

# PENGARUH BEBAN KOMPAKSI DAN WAKTU SINTER TERHADAP KARAKTERISTIK MATERIAL BANTALAN PERUNGGU (90Cu-10Sn) PRODUK METALURGI SERBUK

Aris Mulyana, A.Md.<sup>[1]</sup>, Otto Purnawarman, ST., MT<sup>[2]</sup>, Wiwik Purwadi, Dipl.Ing., MT<sup>[3]</sup>  
Jurusan Teknik Manufaktur, Politeknik Manufaktur Bandung  
Jl. Kanayakan No.21 Dago, Bandung, 40135 Phone/Fax : 022 250 0241 / 2502649  
Email : [arismulyana91@gmail.com](mailto:arismulyana91@gmail.com)

## ABSTRAK

Bantalan (*bearing*) merupakan suatu komponen yang berfungsi untuk menumpu benda yang bergerak dengan gesekan sedikit mungkin. Bantalan terbagi menjadi 2 jenis yaitu bantalan gelinding dan bantalan luncur. Dalam pembuatan bantalan luncur (*journal bearing*), material perunggu banyak dibutuhkan karena sifatnya yang memiliki ketahanan aus dan kekuatan yang relatif lebih baik dibandingkan dengan bahan lainnya. Salah satu proses pembuatannya adalah melalui proses metalurgi serbuk. Keunggulan dari metode metalurgi serbuk adalah dapat dihasilkan bantalan luncur yang memiliki sifat *self-lubrication* karena memiliki porositas yang saling berhubungan sebagai reservoir minyak pelumas. Pada penelitian ini dilakukan pembuatan sampel material bantalan perunggu (90Cu-10Sn) menggunakan metode metalurgi serbuk mulai dari karakterisasi serbuk, tahap pencampuran, tahap kompaksi, hingga tahap *sintering*. Penelitian dikerjakan menggunakan fasilitas mesin *press* hidrolik “Christensen” dengan kapasitas 60 ton dan *Split Tube Furnace* dengan kapasitas 1200°C. Tujuan penelitian ini adalah untuk menunjukkan pengaruh dari beban kompaksi dan waktu sinter terhadap karakteristik material bantalan 90Cu-10Sn. Beban kompaksi yang diterapkan pada penelitian ini yaitu mulai dari 8, 12, 16, 20 ton sementara untuk waktu sinter yaitu 10 dan 20 menit dengan suhu sinter pada 850°C. Dari hasil penelitian menunjukkan kenaikan beban kompaksi dan waktu sinter menghasilkan kenaikan pada nilai densitas dan kekerasan material sedangkan untuk persentase kandungan oli mengalami penurunan. Pada foto mikro terlihat jumlah porositas mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya beban kompaksi dan waktu sinter.

**Kata kunci** : *Metalurgi serbuk, Bantalan perunggu, Bantalan luncur, Beban Kompaksi, Waktu Sinter, Porositas.*

## 1. PENDAHULUAN

Dalam upaya untuk menghasilkan produk berupa komponen-komponen mesin yang memiliki ukuran dan model hampir sama dengan yang direncanakan, tentu dibutuhkan suatu metode yang efektif. Dengan berkembangnya teknologi manufaktur logam, maka alternatif dalam pembuatan suatu produk juga semakin bervariasi, salah satunya yaitu dengan metode metalurgi serbuk. Pengembangan material komponen alat konstruksi dan perkakas khususnya bantalan luncur (*journal bearing*) diusahakan memiliki sifat-sifat mekanik yang lebih unggul dari sebelumnya, terutama keunggulan dalam hal penerapan pada berbagai kondisi operasional. Metalurgi serbuk merupakan ilmu tentang proses pembuatan produk dari serbuk logam mulai dari tahapan karakterisasi, pencampuran serbuk, kompaksi, hingga *sintering* (pemanasan). Keunggulan metalurgi serbuk dibanding proses

lainnya seperti pengecoran yaitu dapat memproses komponen-komponen yang rumit dengan toleransi dimensi yang baik, konsumsi energi yang rendah, serta penggunaan bahan baku yang efisien. Selain itu, dengan metode metalurgi serbuk juga dapat dihasilkan komponen yang memiliki sifat *self-lubrication*. Bantalan luncur yang dibuat menggunakan metode metalurgi serbuk dapat dihasilkan bantalan yang memiliki porositas yang saling berhubungan sebagai reservoir minyak pelumas sehingga bantalan luncur dapat melumasi sendiri ketika beroperasi. Pertimbangan dalam pemilihan paduan *bearing* adalah materialnya harus memiliki koefisien gesek yang rendah. Timah memiliki koefisien gesek yang rendah sehingga memenuhi persyaratan material *bearing*. Namun timah secara struktural merupakan logam yang lemah (kekuatan rendah). Oleh karena itu dalam pembuatan *bearing*, timah dipadukan oleh

tembaga untuk meningkatkan kekerasan, kuat tarik, dan ketahanan *fatigue*. [1]

