

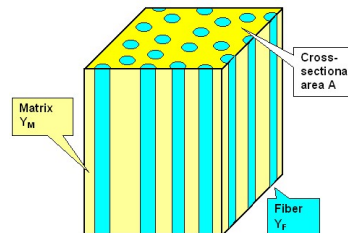
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Komposit

2.1.1 Pengertian Komposit

Komposit adalah 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 (bahan komposit). Dengan adanya perbedaan dari material penyusunnya maka komposit antar material harus berikatan dengan kuat, sehingga perlu adanya penambahan *wetting agent* [5]. *Wetting agent* yang umum digunakan di antaranya: surfaktan, *coupling agent*, polimer, dan pelarut. Dalam komposit, komponen-komponen tersebut tetap terpisah dan mempertahankan identitasnya, tetapi bekerja bersama untuk mencapai kinerja yang lebih baik. Komponen utama dalam komposit biasanya disebut matriks dan pengisi atau penguat. Ilustrasi dari susunan komposit ini dapat dilihat pada gambar 2.1 berikut,



Gambar 2.1 Ilustrasi Komposit

(Sumber: tf.uni-kiel.de)

. Komposit merupakan gabungan bahan utama (matriks) dan jenis penguat (*reinforcement*) untuk mendapatkan gabungan sifat dari 2 bahan tersebut [6]. Matriks bertindak sebagai "pengikat" yang menyatukan komponen-komponen komposit dan mentransfer beban di antara mereka. Bahan matriks dapat berupa polimer, keramik, logam atau karbon [7].

Matriks mempunyai fungsi sebagai mentransfer tegangan ke serat, membentuk ikatan koheren permukaan matrik atau serat, melindungi serat, memisahkan serat, melepas ikatan, dan stabil setelah proses manufaktur. Pengisi atau penguat (*reinforcement*) adalah komponen dalam komposit yang memberikan sifat-sifat khusus seperti kekuatan, kekakuan, atau ketahanan. Pengisi atau penguat ini biasanya terdiri dari dua jenis bahan yaitu: serat dan partikel. Bahan yang biasa digunakan bisa terdiri dari bahan sintetis hingga bahan alam yang ramah lingkungan. Seiring dengan adanya berbagai inovasi yang dilakukan dalam bidang material, serat alam kembali dikembangkan. Hal ini dikarenakan serat alam memiliki kelebihan yaitu memiliki sifat fisik yang bagus, kandungannya melimpah di alam, ramah lingkungan, dan biaya produksi yang lebih rendah [8].

2.1.2 Klasifikasi Material Komposit

Aplikasi material komposit yang digunakan pada berbagai bidang terdiri dari beberapa klasifikasi. Menurut Nayiroh (2013), material komposit dapat diklasifikasikan berdasarkan matriksnya, dimana terdapat tiga kelompok besar, yaitu:

1. Komposit matriks logam (*metal matrix composite*) (MMC). Kelompok komposit ini mencakup berbagai macam bahan yang dapat diidentifikasi berdasarkan logam dasarnya (seperti aluminium, tembaga, atau titanium); fase penguatnya (seperti serat, atau partikel); atau metode pembuatannya (seperti metalurgi serbuk, ikatan difusi, infiltrasi, atau pengecoran) [9].
2. Komposit matriks keramik (*ceramic matrix composite*) (CMC). Komposit dengan matriks utama berbahan dasar keramik (seperti: silikon karbida, alumina, dan zirconia) ini dikenal memiliki beberapa sifat seperti: kepadatan rendah, kelembaman kimiawi, dan kekuatan serta stabilitas yang relatif baik pada suhu tinggi [10].
3. Komposit matriks polimer (*polymer matrix composite*) (PMC). Merupakan material komposit yang terbuat dari polimer organik dengan penguat serat dikenal sebagai material matriks polimer. Biasanya,

kekuatan dan modulus serat secara signifikan lebih tinggi daripada bahan matriks pada umumnya [11].

