

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Sebelumnya

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Rusianto (2009) yang meneliti tentang “*Hot Pressing* Metalurgi Serbuk Aluminium dengan Variasi Suhu Pemanasan”, dimana variasi suhu *pressing* T (suhu ruang) 100 °C, 200 °C, dan 300 °C dan menggunakan tekanan sebesar 5400 Kg. Proses yang digunakan dalam pembuatan *bushing* tersebut yaitu dengan melakukan pemanasan dan pengepresan dalam waktu yang bersamaan. Seiring dengan meningkatnya suhu pemanasan diperoleh kekerasan *bushing* yang semakin meningkat dan prosentase porositas yang semakin menurun.

Ika (2012) yang meneliti tentang pengaruh temperatur *sintering* terhadap distribusi kekerasan dan porositas *powder metallurgy* pada *bushing duralumin*, dimana dengan variasi temperatur *sintering* 450°C, 470°C, 490°C, 510°C, dan 530°C diperoleh nilai distribusi kekerasan sebesar 54VHN, 56VHN, 65 VHN, 66VHN, dan 68VHN. Serta nilai porositas 9%, 7%, 6%, 6%, dan 5%. Seiring dengan meningkatnya temperatur *sintering* diperoleh nilai distribusi kekerasan yang meningkat sedangkan prosentase nilai porositasnya semakin turun.

Wahyono (2013) menyatakan bahwa kualitas dari produk *powder metallurgy* ditentukan dari densitasnya. Dalam pembuatan *bushing* dari serbuk duralumin menggunakan tekanan 10 metric tons, temperatur 500°C dan waktu *holding* 20 menit didapatkan hasil bahwa densitas dan kekerasan produk *powder metallurgy* menggunakan serbuk duralumin dengan ukuran butir berbeda lebih tinggi dari pada produk *powder metallurgy* menggunakan serbuk duralumin dengan ukuran butir homogen.

#### 2.2 Dasar Teori *Powder Metallurgy*

##### 2.2.1. Pengertian *Powder Metallurgy*

Salah satu metode dalam pembuatan produk, baik produk jadi ataupun produk setengah jadi menggunakan penekanan untuk memadatkan material dan disertai pemanasan dibawah temperatur leleh dengan serbuk logam sebagai material awal disebut dengan *powder metallurgy*. *Powder metallurgy* mempunyai dua proses utama yaitu proses *compacting* dan proses *sintering*. Dimana proses *compacting* dan proses

*sintering* dapat dilakukan secara bersamaan atau dapat dilakukan proses *compacting* terlebih dahulu kemudian dilakukan proses *sintering*.

*Powder metallurgy* merupakan salah satu dari beberapa metode pembentukan produk yang kita kenal selain pengecoran, penempaan, pengelasan, serta pemotongan. Pembuatan produk melalui metode *powder metallurgy* memiliki beberapa keunggulan dibandingkan pembuatan produk dengan metode yang lain diantaranya:

1. Lebih ekonomis dikarenakan hampir tidak ada bahan yang terbuang.
2. Lebih ramah lingkungan dikarenakan hampir tidak ada limbah yang dihasilkan.
3. Dapat menghasilkan produk dengan ukuran yang teliti bahkan tanpa melalui proses *finishing*.
4. Bahan serbuk dapat diperoleh dari limbah proses pemesinan (*chips* atau geram).
5. Dapat digunakan untuk memproduksi paduan logam yang tidak dapat bercampur dalam keadaan cair.
6. Proses pengerjaan produk lebih mudah dan cepat.

### 2.2.2. Sifat Dasar Serbuk Logam

Karakter dan sifat fisis dari suatu benda yang dimampatkan sangat dipengaruhi oleh ukuran butir, bentuk dan distribusi ukuran serbuk logam. Serbuk dibuat menurut spesifikasi antara lain bentuk, kehalusan, distribusi ukuran partikel, mampu alir (*flowability*), sifat kimia, mampu tekan (*compressibility*), berat jenis semu dan sifat-sifat sinter. (Chan, 2010)

Adapun sifat dasar dari serbuk logam meliputi:

#### 1. Ukuran butir

Metode yang dapat dilakukan untuk menentukan ukuran butir antara lain dengan pengayakan atau pengukuran mikroskopik. Kehalusan dari suatu serbuk sangat erat kaitannya dengan ukuran butir, faktor ini berhubungan dengan luas bidang kontak antar permukaan butir. Semakin kecil ukuran butiran akan mempunyai porositas yang kecil dan luas bidang kontak antar butiran yang semakin besar sehingga difusi antar permukaan juga semakin besar dan kompaktilitas juga tinggi. Ukuran standar butir berdasarkan mesh dapat dilihat pada tabel 2.1.