## 2. LANDASAN TEORI

Bantalan pelumasan sendiri adalah bantalan hasil proses metalurgi serbuk yang memiliki porositas dan ter-lumasi secara permanen. Bantalan ini memiliki banyak kelebihan dibanding dengan bantalan luncur konvensional yaitu dengan mengorbankan beberapa sifat-sifat mekanik seperti kekerasan dan kekuatan, namun struktur kepadatan yang lebih rendah dengan pori-pori di dalamnya bisa diperoleh, dimana pori-pori tersebut dapat digunakan sebagai reservoir minyak pelumas. Dengan demikian pasokan pelumas yang konstan dengan sendirinya dapat dipertahankan [2]. Bahan bantalan yang paling banyak digunakan adalah perunggu 90Cu-10Sn karena komposisi tersebut menghasilkan *alpha bronze face centred cubic solid solution* yang homogen pada timah di dalam tembaga setelah proses sintering [3]. Dalam pembuatan perunggu berporositas (90Cu-10Sn), timah berfungsi sebagai wetting agent yaitu untuk membasahi tembaga, dan meninggalkan pori [1]. Paduan ini dapat dibuat melalui metode metalurgi serbuk yang terdiri dari proses karakterisasi serbuk, pencampuran serbuk, kompaksi dan *sintering* (pemanasan) [4].

## 3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental dengan metode metalurgi serbuk. Adapun bahan penelitian yang digunakan yaitu:

- Serbuk logam Cu dengan kemurnian 99.5 % dan ukuran butir kurang dari 65  $\mu\text{m}$ .
- Serbuk logam timah dengan kemurnian 99.9 % dan ukuran butir kurang dari 65  $\mu\text{m}$ .
- Serbuk pelumas organik (*Zinc Stearate*).

Komposisi pembuatan sampel mengacu berdasarkan standar ASTM *designation* B-438 *grade* 1 yaitu serbuk Cu dan Sn dicampurkan dengan komposisi 90% Cu dan 10 % Sn. Campuran logam ini ditambahkan *zinc stearate* sebanyak 0.5% sebagai pelumas.

### 3.1 Tahap Pencampuran Serbuk

Tahap pencampuran serbuk dilakukan secara konvensional pada mesin bubut dengan bantuan alat pencampur yang dibuat dengan bentuk V yang dapat dilihat pada gambar 3.1



Gambar 3.1 Alat bantu pencampur serbuk pada mesin bubut

Proses pencampuran dilakukan pada kecepatan putar terendah mesin bubut yaitu 20 rpm dengan lama waktu pencampuran selama 20 menit. Kecepatan putar rendah bertujuan untuk mengurangi gaya sentrifugal yang terjadi selama proses pencampuran.[5]

Setelah mencampurkan serbuk menjadi komposisi yang diinginkan, densitas dari komposisi tersebut dapat ditentukan menggunakan rule of mixing sebagai berikut.

$$\frac{w}{\rho_{th}} = \frac{w_1}{\rho_1} + \frac{w_2}{\rho_2} \quad 3.1$$

Dimana,  $w_1$  dan  $w_2$  adalah fraksi berat dari serbuk-serbuk yang dicampur.  $\rho_1$  dan  $\rho_2$  adalah densitas serbuk,  $\rho_{th}$  adalah densitas teoritik[6].

### 3.2 Tahap Kompaksi

Pada penelitian ini, mesin press yang digunakan untuk proses kompaksi yaitu mesin *press* hidrolik “Christensen” dengan kapasitas 60 ton dan metode yang digunakan yaitu *single action pressing* untuk pembuatan sampel. Tahap kompaksi dikerjakan dengan variasi beban yaitu 8 ton, 12 ton, 16 ton, dan 20 ton sedangkan massa serbuk yang dimasukkan ke dalam *dies* yaitu 38 gram untuk setiap sampel. Sampel hasil kompaksi disebut dengan *green strength*.



Gambar 3.2 *Green strength*.