2.1.3 Aluminium Matrix Composite (AMC)

Aluminium Matrix Composite atau jika diartikan adalah komposit matriks aluminium (AMC), adalah salah satu jenis komposit yang memiliki aluminium sebagai matriksnya. Aluminium sebagai bahan matriks memiliki banyak keuntungan, termasuk kekakuan tinggi, ketahanan lelah yang baik, dan biaya pembuatan yang rendah. Variasi dalam komposit aluminium telah diteliti selama bertahun-tahun. Bahan penguat dalam komposit ini terdiri dari berbagai macam, diantaranya: serat kontinu, serat pendek, *whiskers*, partikulat, dan monofilamen dan multifilamen.

AMC ini merupakan salah satu dari MMC yang banyak berkembang di zaman sekarang. Aplikasi dari AMC sudah diterapkan di berbagai sektor seperti: penerbangan, otomotif, permesinan, militer, hingga olahraga. AMC memiliki popularitas yang luas di sektor transportasi karena memberi efek kebisingan yang lebih rendah dan konsumsi bahan bakar yang lebih rendah dibandingkan bahan lain [12].

2.2 Material Aluminium Matrix Composite

Dalam penelitian ini, digunakan beberapa material sebagai bahan pembuatan AMC yang terdiri dari: aluminium 6061 sebagai matriks, silikon karbida (SiC) sebagai penguat, dan magnesium sebagai *wetting agent*.

2.2.1 Aluminium 6061

Aluminium memiliki banyak jenisnya, terdapat lebih dari 300 komposisi yang ditambahkan pada paduan aluminium. Setiap jenis paduan aluminium mengandung paling sedikit dua unsur kimia yang berfungsi untuk mempengaruhi sifat mekanik daripada paduan aluminium tersebut. Pada penelitian yang akan dilakukan ini, digunakan aluminium 6061. Material jenis 6XXX banyak diaplikasikan dalam bidang otomotif dan alat konstruksi, dikarenakan material jenis ini memiliki ketahanan korosi, konduktivitas termal, dan konduktivitas elektrik yang cukup baik.

Salah satu paduan aluminium yang paling umum digunakan dalam industri adalah aluminium 6061, yang terdiri dari aluminium, magnesium, dan silikon sebagai komponen utama, dengan sedikit unsur tambahan seperti tembaga, seng, kromium, dan mangan untuk meningkatkan sifatnya. Paduan ini memiliki sifat mekanik yang baik, seperti kekuatan tarik, kekerasan, dan modulus elastisitas, yang membuatnya cocok untuk berbagai aplikasi, seperti konstruksi, aeronautika, dan industri otomotif [13]. Al 6061 memiliki kekuatan dan kekakuan yang sangat baik. Sifat mekaniknya ini pun bisa ditingkatkan kembali melalui proses perlakuan panas, contohnya: pemanasan dan pendinginan yang sesuai.

Aluminium 6061 ini, tersusun atas beberapa material kimia yang disatukan supaya mendapatkan kombinasi yang menghasilkan kekuatan, kekakuan dan ketahanan korosi yang baik. Berdasarkan *data sheet* yang dikeluarkan oleh Thyssenkrupp, paduan aluminium 6061 memiliki komposisi kimia yang dapat dilihat pada gambar 2.6 berikut,

Tabel 2.1 Komposisi Kimia Aluminium 6061

Chemical composition in %

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
0.40–0.8	≤ 0.70	0.10–0.40	≤ 0.15	0.8–1.2	0.04–0.35	≤ 0.25	≤ 0.15	Rest

Others^a: Each: max. 0.05 %

Total^b: max. 0.15 %

^a „Others“ includes listed elements for which no specific limit is shown as well as unlisted metallic elements. The producer may analyze samples for trace elements not specified in the registration or specification. However, such analysis is not required and may not cover all metallic „Others“ elements. Should any analysis by the producer or the purchaser establish that an „Others“ element exceeds the limit of „Each“ or that the aggregate of several „Others“ elements exceeds the limit of „Total“, the material shall be considered non-conforming.

^b The sum of those „Others“ metallic elements 0.010 % or more each, expressed to the second decimal place before determining the sum.

