

Pengaruh Temperatur Sinter Terhadap Karakteristik Material Bearing Cu-Sn-Zn+C Grafit Produk Metalurgi Serbuk

Anne Zulfia¹⁾, Catur Isminarto¹⁾, I Nyoman Jujur²⁾ dan Jarot R²⁾

¹⁾Departemen Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok 16424

²⁾Pusat Pengkajian dan Pengembangan Teknologi Material (P3TM), BPPT,

Email : anne@metal.ui.ac.id

Abstrak

Dalam penelitian ini dilakukan pembuatan material bantalan perunggu Cu-Sn-Zn-C grafit (bronze bearing) dengan metode metalurgi serbuk mulai dari tahapan karakterisasi serbuk, pencampuran serbuk, kompaksi, sampai sintering (pemanasan). Tujuan khusus penelitian ini adalah untuk melihat pengaruh variabel temperatur sinter terhadap nilai kekerasan, keausan, densitas/porositas, kuat tekan, dan struktur mikro. Dari hasil penelitian diperoleh bahwa dengan meningkatnya temperatur sinter mulai dari 700°C, 750°C, sampai 800°C nilai kekerasan, densitas, ketahanan aus, dan kuat tekan semakin meningkat, sebaliknya nilai porositas semakin menurun. Sedangkan pada temperatur 825°C, 850°C, 875°C, sampai 900°C nilai kekerasan, densitas, ketahanan aus, dan kuat tekan mengalami penurunan. Sebaliknya, nilai porositas mengalami kenaikan. Hal ini karena pada temperatur mulai dari 825°C, 850°C, 875°C sampai 900°C terjadi difusi cepat dari Sn dan Zn ke Cu dan C grafit yang kemudian meninggalkan pori yang besar (swelling). Jadi, nilai sifat mekanik optimum terjadi pada temperatur 800°C dengan nilai kekerasan, keausan, densitas, porositas, dan kuat tekan adalah berturut-turut 52 BHN, $4,76 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{mm}$, $7,08 \text{ gr/cm}^3$, 18,23 %, dan 440 MPa.

Kata Kunci: Bearing perunggu Cu-Sn-Zn-C grafit, metalurgi serbuk, temperatur sinter

Abstract

The aim of this research is to make bronze bearing material of Cu-Sn-Zn+C graphite by powder metallurgy method start from powder characteristic, mixing, compaction, and sintering. Special purpose of this research is to investigate the effect of sintering temperature on characterization involved hardness, wear resistance, density/porosity, compressive strength, and microstructural analysis. It is found that increasing sintering temperature from 700°C, 750°C, to 800°C gave increasing on hardness, density, wear resistance, and compressive strength, while porosity is decreased. At temperature of 825°C, 850°C, 875°C, to 900°C the hardness, density, wear resistance, and compressive strength are decreased. On the contrary, porosity increased.. Finally, the optimum mechanical properties is obtained at temperature of 800°C where hardness, wear resistance, density, porosity, and compressive strength are maximum 1,e 52 BHN, $4,76 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{mm}$, $7,08 \text{ gr/cm}^3$, 18,23 %, and 440 MPa respectively

Key words: Bronze bearing Cu-Sn-Zn C graphite, powder metallurgy, sintering temperature

1. PENDAHULUAN

Proses metalurgi serbuk merupakan proses pembuatan produk dari serbuk logam mulai dari tahapan karakterisasi, pencampuran serbuk, kompaksi, hingga sintering (pemanasan)⁽¹⁾. Keunggulan proses ini dibandingkan dengan proses lainnya seperti pengecoran adalah kemampuannya untuk membuat komponen-komponen yang rumit dengan toleransi dimensi yang baik dengan kualitas yang tinggi, konsumsi energi yang rendah, serta penggunaan bahan baku yang efisien⁽²⁾.

Dalam penelitian ini, dilakukan proses pembuatan material bantalan (*bearing*) komersil antara BC_2 dan BC_3 untuk aplikasi material tahan aus dan tahan korosi. *Bearing* ini digunakan untuk membantu pergerakan komponen dengan gesekan sekecil mungkin.

Jenis bantalan (*bearing*) yang dibuat dalam penelitian ini merupakan jenis bantalan perunggu (*bronze bearing*) dengan menggunakan fraksi berat 88 % Cu, 9 % Sn, 3 % Zn, dan 1,5 % C grafit. *Bearing* perunggu berpori ini berfungsi sebagai tempat penyimpanan pelumas (*oil reservoir*) sehingga setelah *bearing* dimasukkan ke dalam pelumas, maka *bearing* tidak perlu diberikan pelumas kembali karena pelumas sudah ada di dalam pori-pori *bearing* tersebut.

