PEMBUATAN KOMPONEN *GUIDE*, *CAM CHAIN* PADA SEPEDA MOTOR DARI BAHAN BAJA TAHAN KARAT 316 L DENGAN TEKNOLOGI METALURGI SERBUK (*POWDER METALLURGY*)

Oleh :
Tatang Taryaman ^{*)} Hafid ^{**)} Rudy S.Rachmat ^{***)}

INTISARI

Proses metalurgi serbuk merupakan suatu proses pengerjaan logam untuk menghasilkan komponen dengan ketelitian tinggi ataupun komponen yang memiliki porositi. Proses ini dapat digunakan untuk membuat benda-benda yang memiliki kekerasan yang sangat tinggi, seperti : mata pahat, dan juga dapat menghasilkan komponen yang melumasi sendiri. Salah satu komponen yang memiliki fungsi melumasi sendiri adalah bearing, bearing ini banyak digunakan untuk poros yang kondisi operasinya mengalami gesekan yang cukup tinggi, oleh karena itu fungsi melumasi sendiri sangat penting untuk mengurangi gesekan yang terjadi. Kemampuan melumasi sendiri dari komponen bearing dihasilkan oleh porositi yang ada pada produk yang dihasilkan oleh proses metalurgi serbuk. Pada saat komponen bekerja dan terkena gesekan akan timbul panas sehingga minyak pelumas yang terserap kedalam pori-pori komponen tadi akan keluar karena massanya memuai, dan pada saat dingin akan masuk kembali. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik dan parameter proses pembuatan bearing menggunakan material baja tahan karat 316 L dengan teknologi metalurgi serbuk. Penelitian ini menggunakan target yaitu bearing untuk komponen guide, cam chain yang masih di impor, dengan memvariasikan beban kompaksi yaitu 7-8 ton, 9-10 ton, 15-17 ton. Dan waktu sinter 140 menit dan 120 menit, sedangkan temperatur sinter yang digunakan adalah 1.120 °C. Kemudian hasil dari pengujian densiti, porositi, kekerasan dan struktur mikro dibandingkan dengan bearing impor.

Kata kunci-kata kunci : metalurgi serbuk, melumasi sendiri, porositas, baja tahan karat 316 L.

ABSTRACT

Powder metallurgy is a process of metal to produce component with high accuracy or component with porosity. This process can be used to produce material with a very high hardness such as : chisel point, and also self lubricated components, such as bearing. Bearing has been widely used for shaft, where the operational condition is subjected to high friction ; therefore the function to self lubrication is very important to reduce the friction. The capability of self lubrication of this bearing component is gained through porosity on the product made by powder metallurgy process. When the component is running and exposed to friction, it will create heat. The lubricant that absorbed into the component's pore will be released due to the swelling mass, and when it is cool it will penetrate into the pore. This research is intended to find out the characteristic and parameter of bearing making process using stainless steel 316 L with powder metallurgy method. The target objects of this research are bearing for guide component and imported cam chain. Compaction load are varied amongst 7 - 8 ton, 9 – 10 tonnes, 13 – 14 tonnes done in 140 minutes and 120 minutes sinter time and 1.120 °C sinter temperature. Then the testing results of density, porosity, hardness and micro structure are compared with the characteristics of imported bearings.

Keywords : powder metallurgy, self lubrication, porosity, stainless steel 316 L.

I. PENDAHULUAN

Metalurgi serbuk adalah bagian dari ilmu metalurgi yang mempelajari proses pembuatan serbuk, karakteristik serbuk dan proses pembuatan produk-produk dari logam tanpa melalui proses peleburan. Energi yang dibutuhkan untuk proses metalurgi serbuk relatif lebih kecil dari proses lainnya dan dapat dihasilkan produk dengan kepresisian ukuran yang tinggi. Komponen hasil metalurgi serbuk dapat terdiri dari produk campuran serbuk berbagai logam atau dapat pula terdiri dari campuran bahan baku logam untuk meningkatkan ikatan partikel dan mutu benda jadi secara keseluruhan.

Proses pembuatan komponen dengan cara metalurgi serbuk di Indonesia ini masih belum sepenuhnya dikuasai, padahal proses pembuatan komponen dengan cara metalurgi serbuk dapat menghasilkan toleransi ukuran yang mendekati, sehingga hanya sedikit sekali proses pemesinan yang diperlukan. Selain itu proses tersebut mempunyai produktivitas yang tinggi untuk produksi massal, sehingga biaya produksi dapat ditekan. Komposisi material untuk komponen yang dibuatnya lebih bervariasi dibandingkan dengan cara pengecoran ataupun dengan cara lainnya, sehingga dapat dihasilkan komponen dengan komposisi yang diperkirakan akan sesuai dengan keperluan teknis komponen tersebut.

Komponen dari bahan baja tahan karat dapat pula dibuat dengan cara metalurgi serbuk dengan variasi komposisi yang dapat dibuat sesuai dengan kebutuhan. Pemakaian bahan metalurgi serbuk baja tahan karat antara lain adalah untuk komponen otomotif, peralatan rumah tangga, komponen kapal laut, komponen industri makanan dan sebagainya. Dengan melihat kebutuhan tersebut, maka perlu dikembangkan suatu percobaan pembuatan komponen dari baja tahan karat.

