

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Mazen dan Ahmed (1998) meneliti komposit Al/Al₂O₃ dengan metode *powder metallurgy hot pressing* dilanjutkan dengan ekstrusi. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa masih terdapat porositas dalam matrik Al, Al₂O₃ dapat terdistribusi merata. Bentuk permukaan perpatahan adalah perpatahan *dimples*. Di samping itu dilaporkan bahwa awal retak terjadi pada *interface* antara matrik dan penguatnya.

Widyastuti, dkk., (2008) melakukan penelitian tentang kompaktibilitas komposit isotropik Al/Al₂O₃ dengan variabel waktu tahan sinter. Pada penelitian ini komposit isotropik Al/Al₂O₃ dibuat dari aluminium sebagai matrik dan Al/Al₂O₃ sebagai penguat. Volume fraksi penguat yang digunakan adalah 10%, 20%, 30% dan 40%. Temperatur *sintering* 600 °C dan gaya tekan kompaksi 15 kN. Pengujian yang dilakukan adalah uji tekan dan pengamatan metalografi. Hasil yang diperoleh adalah kompaktibilitas komposit Al/Al₂O₃ mencapai nilai optimum saat waktu tahan *sintering* 2 jam. Fraksi volume penguat terbaik adalah 40% dan waktu tahan *sintering* optimum adalah 2 jam.

Toto, (2009) melakukan penelitian tentang *hotpressing* metalurgi serbuk aluminium dengan variasi suhu *pressing* (suhu ruang) 100 °C, 200 °C dan 300 °C, pemanasan dan pengepresan menggunakan alat cetakan *hot pressing* metalurgi serbuk. Beban pengepresan adalah 5400 kg. Disinter dalam *oven* dengan temperatur 450 °C selama 60 menit. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin meningkatnya suhu *hot pressing* maka kekerasan *bushing* juga meningkat sedangkan laju keausannya menurun.

2.2 Teori Dasar Powder Metallurgy

2.2.1 Pengertian Powder Metallurgy

Powder metallurgy adalah proses pengolahan logam untuk menghasilkan produk, baik yang jadi atau masih setengah jadi, dari serbuk logam melalui penekanan (*compacting*) dan disertai *sintering*, tetapi suhu *sintering* harus berada di bawah titik cair serbuk. Produk hasil *powder metallurgy* dapat terdiri dari produk campuran serbuk berbagai logam atau dapat pula terdiri dari campuran bahan bukan logam untuk meningkatkan mutu benda jadi. Langkah-langkah yang harus dilalui dalam metalurgi serbuk, antara lain:

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

Proses *powder metallurgy* merupakan salah satu dari metode pembentukan selain *machining, casting, forging, welding*. Proses *powder metallurgy* memiliki kelebihan dan kekurangan dibandingkan dengan proses pembentukan lainnya. Kelebihannya antara lain:

1. Efisiensi pemakaian bahan sangat tinggi sehingga biaya yang dibutuhkan dapat ditekan.
2. Energi yang dibutuhkan dalam proses ini relatif rendah.
3. Produk hasil produksi dapat langsung disesuaikan dengan dimensi dan bentuk yang diinginkan yang berarti akan mengurangi biaya permesinan dan bahan baku yang terbuang.
4. Biaya produksi untuk produksi massal relatif rendah.

Sedangkan kekurangan dari *powder metallurgy* adalah:

1. Sulit untuk membuat produk dengan bentuk yang rumit
2. Bahan serbuk sulit penyimpanannya
3. Sulit mendapatkan kepadatan yang merata

2.2.2 Sifat Dasar Serbuk Logam

Sifat-sifat partikel serbuk yang menjadi pertimbangan dalam proses penekanan (*compacting*) dan *sintering* meliputi:

1. Ukuran Partikel dan Distribusinya

Ukuran partikel adalah karakteristik yang penting dari serbuk logam. Untuk menentukan ukuran partikel antara lain dengan pengayakan atau pengukuran mikroskopik. Ayakan standar dengan ukuran *mesh* digunakan untuk mengecek ukuran dan menentukan distribusi ukuran partikel dalam daerah tertentu. 100 *mesh* setara dengan 0,0059 inci, 149 mikron, dan 0,149 mm. Kehalusan berkaitan erat dengan ukuran butir, factor ini berhubungan dengan luas kontak antar permukaan, butir kecil mempunyai porositas yang kecil dan luas kontak antar permukaan besar sehingga difusi antar permukaan juga semakin besar.

Distribusi ukuran partikel serbuk menyatakan penyebaran serbuk untuk ukuran tertentu. Distribusi ukuran partikel ini sangat menentukan kemampuan

partikel dalam mengisi ruang kosong antar partikel untuk mencapai volume terpadat. Tabel 2.1 menunjukkan ukuran *mesh* dalam satuan inchi, mikron, dan milimeter.

Tabel 2.1 Tabel ukuran *mesh* dalam satuan inchi, mikron, dan milimeter

U.S. MESH	INCHES	MICRONS	MILLIMETERS
3	0.2650	6730	6.730
4	0.1870	4760	4.760
5	0.1570	4000	4.000
6	0.1320	3360	3.360
7	0.1110	2830	2.830
8	0.0937	2380	2.380
10	0.0787	2000	2.000
12	0.0661	1680	1.680
14	0.0555	1410	1.410
16	0.0469	1190	1.190
18	0.0394	1000	1.000
20	0.0331	841	0.841
25	0.0280	707	0.707
30	0.0232	595	0.595
35	0.0197	500	0.500
40	0.0165	400	0.400
45	0.0138	354	0.354
50	0.0117	297	0.297
60	0.0098	250	0.250
70	0.0083	210	0.210
80	0.0070	177	0.177
100	0.0059	149	0.149
120	0.0049	125	0.125
140	0.0041	105	0.105
170	0.0035	88	0.088
200	0.0029	74	0.074
230	0.0024	63	0.063
270	0.0021	53	0.053
325	0.0017	44	0.044
400	0.0015	37	0.037

Sumber: *Anonymous* 1, 2014

2. Sifat Fisik

Pada saat serbuk logam dipadatkan, maka terjadi pengurangan volume. Perbandingan volume serbuk sebelum dan sesudah dipadatkan adalah 2 : 1 sampai 3 : 1. Terjadinya perbedaan volume ini dipengaruhi oleh distribusi dan bentuk butir.