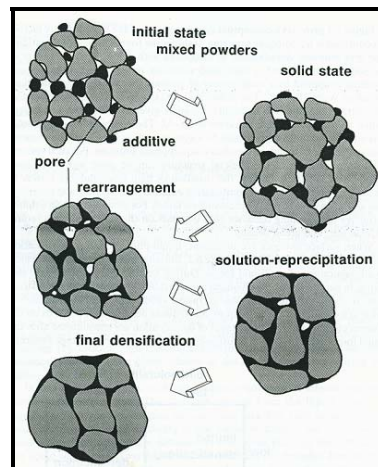
1.1. Bantalan Perunggu (*Bronze Bearing*)

Bantalan perunggu (90Cu-10Sn) memiliki ketahanan aus dan korosi yang baik, keuletan yang cukup, dan ketahanan pembebanan yang baik pula^(3,4). Material ini memiliki pori-pori kecil yang saling berhubungan dengan nilai pori antara 25-35% dari volume total⁽⁵⁾. Untuk aplikasi tertentu seperti alat-alat mesin, otomotif, pesawat terbang, dan konstruksi memiliki pori 10-35 % dari volume total⁽⁶⁾. Fungsi *bearing* adalah untuk membantu proses pergerakan komponen dengan gesekan sekecil mungkin. *Sintered self-lubricating bearing* memiliki pori-pori yang berfungsi sebagai tempat penyimpanan pelumas (*oil reservoir*).

1.2. Proses Metalurgi Serbuk

Proses metalurgi serbuk merupakan suatu proses pembuatan produk dari serbuk logam melalui beberapa tahapan mulai dari karakterisasi (ukuran dan distribusi ukuran serbuk, bentuk serbuk, serta komposisi kimia serbuk), mixing, kompaksi, hingga *sintering*⁽¹⁾.

Semua tahapan tersebut akan mempengaruhi sifat mekanik yang sangat erat hubungannya dengan struktur mikro metalurgi serbuk. Umumnya produk yang dikompaksi dilanjutkan dengan proses sinter untuk mengikat partikel menjadi susunan struktur yang koheren melalui mekanisme perpindahan massa yang terjadi dalam skala atomik. Ikatan ini berperan dalam meningkatkan kekuatan⁽⁸⁾. Sinter dilakukan pada temperatur tertentu dengan melibatkan fasa padat dan fasa cair⁽²⁾. Bantalan perunggu (*bronze bearing*) adalah salah satu contoh *liquid phase sintering*⁽³⁾ karena Sn mengalami peleburan pada 232°C.



Gambar 1. Tahapan *Liquid Phase Sintering*⁽⁸⁾

Tiga tahapan (**Gambar 1**) setelah fasa cair terbentuk adalah pengaturan kembali fasa cair (*rearrangement*), diikuti pengendapan ulang larutan (*solution-precipitation*) di mana terjadi

perpindahan massa, kemudian densifikasi akhir (*final densification*) di mana seluruh pori terisi oleh fasa cair dengan jumlah fasa cair setidaknya 26% volume cairan⁽⁸⁾.

Dengan meningkatnya temperatur sinter maka kecenderungan sifat mekanik bakalan yang telah disinter umumnya akan meningkatkan pula kekerasan, densitas, kekuatan, umur fatik, kekuatan impact, ketangguhan, keuletan, dan konduktivitas listrik⁽²⁾.

Untuk bearing perunggu 90Cu-10Sn dan grafit 1,5%, temperatur sinter yang digunakan yaitu antara 815-870 °C⁽⁴⁾.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Serbuk C, Sn dan Zn dengan ukuran partikel masing-masing 63µm, 63µm, and 43µm disupply dari Merck Ltd Germany digunakan sebagai material bantalan perunggu (*bronze bearing*) dan serbuk grafit dengan ukuran 50µm dicampur dalam blender selama 5 menit. Komposisi dari paduan adalah Cu:Sn:Zn is 88:9:3 dan grafit yang ditambahkan sebanyak 1.5 wt% terhadap berat total dari paduan Cu tersebut. Semua serbuk yang disiapkan dikompaksi dengan tekanan 200 bar selama 30 detik. Sebelum kompaksi cetakan ditambahkan 0,5% zinc stearat untuk meminimalkan friksi yang terjadi selama proses kompaksi.