*Green density* dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

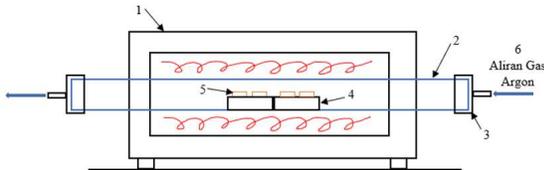
$$\rho = \frac{m}{v} \quad 3.2$$

$$v = \frac{1}{4} \times \pi (OD^2 - ID^2) \times T \quad 3.3$$

Dimana,  $\rho$  yaitu *green density*,  $m$  yaitu massa *green strength* dan  $v$  yaitu volume *green strength*

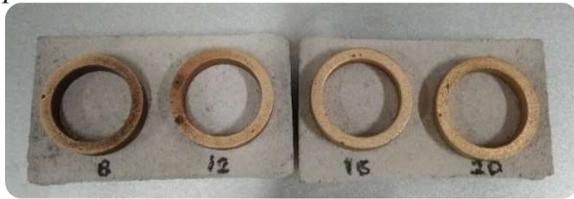
### 3.3 Tahap Sintering

Pada penelitian ini, tungku yang digunakan untuk proses *sintering* sampel yaitu tungku pemanas listrik yang dilengkapi dengan pipa keramik (*tube furnace*). Tahap *sintering* dikerjakan pada suhu 850°C dengan variasi waktu 10 menit dan 20 menit. Penelitian ini dikerjakan dalam atmosfer gas argon guna mencegah terjadinya oksidasi pada permukaan sampel. Tahap *sintering* dikerjakan menggunakan “Carbolite Gero *Split Tube Furnace* HST 1200” dengan kapasitas mampu mencapai temperatur 1200°C.



Gambar 3.3 Skematis pengerjaan *sintering* menggunakan tube furnace. Keterangan : 1. Tungku pemanas, 2. Pipa keramik, 3. Tutup pipa keramik, 4. Batu bata tahan panas, 5. Sampel penelitian.

Sampel hasil sintering disebut dengan *sintered part*.



Gambar 3.4 *Sintered part*.

Dimensi sampel mengalami perubahan setelah proses sinter yang menandakan terjadinya penyusutan (*Shrinkage*). Adapun penyusutan dapat di hitung menggunakan persamaan berikut [6].

$$\delta h = \left(1 - \frac{h_s}{h_g}\right) \times 100\% \quad 3.4$$

$$\delta r = \left(1 - \frac{r_s}{r_g}\right) \times 100\% \quad 3.5$$

Dimana,

$\delta h$  = % Penyusutan linier (*height*).

$\delta r$  = % Penyusutan radial.

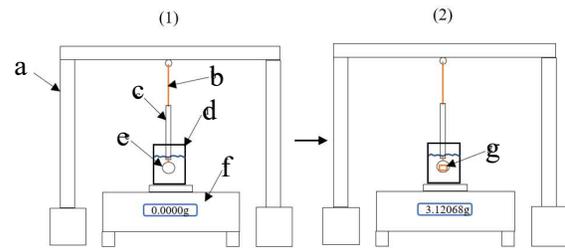
$h_g, r_g$  = tinggi dan radius dari *green strength*.

$h_s, r_s$  = tinggi dan radius dari *sintered part*.

### 3.4 Pengujian Densitas

Pengujian densitas dan persentase kandungan oli dikerjakan pada setiap sampel dengan tujuan untuk mengetahui nilai densitas dan banyaknya serapan minyak pelumas (oli) kedalam sampel 90Cu-10Sn yang berpori setelah pengerjaan sinter. Metode pengujian ini diadopsi dari standar ASTM B-328 namun terdapat beberapa prosedur yang tidak dilakukan dikarenakan keterbatasan alat yang di antaranya yaitu *Apparatus* 5.2, 5.3, 5.4, 5.6, dan 7.2.

Proses pengujian ini dimulai dengan persiapan sampel uji yaitu melakukan pengerjaan pengisian oli ke dalam rongga pori sampel. Rongga pori di dalam sampel merupakan rongga yang berisi udara sehingga tekanan diperlukan untuk memasukkan oli ke dalam rongga pori yang berisi udara. Tekanan yang dibutuhkan yaitu 2 in Hg (6.8 Kpa) atau setara dengan tekanan oli pada kedalaman 84 cm (massa jenis oli 0.85 g/cm<sup>3</sup>). [7] Adapun metode pengujian dapat dilihat pada gambar 3.5.



Gambar 3.5. . Ilustrasi proses pengujian densitas dan persentase kandungan oli, a = Kolom penyangga. b = Kawat tembaga. c = Mistar baja. d = Gelas plastik. e = Wadah sampel. f = Timbangan analitik. g = Sampel.

Keterangan:

(1) Pertama, gelas plastik yang berisi air destilasi di simpan di atas timbangan analitik (ketelitian 1/10000 g), kemudian wadah sampel dan mistar baja di celupkan ke dalam air hingga permukaan air segaris dengan ukuran pada mistar (misal 5 mm), setelah itu timbangan di set ke angka ‘0’. Hal ini berarti berat dari gelas plastik, air destilasi, wadah sampel dan bagian mistar yang tercelup sudah terkompensasi oleh timbangan.