(Sumber: ucpcdn.thyssenkrupp.com)

Dapat dilihat pada gambar di atas, komposisi kimia yang terbesar setelah aluminium dalam Al 6061 adalah magnesium. Alasan banyaknya komposisi magnesium yang diberikan dalam paduan aluminium adalah karena magnesium memiliki beberapa sifat mekanik yang menguntungkan.

1. Kekuatan dan kekakuan, magnesium meningkatkan kekuatan dan kekakuan paduan aluminium. Aluminium 6061 menjadi lebih kuat dan lebih kaku, sehingga cocok untuk aplikasi yang membutuhkan komponen struktural yang kuat.
2. Pengerasan panas, magnesium juga meningkatkan kemampuan paduan untuk mengalami pengerasan panas. Proses pengerasan panas

meningkatkan sifat mekanik paduan, seperti kekuatan dan kekerasan, membuatnya lebih tahan terhadap beban mekanis.

3. Ketahanan korosi, Magnesium juga dapat meningkatkan ketahanan paduan aluminium. Aluminium 6061 yang diperkaya magnesium sangat tahan korosi, terutama di udara laut atau lingkungan industri.
4. Pembentukan dan pengecoran, Kemampuan paduan untuk pembentukan dan pengecoran dapat ditingkatkan dengan magnesium, yang memungkinkan pembuatan komponen dengan kompleksitas geometri yang tinggi dan detail yang tepat.

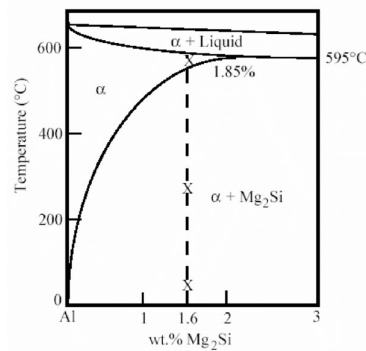
Aluminium 6061 ini banyak digunakan di berbagai bidang dikarenakan memiliki sifat mekanik yang baik, di antaranya: kekerasan, kekuatan tarik, modulus young, dan elongasi. Berikut telah dilakukan penelitian untuk membandingkan sifat mekanik yang telah disebutkan antara paduan Al 6061 yang dibuat dari hasil *cast*, dengan komposit Al- TiB_{2p}, diperoleh data yang dapat dilihat pada tabel 2.2 berikut [14],

Tabel 2.2 Perbandingan Sifat Mekanik Al 6061

Material	Hardness(BHN)	Tensile Strength(MPa)	Young's Modulus(GPa)	% Elongation
Al-6061 (as cast)	62.8	134.8	79.8	8.0
Al-TiB _{2p}	88.6	173.6	94.2	7.0

(Sumber: Christy *et al.*, 2010)

Selain sifat mekanik, hal yang juga perlu diketahui adalah sifat termal. Hal ini dikarenakan setiap material pasti memiliki karakteristik termalnya masing-masing. Karakterisasi termal suatu bahan melibatkan penentuan sifat termal seperti konduktivitas termal, difusivitas termal, ekspansifitas termal, dan kapasitas panas spesifik untuk memahami bagaimana bahan tersebut merespons perubahan suhu [15]. Diagram fasa dari aluminium 6061 dapat dilihat pada gambar 2.2 berikut,



Gambar 2.2 Diagram Fasa Al 6061

(Sumber: researchgate.net)

2.2.2 Silikon Karbida (SiC)

Silikon karbida (SiC) adalah salah satu material keramik yang paling populer karena berbagai karakteristiknya yang luar biasa, yang membuatnya sangat diminati dalam berbagai aplikasi industri. Sifatnya yang kuat disebabkan karena SiC memiliki komposisi kimia yang terdiri dari silikon (Si) dan karbon (C) dengan perbandingan 1:1. Tidak hanya itu, bergantung pada metode pembuatannya, SiC ini memiliki struktur kristal heksagonal atau kubik. Dengan struktur tersebut, SiC memiliki kestabilan dimensi yang baik, serta ketahanan terhadap perubahan suhu. Keunggulan-keunggulan lainnya yang menyebabkan SiC banyak diaplikasikan pada berbagai bidang khususnya yang menyangkut suhu tinggi, kecepatan tinggi, frekuensi tinggi, dan berdaya tinggi, di antaranya adalah: celah pita energi yang lebar, konduktivitas termal yang tinggi, kecepatan elektron jenuh tinggi, dan medan listrik berdaya rusak tinggi.

