

**PENGARUH *HOT PRESSING* TERHADAP SIFAT
MEKANIK KOMPOSIT LOGAM (Al / SiC) HASIL
PROSES METALURGI DENGAN VARIASI SUHU
PEMANASAN PADA PEMBUATAN *BUSHING***



Oleh :
MANGAMBARI
D022191005
TEKNIK MESIN

PASCASARJANA TEKNIK MESIN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR

2023



PENGAJUAN TESIS

PENGARUH *HOT PRESSING* TERHADAP SIFAT MEKANIK KOMPOSIT LOGAM (Al/SiC) HASIL PROSES METALURGI DENGAN VARIASI SUHU PEMANASAN PADA PEMBUATAN *BUSHING*

Tesis

Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar magister
Program Studi Teknik Mesin

Disusun dan diajukan oleh

MANGAMBARI

D022191005

Kepada

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2023



LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH *HOT PRESSING* TERHADAP SIFAT MEKANIK KOMPOSIT LOGAM (Al / SiC) HASIL PROSES METALURGI SERBUK DENGAN VARIASI SUHU PEMANASAN PADA PEMBUATAN *BUSHING*

Disusun dan diajukan oleh

MANGAMBARI

D022191005

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Magister Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik

Universitas Hasanuddin

pada tanggal 29 September 2023

dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui
Komisi Penasehat,

Pembimbing Utama



Dr. Eng. Lukmanul Hakim Arma, ST., MT
NIP. 197404151999031001

Pembimbing Pendamping



Dr. Muhammad Syahid, ST., MT
NIP. 197707072005011001

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin



Ir. Muhammad Isran Ramli,
„IPM., ASEAN. Eng
9730926 200012 1 002

Ketua Program Studi
Magister Teknik Mesin



Dr. Eng. Novriany Amaliyah, ST., MT
NIP. 197911122008122002



**PERNYATAAN KEASLIAN TESIS
DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA**

Yang bertanda tangan dibawah ini

Nama : MANGAMBARI
Nomor mahasiswa : D022191005
Program studi : Teknik Mesin / Material

Dengan ini saya menyatakan bahwa, tesis berjudul **“Pengaruh *Hot Pressing* Terhadap Sifat Mekanik Komposit Logam (Al/SiC) Hasil Proses Metalurgi Dengan Variasi Suhu Pemanasan Pada Pembuatan *Bushing*”** adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing. Dr. Eng. Lukmanul Hakim Arma, ST., MT sebagai Pembimbing Utama dan Dr. Muhammad Syahid, ST.MT sebagai Pembimbing Pendamping. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka tesis ini. Sebagian dari ini tesis ini telah dipublikasikan di Jurnal (EPI-IJE), Vol 6 No 1, ISSN 2615-5109 sebagai artikel dengan judul “The effect of hot pressing on the mechanical properties of metal composites (Al / Sic) results from metallurgical processes with heating temperature variations in bushing making”. Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya berupa tesis ini kepada Universitas Hasanuddin.

Gowa, 20 Oktober 2023

Yang menyatakan


MANGAMBARI





KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah swt karena dengan rahmat dan hidayah-Nya yang telah mengantarkan penulis sampai ke tahap ini. Langkah demi langkah penulis telah lalui sebagai mahasiswi jurusan Teknik Mesin di Universitas Hasanuddin hingga akhirnya sampai pada tahap akhir. Untuk mendapatkan gelar Magister Teknik Mesin tentu bukan hal mudah bagi penulis. Usaha, doa dan berserah diri kepada Yang Maha Kuasa penulis telah lalui dengan ikhlas dan rendah hati. Oleh karena kuasa Allah swt-lah akhirnya penulis mampu menyelesaikan tesis penelitian ini.

Tesis yang berjudul “**Pengaruh *Hot Pressing* Terhadap Sifat Mekanik Komposit Logam (Al / Sic) Hasil Proses Metalurgi Dengan Variasi Suhu Pemanasan Pada Pembuatan *Bushing***” yang telah melalui analisis dan pengumpulan data. Harapan penulis, semoga penelitian ini dapat menjadi referensi yang baik bagi pabrikan dan produsen pembuatan part-part dengan proses metalurgi serbuk.

Penulis mengetahui bahwa tesis ini tidak lepas dari kekurangan dan keterbatasan baik dari segi isi hingga cara penulisan. Penulis tidak dapat sampai ke tahap ini jika bukan dorongan dari berbagai pihak, baik berupa materi maupun dorongan moril hingga penulis mampu menyelesaikan tesis penelitian ini dengan baik. Oleh karena itu Dengan segala kerendahan hati penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya serta penghargaan yang setinggi-tingginya kepada **Dr. Eng. Lukmanul Hakim Arma, ST., MT** selaku pembimbing I dan Bapak **Dr. Muhammad Syahid, ST.MT** selaku pembimbing II yang telah meluangkan waktunya memberikan petunjuk, arahan dan motivasi. Penulis juga mengucapkan rasa terima kasih kepada **Prof. Dr. Ir. H. Ilyas Renreng, MT**, Bapak **Dr. Ir. H. Ahmad Yusran Aminy, MT** dan Bapak **Dr. Haerul Arsyad,**

, selaku tim penguji yang telah memberikan bimbingan dan arahan demi kesempurnaan tulisan ini.



Tidak lupa penulis haturkan setujul jiwa, rasa terima kasih sedalam-dalamnya dan penghargaan atas segala bentuk dukungan, pengorbanan, kesabaran, dan doa yang tiada henti-hentinya terkhusus kepada orang tua tercinta **Ir. Hamzah A Mansur** dan **Wiwik Indrasari** yang telah menjadi motivasi penulis dalam menyelesaikan tesis ini. Terima kasih sedalam-dalamnya juga buat saudara tercinta **Apt. Rugaya Yuni Muharram S.Farm., Muh. Puddu Nirhamzah, ST., Ahmad Razak Nirhamzah, S.Ked., Saripa Hamzah.,** dan **Bangsawan Hamzah** yang telah memberi semangat dalam hidup penulis.

Pada kesempatan ini penulis ingin juga menyampaikan rasa terima kasih dan penghargaan yang tinggi kepada deretan orang-orang yang telah ikhlas membantu, pahlawan tanpa tanda jasa yaitu Civitas Akademika kepada:

1. Rektor Universitas Hasanuddin Makassar **Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc** dan seluruh Wakil Rektor dalam lingkungan Universitas Hasanuddin.
2. Bapak **Prof. Dr.Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, ST.,MT.,IPM.,ASEAN. Eng** selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Ibu **Dr. Eng. Novriany Amaliyah, ST, MT** selaku ketua Prodi Program S2 Fakultas Teknik Mesin Universitas Hasanuddin.
4. Seluruh **Dosen Departemen Teknik Mesin** yang telah banyak memberikan ilmu yang sangat berharga kepada penulis.
5. Seluruh teman-teman **Pascasarjana Teknik Mesin** terima kasih untuk segala bantuan dan dukungannya.
6. Seluruh staff **Pascasarjana Teknik Mesin** terima kasih untuk segala bantuan dan dukungannya
7. Semua pihak yang telah memberikan bantuan kepada penulis baik berupa materi dan non-materi yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu, terima kasih banyak untuk segala bantuan dan dukungannya.