3. Komposisi Kimia

Komposisi kimia dari serbuk logam akan mempengaruhi proses pembentukan produk dan juga mempengaruhi sifat dari hasil produk.

4. Karakteristik Aliran

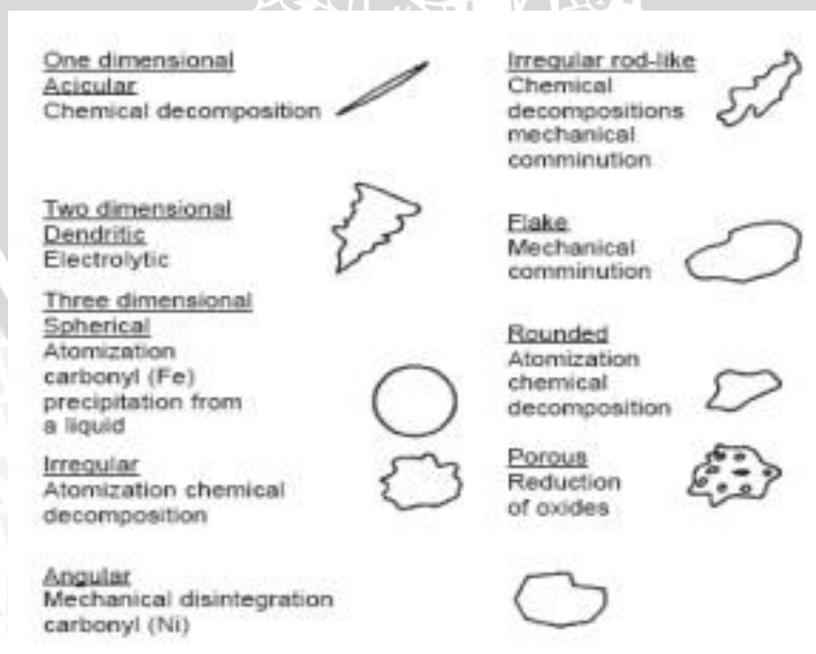
Kemampuan partikel serbuk untuk memenuhi cetakan disebut sifat mampu alir (*flowability*). Semakin baik mampu alirnya maka semakin merata serbuk mengisi cetakan, begitu juga sebaliknya.

5. Bentuk partikel

Bentuk partikel tergantung dari jenis serbuk dan pemrosesan produk tersebut. Bentuk partikel ini mempengaruhi ukuran pori-pori yang terjadi pada permukaan. Beberapa macam bentuk partikel dapat dilihat dibawah ini:

- a) *Fibrous* yaitu partikel yang berbentuk benang.
- b) *Irregular* yaitu partikel yang bentuknya tidak teratur.
- c) *Acicular* yaitu partikel yang mempunyai bentuk yang kasar.
- d) *Angular* yaitu partikel yang mempunyai sisi tajam dan agak kasar.
- e) *Flaky* yaitu partikel yang berbentuk pipih.
- f) *Granular* yaitu partikel yang berukuran sama tetapi bentuknya tidak teratur.
- g) *Dendritic* yaitu partikel yang mempunyai bentuk bercabang.

Gambar 2.1 menunjukkan berbagai macam bentuk partikel.



Gambar 2.1 Bentuk-bentuk partikel serbuk

6. Kemampuan *Sinter*

Sinter adalah proses pengikatan partikel melalui proses penekanan dengan cara dipanaskan 0,7-0,9 dari titik lelehnya.

2.2.3 Proses *Powder Metallurgy*

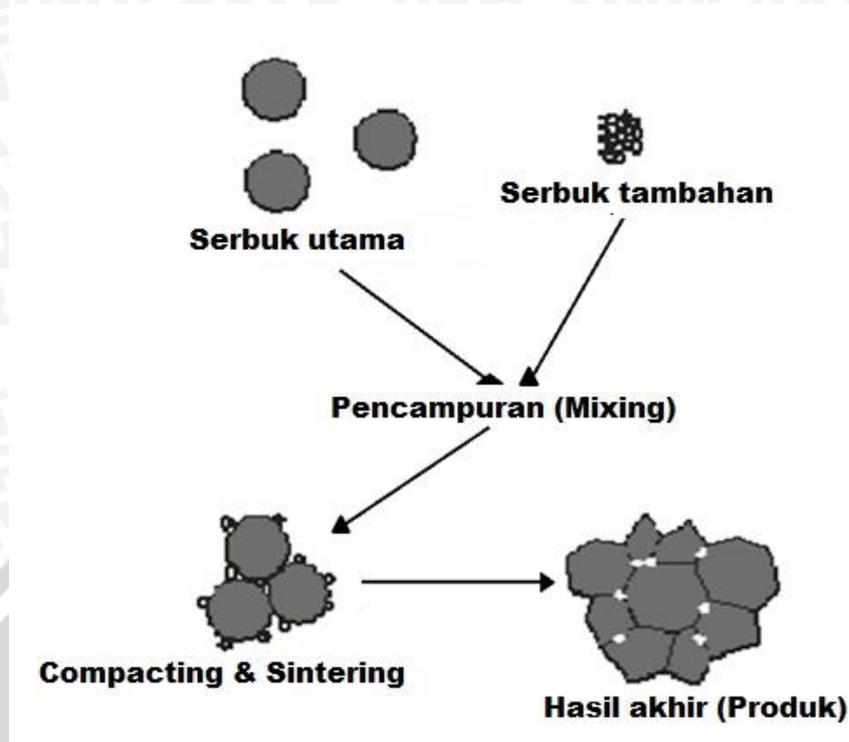
2.2.3.1 Proses Pembuatan dan Pencampuran Serbuk