(2) Kedua, wadah sampel dan mistar diangkat, kemudian sampel disimpan pada wadah sampel dan dilakukan pencelupan kembali hingga kedalaman yang sama pada proses pertama. Berat yang terukur pada timbangan yaitu merupakan

berat penambahan air, yang mana apabila berat penambahan air dibagi dengan massa jenis air maka menjadi volume penambahan air yang mana volume tersebut sama dengan volume dari sampel.

Adapun perhitungan dari densitas sampel dapat menggunakan persamaan berikut.

$$V = \frac{V_w}{C} \quad 3.6$$

$$\frac{B}{D} = \frac{C}{D_w} \quad 3.7$$

$$D = \frac{B}{C} \times D_w \quad 3.8$$

Sedangkan untuk perhitungan persentase kandungan oli, didapatkan dengan cara membandingkan volume oli yang terserap pada sampel dengan volume penambahan air, yang mana volume oli tersebut didapatkan dari selisih massa benda sebelum menyerap oli dengan sesudah menyerap oli kemudian dibagi dengan massa jenis oli. Adapun persamaan matematisnya sebagai berikut.

$$\varepsilon_i = \frac{V_o}{V_w} \times 100\% \quad 3.9$$

$$\varepsilon_i = \frac{B - A}{C} \times \frac{D_w}{D_o} \times 100\% \quad 3.10$$

Untuk total porositas didapatkan dengan cara membandingkan selisih dari volume sampel setelah sinter dan volume paduan teoritis dengan volume setelah sinter, adapun persamaan matematisnya sebagai berikut.

$$\varepsilon_T = \frac{C - \frac{A}{\rho_{th}}}{C} \times 100\% \quad 3.11$$

$$\varepsilon_T = \varepsilon_i + \varepsilon_c \quad 3.12$$

Keterangan:

D = Densitas sampel (g/cm<sup>3</sup>).

B = Massa sampel sesudah menyerap oli (g).

C = Massa penambahan air (g).

D<sub>w</sub> = Densitas air (g/cm<sup>3</sup>).

ε<sub>i</sub> = Persentase kandungan oli (*interconnected porosity*) (%).

ε<sub>T</sub> = Total porositas. (%)

ε<sub>c</sub> = Porositas tertutup. (%)

A = Massa sampel sebelum menyerap oli (g).

D<sub>o</sub> = Densitas oli yang digunakan (g/cm<sup>3</sup>).

V = Volume sampel (cm<sup>3</sup>).

V<sub>w</sub> = Volume penambahan air (cm<sup>3</sup>).

V<sub>o</sub> = Volume oli yang diserap (cm<sup>3</sup>).

### 3.5 Pengujian kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan mesin uji kekerasan *Rockwell*. Pada pengujian ini, skala yang digunakan yaitu F dengan indenter bola 1/16" dan beban utama 60Kg. Pengujian ini dilakukan pada 3 titik berbeda di permukaan sampel untuk setiap sampel uji. Maksud pengujian dilakukan pada 3 titik sampel yang berbeda dari setiap sampel yaitu agar diperoleh nilai kekerasan yang lebih akurat dengan menggunakan nilai rata-rata hasil pengukuran dari ketiga titik sampel pada setiap sampel.

### 3.6 Pengamatan Strukturmikro

Pengamatan Strukturmikro dikerjakan menggunakan mikroskop optik. Pengamatan ini bertujuan untuk melihat distribusi rongga pori yang terbentuk setelah proses sinter pada permukaan potongan melintang dari setiap sampel yang sudah di poles tanpa di *etching*.

## 4. HASIL DAN ANALISIS

### 4.1 Hasil Pengujian Densitas

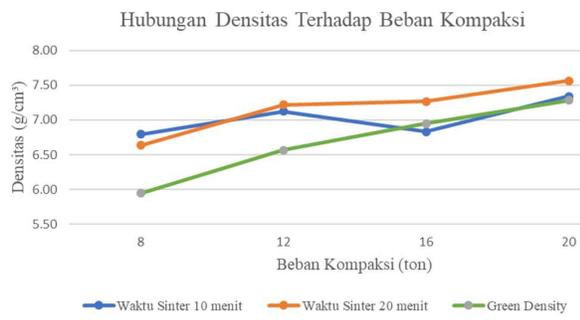
Hasil dari pengujian densitas menunjukkan bahwa green density dan sintered density mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan beban kompaksi yang diterapkan. Green density terendah dimiliki oleh sampel hasil kompaksi 8 ton yaitu 5.95 g/cm<sup>3</sup> dan yang tertinggi yaitu 7.28 g/cm<sup>3</sup> pada beban kompaksi 20 ton. Pada sampel dengan waktu sinter 10 menit nilai densitas terendah yaitu 6.79 g/cm<sup>3</sup> dan densitas yang tertinggi yaitu pada beban kompaksi 20 ton sebesar 7.34 g/cm<sup>3</sup>. Sedangkan pada sampel dengan waktu sinter 20 menit, nilai densitas terendah yaitu 6.63 g/cm<sup>3</sup> dan densitas yang tertinggi yaitu pada beban kompaksi 20 ton sebesar 7.56 g/cm<sup>3</sup>. Namun, selain adanya peningkatan nilai densitas, terdapat satu sampel (beban kompaksi 16 ton dengan waktu sinter 10 menit) yang mengalami penurunan nilai densitas. Penurunan ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor, di antaranya yaitu:

1. Material serbuk belum tercampur dengan baik (homogen) sehingga memungkinkan adanya penumpukan serbuk Sn di area tertentu dan menyebabkan terbentuknya porositas yang besar pada saat proses *sintering* berlangsung.

2. Distribusi serbuk yang tidak merata (*bridging*) ketika proses pengisian material serbuk pada *dies*, yang mana butiran-butiran serbuk

membentuk jembatan sehingga terjadinya kekosongan pada area tertentu.

Hubungan densitas terhadap beban kompaksi dapat dilihat pada gambar 4.1



Gambar 4.1 Grafik hubungan densitas terhadap beban kompaksi dan waktu sinter pada material *bronze bearing* (90Cu-10Sn).

#### 4.1.1. Analisis Hubungan Densitas Terhadap Beban Kompaksi.

Pada pengujian densitas dapat dilihat bahwa dengan seiring meningkatnya beban kompaksi maka semakin meningkat juga nilai densitasnya, hal ini dapat terjadi karena semakin tinggi beban kompaksi maka luas kontak antar partikel akan semakin tinggi juga sehingga proses densifikasi yang tinggi dapat diperoleh. Kenaikan beban kompaksi mempengaruhi *work hardening* dari *green strength*, sehingga dapat meningkatkan *green density* dari perunggu.[8] Selain itu semakin besar tekanan kompaksi maka jumlah porositas di antara partikel akan semakin sedikit sehingga nilai densitas menjadi meningkat.[9]

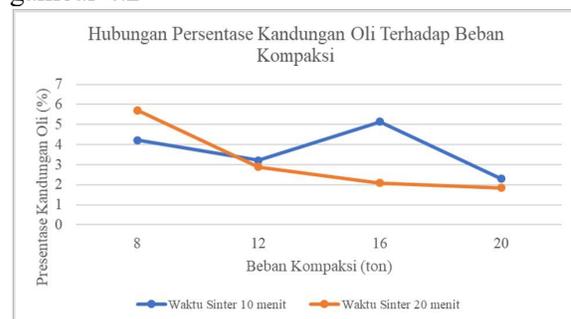
#### 4.1.2. Analisis Hubungan Densitas Terhadap Waktu Sinter.

Pada pengujian densitas dapat terlihat bahwa terdapat perbedaan nilai densitas antara sampel yang disinter dengan waktu 10 menit dengan sampel yang disinter 20 menit. Sampel yang disinter dengan waktu 20 menit memiliki nilai densitas yang lebih tinggi, kecuali pada sampel dengan beban kompaksi 8 ton. Hal ini terjadi dikarenakan dengan semakin lamanya waktu sinter maka distribusi temperatur pada saat sinter akan semakin merata dan jumlah luas butir yang mengalami pembentukan leher akan semakin merata pula. Selain itu, seiring dengan semakin lamanya waktu sinter maka pori akan berubah menjadi bulat sehingga porositas menjadi berkurang dan ikatan serta densification

(pemadatan) menjadi meningkat. Tetapi, penurunan densitas yang terjadi pada sampel dengan beban kompaksi 8 ton disebabkan karena pada densitas yang rendah, dengan seiringnya lama waktu sinter maka yang terjadi adalah pembesaran ukuran pori karena energi yang diperlukan oleh serbuk untuk berikatan pada tahap awal (*initial stage*) dalam pembentukan leher menjadi lebih tinggi akibat adanya jarak yang cukup jauh. Sehingga butiran akan cenderung membulat akibat adanya tegangan permukaan pada benda cair.