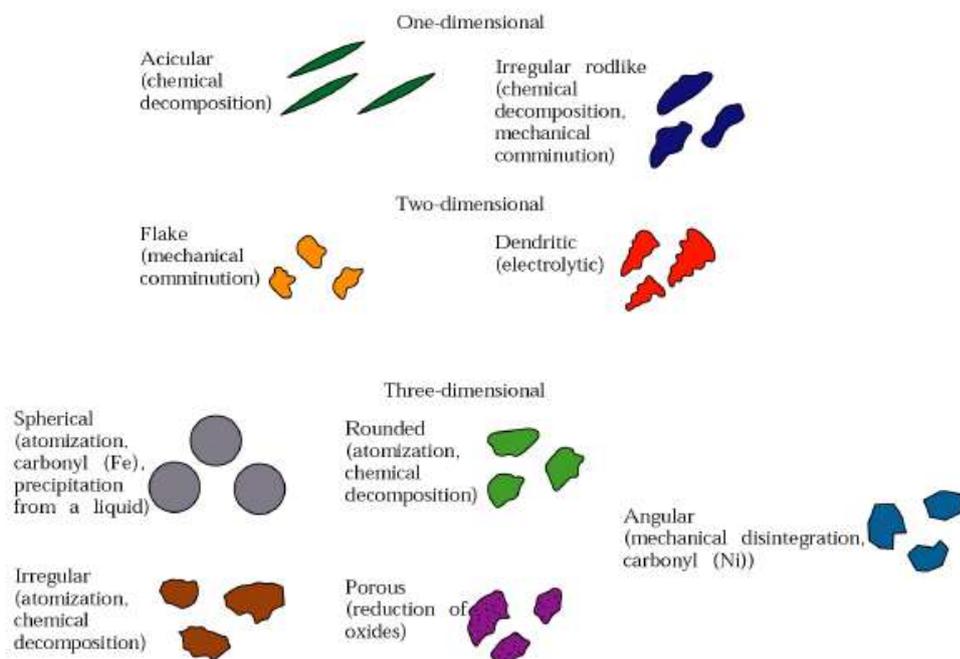
Tabel 2.1 Standar ukuran butir

US standart, mesh	European standart (FEPA standart)	Main fraction grain sizes, micrometers
100/120	D 151	150 - 125
120/140	D 126	125 - 106
140/170	D 107	106 - 90
170/200	D 91	90 - 75
200/230	D 76	75 - 63
230/270	D 64	63 - 53
270/325	D 54	53 - 45
325/400	D 46	45 - 38

Sumber : Anwar, 2007.

## 2. Bentuk butir

Bentuk butir sangat tergantung dari proses pembuatan serbuk. Bentuk butir ini mempengaruhi ukuran pori-pori yang terjadi antar butiran serbuk. Beberapa macam bentuk butir dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1. Macam bentuk butir

Sumber : Anwar, 2007.

## 3. Distribusi ukuran dan mampu alir

Dengan distribusi ukuran maka dapat ditentukan jumlah partikel dari ukuran standar dalam serbuk tersebut. Dimana distribusi ukuran ini mempengaruhi kemampuan alir dan porositas dari produk yang dihasilkan. Mampu alir merupakan karakteristik yang menggambarkan alir serbuk dan kemampuan memenuhi ruang cetak.

#### 4. Sifat kimia

Sifat kimia disini berkaitan dengan kemurnian serbuk, jumlah oksida yang diperbolehkan dan kadar elemen lainnya. Dimana pada metalurgi serbuk diharapkan tidak terjadi reaksi kimia antara matriks dan penguat.

#### 5. Kompresibilitas

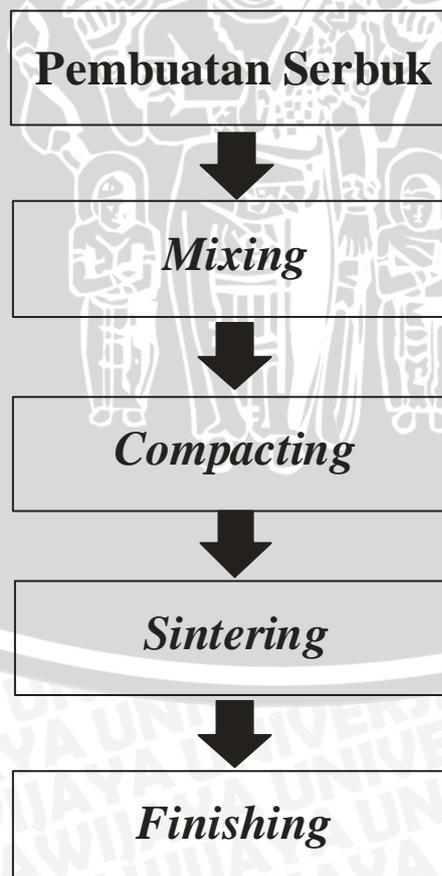
Merupakan perbandingan antara volume serbuk dengan volume benda yang ditekan. Nilai dari perbandingan ini berbeda-beda karena dipengaruhi oleh distribusi ukuran dan bentuk butir.

#### 6. Kemampuan sinter

Merupakan kemampuan pengikatan antar butir saat dipanaskan dibawah temperatur lelehnya dengan disertai penekanan.

### 2.2.3. Proses *Powder Metallurgy*

*Powder metallurgy* mempunyai beberapa proses utama diantaranya proses pembuatan serbuk, proses pencampuran serbuk, *compacting*, *sintering*, dan *finishing*. Proses-proses tersebut dapat digambarkan pada gambar 2.2.



Gambar 2.2. Skema proses *powder metallurgy*  
Sumber: Anwar, 2007.