Komponen penuntun rantai *cam* terdiri dari *bearings* yang dilengkapi dengan bantalan karet sintesis yang berfungsi untuk menuntun dan mengatur kekencangan rantai *cam* pada sepeda motor. *Bearing* dibuat dari *powder* untuk menghasilkan komponen yang dapat melumasi sendiri pada saat bekerja, *bearing* ini

memiliki porositas yang dapat menyerap minyak pelumas. Pada saat bekerja akan terjadi gesekan yang akan mengakibatkan timbulnya panas, panas ini akan mengakibatkan massa minyak pelumas menjadi besar dan keluar dari dalam pori sehingga dapat melumasi komponen itu sendiri dan jika dingin maka minyak pelumas tersebut akan kembali masuk kedalam pori-pori pada *bearing* tersebut.

Berdasarkan permasalahan tersebut di atas, maka penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik dan parameter proses pembuatan *bearing* dengan menggunakan material baja tahan karat 316 L dengan metode metalurgi serbuk. Dengan harapan teknologi tersebut dapat dikuasai sehingga menjadi suatu alternatif pengerjaan logam, maupun non logam, yang pada keadaan tertentu dapat menggantikan proses pengerjaan lain, seperti tempa, pemesinan, pengecoran dan lain-lain dengan lebih efisien dan ekonomis.

II. LANDASAN TEORI

2.1. Metalurgi Serbuk

Metalurgi serbuk (*powder metallurgy*) adalah satu teknologi pengerjaan logam yang prosesnya menggunakan serbuk logam. Serbuk logam merupakan serbuk padat yang memiliki ukuran lebih kecil dari 1 mm, umumnya proses pengerjaannya menggunakan serbuk yang terbuat dari logam meskipun dalam beberapa proses dikombinasikan dengan elemen lain, seperti : keramik atau *polymers*. Salah satu karakteristik penting dari serbuk adalah perbandingan luas permukaan dengan volume yang tinggi.

Dalam keadaan tertentu teknologi metalurgi serbuk dapat menggantikan proses pengecoran dan proses pengerjaan logam lainnya dengan lebih efisien dan ekonomis. Pada awalnya, bubuk logam di *press* di dalam *die set* sehingga menjadi benda padat dengan bentuk yang dikehendaki. Benda tersebut kemudian menjalani proses pemanasan dalam tungku yang bebas oksigen sehingga tercapai sifat-sifat fisik yang dikehendaki. Proses ini juga berpeluang untuk pengerjaan tambahan atau penyelesaian akhir apabila dikehendaki,

seperti : *impregnation*, *steam treatment*, *hardening* dan sebagainya, layaknya logam biasa. Untuk lebih jelasnya proses metalurgi serbuk dapat dilihat pada gambar 1 ⁽¹⁾.

Gambar 1. Aliran proses metalurgi serbuk ⁽¹⁾.

Banyak alasan mengapa suatu *engineering* komponen dibuat dengan proses metalurgi serbuk sehingga produk-produk tersebut dapat dibagi 5 (lima) kelompok, yaitu ⁽¹⁾.

1. *Refractory metals* (logam tahan panas) :

Logam-logam tertentu, khususnya yang mempunyai titik lebur sangat tinggi, yaitu *refractory metals*, sangat sulit untuk dikerjakan dengan proses peleburan atau pengecoran, dan biasanya sangat rapuh setelah proses pengecoran. *Tungsten*, *Molybdenum*, *Tantalum* dan logam-logam sejenis tergolong kelompok ini. Suatu "*green compact*" yang disinter dengan densitas di bawah 90 % dapat dirubah bentuknya secara mekanis pada temperatur

tertentu, dan secara bertahap orientasi *microstructure*-nya dapat dirubah sesuai dengan keinginan sehingga bahan yang kini telah dense (padat) akan lebih kenyal pada temperatur ruangan.

2. Bahan Komposit :

Ini terdiri dari dua atau lebih logam yang biasanya tidak dapat bersenyawa meskipun dalam keadaan cair, atau campuran logam dengan bahan non-logam, seperti : oksida-oksida atau bahan tahan panas. Dalam kelompok ini misalnya :

- a. Bahan untuk kontraktor listrik, seperti : tembaga/tungsten, perak/oksida cadmium.
- b. Logam sangat keras, yaitu *cemented carbide*, yang dipergunakan sebagai pisau potong (*cutting tools*), komponen tahan aus, seperti : dies untuk *drawing* kawat, tools untuk tempa panas logam. *Tungsten* dengan *cobalt* sebagai bahan pengikat merupakan produk pertama dari kelompok ini dan masih merupakan yang terbanyak dipergunakan, namun *carbide-carbide* lainpun baru-baru ini mulai dibuat, *nitrides*, *carbo-nitride* dan *borides* mulai bertambah banyak penggunaannya, dan berbagai bahan pengganti cobalt yang relatif langka dan mahal mulai dicoba. Ini termasuk Ni, Ni-Co, Ni-Cr, *nickel based super alloys*, dan paduan baja kompleks.

3. Bahan berpori :

Pada umumnya logam memiliki porositas, dan logam hasil sinter lebih banyak porositasnya, namun disini kita melihat benda yang diproduksi dengan porositas yang terkendali, sengaja dirancang untuk tujuan tertentu. Produk-produk utama dalam kelompok ini adalah filter serta *bearing* yang dapat menyimpan minyak pelumas biasanya disebut sebagai *self lubricating bearings*. Yang nomor dua merupakan metalurgi serbuk yang sangat dominan dan akan dibahas lebih rinci pada kesempatan lain. Sekali lagi produk-produk di atas tidak mungkin dihasilkan secara memuaskan dengan proses lain.