#### 4.2 Hasil Pengujian Persentase Kandungan Oli

Hasil dari pengujian persentase kandungan oli menunjukkan bahwa nilai persentase kandungan oli semakin berkurang dengan semakin tingginya beban kompaksi. Pada sampel dengan waktu sinter 10 menit nilai persentase kandungan oli tertinggi yaitu 5.72 % dan yang terendah yaitu 1.84 %, sedangkan pada sampel dengan waktu sinter 20 menit nilai persentase kandungan oli tertinggi yaitu 5.14 % dan yang terendah yaitu 2.29 %. Nilai persentase kandungan oli yang tinggi pada sampel dengan beban kompaksi 16 ton dan waktu sinter 10 ton dapat disebabkan karena terbentuknya porositas yang besar akibat distribusi serbuk yang tidak merata pada saat proses kompaksi hingga sintering. Sehingga turunnya nilai densitas pada sampel tersebut telah terbukti oleh fakta meningkatnya serapan oli pada sampel. Hubungan persentase kandungan oli terhadap beban kompaksi dapat dilihat pada gambar 4.2



Gambar 4.2 Grafik hubungan persentase kandungan oli terhadap beban kompaksi pada material *bronze bearing* (90Cu-10Sn).

#### 4.2.1. Analisis Hubungan Persentase Kandungan Oli Terhadap Beban Kompaksi.

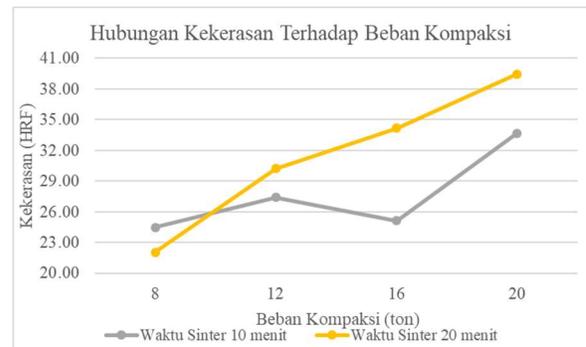
Dari tabel 4.1 dan grafik 4.2 dapat dilihat bahwa dengan meningkatnya beban kompaksi maka nilai persentase kandungan oli yang dapat diserap oleh sampel (90Cu-10Sn) semakin menurun. Hal ini berhubungan dengan meningkatnya densitas pada sampel, dengan meningkatnya densitas dari sampel yang berarti kerapatan antar partikel semakin tinggi maka jumlah porositas yang terbentuk akan semakin sedikit, sehingga jumlah oli yang dapat diserap akan semakin berkurang juga.

#### 4.2.2. Analisis Hubungan Persentase Kandungan Oli Terhadap Waktu Sinter.

Pada pengujian persentase kandungan oli dapat terlihat bahwa terdapat perbedaan dari sampel yang di sinter dengan waktu 10 menit dan 20 menit. Sampel dengan waktu sinter 20 menit memiliki nilai persentase yang lebih kecil dibanding dengan waktu sinter 10 menit. Hal ini terjadi dikarenakan seiring dengan lamanya waktu sinter maka ikatan antar partikel dan proses pemadatan akan semakin tinggi yang menyebabkan jumlah pori dan ukuran pori akan semakin berkurang sehingga nilai persentase kandungan oli akan semakin berkurang juga. Namun berbeda pada sampel dengan beban kompaksi 8 ton, waktu sinter 20 menit memiliki nilai persentase kandungan oli yang lebih kecil dibanding waktu sinter 10 menit. Hal ini relevan dengan hasil dari pengujian densitas yang mana terjadi penurunan densitas pada waktu sinter 20 menit.

#### 4.3 Hasil Pengujian Kekerasan.

Hasil pengujian kekerasan menunjukkan bahwa nilai kekerasan sampel mengalami kenaikan berbanding lurus dengan meningkatnya beban kompaksi yang diterapkan. Pada sampel dengan waktu sinter 10 menit nilai rata-rata kekerasan terendah yaitu 24.5 HRF dan yang tertinggi yaitu 33.7 HRF. Sedangkan pada sampel dengan waktu sinter 20 menit nilai kekerasan terendah yaitu 22.07 HRF dan yang tertinggi yaitu 39.47 HRF. Adapun hubungan kekerasan terhadap beban kompaksi dapat dilihat pada gambar 4.3



Gambar 4.3 Grafik hubungan kekerasan terhadap beban kompaksi pada material *bronze bearing* (90Cu-10Sn)