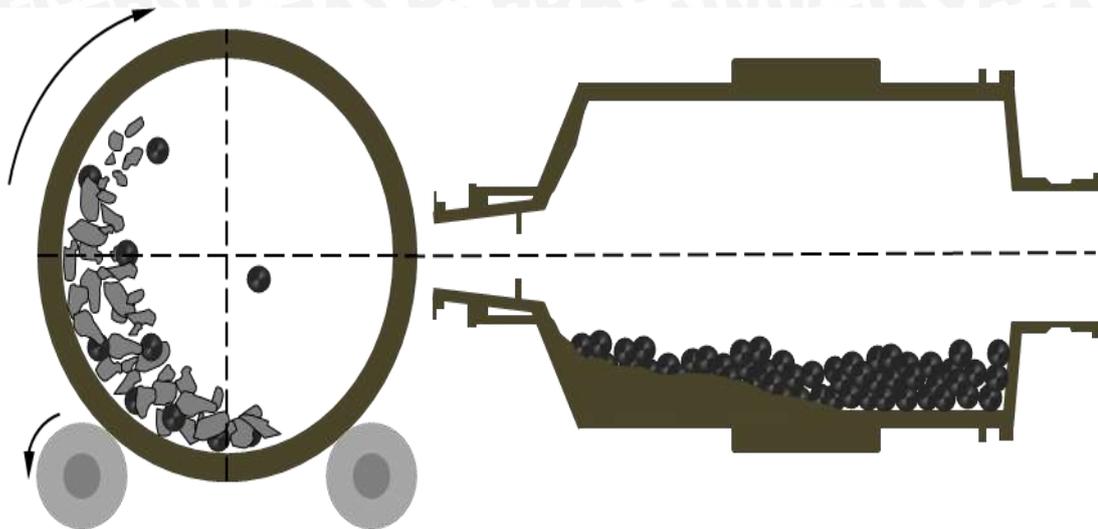
### a. Proses Pembuatan Serbuk

Proses pembuatan serbuk sangat erat kaitannya dengan bentuk butir serbuk yang akan dihasilkan. Selain itu setiap logam mempunyai ciri-ciri fisis dan kimia tertentu sehingga diperlukan suatu proses yang berbeda dalam pembuatan serbuk. Dengan cara pembuatan yang berbeda tentunya juga menghasilkan ukuran dan bentuk serbuk yang berbeda.

Ada beberapa cara dalam pembuatan serbuk antara lain: *decomposition*, *electrolytic deposition*, *atomization of liquid metals*, *mechanical processing of solid materials* (Anwar, 2007).

1. *Decomposition*, biasanya digunakan pada material yang berisikan elemen logam. Material akan menguraikan atau memisahkan elemen-elemennya jika dipanaskan pada temperatur yang cukup tinggi. Proses ini melibatkan dua reaktan, yaitu senyawa metal dan *reducing agent*. Kedua reaktan mungkin berwujud solid, liquid, atau gas.
2. *Atomization of Liquid Metals*, pembuatan serbuk dimana material cair dapat dijadikan serbuk dengan cara menuangkan material cair dilewatan pada *nozzle* yang dialiri air bertekanan, sehingga terbentuk butiran kecil-kecil.
3. *Electrolytic Deposition*, pembuatan serbuk dengan cara proses elektrolisis yang biasanya menghasilkan serbuk yang sangat reaktif dan *brittle*. Untuk itu material hasil *electrolytic deposition* perlu diberikan perlakuan *annealing* khusus. Bentuk butiran yang dihasilkan oleh *electrolytic deposits* berbentuk dendritik.
4. *Mechanical Processing of Solid Materials*, pembuatan serbuk dengan cara menghancurkan material dengan *ball milling*. Material yang dibuat dengan *mechanical processing* harus material yang mudah retak seperti logam murni, bismuth, antimony, paduan logam yang relatif keras dan *brittle*, dan keramik.

Adapun serbuk yang digunakan pada penelitian ini adalah serbuk yang diperoleh dari *mechanical processing of solid materials*. Skema pembuatan serbuk menggunakan metode *mechanical processing of solid materials* dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3. Skema pembuatan serbuk dengan *Ball Mill*  
Sumber : Hwang, 2011.

#### b. Proses Pencampuran Serbuk

Apabila dua serbuk yang berbeda unsur dicampur untuk menghasilkan paduan, maka pencampuran serbuk tersebut harus homogen untuk menghasilkan pencampuran yang sebaik-baiknya. Komposisi paduan tersebut dicampur dengan perbandingan jumlah yang sama agar didapatkan pencampuran yang terbaik. Proses pencampuran serbuk dapat dilakukan dengan dua cara yaitu proses kering (*dry mixing*) dan proses basah (*wet mixing*). Cara pencampuran basah (*wet mixing*) merupakan cara pencampuran serbuk dengan menggunakan pelarut organik untuk mengurangi pengaruh atmosfer yang menyebabkan peristiwa oksida.

#### c. *Compacting*

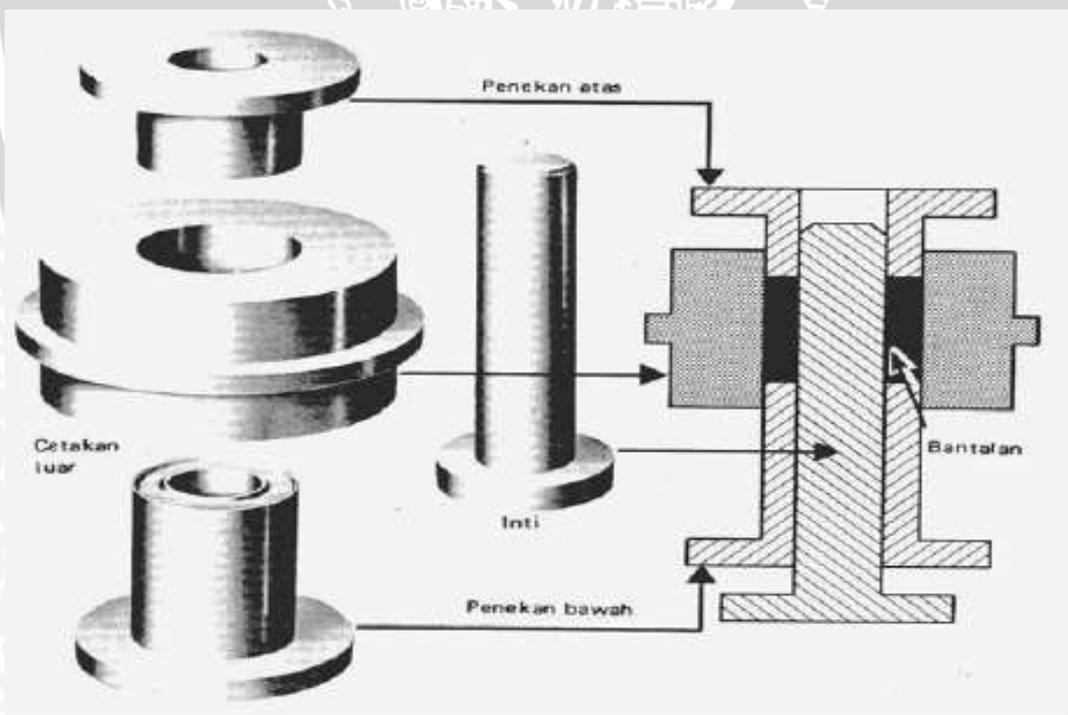
*Compacting* merupakan salah satu cara yang digunakan untuk memadatkan serbuk menjadi bentuk yang diinginkan menggunakan proses penekanan. Metode *compacting* dibedakan menjadi dua yaitu penekanan dingin (*cold compacting*) dan penekanan panas (*hot compacting*). *Cold compacting* adalah metode pemadatan serbuk pada temperatur ruang, sedangkan *hot compacting* merupakan metode pemadatan serbuk pada temperatur *sintering*. Besarnya tekanan yang diberikan pada saat *compacting* dapat dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Tekanan kompaksi pada berbagai macam serbuk logam