Proses pembentukan logam menggunakan metalurgi serbuk dilakukan dengan mencampurkan unsur-unsur serbuk logam yang dipadukan, kemudian baru dilakukan pemadatan. Proses pembuatan serbuk dapat dilakukan melalui berbagai proses yaitu :

- ▶ Permesinan
- ▶ Penggilingan
- ▶ Proses reduksi
- ▶ Pengendapan elektrolit
- ▶ Atomisasi
- ▶ *Shooting*

Setelah proses pembuatan serbuk maka proses selanjutnya yaitu proses pencampuran serbuk

Kualitas produk sangat dipengaruhi kehomogenan komponen penyusun bahan melalui proses pencampuran atau yang juga biasa disebut sebagai proses kalsinasi. Proses pencampuran ada dua macam yaitu *blending* (proses yang bertujuan untuk menyamakan ukuran butiran) dan *mixing* (proses pencampuran yang bertujuan agar butiran merata secara kimia). Pencampuran juga dapat dilakukan dalam keadaan kering (*dry mixing*) dan basah (*wet mixing*). Komposisi paduan tersebut dicampur dengan perbandingan jumlah yang sama agar didapatkan pencampuran terbaik. Proses pencampuran dua partikel serbuk yang berbeda dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Partikel yang Dibentuk hasil pencampuran dua serbuk

Dalam proses pencampuran, kehomogenan distribusi partikel ditentukan oleh beberapa faktor, yaitu:

- ▶ Kecepatan pencampuran
- ▶ Lamanya waktu pencampuran
- ▶ Ukuran partikel
- ▶ Jenis material
- ▶ Temperatur
- ▶ Media pencampuran

Semakin tinggi kecepatan pencampuran, semakin lama waktu pencampuran, dan semakin kecil ukuran partikel yang dicampur, maka distribusi partikel semakin homogen. Kehomogenan campuran sangat berpengaruh pada proses penekanan (kompaksi), karena gaya tekan yang diberikan pada saat kompaksi akan terdistribusi secara merata sehingga kualitas ikatan antar partikel semakin baik.

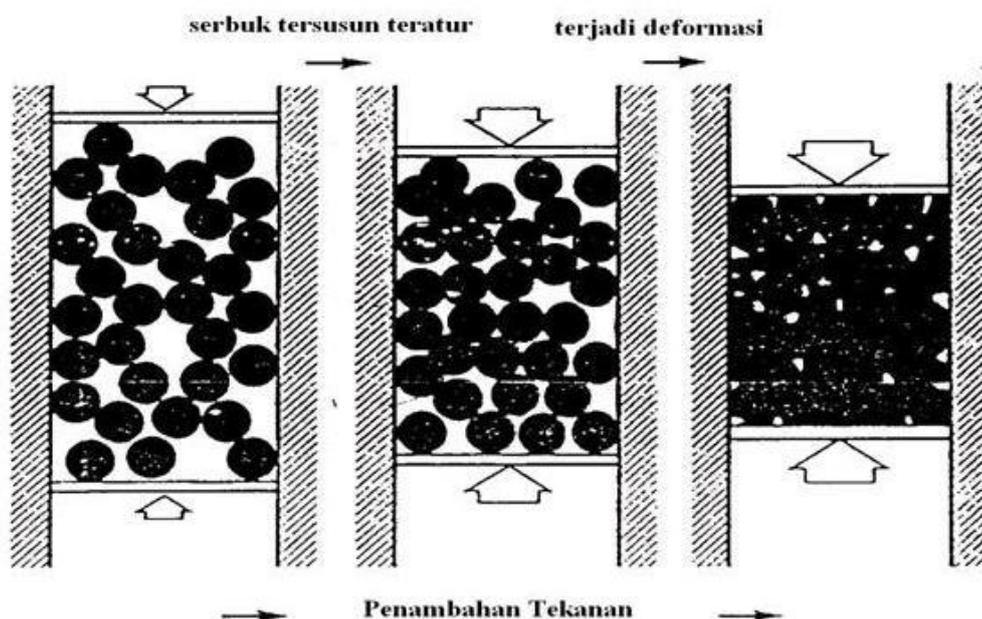
2.2.3.2 Compacting

Compacting adalah suatu cara untuk memadatkan serbuk menjadi bentuk yang diinginkan. Terdapat beberapa metode penekanan, diantaranya, penekanan dingin (*cold compacting*) dan penekanan panas (*hot compacting*). *Cold compacting* yaitu

memadatkan serbuk pada temperatur ruang untuk menghasilkan *green body*. Proses *cold pressing* terdapat beberapa macam antara lain:

1. *Die Pressing*, yaitu penekanan yang dilakukan pada cetakan yang berisi serbuk.
2. *Cold isostatic pressing*, yaitu penekanan pada serbuk pada temperatur kamar yang memiliki tekanan yang sama dari setiap arah.
3. *Rolling*, yaitu penekanan pada serbuk metal dengan memakai *rolling mill*.