Sifat mekanik dari SiC juga memiliki keistimewaan. Menurut penelitian sejauh ini, SiC merupakan salah satu material terkeras. SiC cenderung mempertahankan kekerasan dan elastisitas, meskipun pada suhu yang sangat tinggi. Sifat mekanik dari SiC dapat dilihat pada tabel 2.3 berikut [16],

Tabel 2.3 Sifat Mekanik Silikon Karbida (SiC)**Table 2.6** Major mechanical and thermal properties of SiC and Si at room temperature [30, 45].

Properties	4H- or 6H-SiC	Si
Density (g cm^{-3})	3.21	2.33
Young's modulus (GPa)	390–690	160
Fracture strength (GPa)	21	7
Poisson's ratio	0.21	0.22
Elastic constant (GPa)		
c_{11}	501	166
c_{12}	111	64
c_{13}	52	—
c_{33}	553	—
c_{44}	163	80
Specific heat ($\text{J g}^{-1} \text{K}^{-1}$)	0.69	0.7
Thermal conductivity ($\text{W cm}^{-1} \text{K}^{-1}$)	3.3–4.9	1.4–1.5

(Sumber: Kimoto & Cooper, 2014)

Kekerasan dan modulus Young (380-700 GPa) dari SiC jauh lebih tinggi daripada Si, sedangkan rasio Poisson (0,21) dari SiC sangat mirip dengan semikonduktor lainnya [17]. Sintesis kimia, deposisi uap kimia (CVD), dan pembentukan sintetis adalah beberapa metode pembuatan silikon karbida, yang dapat menghasilkan material dengan berbagai struktur dan sifat sesuai dengan kebutuhan aplikasi tertentu. Silikon karbida digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti sebagai substrat dan semikonduktor dalam industri elektronik; sebagai bahan untuk alat potong dan penggiling; dan sebagai bahan abrasif dan lapisan pelindung dalam industri manufaktur.

2.2.3 Magnesium

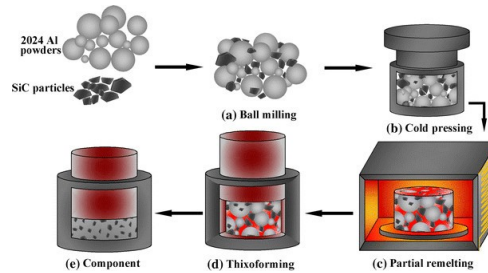
Magnesium (Mg) sering digunakan bersama dengan bahan lain untuk membuat material yang tangguh dan kuat. Ini dilakukan dalam industri pengecoran material komposit (MMC) untuk meningkatkan *wettability* atau kemampuan basah partikel penguat, sehingga matriks logam dapat mengikat partikel penguat dengan baik dan memastikan persebarannya merata. Magnesium dalam komposit matriks paduan aluminium meningkatkan pembasahan dengan mengais oksigen dari permukaan dispersoid, menipiskan lapisan gas, dan meningkatkan pembasahan yang dibantu oleh reaksi [18].

2.3 Metode Pembuatan Material

2.3.1 *Thixoforming*

Thixoforming, singkatan dari "*Thixotropic Forming*," adalah sebuah proses manufaktur yang melibatkan pemrosesan bahan dalam kondisi setengah padat yang disebut juga sebagai "kondisi pasta" atau "bahan tiksotropi." *Thixoforming* adalah proses pembentukan yang mengeksploitasi perilaku reologi logam selama rentang suhu solidus dan liquidus. Metode ini ditemukan pertama kali oleh Fleming pada tahun 1971. Tujuan dari pembentukan pada fasa semi-padat adalah untuk menciptakan struktur *non-dendritic* atau stuktur yang bundar, sehingga dapat menghasilkan sifat komponen yang lebih baik dibandingkan dengan komponen yang dibentuk dengan pengecoran konvensional [19]. *Thixoforming* umumnya digunakan dalam industri otomotif dan manufaktur untuk memproduksi komponen logam yang ringan dan kuat. Langkah-langkah *thixoforming* adalah *billet* bahan baku dengan struktur mikro bulat yang disiapkan secara khusus, dipotong memanjang, dipanaskan ke dalam suhu padat-cair untuk mencapai fraksi padat yang sesuai, kemudian produk akhir dibentuk dengan berbagai metode [20]. Proses ini memungkinkan material untuk diproses dengan cara mirip dengan material plastik, yaitu dibentuk, diekstrusi, atau ditekan menjadi bentuk akhir yang diinginkan. Metode *thixoforming* ini menawarkan opsi desain yang lebih luas yang menarik orang-orang di area ini untuk terus meningkatkannya [21].