<i>Metal</i>	<i>Pressure (MPa)</i>
Aluminum	70 – 275
Brass	400 – 700
Bronze	200 – 275
Iron	350 – 800
Tantalum	70 – 140
Tungsten	70 – 140
<i>Other Materials</i>	
Aluminum Oxide	110 – 140
Carbon	140– 165
Cemented Carbides	140 – 400
Ferrites	110 – 165

Sumber : Anwar, 2007.

Skema penekanan yang digunakan pada *powder metallurgy* dapat dilihat pada gambar 2.4.



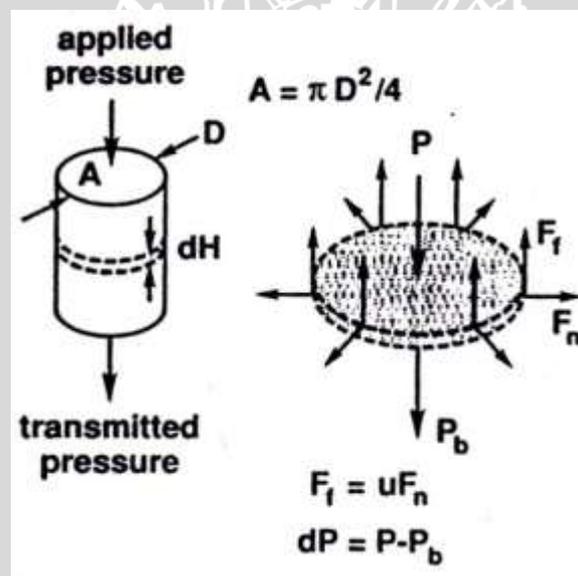
Gambar 2.4. Skema proses *compacting*

Sumber : Chan, 2010.

Tujuan dilakukannya *compacting* adalah agar serbuk dapat menempel satu dengan lainnya sebelum ditingkatkan ikatannya dengan proses *sintering*. Dalam proses pembuatan produk paduan dengan metode *powder metallurgy* ini, terjadinya ikatan antar butir serbuk tersebut merupakan akibat dari adanya *interlocking* antar permukaan yaitu terjadi ikatan akibat kekerasan permukaan serbuk, interaksi adesi-koheisi yaitu suatu interaksi akibat adanya ikatan logam dan ikatan *vander walls* pada butiran serbuk, dan difusi antar permukaan. Difusi antar permukaan terjadi saat dilakukan proses *sintering*.

Bentuk produk yang dihasilkan dari proses *cold compacting* maupun *hot compacting* ini sudah menyerupai bentuk akhir namun untuk produk hasil *cold compacting* memiliki kekuatan yang rendah karena belum dilakukan proses *sintering*. Kekuatan akhir produk didapat setelah proses *sintering*.

Gaya- gaya yang bekerja saat *compacting* pada silinder berdiameter  $D$  dan tinggi  $H$  ditunjukkan pada gambar 2.5.



Gambar 2.5. Gaya yang Bekerja Saat *Compacting*  
Sumber : German, 1994.

Analisa dari sebuah potongan silinder 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 dapat dilihat pada persamaan (2-1).

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

Dengan:

F = Gaya

A = luas penampang

$\mu$  = adalah koefisien gesek antara *powder* dengan dinding cetakan

$F_n$  = gaya normal

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 dapat dilihat pada persamaan (2-2).

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

Dengan:

$F_n$  = gaya normal

P = tekanan

D = diameter penampang

dH = tinggi potongan

Gaya gesek dihitung dari gaya normal dan koefisien gesek, seperti pada persamaan (2-3) dan (2-4).

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

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

Dengan:

$F_f$  = gaya gesek

$\mu$  = koefisien gesek

P = tekanan

D = diameter penampang

dH = tinggi potongan

Perbedaan tekanan antara permukaan atas dengan permukaan bawah dP dapat ditulis dengan persamaan (2-5) sebagai berikut:

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

Dengan:

dP = Perbedaan tekanan antara permukaan atas dengan permukaan bawah

$\mu$  = koefisien gesek

P = tekanan

$F_f$  = gaya gesek

$A$  = luas penampang

$dH$  = tinggi potongan

$D$  = diameter penampang

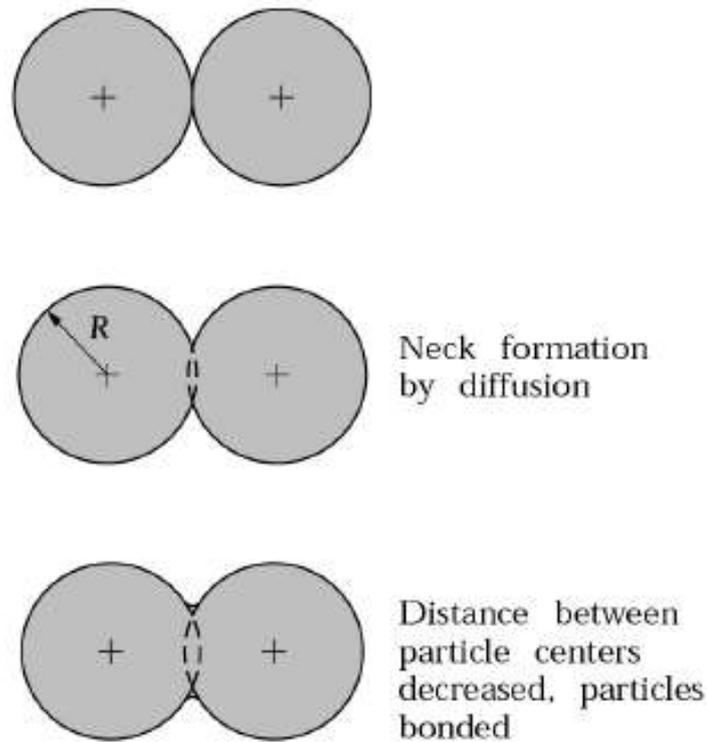
Persamaan tersebut dapat digunakan pada penekanan dari satu arah (*Single action pressing*). *Single-ended compaction* terbatas pada geometri yang sederhana.

#### d. *Sintering*

*Sintering* merupakan suatu proses pengikatan partikel dengan cara melakukan pemanasan dibawah temperatur titik lebur dari suatu material, proses ini dapat dilakukan secara bersamaan dengan proses *compacting* atau dapat juga dilakukan setelah proses *compacting*. Pada umumnya temperatur yang digunakan dalam proses *sintering* sebesar 0,7-0,9 dari temperatur cair material serbuk utama.

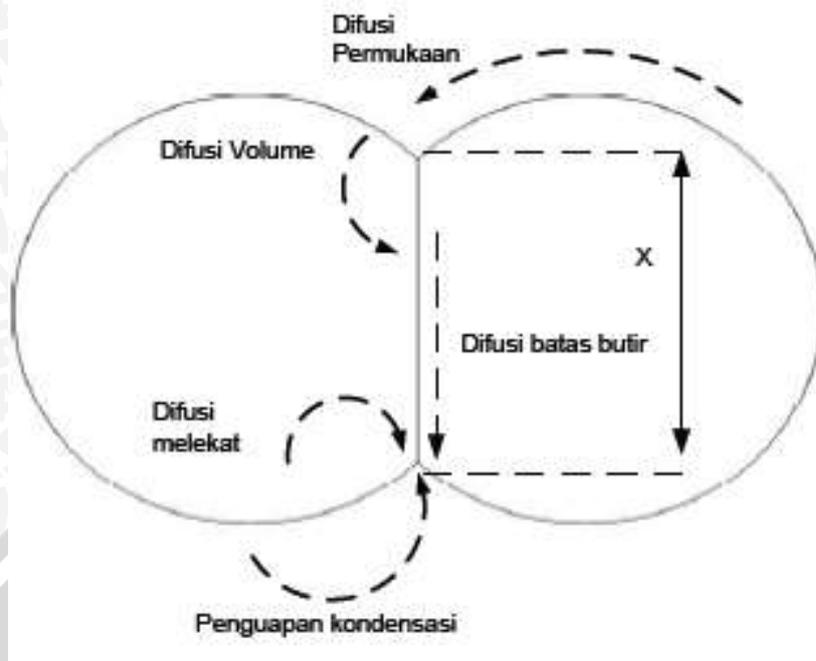
Proses *sintering* dilakukan dengan tujuan untuk meningkatkan sifat mekanik dari produk yang dihasilkan. Dimana setelah dilakukan proses *sintering* serta proses *compacting* maka ikatan antar serbuk akan semakin kuat. Semakin kuatnya ikatan antar serbuk ini disebabkan timbulnya *necking* sehingga porositas berkurang dan bahan menjadi lebih padat. Dalam hal ini kompaktibilitas bahan juga dipengaruhi oleh ukuran serbuk, semakin kecil ukuran serbuk maka porositas kecil dan luas kontak permukaan antar butir semakin luas. Skema tersebut dapat dilihat pada gambar 2.6.





Gambar 2.6. Skema proses *necking* serbuk.  
Sumber : Anwar, 2007.

Ukuran butir dan penggunaan aditif dapat mempercepat laju proses *sintering*. Hal ini dikarenakan penggunaan butiran yang lebih kecil maka proses sintering akan dapat berjalan lebih cepat dibandingkan dengan penggunaan butiran yang lebih besar. Proses *sintering* dapat berlangsung apabila terjadi transfer materi diantara butiran yang disebut proses difusi dan terdapat sumber energi yang dapat mengaktifkan transfer materi dan energi tersebut digunakan untuk menggerakkan butiran sehingga terjadi kontak dan ikatan yang sempurna. Energi yang menggerakkan proses *sintering* disebut gaya dorong (*driving force*) yang ada hubungannya dengan energi permukaan butiran. Gaya dorong tersebut dapat diilustrasikan sebagai dua buah bola dengan ukuran yang sama saling dengan ukuran kontak  $x$  seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.7. (Marlon,2008)