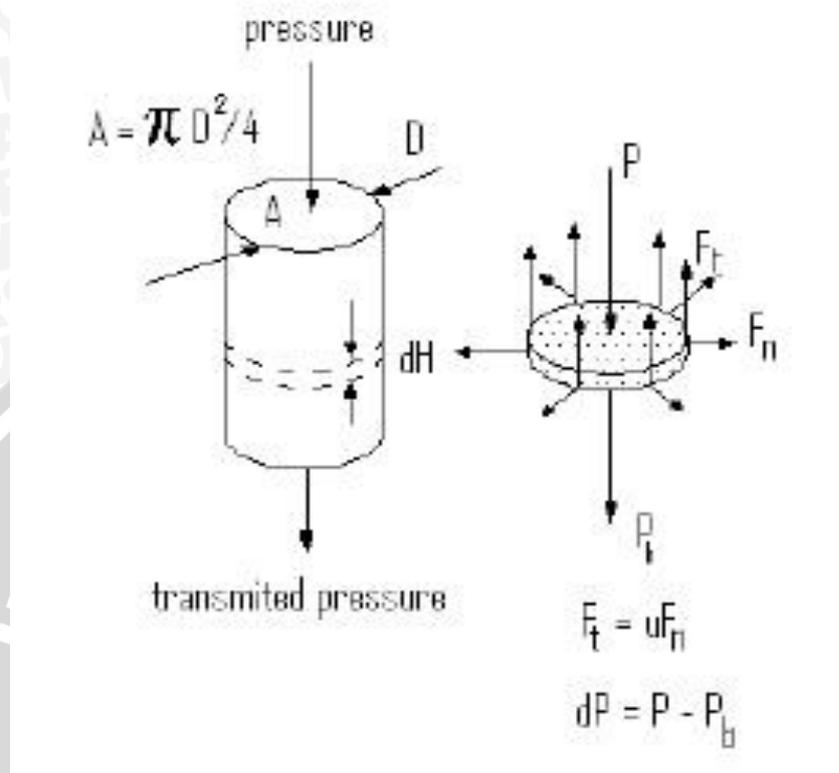
Sedangkan penekanan panas (*hot compacting*) yaitu proses pemadatan serbuk yang diiringi dengan pemanasan (*sintering*). Umumnya digunakan untuk serbuk yang tidak mudah teroksidasi. Bahan-bahan dengan kekerasan rendah, seperti aluminium, kuningan, dan perunggu memerlukan tekanan pemadatan yang rendah. Bahan-bahan dengan kekerasan tinggi seperti besi, baja, dan nikel paduan memerlukan tekanan pemadatan yang tinggi. Semakin tinggi tekanan pemadatan akan menaikkan berat jenis hingga kondisi optimum. Proses penekanan serbuk pada saat *compacting* ditunjukkan pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Proses Penekanan Serbuk
Sumber: *Anonymus 2*, 2014

Gesekan pada dinding *dies* dengan serbuk adalah masalah utama dalam kompaksi serbuk uniaksial. Gesekan menyebabkan tekanan yang dilakukan pada serbuk menjadi berkurang. Berikut ini adalah contoh gaya yang bekerja pada proses penekanan

(*compacting*) dan juga tekanan pada silinder berdiameter D dan tinggi H seperti ditunjukkan pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Gaya-gaya yang bekerja selama proses penekanan.
Sumber: German, R.M., 1994

Analisa dari sebuah potongan yang memiliki tinggi dH ketika diberi gaya tekan dari luar, terlihat bahwa tekanan dari atas P diteruskan ke bawah P_b , dan gaya penekanan tersebut didistribusikan merata menjadi F_f . Secara matematik, keseimbangan gaya pada potongan ini (Hukum Newton I) adalah:

$$F = 0 = A \cdot P - P_b + \mu \cdot F_n \quad (2-1)$$

Keterangan: F = gaya [N]

A = luas penampang [m^2]

P = tekanan [N/m^2]

P_b = tekanan yang diteruskan [N/m^2]

μ = koefisien gesek antara *powder* dengan dinding cetakan

F_n = gaya normal [N]

Gaya normal dapat diberikan pada hubungan dari tekanan yang digunakan dengan perbandingan konstan z yang disesuaikan dengan tekanan densitas. Persamaan yang menunjukkan rasio tegangan radial dan tegangan aksial adalah:

$$F_n = \pi \cdot z \cdot P \cdot D \cdot dH \quad (2-2)$$

Keterangan: F_n = gaya normal [N]
 z = distribusi penekanan aksial ke radial
 P = tekanan [N/m^2]
 D = diameter penampang [m]
 dH = tinggi padatan [m]

Gaya gesek dihitung dari gaya normal dan koefisien gesek seperti berikut:

$$F_f = F_n \cdot \mu \quad (2-3)$$

$$F_f = \pi \cdot \mu \cdot z \cdot P \cdot D \cdot dH \quad (2-4)$$

Keterangan: F_f = gaya gesek [N]
 F_n = gaya normal [N]
 μ = koefisien gesek antara *powder* dengan dinding cetakan
 z = distribusi penekanan aksial ke radial
 P = tekanan [N/m^2]
 D = diameter padatan [m]
 dH = tinggi padatan [m]

Perbedaan tekanan antara permukaan atas dengan permukaan bawah dP dapat ditulis dengan persamaan sebagai berikut:

$$dP = P - P_b = -\frac{F_f}{A} = -4 \cdot \mu \cdot z \cdot P \cdot dH / D \quad (2-5)$$

Keterangan: dP = Perbedaan tekanan antara permukaan atas dengan permukaan bawah [N/m^2]
 P = tekanan [N/m^2]
 P_b = tekanan yang diteruskan [N/m^2]
 F_f = gaya gesek [N]
 A = luas penampang [m^2]
 μ = koefisien gesek antara *powder* dengan dinding cetakan
 z = distribusi penekanan aksial ke radial
 dH = tinggi padatan [m]
 D = diameter padatan [m]

Persamaan tersebut dapat digunakan pada penekanan dari satu arah (*single action pressing*). *Single-ended compaction* terbatas pada geometri yang sederhana. Untuk *single-ended compaction*, tegangan kompaksi rata-rata dapat diperkirakan dengan persamaan:

$$\sigma = P \left(1 - 2\mu z \frac{H}{D} \right) \quad (2-6)$$

Keterangan: σ = tegangan kompaksi rata-rata [N/m^2]
 P = tekanan [N/m^2]
 μ = koefisien gesek antara *powder* dengan dinding cetakan
 z = distribusi penekanan aksial ke radial
 H/D = perbandingan tinggi dan diameter padatan [m]