Semoga Tuhan yang Maha Kuasa membalasnya berkali lipat dengan hal

α. Karena apapun yang penulis miliki semua bersumber dariNya. Penulis manusia biasa yang tak lepas dari khilaf, jika ada salah yang disengaja tidak disengaja mohon dibukakan pintu maaf. Melalui ini penulis juga



menerima kritik dan saran yang membangun dari be
sempurnanya tulisan ini. Semoga tulisan ini dapat menjadi n
yang akan datang. Demikianlah yang dapat penulis sampaikan



Optimized using
trial version
www.balesio.com

Makassar, 29 September 2023

MANGAMBARI

ABSTRAK

MANGAMBARI. Pengaruh *Hot Pressing* Terhadap Sifat Mekanik Komposit Logam (Al / SiC) Hasil Proses Metalurgi Serbuk Dengan Variasi Suhu Pemanasan Pada Pembuatan *Bushing* (dibimbing oleh **Lukmanul Hakim Arma, Muhammad Syahid**)

Aluminium Metal Matrik Composite (AMCs) merupakan metode yang sering digunakan untuk meningkatkan sifat mekanik suatu logam dan SiC digunakan sebagai penguat. SiC memiliki kelebihan diantara material keramik lainnya, yaitu mudah berikatan dengan aluminium dan tidak menyebabkan oksidasi pada logam aluminium. Pembuatan komposit matriks logam paduan Al/SiC telah banyak dilakukan oleh para peneliti melalui teknik metalurgi serbuk. *Bushing* adalah bantalan jenis silinder bercelah yang berfungsi untuk menumpu poros. *Bushing* dapat dibuat dengan metalurgi serbuk, untuk mendapatkan proses pemadatan yang sempurna, kompaksi dapat dilakukan dengan temperature tinggi atau *hot pressing*. Penekanan dalam keadaan panas akan menjadikan serbuk menjadi lebih lunak/plastis, sehingga memudahkan saat proses pemadatan yang sempurna. Untuk itu pemanasan harus terkontrol agar didapat suatu produk yang homogen. Komposit matriks logam Al/SiC merupakan bahan paduan dari jenis material yang berbeda, sebagai matrik dalam hal ini adalah aluminium dan sebagai penguat adalah partikel SiC (keramik) yang dibuat dengan teknik metalurgi serbuk. Pada penelitian ini, komposit Al/SiC berkomposisi Al 70% - SiC 30% dan variasi temperatur *hot pressing* 100°C, 150°C dan 200°C dengan beban tekanan 5000 kg dan waktu penahanan 10 menit. Pada proses *sintering* temperatur yang digunakan 450°C, 500°C dan 550°C dengan waktu penahanan 2 jam. Hasil penelitian ini menunjukkan, pada pengujian kekerasan diketahui bahwa meningkatnya nilai kekerasan sebuah bushing sangat berpengaruh terhadap proses perlakuan *hot pressing* dan proses *sintering*. Berdasarkan hasil pengujian *hardness* didapatkan pada temperatur *hot pressing* 150°C dengan suhu *sintering* 550°C dengan nilai kekerasan tertinggi 58.2 HV. hasil laju keausan didapatkan nilai keausan terendah di temperature *hot pressing* 200°C dengan suhu *sintering* 550°C dengan nilai terendah 0,35 mg/s. dengan menggunakan metode metalurgi serbuk menghasilkan pori material yang mudah dikontrol dengan setiap variasi suhu *hot pressing* maupun suhu *sintering*.

Kata kunci: *komposit Al/SiC, Hot Pressing, Temperatur Sintering*



ABSTRACT

MANGAMBARI. *The effect of hot pressing on the mechanical properties of metal composites (Al / Sic) results from powder metallurgy processes with variations in heating temperatures in bushings.*

(supervised by **Lukmanul Hakim Arma, Muhammad Syahid**)

Aluminum Metal Matrix Composite (AMCs) is a method that is often used to improve the mechanical properties of a metal and SiC is used as a reinforcement. SiC has advantages over other ceramic materials, namely it bonds easily with aluminum and does not cause oxidation of aluminum metal. The manufacture of Al/SiC metal matrix composites has been widely carried out by researchers using powder metallurgy techniques. Bushings are cylindrical type bearings with gaps that function to support the shaft. Bushings can be made with powder metallurgy, to get a perfect compaction process, compaction can be done with high temperatures or hot pressing. Hot pressing will make the powder softer/plastic, thus facilitating the perfect compaction process. For that heating must be controlled in order to obtain a homogeneous product. The Al/SiC metal matrix composite is an alloy of different material types, as the matrix in this case is aluminum and as reinforcement are SiC (ceramic) particles made by powder metallurgy techniques. In this study, Al/SiC composites had Al 70% - SiC 30% composition and Hot Pressing temperature variations of 100, 150 and 2000C with a pressure load of 5000 kg and a holding time of 10 minutes. In the sintering process the temperature used is 450, 500 and 5500C with a holding time of 2 hours. The results of this study indicate, in hardness testing it is known that increasing the hardness value of a bushing greatly affects the Hot Pressing treatment process and the sintering process. Where the results of the hardness test were obtained at the Hot pressing temperature at a temperature of 150°C with a sintering temperature of 550°C with the highest hardness value of 58.2 HV. The wear rate results obtained the lowest wear value at hot pressing temperature 200°C with sintering temperature 550°C with the lowest value 0.35 mg / s. Using powder metallurgy method produces material pores that are easy to control with every variation in hot pressing temperature and sintering temperature.

Keywords: *Al/SiC composite, Hot Pressing, Sintering Temperature*



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
 BAB I PENDAHULUAN	 1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Identifikasi Masalah	2
1.3 Batasan masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	 4
2.1 Teori Dasar	4
2.1.1 Bushing	4
2.1.2 Aluminium.....	7
a. Sejarah Aluminium	7
b. Sifat- Sifat Aluminium	9
2.1.3 Aluminium- Metal Matrix Composites/ AmCs.....	11
2.1.4 Komposit.....	11
2.1.5 Komposit Matriks Logam.....	12
2.1.6 Sifat dan Karakteristik Material SiC	13
2.1.7 Metalurgi Serbuk.....	15
2.1.8 Pencampuran (Mixing)	16
2.1.9 Penekanan (Kompaksi)	16
2.1.10 Pemanasan (Sintering)	17



2.1.11 Meshing.....	18
2.1.12 Laju Linear	20
2.1.13 Gaya Gesek Statis	20
2.1.14 Gaya Gesek Kinetis	21
2.1.15 Sifat Fisis	22
2.1.16 Pengujian Kekerasan	24
2.1.17 Struktur Mikro	26
BAB III METODE PENELITIAN	28
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	28
3.2 Variabel Penelitian	28
3.3 Alat dan Bahan	29
a. tungku	29
b. cetakan bushing	29
c. mesin press.....	29
d. blender	30
e. kertas gosok.....	30
f. timbangan	30
g. Penjepit.....	31
a. Aluminium Powder.....	31
b. SiC (Silikon Karbida).....	32
3.4 Prosedur Penelitian	32
a. Proses Pencampuran	32
b. Proses Penekanan	32
c. Proses Pemanasan.....	33
d. Proses Uji Kehausan	34
e. proses Uji Kekerasan	35
f. Pengamatan struktur mikro.....	35
3.5 Diagram Alir Penelitian	36
ANALISA DAN PEMBAHASAN	37
4.1 Laju Keausan.....	37
4.2 Pengujian kekerasan.....	39



4.3 struktur mikro	43
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	47
5.1 Kesimpulan	47
5.2 Saran.....	47
DAFTAR PUSTAKA	



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Bushing	4
Gambar 2.2 Suaian <i>Bushing</i>	5
Gambar 2.3 Headless Bush.....	5
Gambar 2.4 Headed Drill Bush.....	6
Gambar 2.5 Screw Lock	6
Gambar 2.6 Slip Renewable Bush	6
Gambar 2.7 Extended Bushing	7
Gambar 2.8 Dua Bushing Dalam Satu Plat	7
Gambar 2.9 Theaded Bushing	7
Gambar 2.10 Aluminium.....	8
Gambar 2.11 Silicon Carbide.....	14
Gambar 2.12 Laju Linear.....	20
Gambar 2.13 Gaya Gesek Kinetis	21
Gambar 2.14 Tipe-Tipe Lekukan Piramid Intan.....	25
Gambar 2.15 Pengujian Vickers.....	26
Gambar 2.12 Metallurgical Microscope	27
Gambar 3.1 Tungku.....	29
Gambar 3.2 Cetakan Bushing.....	29
3.3 Mesin Press.....	29
3.4 Blender.....	30