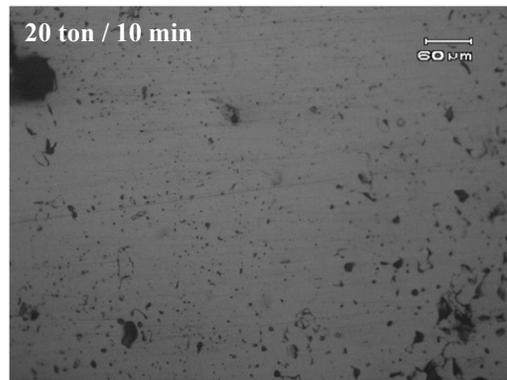
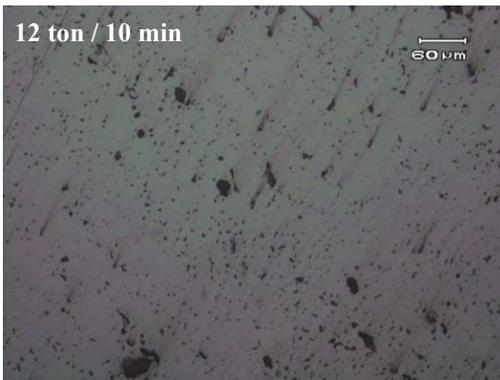
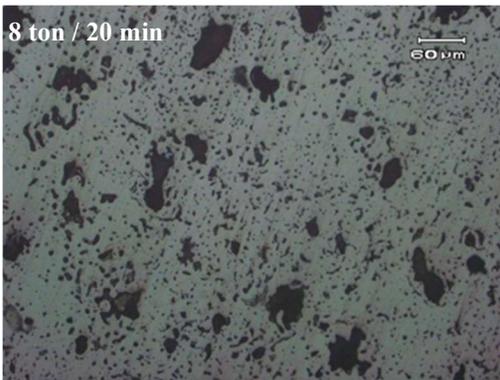
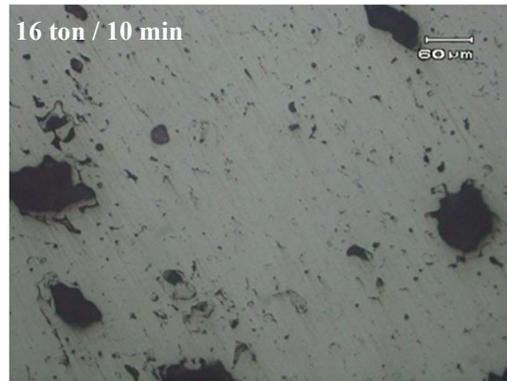
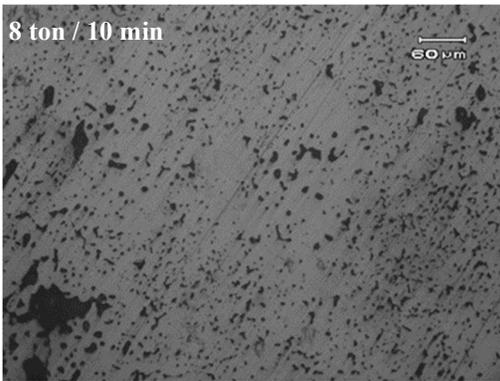
#### 4.3.1 Analisis Hasil Pengujian Kekerasan

Nilai kekerasan pada produk hasil metalurgi serbuk dipengaruhi oleh jumlah porositas, semakin banyak porositas pada produk maka kekerasan akan rendah dan begitu juga sebaliknya. Selain itu nilai kekerasan ini berhubungan juga dengan nilai densitas, dimana sampel yang memiliki densitas yang tinggi memiliki nilai kekerasan yang tinggi juga. Hal ini dikarenakan semakin tinggi densitas maka jarak atom akan semakin dekat atau rapat dan ikatan antar partikel akan semakin kuat sehingga nilai kekerasan meningkat.

Nilai kekerasan ini juga dapat dilihat bahwa semakin lamanya waktu sinter maka kekerasan yang dihasilkan semakin tinggi, hal ini disebabkan pada saat proses sintering jumlah titik kontak antar partikel dan pembentukan leher yang terjadi semakin banyak dan merata karena temperatur yang diterima oleh sampel semakin merata sehingga proses pemadatan semakin meningkat dan jumlah porositas semakin menurun yang mana keadaan tersebut dapat meningkatkan ketahanan material terhadap deformasi.

#### 4.4 Pengamatan Strukturmikro.

Pengamatan strukturmikro dilakukan pada setiap sampel menggunakan mikroskop optik dengan pembesaran 100x. Pengamatan ini dikerjakan dengan tujuan untuk melihat distribusi rongga pori yang terbentuk setelah proses sinter. Adapun hasil dari foto mikro sebagai berikut.



Gambar 4.4 Foto mikro material bronze *bearing* (90Cu-10Sn) setelah sinter

Pada gambar hasil foto mikro diatas dapat dilihat bahwa ukuran dan jumlah porositas relatif semakin berkurang seiring dengan meningkatnya beban kompaksi dan waktu sinter karena kepadatan partikel serbuk semakin meningkat. Namun pada sampel dengan beban kompaksi 16 ton dan waktu sinter 10 min porositas yang meningkat dengan ukuran yang besar. Hal ini yang membuktikan bahwa pada sampel tersebut mengalami penurunan densitas dan kekerasan seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya.