Untuk penekanan dari dua arah (*double action pressing*) akan mempunyai bentuk penekanan dari *punch* atas dan bawah secara bersamaan. Untuk kasus *double action pressing*, persamaan di atas tidak berlaku, tetapi jarak x sekarang adalah jarak terdekat dari *punch*. Hasilnya adalah distribusi penekanan pada padatan. Dan untuk *double-ended compaction*, tegangan kompaksi rata-rata dapat diketahui dengan persamaan:

$$\sigma = P \left(1 - \mu z \frac{H}{D} \right) \quad (2-7)$$

Keterangan: σ = tegangan kompaksi rata-rata [N/m^2]
 P = tekanan [N/m^2]
 μ = koefisien gesek antara *powder* dengan dinding cetakan
 z = distribusi penekanan aksial ke radial
 H/D = perbandingan tinggi dan diameter padatan [m]

Dari rumus di atas, tegangan rata-rata bergantung pada perbandingan ketinggian dengan diameter (H/D), distribusi penekanan aksial ke radial (z), dan gesekan yang terjadi pada dinding *dies*. Gesekan pada dinding *dies* dapat menurunkan efisiensi dari kompaksi sehingga padatan mempunyai kepadatan yang tidak homogen karena ketinggian padatan awal bergantung pada tekanan yang dilakukan. Selain itu ukuran spesifik dan bentuk dari padatan dapat mempengaruhi distribusi dari kepadatan. Perbandingan antara tinggi dan diameter penting untuk mendapatkan sifat-sifat padatan yang seragam. Perbandingan u , z , H/D adalah ukuran yang sangat sensitive dari operasi penekanan. Hasil penekanan terbaik diperoleh ketika perbandingan tinggi

(H) dan diameter (D) sangat kecil. Dengan perbandingan yang sangat kecil, akan didapatkan distribusi kekerasan yang merata. Jika perbandingan bertambah, maka gradien kepadatan akan bertambah dan densitas padatan menyeluruh juga bertambah pula, Asmara 2011.

2.2.3.3 Sintering

Sintering adalah proses pemanasan sampai temperatur tinggi yang menyebabkan bersatunya partikel dan meningkatnya efektivitas reaksi tegangan permukaan. Selama proses ini terbentuk batas-batas butir yang merupakan tahap rekristalisasi dan gas-gas yang ada menguap. Temperatur sinter umumnya berada pada 0,7-0,9 dari temperatur cair serbuk utama. Untuk waktu pemanasan tergantung dari jenis logam dan tidak diperoleh manfaat tambahan dengan diperpanjangnya waktu pemanasan.

Parameter sintering:

- o Temperatur (T)
- o Waktu
- o Kecepatan pendinginan
- o Kecepatan pemanasan
- o Atmosfer sintering
- o Jenis material

Proses sintering meliputi 3 tahap mekanisme pemanasan:

► *Presintering*

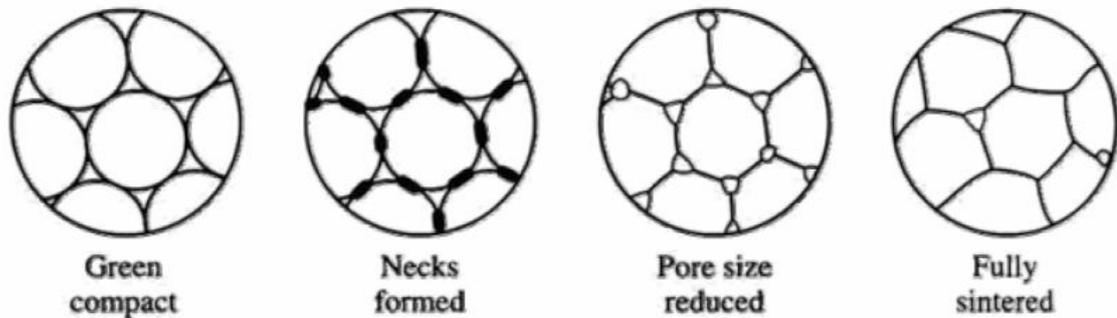
Temperatur *presintering* biasanya dilakukan pada $1/3 T_m$ (titik leleh). *Presintering* merupakan proses pemanasan yang bertujuan untuk:

- 1) Mengurangi *residual stress* akibat proses kompaksi
- 2) Pengeluaran gas dari atmosfer atau pelumas padat yang terjebak dalam porositas bahan komposit
- 3) Menghindari perubahan temperatur yang terlalu cepat pada saat proses *sintering* (*shock thermal*)

► Difusi permukaan

Pada proses pemanasan untuk terjadinya transportasi massa pada permukaan antar partikel serbuk yang saling berinteraksi, dilakukan pada temperatur *sintering* ($2/3 T_m$). Atom-atom pada permukaan partikel serbuk saling berdifusi antar permukaan sehingga meningkatkan gaya kohesifitas antar partikel. Gambar 2.5

menunjukkan proses difusi *sintering* hingga terbentuk partikel yang sepenuhnya ter-*sinter*.

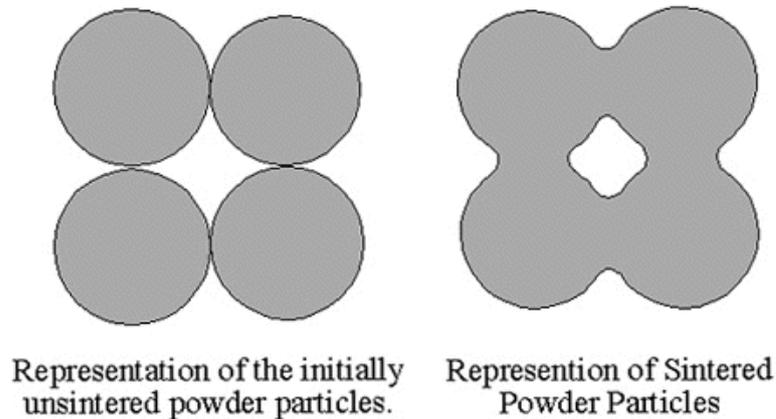


Gambar 2.5 Proses Difusi *Sintering*
Sumber: Murjito, 2009:8

► Eliminasi porositas

Tujuan akhir dari proses sintering pada bahan komposit berbasis metalurgi serbuk adalah bahan yang mempunyai kompaktibilitas tinggi. Hal tersebut terjadi akibat adanya difusi antar permukaan partikel serbuk, sehingga menyebabkan terjadinya leher (*liquid bridge*) antar partikel dan proses akhir dari pemanasan sintering menyebabkan eliminasi porositas (terbentuknya *sinter density*).