Gambar 3.5 Kertas Gosok.....	30
Gambar 3.6 Timbangan.....	30
Gambar 3.7 penjepit	31
Gambar 3.8 Aluminium Powder.....	31
Gambar 3.9 SiC	32
Gambar 3.10 Instalasi Alat Kompaksi	33
Gambar 4.1 Grafik uji keausan	38
Gambar 4.2 Grafik uji kekerasan 450° C	41
Gambar 4.3 Grafik uji kekerasan 500° C	41
Gambar 4.4 Grafik uji kekerasan 550 ° C	42
Gambar 4.5 Grafik rata-rata kekerasan.....	42
Gambar 4.6 mikrostruktur suhu sinter 450° C	44
Gambar 4.7 mikrostruktur suhu sinter 500° C	44
Gambar 4.8 mikrostruktur suhu sinter 550° C	45



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sifat – Sifat Fisik Komposit Al/SiC	13
Table 2.2 Ukuran Mesh	19
Table 2.3 Koefisien Gesekan Antara Beberapa Permukaan	22
Table 4.1 Nilai uji keausan	38
Table 4.2 Nilai uji kekerasan 450° C	40
Table 4.3 Nilai uji kekerasan 500° C	40
Table 4.4 Nilai uji kekerassan 550° C	40



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Pada saat ini, perkembangan teknologi *metal matrik composite (MMC)* semakin maju seiring dengan berkembangnya teknologi industri otomotif. Penggunaan baja sebagai bahan baku suku cadang dan komponen otomotif mulai digantikan dengan bahan komposit dimana memiliki sifat mampu bentuk dan ketahanan korosi yang baik. Metalurgi serbuk (*powder metallurgy*) merupakan salah satu metode pembuatan MMC yang paling banyak digunakan dalam pembuatan komponen otomotif karena menawarkan efisiensi bahan baku dan energy yang lebih efisien dibandingkan dengan metode produksi lainnya.(wibowo,2015)

Biasanya material yang digunakan untuk membuat komponen otomotif terbuat dari material casting (coran) berbasis besi (ferro) seperti komposit logam, namun belum banyak digunakan karena hambatan teknik fabrikasi atau kendala teknis lainnya sehingga membutuhkan dana yang banyak dalam produksinya. Ketika bahan tersebut diganti dengan material komposit seperti bahan aluminium maka dapat diperoleh keuntungan seperti reduksi berat komponen, anti korosi, tahan gesek, konduktivitas panas yang rendah serta keunggulan mekanis dan fisis lainnya. (imroatul.2015)

bushing berfungsi untuk menumpu poros berbeban, sehingga putaran atau gerakan bolak-baliknya dapat berlangsung secara halus dan aman. *Bushing* termasuk dalam klasifikasi bantalan luncur. Yang terjadi antara permukaan bantalan dengan permukaan yang ditumpu berupa gerak luncur (*sliding*). Produk yang dibuat pada penelitian ini adalah *bushing* berbentuk silinder.(wibowo,2015)

Suatu *bushing* yang baik adalah *bushing* yang mempunyai sifat mekanik yaitu kekuatan dan kekerasan yang tinggi namun memiliki laju keausan yang

bushing harus mempunyai distribusi kekerasan yang tinggi karena dilihat sinya untuk menumpu poros berbeban sehingga adanya beban dan gaya agai arah tidak mengakibatkan material tersebut lelah dan mudah patah.



Akan tetapi, terkadang bushing yang dihasilkan tidak sesuai dengan apa yang kita inginkan atau dengan kata lain tidak memiliki sifat mekanik yang baik.

Saat ini metode yang berkembang dalam pembuatan komposit adalah metalurgi serbuk (*powder metallurgy*) yang merupakan teknik fabrikasi yang sangat luas penerapannya dalam berbagai inovasi teknologi material dalam dunia industri. Keunggulan penerapan dari teknologi berbasis serbuk antara lain dapat menggabungkan berbagai sifat material yang berbeda karakteristik, sehingga menjadi sifat yang baru sesuai yang direncanakan. Komposit matrik logam dengan matrik aluminium dan penguat SiC berbasis serbuk atau juga dikenal dengan komposit isotropik Al/SiC merupakan material yang memiliki aplikasi serta pengembangan yang luas. Komposit ini mempunyai keunggulan terutama dalam kekuatan dan ketahanan terhadap aus.(Imroatul, 2015)

Penelitian yang dilakukan adalah untuk menguasai pembuatan komposit paduan dari Al dengan keramik SiC melalui teknik metalurgi serbuk. Penguasaan teknologi pembuatan material komposit Al/SiC dapat mengatasi kebutuhan manusia terhadap barang-barang yang berkualitas dengan cara merekayasa dalam pembuatannya.

Dari uraian diatas, perlu kiranya untuk mengadakan penelitian terhadap *bushing*, sehingga hasil dari penelitian tersebut dapat diketahui suhu optimal untuk proses *pembuatan komposit metalurgi serbuk (powder metallurgy)*.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah dipaparkan diatas dapat diidentifikasi sebagai berikut :

- 1 Bagaimana pengaruh laju keausan pada aluminium berpenguat SiC
- 2 Bagaimana pengaruh uji kekerasan pada aluminium berpenguat SiC
- 3 Bagaimana pengaruh temperatur sinter terhadap struktur mikro aluminium berpenguat SiC.

1.3 Batasan Masalah



Dalam penulisan ini, penulis memberikan batasan masalah sebagai berikut :

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu aluminium powder

2. Penguat yang digunakan yaitu SiC (Silicon Carbida).
3. Komposisi campuran yaitu 70 % aluminium 30 % SiC.
4. Proses *hot pressing* pada temperatur 100,150 dan 200° C dengan waktu penahanan 10 menit.
5. Pemanasan yang dilakukan pada temperature sinter yaitu 450°C,500°C,550°C selama 2 jam
6. Pengujian yang dilakukan yaitu uji keausan, uji kekerasan dan *metallography*.

1.4 Tujuan Penelitian

Dalam penulisan ini, penulis memberikan tujuan penelitian sebagai berikut :

- 1 Untuk menganalisa laju keausan pada aluminium berpenguat SiC.
- 2 Untuk menganalisa uji kekerasan pada aluminium berpenguat SiC.
- 3 Untuk mengetahui pengaruh temperatur sinter terhadap struktur mikro aluminium berpenguat SiC.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari Tugas Akhir ini antara lain: sebagai pengalaman dari materi kuliah, sebagai tambahan pengetahuan pemahaman tentang bagaimana proses pembuatan komposit Al/SiC serta pengaruh pemanasan matrik pra-kompaksi dan temperatur sinter terhadap sifat fisis dari komposit Al/SiC, serta sebagai tambahan kepustakaan untuk penelitian selanjutnya.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Teori Dasar

2.1.1 *Bushing*

Bushing atau yang dikenal sebagai bantalan merupakan elemen atau bagian dari peralatan mesin yang dirancang agar dapat menahan beban yang diterimanya, khususnya beban yang bergerak seperti poros sehingga putaran atau gerak bolak-baliknya dapat berlangsung secara halus dan aman. *Bushing* harus memiliki sifat mekanik yang baik agar poros elemen mesin yang lain dapat bekerja secara maksimal. Dibawah ini menunjukkan bentuk sebuah *bushing* (bantalan poros).



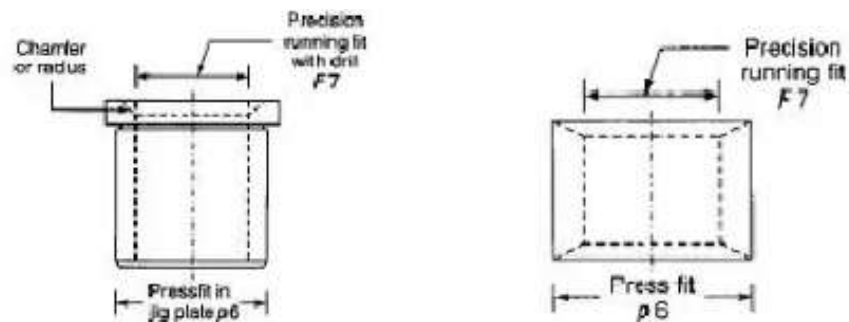
Gambar 2.1. *Bushing*

Dalam memilih bahan *bushing* yang perlu diperhatikan adalah :

1. Dapat menahan beban tanpa mengalami patah atau perubahan bentuk, tahan terhadap beban yang berubah-ubah dan tahan temperature tinggi.
2. Memiliki alur atau celah untuk pelumasan.
3. Tahan terhadap korosi.
4. Dapat menghantar panas.
5. Koefisien muai kecil.
6. Sifat dapat dikerjakan (mampu tempa) yang baik (Wikipedia,2010).