Viskositas adalah parameter utama untuk reologi dalam pemrosesan *semi-solid*. Viskositas menunjukkan kemampuan bahan semi padat dalam mengisi cetakan, perilaku aliran dan gaya yang diperlukan untuk deformasi [22]. Contoh aplikasi termasuk pembuatan komponen otomotif, perangkat elektronik, alat medis, militer, *aviation (aerospace)*, dan lain-lain. Ilustrasi dari proses *thixoforming* dapat dilihat pada gambar 2.3 berikut,

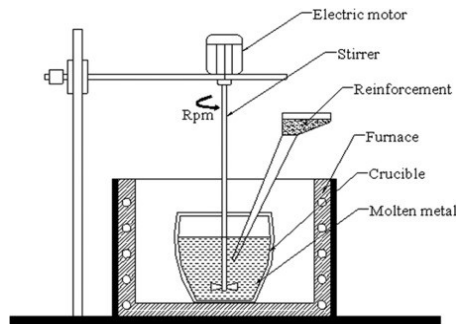


Gambar 2.3 Proses *Thixoforming*

(Sumber: researchgate.net)

2.3.2 *Stir Casting*

Stir casting adalah teknik pembuatan material komposit, khususnya komposit matriks logam (MMC), di mana partikel penguat dicampur secara mekanis dengan logam cair. Teknik ini berupaya menciptakan material baru dengan atribut yang lebih unggul daripada logam dasar, seperti peningkatan kekuatan, ketahanan terhadap suhu tinggi, dan ketahanan aus yang lebih baik. Paduan cair yang mengandung partikel keramik dapat digunakan untuk *die casting*, pengecoran cetakan permanen, atau pengecoran pasir. Pengecoran aduk dapat menghasilkan komposit dengan penguat hingga 30% volume. Ilustrasi proses *stir casting* dapat dilihat pada gambar 2.4 berikut,



Gambar 2.4 Proses *Stir Casting*

(Sumber: ScienceDirect.com)

Terdapat beberapa faktor penting yang perlu diperhatikan dalam proses *stir casting*. Beberapa faktor tersebut di antaranya:

1. Kecepatan pengadukan, kecepatan putaran *impeller* memiliki dampak langsung pada energi yang diberikan ke sistem, serta kecepatan

penyebaran partikel penguat dalam matriks logam. Kecepatan yang terlalu lambat menghasilkan dispersi partikel yang tidak merata, sementara kecepatan yang terlalu cepat menyebabkan kerusakan partikel dan peningkatan suhu yang berlebihan.

2. Waktu pengadukan, lamanya waktu partikel penguat berinteraksi dengan logam cair ditentukan oleh durasi pengadukan. Waktu yang terlalu singkat dapat mengakibatkan distribusi partikel yang tidak teratur, sementara waktu yang terlalu lama dapat menyebabkan oksidasi dan hilangnya komponen paduan.
3. Ukuran partikel, ukuran partikel penguat memiliki efek yang cukup besar pada area permukaan kontak antara partikel dan matriks. Partikel yang lebih halus memiliki luas permukaan yang lebih besar, yang meningkatkan kemungkinan koneksi antarmuka yang lebih kuat. Namun, partikel kecil dapat meningkatkan viskositas cairan, sehingga sulit untuk diaduk.
4. Bentuk partikel, hal ini juga mempengaruhi dispersibilitas dan kekuatan ikatan antar muka. Partikel berbentuk bola lebih mudah didistribusikan, sedangkan partikel yang tidak beraturan dapat menghasilkan kekuatan yang lebih besar.