4. Komponen struktural atau mekanis :

Kelompok ini merupakan produk metalurgi serbuk yang terbanyak. Sebagian besar adalah dengan logam dasar besi (*iron based parts*), namun cukup banyak produk yang dibuat dengan logam dasar tembaga, kuningan, perunggu dan aluminium, maupun dengan logam langka, seperti *beryllium* dan titanium. Pada umumnya produk-produk ini tidak memiliki sifat mekanis yang lebih baik dari logam sejenis yang diolah dengan proses *forging* atau dimasining dari *wrought bar*, bahkan sebaliknya, namun sudah cukup untuk keperluan yang direncanakan. Biasanya kelebihan produk proses ini dibandingkan dengan *forging* adalah akurasi dimensional, namun penyebab utama proses ini dipilih karena pertimbangan ekonomis, yaitu proses ini jauh lebih murah. Namun perkembangan akhir-akhir ini menunjukkan bahwa kenyataan ini harus ditinjau kembali karena sudah terbukti bahwa produk hasil proses *sinter* dapat menyamai, bahkan melebihi sifat mekanis hasil proses tradisional lainnya.

Gambar 2. Bearing bushing material 2 % Cu.

5. Paduan khusus mampu tinggi (*special high duty alloys*) :

Bidang yang mengalami pengembangan sangat pesat adalah produksi bubuk menjadi bahan berkekuatan tinggi-*high speed steels* atau diistilahkan *superalloys* yang bahan dasarnya adalah *nickel* dan atau *cobalt* yang produk akhirnya memiliki sifat lebih tinggi dari hasil proses pengecoran atau tempa. Pada umumnya produk dipadatkan menjadi *blank* atau *billet* yang kemudian di tempa atau di *extrude* disusul dengan proses

pengolahan tradisional lainnya. Kelebihan proses ini adalah *yield* yang lebih tinggi (*waste* lebih sedikit), serta mikro struktur yang lebih halus dan merata sehingga sifat mekanisnya lebih baik, dan dalam pisau potong (*cutting tools*) serta komponen tahan aus, memiliki usia pakai yang lebih panjang. Proses metalurgi serbuk juga memungkinkan dikembangkan bahan-bahan yang baru sama sekali yang memiliki struktur yang *micro-crystalline* bahan *amorphous* (*glass-like*/menyerupai kaca) dengan cara mendinginkan secara cepat tetesan/kabut logam cair. Benda yang dihasilkan akan memiliki kekuatan, keuletan (*ductilitas*) dan stabilitas *thermal* yang sangat tinggi.

Jadi, produk yang dihasilkan melalui proses yang unik ini memiliki banyak kelebihan yang bisa dimanfaatkan antara lain :

- Bearing atau bushing yang *self lubricating*
- Filter untuk temperatur tinggi
- Membentuk logam yang titik cairnya sangat tinggi.
- Menggabungkan unsur-unsur berbeda tanpa merubah karakteristik masing-masing unsur.
- Membuat benda dengan dimesnsi akhir sekaligus (*near net shape*, bahkan *full net shape*).
- Membuat suatu benda sekaligus yang dengan proses lain harus terdiri dari beberapa keping yang dirangkai menjadi satu, dsb.

2.2. Pangsa Pasar Metalurgi Serbuk

Apabila kita fokus pada produk sinter yang *ferro based*, maka sebagai gambaran, di Amerika distribusi penyebaran produk-produk sinter, seperti ditunjukkan pada tabel 1. Pada tabel 1 dapat terlihat bahwa mayoritas (dari berat) pengguna produk ini adalah industriomotif. Untuk setiap mobil, diperkirakan membutuhkan sekitar 15 kg. Produk sinter sepertiga (5 kg) pada *engine* dan transmisi sedang sisanya (10 kg) untuk keperluan lain, seperti : *brake system*, *power accessories* dan lain sebagainya.

Jadi setiap 250.000 unit mobil mengandung 3.750 ton *sinter product*. Pada saat ini di Indonesia diproduksi kurang lebih 250.000 unit mobil per tahun (sebelum krisis moneter 500.000 unit). Peluang pasar bagi industri yang bergerak di bidang metalurgi serbuk lebih besar lagi karena angka di atas belum termasuk kendaraan bermotor roda dua, yang volume pasarnya dapat mencapai tiga kali volume kendaraan roda empat.

Tabel 1. Produk dan pasar metalurgi serbuk

No.	Produk yang dihasilkan	Peluang pasar (%)
1	<i>Automobile</i>	73
2	Peralatan rumah tangga	4,3
3	<i>Hardware</i>	3,1
4	<i>Hand tools & hobbies</i>	10,5
5	Motor-motor industri, <i>controls & hydraulics</i>	1,9
6	<i>Business machines</i>	1,2
7	Lain-lain	6

2.3. Pelumasan Serbuk

Untuk membuat komponen struktural, pelumasan dibutuhkan untuk meningkatkan kerapatan kompaksi dan kekuatan yang cukup pada saat pendorongan kompaksi dari cetakannya. Pemilihan pelumas harus dilakukan sebaik mungkin karena pelumas sangat mempengaruhi terhadap berat jenis, laju alir, berat jenis kompaksi, kekuatan basah, tekanan dorong dan sifat-sifat sinter. Beberapa jenis pelumas yang sering digunakan adalah seperti tercantum pada tabel 2. *Litium stearat* memberikan sifat mampu mapan baik, namun kekuatannya rendah. Lilin memberikan kekuatan baik namun membutuhkan tekanan pengkompaksian yang besar untuk mencapai kerapatan yang diinginkan. Fungsi dari pelumas antara lain : (1) untuk meningkatkan densiti, (2) menurunkan beban kompaksi, (3) meningkatkan umur pakai cetakan, (4) memudahkan pengeluaran produk. Pelumas harus dihilangkan dengan temperatur rendah sebelum proses *sintering* ⁽²⁾.