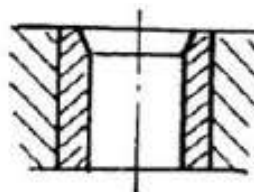
Pemakaian bushing ini, antara lain bushing pada poros engkol, bushing pada mesin perkakas, bushing pada poros kereta api, bushing untuk penggunaan umum, dan masih banyak lagi sesuai dengan yang dibutuhkan. (wibowo,2015). Karena hal tersebut maka elemen ini banyak digunakan untuk mendukung dan mengarahkan tool pada mesin produksi seperti pada pengeboran dan sebagainya. Sesuai dengan fungsinya maka proses pengerjaan *bushing* ini harus presisi dengan tingkat keakuratan, bagian dalam *running fit* dan bagian luar *Push/Press fit* sesuai dengan kebutuhan. Adapun jenis-jenis *bushing* yang sering digunakan dapat dilihat pada gambar dibawah ini. (Taufiq mdrt).



Gambar 2.2 Suaian *Bushing*

1. *Headless Bush*

Headless bush yang paling populer, mahal dan beban aksial ringan. *Bushing* tekan *headless bush* cocok digunakan dimana mudah diganti, dimana operasinya adalah tunggal seperti pengeboran atau *reaming*.

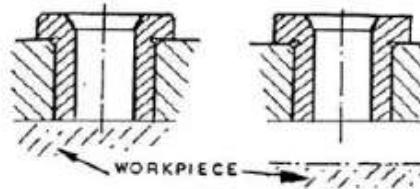


Gambar 2.3 *Headless bush*



2. Headed Drill Bush

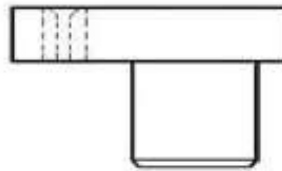
Bushing ini pada dasarnya adalah sama dengan *headless bushing*, tetapi *bushing* ini menggunakan kepala.



Gambar 2.4 Headed Drill Bush

3. Screw Lock

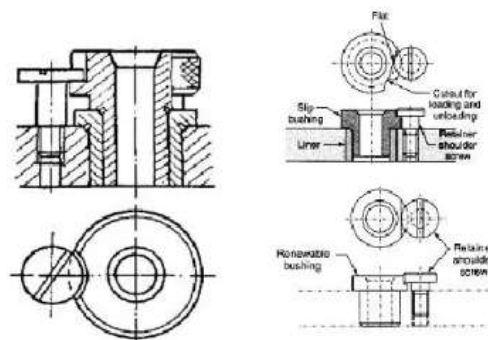
Jig ini dirancang untuk menempatkan posisi kunci ulir secara akurat dan cepat. Pemegang (*spigot*) yang cocok dengan diameter bagian dalam untuk penepat.



Gambar 2.5 Screw Lock

4. Bushing Slip yang Dapat Diganti

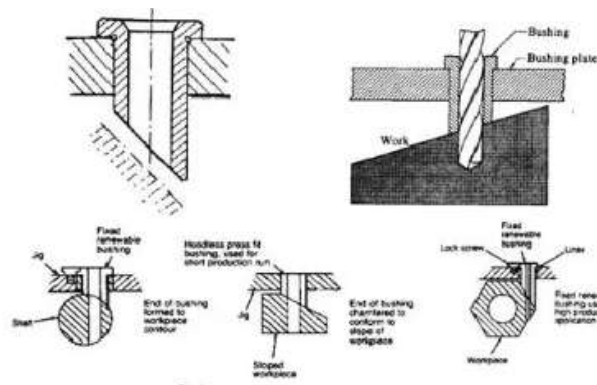
Bushing ini digunakan dimana lebih dari satu operasi ini yang dilakukan dalam lubang yang sama pada benda kerja, seperti pengeboran, dan kemudian reaming atau counter bor.



Gambar 2.6 Slip Renewable Bush

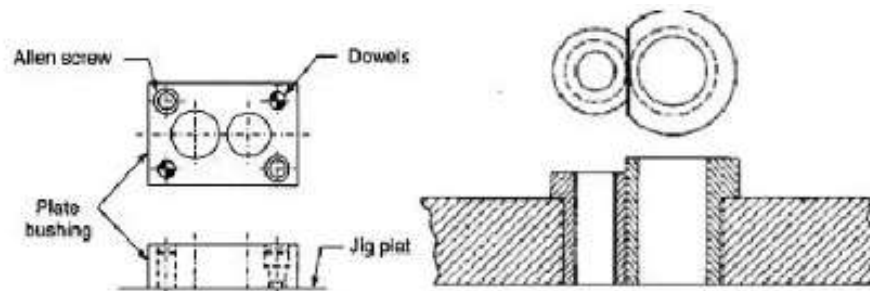


5. *Bushing* untuk permukaan miring



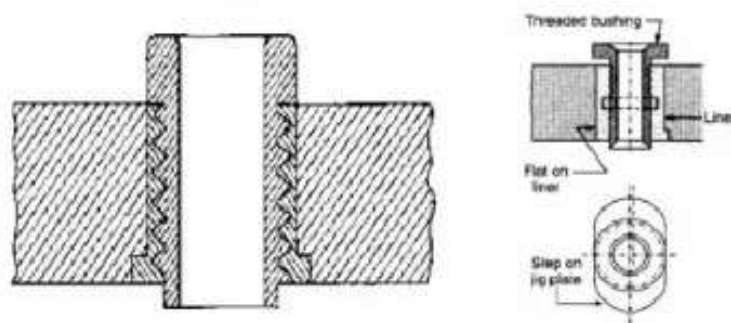
Gambar 2.7 *Extended Bushing*

6. *Bushing* untuk 2 lubang berdekatan



Gambar 2.8 Dua *Bushing* Dalam Satu Plat

7. *Bushing* berulir (*Threaded Bushing*)



Gambar 2.9 *Threaded Bushing*

2.1.2 Aluminium

a. Sejarah aluminium



Pada tahun 1884 aluminium masih menjadi barang yang sangat langka dan berharga, saat itu aluminium seberat 6 pon berbentuk setengah lingkaran diletakkan di bagian puncak *Monument of Washington* di

Amerika dan hingga saat ini masih bertahan. Namun 100 tahun kemudian sampai sekarang aluminium menjadi barang yang paling banyak digunakan di dunia setelah besi. Saat ini semua paduan aluminium masih terus diteliti oleh banyak industri di dunia dengan mencampurkan unsur lain seperti tembaga (*Cu*), besi (*Fe*), magnesium (*Mg*), mangan (*Mn*), dan lain sebagainya sehingga membentuk paduan yang baru yang memiliki sifat dan karakteristik yang berbeda. Saat ini aluminium menjadi logam kedua yang sering digunakan setelah besi dalam berbagai industri di dunia



Gambar 2.10. Aluminium

Aluminium murni 100% tidak memiliki kandungan unsur apapun selain aluminium itu sendiri, namun aluminium murni yang dijual di pasaran tidak pernah mengandung 100% aluminium, melainkan selalu ada pengotor yang terkandung di dalamnya. Pengotor yang mungkin berada di dalam aluminium murni biasanya adalah gelembung gas di dalam yang masuk akibat proses peleburan dan pendinginan/pengecoran yang tidak sempurna, material cetakan akibat kualitas cetakan yang tidak baik, atau pengotor lainnya akibat kualitas bahan baku yang tidak baik (misalnya pada proses daur ulang aluminium). Umumnya, aluminium murni yang dijual dipasaran adalah aluminium murni 99%, misalnya aluminium foil. (K, W. J. 2004).



b. Sifat-sifat aluminium

Perlu diketahui aluminium merupakan logam yang paling banyak terkandung di kerak bumi. Aluminium terdapat di kerak bumi sebanyak kira-kira 8,07% hingga 8,23% dari seluruh massa padat dari kerak bumi, dengan produksi tahunan dunia sekitar 30 juta ton pertahun dalam bentuk bauksit dan bebatuan lain.