Pada saat proses sintering, terbentuknya lapisan oksida dapat menurunkan kualitas ikatan antar permukaan dan menghalangi terjadinya kontak yang sempurna antara matrik dan filler. Dengan adanya lapisan oksida, maka gaya interaksi adhesi-kohesi tidak bisa berjalan dengan baik. Karena terjadinya interaksi adhesi-kohesi salah satunya disebabkan oleh adanya gaya elektrostatis yaitu gaya tarik-menarik antara partikel-partikel yang bermuatan dalam suatu bahan, maka dengan adanya lapisan oksida tersebut maka permukaannya menjadi netral, ini mengakibatkan ikatan antar permukaan menjadi kurang kuat. Lapisan oksida juga menyebabkan ikatan antara matrik dan filler menjadi lebih sulit karena temperatur yang diperlukan untuk mereduksi oksida tersebut membutuhkan temperatur yang lebih tinggi. Untuk mencegah terbentuknya lapisan oksida pada permukaan selama proses *sintering* maka lingkungan harus terdiri dari gas nitrogen, karena lingkungan sangat berpengaruh pada bahan mentah yang terdiri dari partikel kecil yang mempunyai daerah permukaan yang luas. Perbedaan antara bentuk partikel sebelum dan sesudah *sintering* ditunjukkan gambar 2.6.



Gambar 2.6 Bentuk partikel sebelum dan sesudah *sintering*
Sumber: *Anonymous 3, 2014*

2.3 Duralumin

Duralumin merupakan paduan antara aluminium dan tembaga. Duralumin memiliki sifat ringan, keuletan yang tinggi, dan juga sifat tahan korosi. Paduan ini dinamakan duralumin dikarenakan memiliki sifat *durability* yang tinggi yaitu kemampuan suatu material untuk menerima beban kejut sehingga mampu memperpanjang usia produk akibat *fatigue*. Duralumin tidak boleh memiliki presentase tembaga lebih dari 5,6 % karena akan membentuk senyawa CuAl_2 dalam logam yang menjadikan logam rapuh (Heine, 1990: 293).

2.3.1 Aluminium

Aluminium berasal dari biji aluminium yang disebut bauksit. Untuk mendapatkan aluminium murni dilakukan proses pemurnian pada bauksit yang menghasilkan oksida aluminium atau alumina. Kemudian alumina ini dielektrolisis sehingga berubah menjadi oksigen dan aluminium.

Aluminium ditemukan oleh Sir Humphrey Davy pada tahun 1809 sebagai suatu unsur, dan pertama kali direduksi logam oleh HC.Oersted tahun 1825. Pada tahun yang sama, yaitu 1886, Paul Heroult di Perancis dan C.M.Hall di Amerika Serikat telah memperoleh logam aluminium dari alumina dengan cara elektrolis dari garam yang terfusi. Sampai sekarang proses Heroult Hall masih dipakai unuk memproduksi aluminium. Penggunaan aluminium sebagai logam setiap tahunnya adalah pada urutan yang kedua setelah besi dan baja, yang tertinggi diantara non fero (Surdia, 2000:129). Aluminium merupakan logam ringan, mempunyai ketahanan korosi yang baik dan

hantaran listrik yang baik serta sifat-sifat yang baik lainnya sebagai sifat logam. Dengan ditambahkan paduan seperti Cu, Si, Mn, Mg, Zn, dan lainnya maka akan meningkatkan kekuatan mekaniknya dan memberikan sifat-sifat baik lainnya seperti ketahanan korosi, kekerasan, ketahanan aus dan sebagainya.

2.3.2 Tembaga

Tembaga adalah logam yang berwarna kemerahan dengan berat jenis $8,89 \text{ g/cm}^3$ dan mempunyai titik lebur $1070 - 1193^\circ\text{C}$. Tembaga sering digunakan dalam industri manufaktur dikarenakan memiliki sifat-sifat yang menguntungkan antara lain adalah mempunyai sifat penghantar panas yang baik, mudah dibentuk serta memiliki ketahanan korosi yang tinggi. Selain dalam paduan aluminium, unsur tembaga ini dapat memperhalus butiran sehingga meningkatkan kekerasan.

Tembaga ini sendiri juga bisa dipadukan dengan unsur lainnya. Sebagai unsur utama, tembaga bisa dipadukan dengan unsur lain dan dibedakan menjadi dua paduan yaitu:

1. Kuningan

Kuningan adalah paduan antara tembaga dan seng, dan kuningan tegangan tinggi adalah paduan yang mengandung tembaga, aluminium, besi, mangan, nikel dan sebagainya dimana unsur-unsur tersebut dimaksudkan untuk memperbaiki sifat-sifat mekaniknya.

2. Perunggu

Perunggu adalah paduan antara tembaga dan timah, dan perunggu yang biasa dipakai mengandung kurang dari 15% timah (Surdia, 1996:5). Paduan ini mempunyai sifat ketahanan aus dan ketahanan korosi yang baik pula.