2.4 Artificial aging

Artificial aging adalah proses pemanasan kembali larutan padat jenuh ke suatu temperatur di bawah garis solvus dan dibiarkan pada temperatur tersebut selama jangka waktu tertentu. *Artificial aging* merupakan salah satu metode peningkatan kekuatan paduan aluminium [23]. Dalam proses ini, material dipanaskan pada suhu tertentu untuk waktu tertentu, lalu didinginkan dengan cepat untuk mengunci struktur mikro yang diinginkan. Setelah itu, bahan dikenakan pada suhu yang lebih rendah untuk proses penuaan, yang memperbaiki dan memperkuat struktur mikrologam. Ilustrasi proses *artificial aging* dapat dilihat pada gambar 2.5 berikut,



Gambar 2.5 Contoh *Artificial Aging* pada Logam

(Sumber: metalsupermarkets.co.uk)

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diperoleh hasil uji kekerasan yang membuktikan bahwa apabila *artificial aging* dilakukan pada suhu yang tepat, maka semakin lama waktu *artificial aging*, akan semakin tinggi pula tingkat kekerasan suatu material.

Tabel 2.4 Nilai Kekerasan Material Uji setelah Melalui *Artificial Aging*

Waktu penuaan (jam)	Kekerasan (HV)		
	Al 10Sn 0Cu	Al 10Sn 10Cu	Al 10Sn 20Cu
1	26,3	47,36	68,71
5	32,66	65,12	81,8
10	53,84	104,9	106

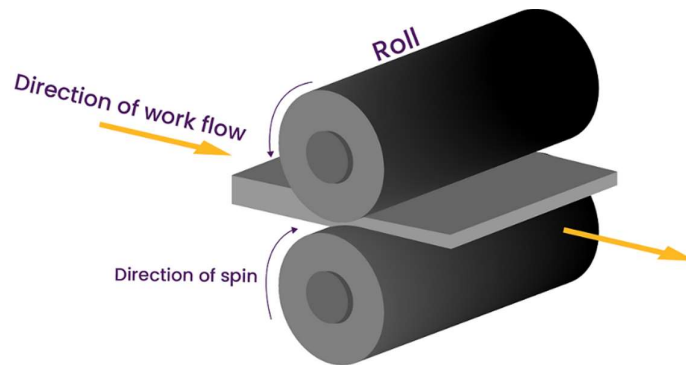
(Sumber: Prayitno dan Apriandini, 2019)

Artificial aging merupakan salah satu metode *treatment* pada aluminium yang bertujuan untuk mempercepat laju pertumbuhan *presipitat*, sehingga sifat mekanik dari aluminium dapat disesuaikan dan dicapai. Sifat mekanik dari suatu material akan sangat terpengaruh oleh temperatur dan waktu tahan dari proses *artificial aging*.

2.5 Reduksi Ketebalan

Pada penelitian ini akan dilakukan prosedur atau proses pengurangan ketebalan atau reduksi terhadap ketebalan sampel komposit yang telah dibuat. Deformasi logam pada suhu ruang diakomodasi oleh lapisan atom-atom yang bergeser dari satu butiran kristal ke butiran kristal lainnya pada logam [24]. Ketika pergeseran terjadi, butiran logam menjadi terdistorsi, lapisan-lapisan

atom saling berkait, dan ada peningkatan tegangan pada daerah kecil di dislokasi atom dalam butir. Peristiwa ini disebut juga dengan *work hardening*. Pengurangan ketebalan material komposit umumnya dilakukan dengan cara *rolling*. *Rolling* merupakan salah satu metode pembentukan logam yang dilakukan dengan menggilas spesimen di antara dua buah alat *roll* atau lebih dengan arah yang berlawanan. Ilustrasi dari proses *rolling* dapat dilihat pada gambar 2.6 berikut,



Gambar 2.6 Proses *Rolling*

(Sumber: blog.imajin.id)

Terdapat dua jenis metode *rolling* yang umum digunakan dalam proses pembentukan logam. Kedua jenis tersebut di antaranya adalah:

1. *Hot rolling*, merupakan proses pembuatan logam dengan menggunakan suhu yang tinggi, dimana logam akan dipanaskan sebelum diletakkan di antara rol. Suhu yang digunakan dalam *hot rolling* biasanya antara 800°C hingga 1200°C.
2. *Cold rolling*, merupakan proses pembuatan logam dengan menggunakan suhu yang relatif rendah. suhu yang digunakan dalam *cold rolling* umumnya antara 20°C hingga 200°C.