Saat ini aluminium berkembang luas dalam banyak aplikasi industri seperti industri otomotif, rumah tangga, maupun elektrik. Beberapa sifat dari aluminium itu sendiri, yaitu:

1. Ringan

Aluminium memiliki sifat ringan, bahkan lebih ringan dari magnesium dengan densitas sekitar $\frac{1}{3}$ dari densitas besi. Kekuatan dari paduan aluminium dapat mendekati dari kekuatan baja karbon dengan kekuatan tarik 700 Mpa (100 ksi). Kombinasi ringan dengan kekuatan yang cukup baik membuat aluminium sering diaplikasikan pada kendaraan bermotor, pesawat terbang, alat-alat konstruksi seperti tangga, maupun pada roket.

2. Mudah dalam pembentukannya

Aluminium merupakan salah satu logam yang mudah untuk dibentuk dan mudah dalam fabrikasi seperti *forging*, *bending*, *rolling*, *casting*, *drawing*, dan *machining*. Struktur kristal yang dimiliki aluminium adalah struktur kristal *FCC* (*Face Centered Cubic*), sehingga aluminium tetap ulet meskipun pada temperatur yang sangat rendah. Bahan aluminium mudah dibentuk menjadi bentuk yang kompleks dan tipis sekalipun, seperti bingkai jendela, lembaran aluminium foil, rel, gording, dan lain sebagainya.

3. Tahan terhadap korosi

Aluminium tahan terhadap korosi karena fenomena pasivasi. Pasivasi adalah pembentukan lapisan pelindung akibat reaksi logam terhadap komponen udara sehingga lapisan tersebut melindungi



lapisan dalam logam dari korosi. Hal tersebut dapat terjadi karena permukaan aluminium mampu membentuk lapisan alumina (Al_2O_3) bila bereaksi dengan oksigen.

4. Konduktif panas tinggi

Konduktifitas panas aluminium tiga kali lebih besar dari besi, maupun dalam pendinginan dan pemanasan. Sehingga aplikasi banyak digunakan pada radiator mobil, koil pada evaporator, alat penukar kalor, alat-alat masak, maupun komponen mesin.

5. Konduktif listrik tinggi

Konduktifitas listrik dari aluminium dua kali lebih besar dari pada tembaga dengan perbandingan berat yang sama. Sehingga sangat cocok digunakan dalam kabel transmisi listrik.

6. Tangguh pada temperature rendah

Aluminium tidak menjadi getas pada temperatur rendah hingga - 100 °C, bahkan menjadi lebih keras dan ketangguhan meningkat. Sehingga aluminium dapat digunakan pada material bejana yang beroperasi pada temperatur rendah.

7. Tidak beracun

Aluminium tidak memiliki sifat racun pada tubuh manusia, sehingga sering digunakan dalam industri makanan seperti kaleng makanan dan minuman, serta pipa-pipa penyalur pada industri makanan dan minuman.

8. Mudah didaur ulang

Aluminium mudah untuk didaur ulang, bahkan 30% produksi aluminium di Amerika berasal dari aluminium yang didaur ulang. Pembentukan kembali aluminium dari material bekas hanya membutuhkan 5% energi dari pemisahan aluminium dari bauksit.

Aluminium juga memiliki beberapa kekurangan yaitu kekuatan dan kekerasan yang rendah bila dibanding dengan logam lain seperti besi dan baja.



2.1.3 Aluminium –Metal Matrix Composites / AMCs

Keuntungan utama dari *Aluminium Matrix Composites* dibandingkan dengan logam-logam lain yang tanpa penguat : (K, S. M. 2003).

- a. Memiliki kekuatan yang lebih besar.
- b. Meningkatkan kekuatan.
- c. Mengurangi densitas.
- d. Sifatnya meningkat pada temperatur yang tinggi.
- e. Mengontrol koefisien peningkatan arus panas
- f. *Management* arus panas.
- g. Meningkatkan dan menyesuaikan performa listrik.
- h. Meningkatkan resistensi keausan dan goresan/abrasi.
- i. Sangat banyak mengontrol (khusus pada aplikasi yang berlawanan).
- j. Meningkatkan kemamouan lembab / *damping*.

Aluminium Matrix Composites memberikan keuntungan yang spesifik bila dibandingkan dengan aluminium yang tanpa penguat, *Polymer Matrix Composites* dan *Ceramic Matrix Composites* walaupun tetap memiliki kekurangan tertentu.

2.1.4 Komposit

Material komposit adalah kombinasi makroskopik dari dua atau lebih bahan yang berbeda, tetapi memiliki ikatan antar keduanya. Komposit digunakan tidak hanya untuk sifat struktural benda, tetapi juga untuk listrik, termal, tribologi, dan aplikasi dilingkungan. Material komposit yang dihasilkan memiliki keseimbangan sifat struktural yang lebih unggul dibanding bahan utamanya. (Agus Supriahanto, B. S. (2009)

Kebanyakan komposit terdiri dari dua material penguat disebut *filter* dan material matriks. Material *filler* memberikan kekakuan dan kekuatan, sedangkan material matriksnya menahan material bersama dan membantu perpindahan beban pada penguat yang terputus.

Komposit matriks logam dapat dibuat dengan metode pengecoran aupun dengan metode metalurgi serbuk. Namun metode pengecoran empunyai kendala yaitu sulit membuat komposit homogen, karena



partikel penguat biasanya mengendap atau mengapung yang disebabkan beda berat jenis. Sedangkan dengan metode metalurgi serbuk dapat dilakukan dengan mencampurkan serbuk matriks logam dan penguat hingga diperoleh campuran dan homogen. Campuran tersebut kemudian dikompaksi dengan tekanan tertentu dan kemudian disinter dengan temperatur tertentu sehingga akan diperoleh penggabungan partikel serbuk dan penguat. Tujuan dibentuknya komposit adalah salah satunya adalah memperbaiki mekanik atau sifat spesifik.

Berikut ini adalah tujuan dari dibentuknya komposit, yaitu :

1. Memperbaiki sifat mekanik dan sifat spesifik tertentu
2. Mempermudah design yang sulit pada manufaktur
3. Keleluasaan dalam bentuk/design yang dapat menghemati biaya.
4. Menjadikan bahan lebih ringan

2.1.5 Komposit Matriks Logam

Dalam proses fabrikasi komposit matrik logam, matrik yang paling banyak digunakan adalah logam aluminium karena logam ini mempunyai banyak kelebihan antara lain memiliki densitas yang rendah, tahan terhadap korosi, memiliki sifat panas, dan sifat listrik yang baik. Logam aluminium yang biasa digunakan sebagai matrik adalah paduan Al-Si, Al-Cu, dan sebagainya. Komposit matrik aluminium biasanya menggunakan penguat Al_2O_3 , SiC, C, dan yang lainnya.

Pemilihan partikel penguat SiC sebagai bahan pengisi (filler) banyak dikembangkan karena material SiC memiliki sifat mekanik dan fisis yang baik seperti memiliki nilai modulus elastisitas yang tinggi, kekerasan, ketahanan erosi, dan memiliki nilai koefisien ekspansi termal yang rendah. Jadi dengan menggunakan material aluminium sebagai matrik dan partikel SiC sebagai bahan penguat maka akan didapatkan suatu material komposit yang memiliki sifat antara getas dan liat, memiliki sifat fisis, mekanik, dan sifat termal yang baik, serta menghasilkan material yang memiliki bobot rendah dan memiliki umur pemakaian yang lebih lama karena memiliki ketahanan korosi yang baik (Ramadhonal, 2010).



Table 2.1 sifat Fisis Komposit Al/SiC

Sifat fisis	Nilai
Densitas	2.6 – 3.1 gr/cm ³
Kuat tekan	300 – 450 MPa
Modulus elastisitas	180 – 200 GPa
Ketahanan lelah	10 – 25 Mpa-m ²
Koefisien ekspansi termal	7 – 20 x 10 ⁻⁶ / °C
Konduktivitas panas	220 W/m – K

(Cantor , 2004)

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

- Memiliki kekuatan yang lebih tinggi
- Memiliki sifat kekakuan yang lebih tinggi
- Memiliki ketahanan lelah yang baik
- Lebih tahan terhadap suhu yang relatif tinggi
- Memiliki koefisien ekspansi termal dan konduktivitas termal yang baik
- Umur pemakaian lebih lama karena tahan terhadap korosi.