Tabel 2. Pengaruh pelumas yang ditambahkan kedalam serbuk baja tahan karat 316 L

Campuran Serbuk	B.J. g/cm ³	Laju Air s/50g	B.J. basah g/cm ³ (pd 620 MN/m ²)	Kekuatan Basah (MN/m ²)	Tekanan Dorong (MN/m ²)
Tanpa pelumas	2.80	27.0			
+ 1,2 % LS	2.92	30.2	6.73	6.6	9.0
+ 1 % LS	2.98	34.5	6.75	5.5	8.3
+ 1 % SLS	2.80	-	6.67	10.3	10.0
+ 1 % ALS	2.90	-	6.72	7.6	9.7
+ 1 % AS	2.94	24.2	6.54	14.5	11.4
+ 1 % SS	2.92	-	6.73	6.9	9.7

Keterangan : (a) LS = *Litium stearat*, (b) SLS = Serbuk lilin sintetis, (c) ALS = Atomisasi air lilin, (d) SS = *Seng stearat*, (e) Tekan dorong (*ejection pressure*)

Jumlah pelumas yang ditambahkan bergantung kepada luas permukaan yang menyentuh cetakan dan berat jenis serbuk yang akan dikompaksi. Benda-benda tipis biasanya membutuhkan sekitar ½ % pelumas, sedangkan benda-benda tipis tetapi permukaannya luas dapat membutuhkan sampai lebih dari 11 ½ %. Pada kenyataannya secara komersial, umumnya dibutuhkan sekitar 1 % pelumas dengan lama pencampuran antara 15 sampai 30 menit. Terlalu lama pencampuran dapat menurunkan kekuatan basah kompaksi ⁽³⁾.

2.4. Kompaksi

Pekerjaan yang paling penting dalam pembuatan metalurgi serbuk adalah pembuatan kompaksi (*compacting/pressing*). Faktor yang selalu menjadi bahan pertimbangan dapat atau tidaknya dikompaksi adalah mampu kompaksi (*compactibility*). Mampu tekan (*compressibility*) dan mampu kompaksi adalah ukuran untuk memperkirakan yang mana sebuah massa serbuk dapat dipadatkan dengan penerapan tekanan. *Compressibility* dari serbuk merupakan faktor utama dalam mendesain

Gambar 3. Skema penelitian.

3.1. Tahap Pembuatan *Bearings*

Prosedur kegiatan laboratorium dalam pembuatan *bearing* dengan menggunakan material baja tahan karat 316 L dengan metode metalurgi serbuk, didasarkan pada proses-proses sebagai berikut :

1. Penyiapan bahan baku :

Sebelum dilakukan kompaksi, serbuk baja tahan karat 316 L perlu dilakukan penimbangan untuk menentukan berat produk yang akan dibuat. Penimbangan ini dilakukan secara otomatis dengan mengeset alat pengukur berat serbuk yang ada pada mesin kompaksi hidrolik.

2. Proses kompaksi :

a. Pelumasan : Cetakan yang akan digunakan untuk proses kompaksi sebelumnya harus diberi pelumas secukupnya untuk menghindari friksi (gesekan) langsung antara serbuk dengan dinding cetakan, untuk mempermudah pengeluaran produk dari cetakan dan memperpanjang umur pakai dari cetakan. Selain itu juga dilakukan pelumasan pada serbuk untuk ketahanan korosi dan meningkatkan *green strenght*.

b. Prosedur pelaksanaan proses kompaksi : Pelaksanaan proses kompaksi serbuk baja tahan karat 316 L yang telah disiapkan meliputi beberapa tahap :

- Persiapan serbuk.
- Serbuk dimasukan kedalam wadah yang ada pada bagian atas mesin, serbuk akan turun dengan sendirinya kedalam cetakan karena gaya gravitasi.
- Dilakukan penyetelan berat serbuk yang akan masuk kedalam cetakan, juga dilakukan penyetelan beban kompaksi.
- Proses kompaksi dilakukan dan didapatkan *green part*.

Gambar 4. Mesin kompaksi hidrolik 2 arah (skala 1 : 70)

3. Prosedur pelaksanaan proses *sinter* :

Alat yang digunakan untuk proses *sinter* adalah tungku *tube* untuk menghindari terjadinya oksidasi. Temperatur *sinter* ditentukan dengan menghitung temperatur *sinter* material baja tahan karat 316 L dengan rumus :

$$TS = T_l - (T_l - T_s) fs^2 \quad (1)$$

Dimana : TS = Temperatur sinter
 T_l = Temperatur liquid
 T_s = Temperatur solid
 fs^2 = fraksi solid

Tungku yang digunakan merupakan tungku *tube* dengan menggunakan dua buah *tube* yang dapat mengurangi terjadinya oksidasi pun dapat disetel menurut kebutuhan. Temperatur *sinter* yang digunakan untuk penelitian ini adalah 1.120 °C dan variasi waktu *sinter* dibagi dua yaitu : 140 menit dan 120 menit.