Proses *roll* ini dilakukan untuk mengubah susunan struktur mikro dari sampel komposit untuk memperkuat sifat mekanik. Dengan dilakukannya persen reduksi terhadap ketebalan komposit, diharapkan akan menyatukan struktur mikro yang masih renggang. Ukuran dari mikrostruktur material dapat memberikan pengaruh kuat terhadap sifat mekanik yang disebabkan adanya pembatas terhadap mekanisme deformasi tertentu [25]. Selain adanya

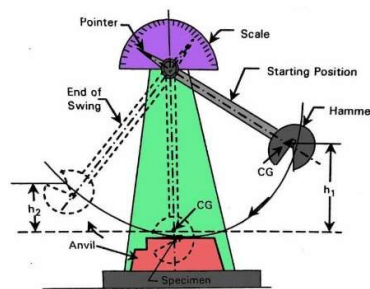
keuntungan dari proses *rolling*, terdapat juga kerugian yang cukup fatal pada material. Kerugian proses *rolling* salah satunya adalah membentuk porositas yang dapat memicu terjadinya *crack*.

2.6 Pengujian Material

2.6.1 Pengujian merusak (*destructive test*)

Pengujian destruktif atau merusak adalah teknik di mana sampel akan dibuat gagal dengan cara yang tidak terkendali untuk menguji ketahanannya dan menemukan titik kegagalan, menentukan kelemahan desain dan masa pakai [26]. Pengujian merusak dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui bagaimana material akan bereaksi terhadap beban mekanik dan untuk menemukan titik kegagalan atau deformasi plastis pada material tersebut. Beberapa *destructive test* yang dilakukan dalam penelitian ini antara lain:

1. Uji impak, adalah pengujian mekanik yang menilai ketahanan suatu material terhadap beban benturan tiba-tiba. Pengujian benturan menentukan kekuatan material terhadap ketahanan guncangan, seperti kerapuhan yang disebabkan oleh perlakuan panas atau kerapuhan produk pengecoran, dan pengaruh bentuk produk [27]. Ilustrasi uji impak dapat dilihat pada gambar 2.7 berikut,

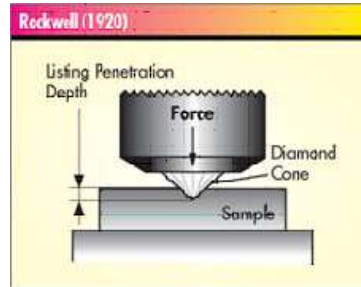


Gambar 2.7 Uji Impak

(Sumber: anakteknik.co.id)

2. Uji kekerasan, merupakan metode analisis material yang bertujuan untuk menentukan ketahanan permukaan suatu material terhadap deformasi plastis lokal akibat penetrasi *indenter* yang lebih keras. Pengujian kekerasan pada material mengukur ketahanan material terhadap

deformasi melalui tekanan, penginderaan non-kontak, atau *indenter* berinstrumen [28]. Ilustrasi pengujian kekerasan dapat dilihat pada gambar 2.8 berikut,



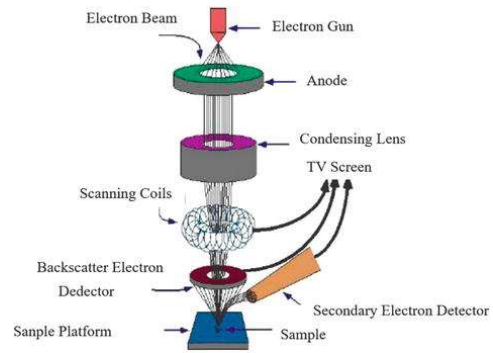
Gambar 2.8 Uji Kekerasan

(Sumber: alatuji.com)