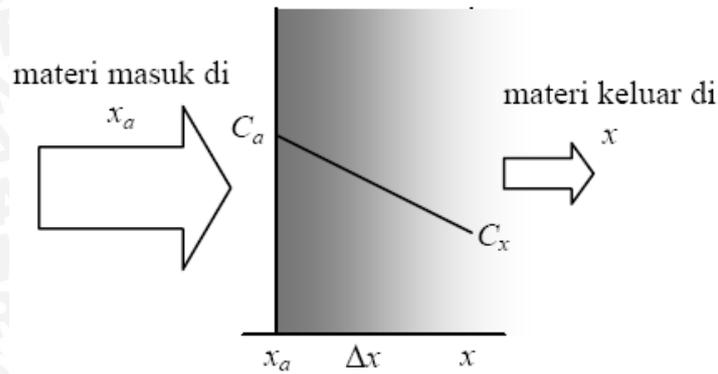
Gambar 2.7. Skema Difusi antar Butiran  
Sumber : Marlon,2008

Ada beberapa mekanisme difusi selama proses sintering meliputi difusi volume, difusi permukaan, difusi batas butir, dan difusi secara penguapan dan kondensasi. Setiap mekanisme difusi tersebut akan memberikan pengaruh terhadap perubahan sifat fisis bahan *sintering* antara lain perubahan densitas, porositas, penyusutan dan pembesaran butir. Dengan adanya difusi tersebut akan mengakibatkan kontak antar butir dan terjadi ikatan yang kuat antar butiran. Selain itu juga terjadi rekonstruksi susunan butiran yang dapat menghilangkan atau mengurangi pori-pori yang berada di dalam butir. Umumnya perubahan tersebut dipengaruhi oleh adanya difusi volume dan difusi batas butir.

Laju difusi sendiri dapat kita ketahui dengan cara seperti dibawah ini:

### 1. Pada Kondisi *Steady*.

Peristiwa difusi pada kondisi *steady* terjadi saat materi yang terdifusi menyebar dari konsentrasi yang tinggi ke arah konsentrasi yang lebih rendah, seperti diperlihatkan oleh gambar 2.8.



Gambar 2.8. Difusi dalam keadaan *steady*  
 Sumber :Sudaryatno & Utari, 2010.

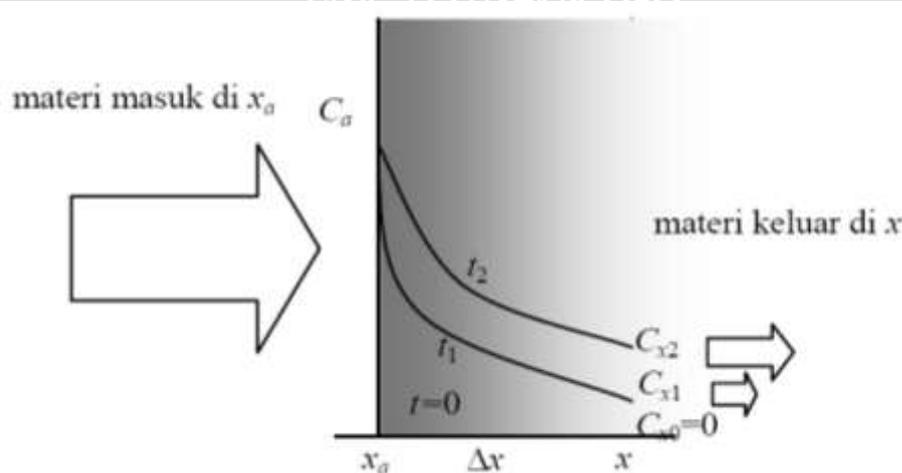
Konsentrasi materi yang terdifusi bervariasi secara linier sebesar  $C_a$  di  $x_a$  menjadi  $C_x$  di  $x$ . Faktor pendorong untuk terjadinya difusi adalah penyebaran materi, dimana penyebaran materi dipengaruhi oleh perbedaan konsentrasi. Fluksi materi yang berdifusi dapat kita tuliskan dalam persamaan (2-6) sebagai berikut:

$$J_x = -D \frac{dC}{dx} \quad (2-6)$$

$D$  adalah koefisien difusi,  $dC/dx$  adalah variasi konsentrasi dalam keadaan *steady* di mana  $C_a$  dan  $C_x$  bernilai konstan. Persamaan (2.6) ini disebut *Hukum Fick Pertama* yang menyatakan bahwa fluksi dari materi yang berdifusi sebanding dengan gradien konsentrasi. (Sudaryatno & Utari. 2010)

**2. Pada Kondisi Transien.**

Peristiwa difusi yang sering dijumpai adalah peristiwa difusi pada kondisi transien, di mana konsentrasi berubah terhadap waktu. Keadaan transien ini digambarkan pada gambar 2.9.



Gambar 2.9. Difusi dalam keadaan transien  
 Sumber : Sudaryatno & Utari, 2010.



$C_x$  merupakan fungsi waktu yang juga berarti bahwa fluksi materi juga merupakan fungsi waktu. Pada  $t = 0$  konsentrasi di  $x$  adalah  $C_{x0} = 0$ ; pada  $t = t_1$  difusi telah terjadi dan konsentrasi di  $x$  meningkat menjadi  $C_{x1}$ ; pada  $t = t_2$  konsentrasi di  $x$  meningkat lagi menjadi  $C_{x2}$ , dan seterusnya. Perubahan konsentrasi adalah selisih antara fluksi yang masuk di  $x_a$  dan fluksi yang keluar di  $x$ ,  $J_{x_a} - J_x$ . Selisih yang terjadi setiap saat ini merupakan laju perubahan konsentrasi  $C_x$ . Sementara itu fluksi yang keluar di  $x$  adalah  $J_x = J_{x_a} + \frac{\partial J}{\partial x} \Delta x$ , oleh karena itu maka:

$$\frac{dC_x}{dt} = - \frac{\partial J}{\partial x} \Delta x = \frac{d}{dx} \left[ \frac{dC_x}{dt} \right] \quad (2-7)$$