3.2. Tahap Uji Coba Pembuatan *Guide, Cam Chain*

1. Pengujian struktur mikro : dilakukan untuk mengetahui struktur mikro dari *stainless steel assintering* dan fasanya dengan pembesaran yang tinggi. Hal ini dilakukan dengan mempergunakan mikroskop Metalurgi. Larutan etsa yang dipergunakan adalah *Marble Reagent* yaitu 10 gram CuSO_4 , 50 ml HCL, 50 ml *aquades*. Ampelas yang dipergunakan adalah ampelas dengan ukuran 400 hingga 1500 *mesh* dan proses *polishing* menggunakan kain poles dan alumina.
Pembesaran gambar : (a) lensa objektif 20 x, (b) lensa okuler 5 x, (c) faktor kamera 1, (d) Pembesaran foto 12,5 x.
2. Pengujian kekerasan : menggunakan alat uji keras *Rockwell* skala B, alat uji keras ini memiliki indentor yang cukup besar yang berupa bola baja sehingga dapat mewakili harga kekerasan secara keseluruhan, karena material ujinya memiliki porositas. Indentornya adalah bola baja dengan ukuran diameter 1/16 inch. Untuk menguji kekerasan fasanya digunakan uji keras mikro *Vickers* karena dapat mengukur kekerasan fasa yang berukuran mikron meter.
3. Pengujian densiti dan porositi : Digunakan metode pengujian *ASTM B 328-73* untuk menentukan densiti dan porositi dari *structural parts* dan *bearings* hasil *sinter*.

a. Spesimen uji :

- Berat spesimen minimum harus 2 gram. Gabungan dari beberapa spesimen dapat digunakan untuk mencapai berat minimum.
- *Impregnasi*. Terdapat dua metode yang mungkin digunakan untuk mengimpregnasi spesimen uji untuk menentukan berat dari spesimen yang di *impregnasi* oli di udara (berat B) atau didalam air (berat C). Walau bagaimanapun metode *Vacuum* lebih disarankan.
- Rendam spesimen didalam oli kurang lebih 4 jam (viskositas kira-kira 200 SUS pada 100 °F (38 °C), tahan pada temperatur 180 ± 10 °F (82 ± 5 °C), kemudian didinginkan sampai temperatur ruangan dengan merendam dalam oli pada temperatur ruangan.

b. Prosedur :

- Menggunakan timbangan analitik, untuk mendapatkan berat diudara dari spesimen yang masih kering dan yang di *impregnasi* oli. Ini adalah berat A dan B, berat ini maupun yang berikutnya harus mendekati 0.001 gram.
- Pilih kawat halus, berdiameter kurang dari 0.01 inch (0.25 mm) untuk menggantungkan spesimen dalam gelas kimia yang berisi air destilasi ketika direndam dari gantungan pada timbangan. Gunakan *wetting agent* (sekitar 0.1 sampai 0.2 *weight %*) untuk mengurangi efek tegangan permukaan.
- Tahan gelas kimia berisi air diatas timbangan, menggunakan sebuah jembatan.

- Lilitkan kawat disekeliling spesimen dan rendam, hingga semua bagian spesimen terendam dalam air. Air harus menutupi spesimen setidaknya ¼ inch (6,4 mm) dan seluruh lilitan harus terendam. Pastikan tidak ada gelembung udara pada spesimen ataupun pada kawat.
- Berat spesimen dan kawat dalam air adalah berat C.
- Lepaskan spesimen dan rendam kawat dalam air, ini adalah berat E.
- Untuk menentukan *interconnected* porositi. Ukuran temperatur selama pengujian sampai seluruh temperatur didekatnya dan tentukan *specific gravity* dari impregnan ini adalah S.

c. Perhitungan :

- Perhitungan densiti dari *struktural part* adalah :

$$D = \frac{A}{B - C + E} \quad (2)$$

- Perhitungan densiti basah dari *bearings* yang di isi *impregnasi* penuh dengan pelumas adalah :

$$D = \frac{B}{B - C + E} \quad (3)$$

- Perhitungan *interconnected* porositi atau kandungan oli dengan volume adalah :

$$P = \frac{B - A}{(B - C + E) \times S} \times 100 \quad (4)$$

Dimana :

D = densiti, g/cm³

A = berat di udara tanpa impregnasi oli, g.

B = berat dari spesimen yang diimpregnasi oli, g.

C = berat dari spesimen yang di impregnasi oli dan kawat didalam air, g.

E = berat kawat didalam air, g.

P = interconnected porositi dengan volume, %.

S = *specific gravity* dari impregnan pada temperatur pengujian.

V. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1. Analisis Densiti

Pada gambar 5 dapat dilihat bahwa perbedaan nilai densiti tiap spesimen tidak jauh berbeda dari rata-rata densiti, berada disekitar densiti target yaitu 6,8 g/cm³. Dari hasil densiti yang didapatkan melebihi densiti spesimen target yaitu untuk sampel A1 (15 – 17 ton, 11.35 – 11.45 gram) = 6,93 g/cm³ dan untuk sampel A2 (13 – 14 ton, 11.00 – 11.09 gram) = 6,88, sampel A2 merupakan sampel yang memiliki densiti paling mendekati kedensiti target. Pada gambar 6 dapat dilihat bahwa densiti yang dihasilkan tidak jauh berbeda dengan densiti target, juga hasil densiti yang dihasilkan dari percobaan dapat melebihi densiti target, dan densiti yang paling mendekati densiti target adalah densiti spesimen A2 (13 – 14 ton, 11.00 – 11.09 gram) yaitu : 6,85 g/cm³. Dari gambar 5 dan gambar 6 dapat dilihat bahwa beban kompaksi dan berat serbuk yang dibutuhkan untuk menghasilkan densiti yang sesuai dengan target yaitu 6,8 g/cm³ adalah 13 – 14 ton dengan berat serbuk 11.00 – 11.09 gram.