Komposit matrik logam dapat di aplikasikan pada berbagai komponen mesin seperti velg, housing disc brake, sudu-sudu gas turbin (turbin blade), mesin roket, piston, penukar panas (heat exchanger), struktur pesawat terbang, kemasan elektronik, dan sebagainya (Sakti, 2008).

2.1.6 Sifat dan Karakteristik Material SiC

Silicon Carbide (SiC), juga dikenal sebagai carborundum merupakan komposisi kimia dari silicon dan karbon dengan formulasi kimianya adalah SiC, terdapat di alam pada mineral langka mossanite. Bubuk silicon carbide diproduksi secara masal sejak tahun 1893 untuk digunakan sebagai abrasif, butiran dari silicon carbide dapat mengikat dengan baik menggunakan metode sintering untuk menghasilkan keramik yang sangat keras, yang digunakan secara luas untuk penggunaan yang memerlukan



tingkat ketahanan yang tinggi, seperti rem mobil dan lempengan keramik pada rompi anti peluru. Aplikasi silikon karbida dalam bidang elektronika seperti LED (light emitting diodes) dan detector pada radio, dan sekarang SiC digunakan secara luas pada semikonduktor temperature tinggi.



Gambar 2.11 Silicon Carbide

Silikon karbida ada disekitar 250 bentuk Kristal. The polimorfisme SiC dikarakteristikkan oleh struktural Kristal yang sama, disebut polytypes. Merupakan variasi senyawa kimia yang sama, identic dalam dua dimensi dan berbeda dalam tiga dimensi. Dengan demikian mereka dapat dilihat sebagai layer/lapisan bertumpuk dalam urutan tertentu.

Silikon karbida Alpha (α -SiC) seperti yang ditunjukkan pada gambar adalah yang paling sering ditemui didalam bentuk polymorph, terbentuk pada suhu lebih besar dari 1.700°C dan memiliki heksagonal struktur Kristal. Modifikasi beta (β -SiC seperti yang ditunjukkan pada gambar, dengan struktur Kristal zinc blende (mirip dengan diamond), terbentuk pada suhu di bawah 1700°C . sampai saat ini, bentuk beta telah memiliki sedikit penggunaan secara komersial, walaupun sekarang terjadi peningkatan minat untuk digunakan sebagai dukungan katalis heterogen, dikarenakan luas permukaan tinggi dibandingkan dengan bentuk alpha.

SiC murni tidak berwarna, warna coklat ke warna hitam merupakan hasil produk industry dari pengotoran besi. Kilau Kristal pelangi pada SiC sebabkan oleh *passivation layer* dari silikon dioksida yang terbentuk pada permukaan



Suhu sublimasi SiC yang tinggi (sekitar 2700°C) berguna untuk membuat bearings dan bagian furnace. Silicon karbida tidak meleleh pada tekanan berapa pun. Banyak digunakan sebagai bahan semikonduktor dalam elektronik, yang membutuhkan konduktivitas termal yang tinggi, high electricfield breakdown strength, dan arus densitas yang besar, membuatnya lebih menjanjikan dari silikon untuk perangkat-perangkat yang membutuhkan spesifikasi tinggi. SiC juga memiliki koefisien ekspansi termal sangat rendah ($4,0 \times 10^{-6}/K$) dan tidak adanya transisi fase ini akan menimbulkan diskontinuitas dalam ekspansi termal. (Imroatul, 2015)

2.1.7 Metalurgi Serbuk

Metalurgi serbuk adalah proses manufaktur yang dapat mencapai bentuk komponen akhir dengan mencampurkan serbuk secara bersamaan dan dikompaksi dalam cetakan, dan selanjutnya disinter di dalam furnace (tungku pemanas). Langkah-langkah yang harus dilalui dalam metalurgi serbuk, antara lain: (wibowo,2015)

1. Preparasi material
2. Pencampuran (mixing)
3. Penekanan (kompaksi)
4. Pemanasan (sintering)

Material komposit yang dihasilkan dari proses metalurgi serbuk adalah komposit isotropik, yaitu komposit yang mempunyai penguat (filler) dalam klasifikasi partikulet. Keuntungan proses metalurgi serbuk, antara lain:

- a. Mampu melakukan kontrol kualitas dan kuantitas material
- b. Mempunyai presisi yang tinggi
- c. Selama pemrosesan menggunakan suhu yang rendah
- d. Kecepatan produk tinggi

Sangat ekonomis karena tidak ada material yang terbuang selama pemrosesan



Namun metode metalurgi serbuk juga memiliki keterbatasan, antara lain:

- a. Biaya pembuatan yang mahal dan terkadang serbuk sulit penyimpanannya
- b. Dimensi yang sulit, karena selama penekanan serbuk logam tidak mampu mengalir ke ruang cetakan
- c. Sulit untuk mendapatkan kepadatan yang merata

2.1.8 Pencampuran (Mixing)

Ada 2 macam pencampuran, yaitu:

- a. Pencampuran basah (wet mixing) yaitu proses pencampuran dimana serbuk matrik dan filler dicampur terlebih dahulu dengan pelarut polar apabila material (matrik dan filler) yang digunakan mudah mengalami oksidasi. Tujuan pemberian 15 pelarut polar adalah untuk mempermudah proses pencampuran material yang digunakan dan untuk melapisi permukaan material supaya tidak berhubungan dengan udara luar sehingga mencegah terjadinya oksidasi pada material yang digunakan.
- b. Pencampuran kering (dry mixing) yaitu proses pencampuran yang dilakukan tanpa menggunakan pelarut untuk membantu melarutkan dan dilakukan di udara luar apabila material yang digunakan tidak mudah mengalami oksidasi. (Imroatul,2015)

2.1.9 Penekanan (Kompaksi)

Proses kompaksi adalah suatu proses pembentukan logam dari serbuk logam dengan mekanisme penekanan setelah serbuk logam dimasukkan kedalam cetakan. Proses kompaksi pada umumnya dilakukan dengan penekanan satu arah dan dua arah. Pada penekan satu arah penekan atas bergerak kebawah. Sedangkan pada dua arah, penekan atas dan penekan bawah saling menekan secara bersamaan dalam arah yang berlawanan. Jenis dan macam produk yang dihasilkan oleh proses metalurgi serbuk sangat ditentukan pada proses kompaksi

nembentuk serbuk dengan kekuatan yang baik. Pada proses kompaksi meliputi proses pengepresan suatu bentuk didalam cetakan yang terbuat



dari baja. Tekanan yang diberikan berkisar antara 20-1400 MPa (Rusianto, 2009).

2.1.10 Pemanasan (Sintering)

Pemanasan pada temperatur di bawah titik leleh material disebut dengan sintering. Parameter sintering meliputi: temperatur (T), waktu, kecepatan pendinginan, kecepatan pemanasan, atmosfer sintering dan jenis material.