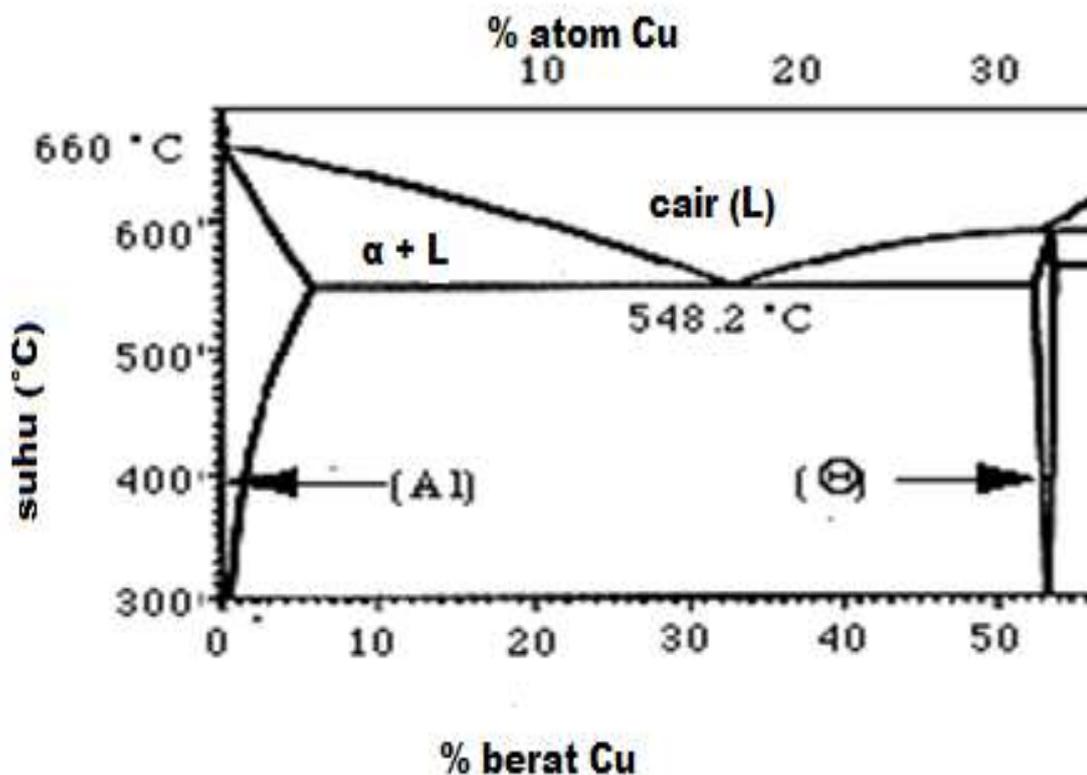
Persamaan (2-7) ini disebut *Hukum Fick Kedua*. Jika  $D$  tidak tergantung pada konsentrasi maka (2-7) dapat ditulis:

$$\frac{dC_x}{dt} = D \frac{d^2 C_x}{dx^2} \quad (2-8)$$

*Hukum Fick Kedua* menyatakan bahwa laju perubahan komposisi sebanding dengan turunan kedua (*Laplacian*) konsentrasi. (Sudaryatno & Utari. 2010)

### 2.3 Duralumin

Duralumin (paduan Al-Cu) merupakan salah satu dari jenis paduan aluminium series 2XXX dengan unsur utama berupa aluminium (Al) dengan komposisi lebih dari 90 % dan tembaga (Cu) dengan komposisi 4-5 %. Duralumin memiliki sifat ringan, keuletan tinggi, tahan korosi serta bersifat *heat treatable*. Tetapi paduan Al yang mengandung Cu mempunyai ketahanan korosi yang lebih rendah daripada paduan Al lainnya. Untuk meningkatkan sifat tahan korosi maka permukaannya dilapisi dengan Al murni atau paduan aluminium tahan korosi yang disebut pelat alklad. Diagram fase dari paduan Al-Cu dapat dilihat pada gambar 2.10.



Gambar 2.10. Diagram Fasa Al-Cu  
Sumber: Callister, 1997.

Umumnya paduan Al-Cu digunakan dalam industri-industri *aircraft*, *automotive*, dan militer, seperti; struktur pesawat, *aircraft landing*, penutup isolator, *gear box*, *cylinder head* dan piston, *turbine* dan *supercharger impellers*, *connecting rods*, *missile fins*. (Wahyono, 2011)

## 2.4 Kekerasan

Kekerasan merupakan kemampuan suatu bahan untuk dapat menahan penetrasi permukaan dari luar berupa penusukan oleh benda tekan yang berbentuk tertentu menggunakan besar gaya tertentu. Kekerasan suatu material logam dipengaruhi oleh beberapa hal diantaranya :

### 1. Unsur paduan

Unsur paduan akan mempengaruhi sifat mekanik suatu logam. Penambahan unsur paduan ini bertujuan untuk meningkatkan sifat mekanik yang dimiliki oleh logam tersebut. Misalnya, untuk meningkatkan sifat mekanik dari aluminium dapat ditambahkan unsur tembaga. Aluminium memiliki kekuatan dan kekerasan yang tidak terlalu tinggi, jika ditambahkan unsur tembaga sebagai paduannya maka dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatannya. Hal ini dikarenakan tembaga bisa

memperhalus struktur butir dan akan mempunyai kualitas pengerjaan mesin yang baik, mampu tempa, keuletan yang baik dan mudah dibentuk.

## 2. Perlakuan panas

Pengaruh perlakuan akan mempengaruhi kekerasan logam tergantung dari perlakuan apa yang diberikan. *Annealing* akan menurunkan kekerasan logam. *Hardening* akan meningkatkan kekerasan logam. *Tempering* akan menurunkan kekerasan logam dibawah perlakuan panas *Hardening*. *Normalising* akan meningkatkan kekerasan logam dibandingkan keadaan awal logam tanpa perlakuan panas.