Gambar 5. Grafik densiti pada waktu sinter 140 menit

Keterangan :

- 1 = A1 (15 – 17 ton, 11.35 – 11.45 gram)
- 2 = A2 (13 – 14 ton, 11.00 – 11.09 gram)
- 3 = A3 (9 – 10 ton, 10.67 – 10.75 gram)
- 4 = A4 (7 – 8 ton, 10.36 – 10.44 gram)
- 5 = target

5.1.1. Analisis Densiti Dari Segi Beban Kompaksi

Pada pengujian densiti dapat dilihat bahwa dengan semakin tingginya beban kompaksi maka makin tinggi pula densitinya hal ini terjadi karena semakin tinggi beban kompaksi maka kerapatan antar butir yang terbentuk akan semakin tinggi pula. Fenomena ini disebabkan karena semakin tinggi beban kompaksi maka jumlah partikel dalam satu sentimeter kubik akan semakin banyak, dengan semakin banyaknya jumlah partikel maka beratnyapun dalam satu sentimeter kubik akan semakin tinggi. Sehingga sehingga densiti akan bertambah naik.

Gambar 6. Grafik densiti pada waktu sinter 120 menit

5.1.2. Analisis Densiti Dari Segi Waktu Sintering

Pada pengujian densiti terdapat perbedaan antara produk yang disinter dengan waktu 140 menit dengan produk yang disinter 120 menit. Produk yang disinter dengan waktu 140 menit memiliki densiti yang lebih tinggi. Hal ini terjadi karena dengan semakin lamanya waktu maka distribusi temperatur pada saat sinter akan semakin homogen/merata, dan akan bertambah pada jumlah luas butir yang mengalami pembentukan leher akan semakin merata pula, seiring dengan semakin lamanya waktu pori akan berubah menjadi bulat sehingga porositi menjadi turun dan densiti akan naik.

5.2. Analisis Porositi

Pada gambar 7. terlihat bahwa perbedaan nilai porositi sangat signifikan antara setiap spesimen. Nilai porositi semakin membesar dengan semakin rendahnya beban kompaksi dan nilai porositi yang paling mendekati ke porositi target adalah spesimen A2 (13 – 14 ton, 11.00 – 11.09 gram) yaitu 6,2 %, dimana porositi spesimen target adalah 6,9 %. Pada gambar 4.4. terlihat nilai porositi yang dihasilkanpun berbeda sangat signifikan antara setiap spesimen. Hal ini disebabkan karena dengan menurunnya beban beban kompaksi

Gambar 7. Grafik porositi pada waktu sinter 140 menit

Keterangan :

- 1 = A1 (15 – 17 ton, 11.35 – 11.45 gram)
- 2 = A2 (13 – 14 ton, 11.00 – 11.09 gram)
- 3 = A3 (9 – 10 ton, 10.67 – 10.75 gram)
- 4 = A4 (7 – 8 ton, 10.36 – 10.44 gram)
- 5 = target

5.2.1. Analisis Porositi Dari Segi Beban Kompaksi

Pada pengujian porositi dapat dilihat dengan semakin tingginya beban kompaksi maka porositi akan semakin turun hal ini karena dengan beban kompaksi yang tinggi maka kerapatan butir akan semakin tinggi, sehingga jumlah porositi akan semakin kecil.

maka nilai porosita akan semakin membesar. Nilai porositi yang paling mendekati adalah porositi A2 yaitu 7,03 %. Dari gambar 7 dan gambar 8 dapat dilihat bahwa semakin tinggi beban kompaksi maka nilai porositi akan semakin rendah. Akan tetapi spesimen A3 (9 – 10 ton, 10.67 – 10.75 gram) dan A4 (7 – 8 ton, 10.36 – 10.44 gram) yang disinter dengan waktu 140 dan 120 menit terlihat bahwa semakin lama waktu sinternya nilai porositinya semakin besar.

Gambar 8. Grafik porositi pada waktu sinter 120 menit

5.2.2. Analisis Porositi Dari Segi Beban Kompaksi

Akan tetapi dengan jumlah beban kompaksi yang sama pada spesimen A3 (9-10 ton, 10.67 – 10.75 gram) dan A4 (7 – 8 ton, 10.36 – 10,44 gram) dapat dilihat bahwa semakin lama waktu sinternya maka jumlah porositi akan semakin tinggi, hal ini terjadi karena jika serbuk hasil kompaksi memiliki kepadatan yang rendah, dengan semakin lamanya waktu sinter, yang terjadi adalah pembesaran ukuran pori hal ini terjadi karena

energi yang dibutuhkan oleh serbuk untuk berikatan membentuk leher menjadi lebih tinggi akibat adanya jarak yang cukup jauh. Sehingga butir lebih cenderung membulat akibat adanya tegangan permukaan pada benda cair, hal ini juga dipengaruhi oleh bentuk butir yang *irregular*.