2.6.2 Analisis Metalografi

Metalografi adalah cabang ilmu material yang berkonsentrasi pada analisis struktur mikro logam dan gabungannya. Analisis metalografi adalah alat deteksi yang digunakan untuk mengidentifikasi logam dan paduan, mengevaluasi pemrosesan paduan, memeriksa berbagai fase, dan menemukan ketidaksempurnaan pada bahan [29]. Terdapat beberapa alat yang umum digunakan dalam analisis metalografi, antara lain: mikroskop optik, *scanning electron microscope* (SEM), dan *transmission electron microscope* (TEM). Penelitian ini akan berfokus pada penggunaan SEM sebagai alat analisis metalografi material.

Sebuah teknik mikroskopi elektron yang digunakan secara luas dalam analisis material, khususnya dalam bidang metalografi, adalah *scanning electron microscopy* (SEM). SEM adalah instrumen serbaguna yang digunakan untuk analisis mikrostruktural, memberikan informasi mengenai fitur topografi, morfologi, distribusi fasa, perbedaan komposisi, struktur kristal, dan cacat listrik pada material [30]. Prinsip kerja SEM didasarkan pada interaksi antara sinar elektron berenergi tinggi dengan permukaan sampel. Ilustrasi dari penggunaan SEM dapat dilihat pada gambar 2.9 berikut,



Gambar 2.9 *Scanning Electron Microscope*
(Sumber: intechopen.com)

2.7 Penelitian Terdahulu

No.	Nama Penulis	Tahun	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
1.	Dutkiewicz <i>et al.</i>	2009	<i>Thixoforming Technology of High Carbon X210CrW12 Steel</i>	Penelitian ini melakukan pembentukan baja paduan X210CrW12 menggunakan proses <i>thixoforming</i> . Sampel hasil proses <i>thixoforming</i> memiliki struktur mikro bulat yang tertanam dalam eutektik, yang diidentifikasi sebagai austenit dengan difraksi sinar-X dan dikonfirmasi dengan difraksi elektron.
2.	Ali <i>et al.</i>	2022	<i>Mechanical Behaviour and Morphology of Thixoformed Aluminium Alloy Reinforced by Graphene.</i>	Berdasarkan hasil penelitian ini, proses <i>thixoforming</i> bermanfaat untuk distribusi yang homogen GNP, menghasilkan peningkatan kekuatan luluh dan kekuatan tarik ultimat. Struktur GNP yang berkerut dan ikatan yang efektif dapat dikaitkan dengan perilaku ini.

No.	Nama Penulis	Tahun	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
3.	Mulyanti	2011	Pengaruh Temperatur Proses <i>Aging</i> Terhadap Karakteristik Material Komposit Logam Al-SiC Hasil <i>Stircasting</i> .	Berdasarkan hasil penelitian ini, proses perlakuan panas akan meningkatkan kekuatan tarik dan menurunkan nilai elongasi. Pemanasan dengan temperatur 200°C meningkatkan kekerasan komposit Al-SiC dibandingkan dengan temperatur 100°C. Selain itu pengamatan struktur mikro menunjukkan bahwa distribusi partikel penguat akan terdispersi secara homogen dan peningkatan jumlah pengendapan partikel lebih besar pada material dengan pemanasan 200°C.
4.	K. A. Gogaev <i>et al.</i>	2018	<i>The Influence of Deformation Modes on The Structure and Properties of Al-Mg-X Powder Composites. I. The Influence of Rolling Conditions on The Mechanical Properties of Aluminium Powder Ribbons Strengthened with SiC Nanoparticles.</i>	Penggulungan sebagai langkah pemrosesan deformasi tambahan meningkatkan struktur komposit dengan menghaluskan aglomerat SiC, penggulungan asimetris menjadi teknik pengerasan regangan yang lebih efektif untuk komposit serbuk aluminium. Pengerasan kompleks pita serbuk aluminium memungkinkan peningkatan kekuatan lebih dari dua kali lipat tanpa pengurangan karakteristik elastis dan parameter ulet.