## 3. Bentuk dan dimensi butir

Material dengan ukuran butir kecil akan memiliki kekerasan yang tinggi dibandingkan material dengan ukuran butir besar, hal ini dikarenakan semakin kecil ukuran butir maka semakin besar pula luas bidang kontak antar butir sehingga dapat meningkatkan kekerasannya. Begitu juga dengan material butir halus akan memiliki kekerasan tinggi, dibandingkan dengan material dengan butir kasar.

Sedangkan untuk kekerasan produk hasil teknologi *powder metallurgy*, dipengaruhi oleh:

### 1. Tekanan

Tekanan memiliki pengaruh terhadap nilai kekerasan dari produk hasil *powder metallurgy*. Dengan semakin besarnya tekanan yang diberikan pada saat proses *compacting*, maka ikatan antar butir serbuk akan semakin kuat, sehingga menyebabkan kerapatan yang tinggi. Dengan semakin rapatnya ikatan antar butir inilah menyebabkan kekerasan dari produk *powder metallurgy* semakin meningkat.

### 2. Luas bidang kontak antar butir

Luas bidang kontak antar butir berpengaruh terhadap mekanisme ikatan antar butir. Semakin besar luas bidang kontak, maka mekanisme ikatan yang terjadi akan semakin besar sehingga menyebabkan peningkatan kekerasan pada produk hasil *powder metallurgy*.

### 3. Porositas

Nilai porositas berpengaruh terhadap kekerasan produk hasil *powder metallurgy*. Nilai porositas berhubungan dengan kerapatan ikatan antar butir. Jika kerapatannya

tinggi maka nilai porositasnya rendah sehingga kekerasannya meningkat, begitu juga sebaliknya.

## 2.5 Porositas

Porositas merupakan prosentase formasi yang terisi oleh ruang berpori. Porositas dipengaruhi oleh tingkatan temperatur *sintering*. Untuk mencari prosentase porositas yang terdapat dalam suatu produk dapat digunakan perbandingan 2 buah densitas, yaitu:

- *Theoretical density* : kepadatan dari suatu benda padat tanpa porositas yang terdapat didalamnya. Didefinisikan sebagai perbandingan massanya terhadap volume sebenarnya ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )
- *Apparent density* : berat setiap unit volume material termasuk cacat (*void*) yang terdapat dalam material uji ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )

Pengukuran densitas dapat dilakukan dengan menggunakan metode piknometri, yaitu sebuah proses membandingkan densitas relatif dari sebuah padatan dan sebuah cairan. Jika densitas dari cairan diketahui, densitas dari padatan dapat dihitung. Proses dapat digambarkan secara skematik dalam rumus berikut ini.

Untuk memperoleh nilai *theoretical density*, dapat dicari dengan menggunakan persamaan yang ada pada standar ASTM E 252-84, yaitu:

$$\rho_t = \frac{100}{\left\{ \left( \frac{\%Al}{\rho_{Al}} \right) + \left( \frac{\%Cu}{\rho_{Cu}} \right) + \left( \frac{\%Fe}{\rho_{Fe}} \right) + \text{etc} \right\}} \quad (2-9)$$

Dengan :

$\rho_t$  = *theoretical density* ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )

$\rho_{Al}, \rho_{Cu}, \rho_{Fe}, \text{etc}$  = densitas unsur ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )

$\%Al, \%Cu, \%Fe, \text{etc}$  = prosentase berat unsur

Sedangkan perhitungan *Apparent density* menggunakan persamaan sesuai standar ASTM B 311-93, sebagaimana berikut :

$$\rho_a = \rho_w \frac{ws}{ws - (wsb - wb)} \quad (2-10)$$

Dengan :

$\rho_a$  = *Apparent density* ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )

$\rho_w$  = densitas air ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )

$W_s$  = berat sample di udara (gr)

$W_{sb}$  = berat sample dan keranjang di dalam air (gr)

$W_b$  = berat keranjang di dalam air (gr)

Perhitungan prosentase porositas yang terjadi dapat diketahui dengan membandingkan densitas sample atau *apparent density* dengan densitas teoritis (*theoretical density*) yaitu :

$$P = \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_t}\right) \times 100\% \quad (2-11)$$

Dengan :

P = Prosentase porositas (%)

$\rho_a$  = *apparent density* (gr/cm<sup>3</sup>)

$\rho_t$  = *theoretical density* (gr/cm<sup>3</sup>)

## 2.6 Bushing

*Bushing* sendiri digolongkan dalam jenis bantalan luncur. *Bushing* berfungsi untuk menumpu poros berbeban, sehingga dapat menjaga putaran atau gerakan bolak-balik yang berlangsung secara halus dan aman. Untuk itulah diperlukan suatu produk *bushing* yang dapat menahan beban tanpa mengalami patah atau perubahan bentuk dan tahan terhadap temperatur tinggi, tahan gesekan, tahan aus, tahan terhadap korosi, dapat menghantarkan panas, serta koefisien muai kecil. Adapun contoh produk *bushing* dapat dilihat pada gambar 2.11.



Gambar 2.11. *Bushing*  
Sumber : Anonim 1.

## 2.7 Hipotesa

Semakin kecil ukuran butir serbuk yang digunakan dalam *powder metallurgy* duralumin maka akan meningkatkan nilai kekerasannya serta menurunkan prosentase porositas. Hal ini dikarenakan dengan adanya proses *compacting* dan proses *sintering* mengakibatkan luas bidang kontak antar butir semakin besar dan mengakibatkan jarak antar butir semakin rapat.