5.3. Analisis Hasil Pengujian Kekerasan

Pada gambar 9 terlihat bahwa perbedaan nilai kekerasan sangat signifikan antar spesimen. Kekerasan yang dihasilkan dari percobaan dengan waktu sinter 140 menit dapat melebihi kekerasan target yaitu pada spesimen A1 (15 – 17 ton, 11.35 – 11.45 gram) = 59 HRB dimana kekerasan target adalah 53 HRB, dan dari semua spesimen, spesimen A2 (13 –

14 ton, 11.00 – 11.09 gram) memiliki kekerasan yang paling mendekati yaitu = 52 HRB. Pada gambar 10 terlihat juga perbedaan nilai kekerasan yang sangat signifikan antar spesimen, nilai kekerasan maksimum yang dihasilkan oleh spesimen yang disinter dengan waktu 120 menit tidak melebihi nilai kekerasan spesimen target yaitu 51 HRB. Dari kekerasan yang dihasilkan dengan waktu sinter 120 menit tidak ada nilai kekerasan dari spesimen yang dapat mencapai nilai kekerasan target. Karena waktu sinter 120 menit tidak cukup untuk menghomogenkan temperatur sehingga ada jumlah partikel yang berikatan tidak mencukupi untuk mencapai kekerasan yang diinginkan.

Gambar 9. Grafik kekerasan pada waktu sinter 140 menit

Keterangan :

- 1 = A1 (15 – 17 ton, 11.35 – 11.45 gram)
- 2 = A2 (13 – 14 ton, 11.00 – 11.09 gram)
- 3 = A3 (9 – 10 ton, 10.67 – 10.75 gram)
- 4 = A4 (7 – 8 ton, 10.36 – 10.44 gram)
- 5 = target

Pada pengujian kekerasan dapat terlihat terjadinya peningkatan kekerasan dengan semakin tingginya beban kompaksi dan semakin lamanya waktu sinter. Kekerasan pada produk yang dibuat dengan metode metalurgi serbuk dipengaruhi oleh jumlah porositas dari produk tersebut sehingga jika jumlah porositas semakin tinggi maka harga kekerasan akan semakin rendah dan sebaliknya. Dengan

Gambar 10. Grafik kekerasan pada waktu sinter 120 menit

semakin lamanya waktu sinter maka kekerasan yang dihasilkan akan semakin tinggi hal ini disebabkan jumlah *contact point* dan pembentukan leher yang terjadi semakin banyak dan merata. Karena distribusi temperatur akan semakin merata dan homogen, hal ini akan menyebabkan material semakin padat dan jumlah porositas akan turun sehingga ketahanan material terhadap deformasi akan semakin tinggi.

5.4. Analisis Struktur Mikro

Pada pengujian struktur mikro (gambar 11 – 18) dapat terlihat terjadinya peningkatan jumlah porositas dengan dengan semakin rendahnya beban kompaksi karena kepadatan partikel serbuk semakin rendah. Dan pada produk yang memiliki kepadatan tinggi terlihat butiran-butiran serbuk menjadi berukuran besar hal ini karena jarak antar partikel serbuk menjadi lebih rapat sehingga pada temperatur 1.120 °C serbuk sudah terhomogenisasi sempurna dan pengikatan antar butir serbuk terjadi hampir sempurna dan partikel-partikel yang berukuran kecil akan berikatan membentuk partikel yang lebih besar. Pada pengujian inipun dapat dilihat bahwa produk asli memiliki matrik *austenite*, begitu pula hasil percobaan. Porositi dapat dilihat pada struktur

mikro yaitu berwarna hitam, porositi ini dapat ditentukan dengan mengatur fokus kita dapat menentukan apakah warna hitam itu merupakan porositi karena pada mikroskop terlihat jelas dan buram yang dipengaruhi oleh jarak. Pada struktur mikro spesimen yang disinter 140 menit dan yang disinter 120 menit tidak jauh berbeda. Pada spesimen yang dikompaksi dengan semakin tingginya beban kompaksi maka ukuran butir/partikel hasil sinter akan semakin besar, hal ini disebabkan dengan beban kompaksi yang tinggi maka partikel akan semakin padat, karena jarak antar partikel yang begitu dekat maka pada waktu disinter akan terjadi penyatuan partikel menjadi partikel yang lebih besar.

Gambar 11. Struktur mikro produk A1
(15 – 17 ton, 11.35 – 11.45 gram)
dengan waktu sinter 140 menit.

Gambar 15. Struktur mikro produk A1
(15 – 17 ton, 11.35 – 11.45 gram)
dengan waktu sinter 120 menit.

Gambar 12. Struktur mikro produk A2
(13 – 14 ton, 11.00 – 11.09 gram)
dengan waktu sinter 140 menit.

Gambar 16. Struktur mikro produk A2
(13 – 14 ton, 11.00 – 11.09 gram)
dengan waktu sinter 120 menit.

Gambar 13. Struktur mikro produk A3
(9 – 10 ton, 10.67 – 10.75 gram)
dengan waktu sinter 140 menit.

Gambar 17. Struktur mikro produk A3
(9 – 10 ton, 10.67 – 10.75 gram)
dengan waktu sinter 120 menit.

Gambar 14. Struktur mikro produk A4
(7 – 8 ton, 10.36 – 10.44 gram)
dengan waktu sinter 140 menit.

Gambar 18. Struktur mikro produk A4
(7 – 8 ton, 10.36 – 10.44 gram)
dengan waktu sinter 120 menit.

Pada struktur mikro target (gambar 19) terlihat butirnya memiliki fasa austenit dan memiliki porositas yang berwarna hitam, dengan adanya porositi ini maka dapat dipastikan bahwa material target dibuat dengan metode metalurgi serbuk, dari analisis besar butir dan bentuk struktur mikro jika dibandingkan dengan hasil percobaan maka struktur mikro yang paling mendekati adalah struktur mikro A2 (13 – 14 ton, 11.00 – 11.09 gram) yang disinter dengan waktu 140 menit.

