat (misalnya SiC) dalam komposit.
 - Mengidentifikasi kontaminasi atau impurity.
 - Menjadi *acuan korelasi* terhadap sifat mekanik dan mikrostruktur.

Prinsip Kerja (Dengan Contoh OES)

Berikut prinsip kerja *Optical Emission Spectroscopy*, metode yang banyak digunakan untuk aluminium:

a. Cleaning dan Preparation

Sampel dibersihkan dan dipoles untuk memastikan permukaan bebas oksida dan kotoran.

b. Discharge / Spark

Alat OES menembakkan listrik bertegangan tinggi pada permukaan sampel (*sparking*). Energi ini membuat atom-atom material tereksitasi.

c. Emisi Cahaya

Atom yang tereksitasi akan kembali ke keadaan stabil dan menghasilkan spektrum cahaya dengan panjang gelombang tertentu untuk setiap unsur.

d. Deteksi Spektrum

Spektrum yang dihasilkan dibaca oleh detektor. Setiap unsur memiliki identitas spektrum yang unik (*fingerprint*).

e. Analisis Kuantitatif

Intensitas cahaya dibandingkan dengan standar kalibrasi untuk mengetahui persentase tiap unsur.

Laporan uji komposisi biasanya memuat:

1. Persentase unsur utama (misalnya Al = 95–97%).
2. Unsur paduan (Mg, Si, Fe, Cu, Mn, Cr, Zn, Ti, dll).
3. Unsur pengotor (impurities).
4. Untuk komposit Al–SiC:
 - Kadar Si total (berasal dari matriks + partikel SiC).
 - Adanya peningkatan unsur C sebagai indikasi keberadaan SiC.
5. Kesimpulan apakah material memenuhi standar Al 6061 atau tidak.

2.6.2 Uji Optik Emisi (*Optical Emission Spectroscopy Result*)

Optical Emission Spectroscopy (OES) adalah metode analisis kimia kuantitatif yang digunakan untuk menentukan kandungan unsur dalam material logam. OES bekerja dengan memanfaatkan pancaran cahaya yang dihasilkan ketika permukaan material ditembakkan *spark* bertegangan tinggi. Setiap unsur memancarkan spektrum cahaya dengan panjang gelombang spesifik, yang kemudian dianalisis untuk menentukan persentase unsur dalam sampel.

Prinsip Kerja OES

1. Sampel dibersihkan dan dipoles sampai permukaannya rata dan bebas oksida.

2. Alat OES memberikan letupan listrik (spark discharge) pada permukaan sampel.
3. Energi dari spark membuat atom material tereksitasi.
4. Ketika atom kembali stabil, ia memancarkan spektrum cahaya yang unik untuk tiap unsur.
5. Detektor membaca intensitas cahaya dari masing-masing panjang gelombang.
6. Software OES mengonversi intensitas tersebut menjadi persentase unsur.

Hasil (Result) yang Ditampilkan

OES menghasilkan tabel komposisi yang berisi:

- Unsur utama (contoh: Al)
- Unsur paduan (Mg, Si, Fe, Cu, Cr, Mn, Zn, Ti, Ni)
- Unsur jejak/impurities
- Persentase tiap unsur (%)