2.4 Kekerasan

Dalam *engineering* yang menyangkut logam, kekerasan didefinisikan sebagai ketahanan suatu bahan terhadap penetrasi permukaan, yang disebabkan oleh penekanan benda tekan berbentuk tertentu karena pengaruh gaya tertentu. Pengujian kekerasan sangat berguna sekali untuk mengetahui kualitas suatu bahan yang akan dipergunakan pada produk – produk logam seperti komponen mesin. Beberapa metode pengujian kekerasan, yaitu:

1. Metode pengujian dengan pantulan

Metode pengujian ini biasa disebut dengan *schleroscope test*. Pengujian kekerasan pantulan menggunakan palu intan yang dapat dinaikkan pada ketinggian tertentu lalu dijatuhkan bebas pada permukaan logam yang halus. Ketinggian pemantulan setelah menyentuh permukaan itulah yang diukur. Semakin tinggi pantulan maka benda yang diuji memiliki kekerasan yang semakin tinggi pula. Keuntungan dari metode ini adalah peralatan kecil dan penetrasi kecil sehingga tidak merusak bahan uji.

2. Metode pengujian dengan Goresan

Metode pengujian ini dengan cara Moh's, yaitu menggoreskan beberapa mineral standar yang diketahui kekerasannya pada material yang akan diuji. Beberapa mineral standar yang digunakan adalah gips, kalsit, apatite, fluorite, intan, kwarsa, dan titanium. Metode ini kurang diminati dikarenakan interval skalanya terlalu tinggi sehingga hasilnya kurang tepat. Logam pada umumnya mempunyai skala Moh's 4-8.

3. Metode pengujian dengan penekanan

Metode pengujian ini dibedakan menjadi empat berdasarkan bentuk indentornya yaitu kekerasan Brinell, Vickers, Rockwell, dan kekerasan mikro. Berikut ini akan diuraikan kelebihan dan kekurangan dari metode pengujian dengan penekanan.

a. Pengujian Brinell

Kelebihan : ▪ Dapat digunakan pada material yang tidak homogen
 ▪ Pengukuran diameter bekas jejak dapat dilakukan dengan mikroskop ataupun *dial gauge*, tetapi lebih baik bila dilakukan dengan *dial gauge*.

Kekurangan : ▪ Meninggalkan bekas jejak yang besar
 ▪ Terbatas untuk benda yang tebal
 ▪ Permukaan benda yang diuji menjadi tidak rata
 ▪ Karena deformasi dari bola baja, pengukuran di atas 500 HB menjadi tidak akurat
 ▪ Pengukuran dengan bola karbid tungsten dapat dilakukan jika di bawah 650 HB

Aplikasi : ▪ Baja berstruktur dan benda hasil rol
 ▪ Sebagian besar benda hasil cor, termasuk baja, besi cor, dan aluminium
 ▪ Sebagian besar benda hasil penempaan

b. Pengujian Rockwell

- Kelebihan : ▪ Pengoperasiannya cepat dan sederhana
- Dapat digunakan pada spesimen yang lebih tipis
 - Dapat menguji material yang sangat keras dan sangat lunak
- Kekurangan : ▪ Mempunyai *indentor* yang lebih kecil dari pengujian Brinell
- Performa mesin harus dicek secara rutin dengan tes standar dari industri pembuatnya.
- Aplikasi : ▪ Produk jadi seperti *bearing*, roda gigi, *pulley*, dll.
- Alat pemotong seperti gergaji, pisau, dll
 - *Forming tools*
 - Benda kecil hasil cor dan penempaan
 - Lembaran logam
 - Kawat dengan diameter yang besar
 - Dll

c. Pengujian *Vickers*

- Kelebihan : ▪ Merupakan alat uji kekerasan yang paling sensitif
- Mempunyai skala tunggal kontinu untuk semua material
 - Nilai kekerasan tidak bergantung pada beban penekanan
 - Karena dapat menggunakan beban yang ringan, maka dapat menguji benda yang tipis dibanding dengan alat uji lainnya
 - Luasan indentasinya adalah yang paling mudah untuk mengukur secara akurat
- Kekurangan : ▪ Permukaan benda yang akan diuji harus rata
- Aplikasi : ▪ Sama seperti Rockwell, kecuali jika membutuhkan akurasi yang lebih tinggi atau penetrasi yang lebih dangkal
- Benda tipis yang dikeraskan, 0.005 – 0.010 inchi.
 - Material tipis di bawah 0.005 inchi
 - Struktur yang rapuh
 - Ketebalan dari pelapisan

d. Pengujian Kekerasan Mikro

- Kelebihan : ▪ Pada dasarnya merupakan pengujian laboratorium
- Menggunakan beban ringan sehingga dapat menguji benda yang kecil dan tipis

- Dapat digunakan untuk menguji kekerasan dari unsur mikrostruktur

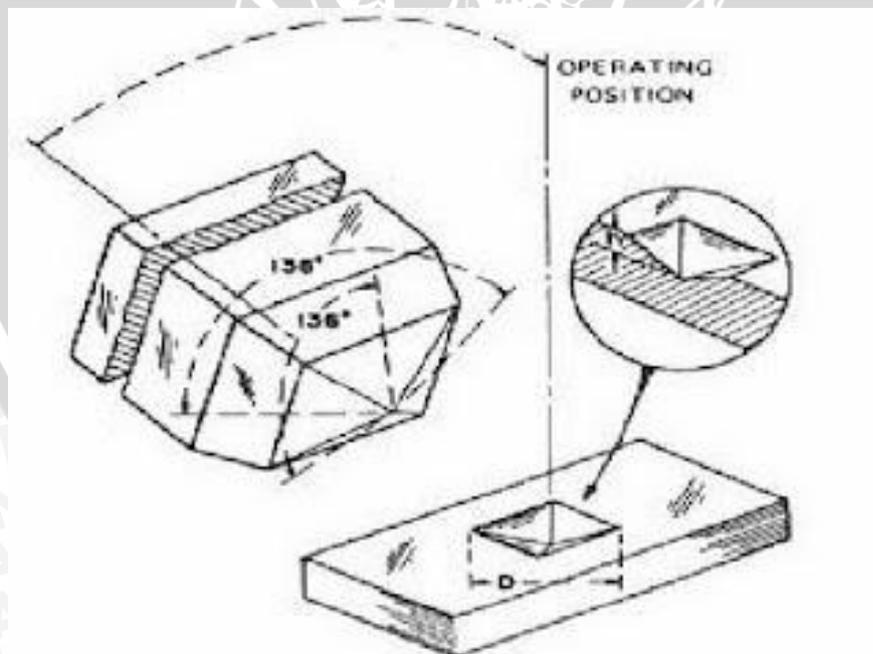
Kekurangan : ▪ Karena indentasi yang kecil, maka permukaan benda yang diuji harus disiapkan dengan sebaik-baiknya.