Gambar 19. Struktur mikro produk asli.

5.4. Pemeriksaan Komposisi Kimia

Hasil pemeriksaan komposisi kimia menggunakan *X-Ray Energi dispersion analysis (EDAX)* terlihat pada gambar 20 dan tabel 3.

Gambar 20. Plot intensitas Vs Besar energi EDAX dari unsur base metal

Tabel 3. Hasil pemeriksaan komposisi kimia base metal (% berat)

Unsur	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Fe
Sampel	-	1.78	0.9	17.08	9.99	1.99	Bal
316L	0.03	2	1	16-18	10-14	2-3	Bal

Gambar 21. Struktur mikro base metal dengan menggunakan SEM

Gambar 20 terlihat bahwa kandungan unsur tertinggi adalah Fe, kemudian diikuti oleh krom dan nikel. Bila hasil pemeriksaan komposisi kimia dengan *Nickel Brand Name*, maka material tersebut mendekati ke jenis AISI 316L ⁽⁴⁾. Karena semua unsur-unsur yang terkandung dari hasil pemeriksaan masuk kepada spesifikasi unsur-unsur yang terkandung pada *alloy 316 L*.

Dari hasil pemeriksaan *EDAX* pada base metal, unsur karbon kurang dari 0,15 % tidak dapat terdeteksi. Hal ini terjadi karena spectrum energi atom karbon diluar *range detector X-ray*, sehingga unsur tersebut tidak dapat muncul ⁽⁵⁾. Dari tabel 1 terlihat adanya unsur Cr dan Mo yang dapat bereaksi dengan unsur karbon akan membentuk fasa-fasa karbida yang berfungsi meningkatkan kekuatan dan ketahanan panas ⁽⁶⁾. Kemudian unsur krom juga berfungsi untuk perlindungan permukaan membentuk lapisan *passive* Cr_2O_3 yang kedap dan akan menghasilkan ketahanan korosi ⁽⁷⁾.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

1. Dari hasil pengujian *density* di dapat bahwa rata-rata densiti berada disekitar target yaitu $6,8 \text{ g/cm}^3$. Dari hasil sinter dengan waktu 140 & 120 menit jika dibandingkan maka spesimen yang memiliki densiti paling mendekati densiti target adalah spesimen A2 dengan beban kompaksi 13 – 14 ton dan berat serbuk 11.00 – 11.09 gram. Dari kedua waktu sinter, spesimen A2 dengan waktu sinter 120 menit merupakan densiti yang paling mendekati densiti target.
2. Dari pengujian *porosity* terdapat perbedaan nilai porositi yang sangat signifikan antar spesimen, waktu sinter 140 menit dapat menghasilkan nilai *porosity* yang paling rendah yaitu 4,6 % dengan beban kompaksi 15 – 17 ton sedangkan dengan berat beban yang sama pada waktu sinter 120 menit dihasilkan nilai porositi lebih besar 7,4 %. Spesimen A2 (13 – 14 ton, 11.00 – 11.09 gram) dengan waktu sinter 120 menit adalah yang paling mendekati porositi target yaitu 7,03 %. Dimana porositi target = 6.9 %.
3. Dari seluruh harga kekerasan yang didapat baik dengan waktu sinter 140 menit dan waktu sinter 120 menit maka didapat bahwa spesimen A2 (13 – 14 ton, 11.00 – 11.09 gram) dengan waktu sinter 140 menit merupakan spesimen yang memiliki harga kekerasan yang paling mendekaati spesimen target yaitu : 52 HRB.
4. Dari analisa struktur mikro maka dapat dilihat semua spesimen memiliki fasa austenit dan memiliki porositi sama dengan spesimen target, dari bentuk struktur mikro dan besar butir /partikel serbuk dapat diketahui bahwa spesimen A2 (13 – 14 ton, 11.00 – 11.09 gram) dengan waktu sinter 140 menit merupakan spesimen yang memiliki bentuk dan besar butir yang paling mendekati spesimen target. Dari adanya porositi pada struktur mikro spesimen target maka dapat dipastikan bahwa target dibuat dengan metode metalurgi serbuk.
5. Untuk menghasilkan *bearing* yang memiliki mutu yang sama dengan *bearing* impor maka parameter proses A2 dapat digunakan yaitu : (a) beban kompaksi = 15 – 17 ton, (b) berat serbuk = 11,00 – 11,09 gram, (c) waktu sinter = 140 menit, (d) temperatur sinter = 1.120°C .

DAFTAR PUSTAKA

1. Mitra Sinterindo, "*Profil Company : Powder Metallurgy*", Jakarta, 2002.
2. Laboratoria Metallurgy, "*Diktat Metalurgi Serbuk*".
3. Djatnika S.D. Ir., Msc., "*Metalurgi Serbuk*".
4. American Society for Metals, "*Metal Handbook*" Ninth Edition, Volume 7 Powder Metallurgy.
5. M. German, Randall, "*Powder Metallurgy Science*".
6. American Society for Metal, "*Stainless Steel*".
7. M. German, Randall, "*Sintering Theory and Practice*".

^{*)} dan ^{**)} Peneliti pada BBLM Depperindag. Bandung.

^{***)} Peneliti pada AIST (NIRIN) Chubu – Jepang,