#### 4.5 Matrik Hasil Penelitian

Load Compaction (ton)	Sintering Time (min)	Material Characteristic		
		Density (g/cm <sup>3</sup> )	Hardness (HRF)	Oil Content (%)
8	10	6.79	24.5	4.22
	20	6.63	22.07	5.72
12	10	7.13	27.4	3.21
	20	7.22	30.23	2.89
16	10	6.83	25.13	5.14
	20	7.27	34.17	2.09
20	10	7.34	33.7	2.33
	20	7.56	39.47	1.84

Dari matrik diatas dapat dilihat bahwa beban kompaksi dan waktu sinter memiliki pengaruh terhadap karakteristik material *bronze bearing* (90Cu-10Sn) yang mana dengan seiring meningkatnya beban kompaksi dan waktu sinter nilai *density* dan *hardness* mengalami peningkatan sedangkan pada nilai *oil content* mengalami penurunan.

#### 5. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian maka dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Semakin tinggi beban kompaksi, luas kontak antar partikel semakin tinggi dan mempengaruhi nilai densitas, kekerasan dan persentase kandungan oli dari sampel 90Cu-10Sn yang mana nilai densitas dan kekerasan mengalami peningkatan sedangkan untuk nilai persentase kandungan oli mengalami penurunan.
2. Sampel yang disinter dengan waktu yang lebih lama menunjukkan perbedaan nilai densitas, kekerasan dan persentase kandungan oli dimana dengan semakin lamanya waktu sinter, distribusi temperatur pada saat sinter semakin merata dan jumlah luas butir yang mengalami pembentukan leher semakin merata pula dan mempengaruhi nilai densitas, kekerasan dan persentase kandungan oli dari sampel 90Cu-10Sn yang mana nilai densitas dan kekerasan mengalami

peningkatan sedangkan untuk nilai persentase kandungan oli mengalami penurunan.

3. Pada foto mikro terlihat dengan semakin tingginya beban kompaksi dan lamanya waktu sinter terdapat perbedaan ukuran dan jumlah porositas dari setiap sampel, porositas relatif mengalami penurunan.

#### 6. SARAN

Dari hasil evaluasi selama penelitian terdapat beberapa hal yang perlu diperbaiki dan ditingkatkan sehingga berguna untuk penelitian selanjutnya, yaitu :

1. Diperlukannya penelitian mengenai metode dan parameter pencampuran serbuk yang dapat menghasilkan campuran serbuk yang homogen.
2. Untuk penelitian selanjutnya, sebaiknya menggunakan minimal 3 buah sampel untuk masing-masing faktor objek penelitian.
3. Disarankan menguji sifat-sifat mekanik material lain seperti kekasaran permukaan, laju keausan, dan sifat-sifat material lainnya yang berhubungan erat dengan penggunaan bantalan.

#### 7. DAFTAR PUSTAKA

- [1] ASM Handbook Volume 2. 1990. *Properties and Selection : Nonferrous Alloy and Special-Purpose Materials*. USA : ASM International.
- [2] Kalpakjian, Serope, dan Steven R. Schmid. 2009. *Manufacturing Engineering and Technology*. Montreal: Prentice Hall.
- [3] Chicardi, E., Torres, Y., Cordoba, J. M., Sayagues, M. J., Rodriguez, J. A., dan F. J. Gotor. 2013. *Effect of sintering time on the microstructure and mechanical properties of (Ti, Ta) (C, N)-based cermets*. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*.38(2013): 73-80
- [4] Degarmo, E. Paul, Black, J. T., dan Ronald A. Kohser. 2003. *Materials and Processes in Manufacturing*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- [5] Siburian, Sutoyo. 2018 *Pengaruh Grafit Terhadap Kekerasan dan Laju Keausan Bantalan Luncur Connecting Rod yang Disinter pada Temperatur 800°C*. Skripsi Universitas Sumatera Utara, Medan.
- [6] Ghosh, S. 2001. *Processing of Premixed and Prealloyed Bronze Through Transient and Supersolidus Liquid Phase Sintering*. Thesis for

Master of Technology. Indian Institute of Technology Kanpur.

[7] Yuswono, Sayuti, D. 2004. *Pembuatan Perunggu (Paduan Cu-10%Sn) Berpori Untuk Komponen Bantalan Pelumasan Sendiri*. Serpong : Pusat Penelitian Metalurgi (P2M) Lipi.

[8] Dixit, M., Srivastava, K.R. 2018. *Effect of Compaction Pressure on Microstructure, Density and Hardness of Copper Prepared by Powder Metallurgy Route*. Motilal Nehru National Institute of Technology, India.

[9] Taryaman, T., Hafid., Rachmat, S.R, 2004. *Pembuatan Komponen Guide, Cam Chain Pada Sepeda Motor Dari Bahan Baja Tahan Karat 316 L Dengan Teknologi Metalurgi Serbuk*. Metal Indonesia Vol. 026