Berdasarkan pola ikatan yang terjadi pada proses kompaksi, ada 2 fenomena yang mungkin terjadi pada saat sintering, yaitu:

a. Penyusutan (shrinkage)

Apabila pada saat kompaksi terbentuk pola ikatan bolabidang maka pada proses sintering akan terbentuk shrinkage, yang terjadi karena saat proses sintering berlangsung gas (lubricant) yang berada pada porositas mengalami degassing (peristiwa keluarnya gas pada saat sintering). Dan apabila temperatur sinter terus dinaikkan akan terjadi difusi permukaan antar partikel matrik dan filler yang akhirnya akan terbentuk liquid bridge/ necking (mempunyai fasa campuran antara matrik dan filler). Liquid bridge ini akan menutupi porositas sehingga terjadi eliminasi porositas (berkurangnya jumlah dan ukuran porositas).

b. Retak (cracking)

Apabila pada kompaksi terbentuk pola ikatan antar partikel berupa bidang-bidang, sehingga menyebabkan adanya trapping gas (gas/lubricant terjebak di dalam material), maka pada saat sintering gas yang terjebak belum sempat keluar tapi liquid bridge telah terjadi, sehingga jalur porositasnya telah tertutup rapat. Gas yang terjebak ini akan mendesak ke segala arah sehingga terjadi bloating (mengembang), sehingga tekanan di porositas lebih tinggi dibanding tekanan di luar. Bila kualitas ikatan permukaan partikel pada bahan komposit tersebut rendah, maka tidak akan mampu menahan tekanan yang lebih besar sehingga menyebabkan retakan

cracking) Keretakan juga dapat diakibatkan dari proses pemadatan yang tidak sempurna, adanya shock termal pada saat pemanasan karena perbedaan muatan dari matrik dan filler yang berbeda. (Imroatul, 2015)



2.1.11 Meshing

Mesh adalah ukuran dari jumlah lubang suatu jaring atau kasa pada luasan 1 inch persegi jaring atau kasa yang bisa dilalui oleh material padat. Ukuran mesh banyak digunakan pada proses penepung atau penghalusan suatu bahan padatan, yang sebelum dihaluskan memiliki ukuran yang lebih besar . semakin besar angka ukuran mesh screen, semakin halus material yang bisa diloloskan. Partikel yang lolos melalui ukuran saring tertentu disebut sebagai undersize dan partikel yang tertahan diatas saringan tertentu disebut oversize. Hasil dari perbandingan ukuran mesh dapat dilihat pada tabel 2.2.



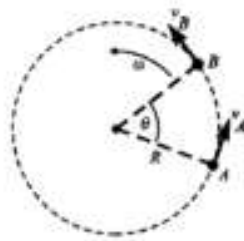
Tabel 2.2. ukuran mesh : Inchi : Milimeter : Mikrometer

Mesh	Inchi	Milimeter	Mikrometer
3	0.2650	6.730	6730
4	0.1870	4.760	4760
5	0.1570	4.000	4000
6	0.1320	3.360	3360
7	0.1110	2.830	2830
8	0.0937	2.380	2000
10	0.0787	2.000	2000
12	0.0661	1.680	1680
14	0.0555	1.410	1410
16	0.0469	1.190	1190
18	0.0394	1.000	1000
20	0.0331	0.841	841
25	0.0280	0.700	700
28	0.0238	0.595	595
30	0.0232	0.595	595
35	0.0197	0.500	500
40	0.0165	0.400	400
45	0.0138	0.354	354
50	0.0117	0.297	297
60	0.0098	0.250	250
70	0.0083	0.210	210
80	0.0070	0.177	177
100	0.0059	0.149	149
120	0.0049	0.125	125
140	0.0041	0.105	105
170	0.0035	0.088	88
200	0.0029	0.074	74
230	0.0024	0.063	63



2.1.12 Laju Linear

Sebuah partikel bergerak melingkar menempuh lintasan sepanjang keliling lingkaran $2\pi R$ dengan kelajuan tetap v , jari-jari lintasannya R , dengan waktu putar atau periode T .



gambar 2.12. Laju Linear

Waktu yang diperlukan oleh sebuah titik untuk melakukan satu kali lingkaran penuh dari titik A kembali ke titik A lagi adalah T , yang disebut dengan satu periode. Panjang lintasan yang ditempuh adalah s , atau satu keliling lingkaran. Sedangkan frekuensi f adalah banyaknya lingkaran penuh yang dapat dilakukan dalam waktu satu sekon. Jadi, frekuensi merupakan kebalikan dari periode. Laju linier partikel v dapat dituliskan sebagai berikut : (Pratama,2017).

$$v = 2\pi Rn \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan :

v = kecepatan linear (m/s)

R = jari-jari (m)

n = jumlah putaran yang dilakukan dalam satu sekon (Hz)



Gaya gesek statis

Gaya gesek statis adalah gesekan antara dua benda padat yang tidak k relatif satu sama lainnya. Sebagai contoh, gesekan statis dapat

mencegah benda meluncur ke bawah pada bidang miring. Koefisien gesek statis umumnya dinotasikan dengan μ_s , gaya gesek dinotasikan dengan F_f (friction of weight) dan gaya normal dinotasikan dengan F_N (friction of normal). Gaya gesek statis dihasilkan dari sebuah gaya yang diaplikasikan tepat sebelum benda tersebut bergerak. Gaya gesekan maksimum antara dua permukaan sebelum gerakan terjadi adalah hasil dari koefisien gesek statis dikalikan gaya normal.

$$F_s = \mu_s N \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan :

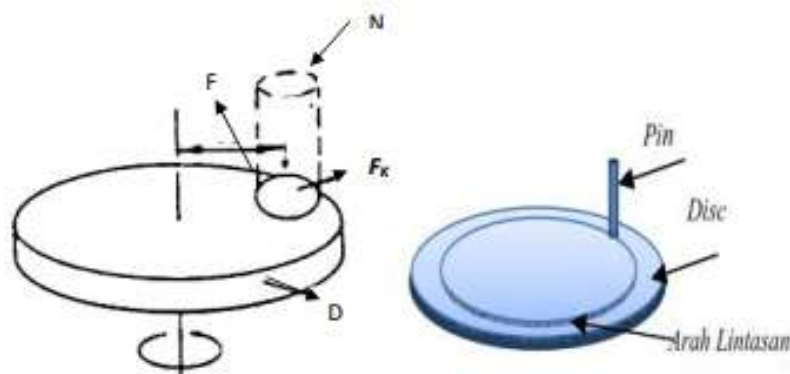
F_s = gaya gesek statis

μ_s = koefisien gesek statis benda,

N = gaya normal.

Ketika tidak ada gerakan yang terjadi, gaya gesek dapat memiliki nilai dari nol hingga gaya gesek maksimum. Setiap gaya yang lebih kecil dari gaya gesek maksimum yang berusaha untuk menggerakkan salah satu benda akan dilawan oleh gaya gesekan yang setara dengan besar gaya tersebut namun berlawanan arah. Setiap gaya yang lebih besar dari gaya gesek maksimum akan menyebabkan gerakan terjadi. (Pratama,2017).

2.1.14 Gaya gesek kinetis



Gambar 2.13 gaya gesek kinetis

$$F_k = \mu_k N \dots\dots\dots (2.3)$$

$$\mu_k = \mu_k = \frac{f_k}{N} \dots\dots\dots (2.4)$$



keterangan :

F_k = gaya gesek kinetis

μ_k = koefisien gesek kinetis benda

N = gaya normal

Gaya gesek kinetis (dinamis) terjadi ketika dua buah benda bergerak relatif satu sama lainnya dan saling bergesekan. Koefisien gesek kinetis umumnya dinotasikan dengan μ_k dan pada umumnya selalu lebih kecil dari gaya gesek statis untuk material yang sama. (Pratama,2017).

Tabel 2.3 Koefisien gesekan antara beberapa permukaan (*repository.ipb.ac.id*)

BAHAN	μ_s	μ_k
Besi pada baja	0,74	0,57
Aluminium pada baja	0,61	0,47
Tembaga dan baja	0,53	0,36
Kuningan pada baja	0,51	0,44
Seng pada besi	0,83	0,21
Tembaga pada besi	1,05	0,29
Kaca pada kaca	0,94	0,40
Tembaga pada kaca	0,68	0,53
Teflon pada Teflon	0,04	0,04
Karet pada beton	1,00	0,80

2.1.15 Sifat fisis



Massa jenis

Massa jenis merupakan ukuran kepadatan dari suatu material atau

bandingan antara massa (m) dengan volume (v), yang secara matematis

diliskan:

$$\rho = \frac{m}{v} \dots\dots\dots (2.5)$$

dimana :

ρ : densitas (gr/cm³)

m: massa sampel (gram)

v : volume sampel (cm³)

B. Porositas

Porositas dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara jumlah volume ruang kosong (rongga pori) yang dimiliki oleh zat padat terhadap jumlah dari volume zat padat itu sendiri. Porositas suatu bahan dinyatakan dengan persamaan:

$$\phi = \frac{m_b - m_k}{m_k} \times 100 \% \dots\dots\dots (2.6)$$

dimana :

ϕ : porositas (%)

m_k : massa sampel setelah dikeringkan didalam oven (gram)

m_b : massa sampel setelah direndam didalam air (gram)

C. Kuat Tekan

Kuat tekan suatu material didefinisikan sebagai kemampuan material dalam menahan beban atau gaya mekanis sampai terjadinya kerusakan (failure). Bentuk sampel uji biasanya 18 berbentuk silinder dengan perbandingan panjang dan diameter, (L/d) adalah 1 : 3.