▪ Perlakuan terhadap permukaan benda sangat dibutuhkan guna persiapan pengujian kekerasan mikro

- Permukaan benda biasanya harus disiapkan dengan teknik pemolesan metalografi

Aplikasi : ▪ Permukaan yang terlapis

- *Foils* dan material tipis di bawah 0.0001 inci
- Benda dengan area yang sangat kecil seperti gir pada jam tangan, tepi dari alat pemotong, dll
- Material yang rapuh dan mudah pecah seperti silicon, germanium, gelas, dll.
- Material yang tembus cahaya
- Logam dari serbuk
- Dll



Gambar 2.7 Skematis Prinsip Indentasi dengan Metode *Vickers*
Sumber: Suherman, 1987:27

Gambar 2.7 menunjukkan skema prinsip indentasi dengan menggunakan metode *Vickers*. Pada metode pengujian *Vickers* digunakan indenter berbentuk piramida dengan

sudut sebesar 136° seperti diperlihatkan pada gambar 2.4. Prinsip pengujiannya adalah hampir sama dengan metode Brinell yaitu pengujiannya menggunakan bola baja yang diperkeras dengan beban dan waktu indentasi sehingga menghasilkan jejak berupa lingkaran. Namun pada pengujian *Vickers*, karena indenter yang digunakan berbentuk piramida, maka jejak yang dihasilkan berbentuk bujur sangkar berdiagonal. Panjang diagonal diukur dengan skala pada mikroskop pengukur jejak. Nilai kekerasan suatu material yang diuji dengan metode *Vickers* satuannya adalah VHN. Nilai kekerasan *Vickers* (VHN) dinyatakan oleh persamaan:

$$VHN = \frac{2 \sin \frac{136^\circ}{2} P}{d^2} \quad (2-8)$$

$$VHN = \frac{18,544 P}{d^2} \quad (2-9)$$

Keterangan

VHN = Nilai kekerasan *Vickers* (VHN)

P = Beban penekanan (kg)

d = Panjang diagonal bidang tekan (mm)

Cara pengujian ini merupakan cara pengujian kekerasan yang efektif. Cara ini memiliki satu skala kontinyu untuk semua material dan angka kekerasan *Vickers* tergantung dari beban penekanan yang diberikan. Sangat memungkinkan sekali penggunaan beban yang ringan pada pengujian ini. Oleh karena itu, pengujian ini dapat digunakan untuk pengujian material yang tipis.

2.5 Porositas

Porositas adalah perbandingan volume rongga-rongga pori terhadap volume total logam. Untuk mencari prosentase porositas yang terdapat pada suatu produk, digunakan perbandingan 2 buah densitas yaitu:

1. *Theoretical Density*

Kepadatan dari suatu benda padat tanpa porositas yang terdapat di dalamnya. Didefinisikan sebagai perbandingan massanya terhadap volume sebenarnya. (g/cm^3)

2. *Apparent Density*

Berat setiap unit volume material termasuk cacat yang terdapat dalam material uji. (g/cm^3)

Pengukuran densitas dengan metode piknometri adalah sebuah proses membandingkan densitas relatif dari sebuah padatan dan sebuah cairan. Jika densitas cairan diketahui, densitas dari padatan dapat dihitung. Untuk memperoleh nilai *theoretical density*, dapat dicari dengan persamaan yang ada pada standar ASTM E 252-84, yaitu:

$$\rho_{th} = \frac{100}{\%Al/\rho_{Al} + \%Cu/\rho_{Cu} + \dots + \%Fe/\rho_{Fe}} \quad (2-10)$$

Keterangan:

ρ_{th} = *theoretical density* (g/cm³)

ρ_{Al} , ρ_{Cu} , ρ_{Fe} , *etc* = densitas unsur (g/cm³)

% W Al, % W Cu, % W Fe = prosentase berat unsur (%)

Tabel 2.2 Densitas Unsur Paduan Duralumin

Unsur	Densitas (g/cm ³)
Al	2,7
Si	2,33
Fe	7,87
Cu	8,89
Mn	7,3
Mg	1,81
Zn	7,14
Cr	7,15
Ni	8,9
Ti	4,51
Pb	11,33
Sn	7,29

Tabel 2.2 menguraikan besarnya densitas pada masing-masing unsur paduan duralumin.

Sedangkan untuk menghitung *apparent density* menggunakan persamaan sesuai standar ASTM B 311-93, yaitu:

$$\rho_s = \rho_w \frac{w_s}{w_s - w_{sb} - w_b} \quad (2-11)$$

Keterangan:

ρ_s = Apparent density (g/cm³)

ρ_w = Densitas air (g/cm³)

w_s = Berat sampel di luar air (g)

w_{sb} = Berat sampel dan keranjang di dalam air (g)

w_b = Berat keranjang di dalam air (g)

Perhitungan prosentase porositas yang terjadi dapat diketahui dengan membandingkan densitas sampel atau *apparent density* dengan *theoretical density*, yaitu

$$\%P = 1 - \frac{\rho_s}{\rho_{th}} \cdot 100\% \quad (2-12)$$

Keterangan:

$\%P$ = Prosentase porositas (%)

ρ_s = Apparent Density (g/cm³)

ρ_{th} = Theoretical density (g/cm³)

2.6 Hipotesa

Semakin tinggi tekanan *compacting* akan membuat specimen menjadi semakin padat. Spesimen yang padat akan memiliki kekerasan yang tinggi dan porositas rendah. Jadi, semakin tinggi tekanan *compacting* maka kekerasannya meningkat dan porositasnya berkurang.