Persamaan untuk menghitung nilai kuat tekan material adalah sebagai berikut: (imroatul,2015)

$$P = \frac{F}{A} \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana :

P : kuat tekan (Lb/mm²)

F : beban maksimum (Lb)

A : luas penampang sampel uji = $\pi d^2 / 4$ (mm²)



2.1.16 Pengujian kekerasan

Pada umumnya, kekerasan menyatakan ketahanan terhadap deformasi dan merupakan ukuran ketahanan logam terhadap deformasi plastik atau deformasi permanen. Untuk para insinyur perancang, kekerasan sering diartikan sebagai ukuran kemudahan dan kuantitas khusus yang menunjukkan sesuatu mengenai kekuatan dan perlakuan panas dari suatu logam.

Terdapat tiga jenis ukuran kekerasan, tergantung pada cara melakukan pengujian, yaitu: (1)Kekerasan goresan (*scratch hardness*); (2) Kekerasan lekukan (*indentation hardness*); (3)Kekerasan pantulan (*rebound*). Untuk logam, hanya kekerasan lekukan yang banyak menarik perhatian dalam kaitannya dengan bidang rekayasa. Terdapat berbagai macam uji kekerasan lekukan, antara lain: Uji kekerasan *Brinell*, *Vickers*, *Rockwell*, *Knoop*, dan sebagainya. (Callister, W.D., 2001)

1) Uji kekerasan Vickers

Q Uji kekerasan vickers menggunakan indenter piramida intan yang pada dasarnya berbentuk bujur sangkar. Besar sudut antar permukaan-permukaan piramida yang saling berhadapan adalah 1360. Nilai ini dipilih karena mendekati sebagian besar nilai perbandingan yang diinginkan antara diameter lekukan dan diameter bola penumbuk pada uji kekerasan *brinell*. Angka kekerasan *vickers* didefinisikan sebagai beban dibagi luas permukaan lekukan. Pada prakteknya, luas ini dihitung dari pengukuran mikroskopik panjang diagonal jejak. VHN dapat ditentukan dari persamaan 2.10

$$VHN = \frac{2P \sin(\theta/2)}{d^2} = \frac{(1,854)P}{d^2} \dots \dots \dots (2.8)$$

Dengan :P = beban yang digunakan (kg)

d = panjang diagonal rata-rata (mm)

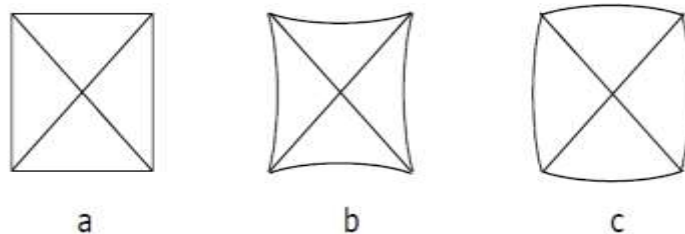


θ = sudut antara permukaan intan yang berhadapan = 136°

Karena jejak yang dibuat dengan penekan piramida serupa secara geometris dan tidak terdapat persoalan mengenai ukurannya, maka VHN tidak tergantung kepada beban.

Pada umumnya hal ini dipenuhi, kecuali pada beban yang sangat ringan. Beban yang biasanya digunakan pada uji *Vickers* berkisar antara 1 hingga 120 kg. tergantung pada kekerasan logam yang akan diuji.

Hal-hal yang menghalangi keuntungan pemakaian metode vickers adalah: (1) Uji ini tidak dapat digunakan untuk pengujian rutin karena pengujian ini sangat lamban, (2) Memerlukan persiapan permukaan benda uji yang hati-hati, dan (3) Terdapat pengaruh kesalahan manusia yang besar pada penentuan panjang diagonal.



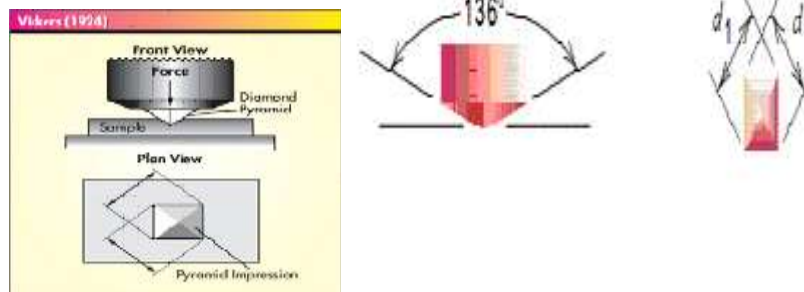
Gambar 2.14. Tipe-tipe lekukan piramid intan: (a) lekukan yang sempurna, (b) lekukan bantal jarum, (c) lekukan berbetuk tong (Callister .2001)

Lekukan yang benar yang dibuat oleh penekan piramida intan harus berbentuk bujur sangkar (gambar 2.7.a). Lekukan bantal jarum (gambar 2.7.b) adalah akibat terjadinya penurunan logam di sekitar permukaan piramida yang datar.

Keadaan demikian terjadi pada logam-logam yang dilunakkan dan mengakibatkan pengukuran panjang diagonal yang berlebihan. Lekukan berbentuk tong (gambar 2.7.c) akibat penimbunan ke atas



logam-logam di sekitar permukaan penekan tedapat pada logam-logam yang mengalami proses pengerjaan dingin.



Gambar 2.15. Pengujian Vickers dan Bentuk Vickers.

2.1.17 Struktur mikro

Sifat-sifat fisis dan mekanik dari material tergantung dari struktur mikro material tersebut. Struktur mikro dalam logam (paduan) ditunjukkan dengan besar, bentuk dan orientasi butirnya, jumlah fasa, proporsi dan kelakuan dimana mereka tersusun atau terdistribusi. Struktur mikro dari paduan tergantung dari beberapa faktor seperti, elemen paduan, konsentrasi dan perlakuan panas yang diberikan. Pengujian struktur mikro atau mikrofografi benda kerja dilakukan dengan bantuan mikroskop metalurgi dengan koefisien pembesaran dan metode kerja yang bervariasi. Adapun beberapa tahap yang perlu dilakukan sebelum melakukan pengujian struktur mikro adalah: (Nurtaufik M.(2020)

a. Sectioning (Pemotongan)

Pemotongan ini dipilih sesuai dengan bagian yang akan diamati struktur mikronya. Spesimen uji dipotong dengan ukuran seperlunya.

b. Grinding (pengamplasan kasar)

Tahap ini untuk menghaluskan dan meratakan permukaan spesimen uji yang ditujukan untuk menghilangkan retak dan goresan. Grinding dilakukan secara bertahap dari ukuran yang paling kecil hingga besar.

∴ Polishing (pemolesan)



Tahap ini bertujuan untuk menghasilkan permukaan spesimen yang mengkilap, tidak boleh ada goresan. Pada tahap ini dilakukan dengan menggunakan kain yang telah diolesi autosol

1. Pemolesan

Pemolesan sebaiknya dilakukan dengan satu arah agar tidak terjadi goresan.

2. Penekanan

Pengamplasan pada mesin amplas jangan terlalu ditekan. Apabila terlalu ditekan maka arah dan posisi pemolesan dapat berubah dan kemungkinan terjadi goresan

d. Etching (pengetsaan)

Hasil dari proses pemolesan akan berupa permukaan yang mengkilap seperti cermin. Agar struktur terlihat jelas maka permukaan tersebut dietsa. Dalam pengetsaan jangan terlalu kuat karena akan terjadi kegosongan pada benda uji.

e. Pemotretan

Pemotretan digunakan untuk mendapatkan gambar dari struktur mikro dari spesimen uji setelah difokuskan dengan mikroskop.



Gambar 2.16. *Metallurgical Microscope*