Bakalan dengan berat masing-masing 10 gram disinter didalam dapur *Carbolite* pada suhu 700, 750, 800, 825, 850, 875, dan 900°C selama 5 menit, kemudian didinginkan dalam dapur sampai suhu ruang. Untuk mencegah thermal shock, kecepatan pemanasan diset pada kenaikan 10°C per menit dan ditahan 10 menit pada suhu 500°C.

Semua sample yang diperoleh kemudian diuji karakterisasi baik sifat mekanik maupun analisa mikrostruktur. Sifat mekanik meliputi uji densitas dan porositas (ASTM C20-92). Uji kekerasan Brinnel dengan beban 62.5 kg selama 10 detik dan diameter indenter 3 mm. Uji tekan dengan menggunakan mesin *Tarno Grocki* (kapasitas 200.000 N). Karena terbatasnya kapasitas maka pengujian dilakukan pada 25% deformasi. Uji aus dilakukan dengan menggunakan *Ogoshi wear testing machine*. Parameter pengujian adalah tebal revolving disc (B) 3.3mm, diameters revolving disc (r) 14.65 mm, berat 6.32 kg, jarak luncur (x) 66.6 m dan kecepatan 3.62 m/s. Kecepatan aus

(V/x) dihitung dengan:
$$\frac{V}{x} = \frac{Bb^3}{12rx}$$

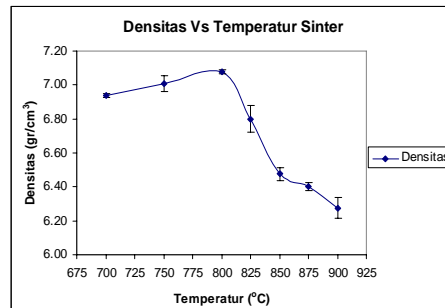
dimana b adalah lebar abrasive.

3. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengujian Densitas dan Porositas

Produk yang dibuat dari proses metalurgi serbuk dapat dikatakan produk yang baik apabila memiliki densitas yang tinggi dan memiliki nilai porositas yang rendah, karena hal tersebut berarti produk telah mengalami densifikasi yang baik sehingga sifat mekaniknya meningkat, namun, karena bantalan perunggu (*bronze bearing*) diaplikasikan untuk material berporous maka porous diperlukan sebagai tempat penyimpan pelumas untuk mengurangi gesekan antar komponen.

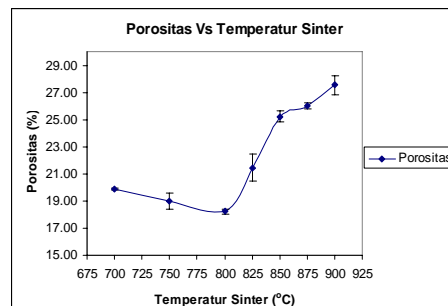
Menurut literatur⁽²⁾, semakin tinggi temperatur sinter maka kecenderungan sifat mekanik seperti densitas yang terjadi juga semakin meningkat. **Gambar 2**, terlihat suatu hubungan densitas terhadap temperatur sinter di mana nilai densitas meningkat sampai temperatur optimumnya (800°C) yaitu mulai dari 700°C (6,94 gr/cm³), 750°C (7,01 gr/cm³), hingga 800°C (7,08 gr/cm³). Hal ini karena pada saat *liquid phase sintering*, terjadi penataulangan (*rearrangement*) fasa cair Sn dan Zn yang mengisi pori di antara butir Cu atau C grafit serta terjadi perpindahan massa melalui *solid state diffusion* mulai dari titik kontak antar partikel, pertumbuhan leher, penyatuan serbuk sehingga densitas meningkat.



Gambar 2. Hubungan Densitas dengan Temperatur Sinter

Namun, nilai densitas mengalami penurunan yang cukup signifikan mulai dari temperatur 825°C (6,80 gr/cm³), 850°C (6,48 gr/cm³), 875°C (6,40 gr/cm³), hingga 900°C (6,27 gr/cm³). Menurunnya densitas karena terjadi difusi yang cepat dari Sn dan Zn ke Cu dan C grafit yang kemudian meninggalkan pori yang besar (*swelling*).

Jika dikaitkan dengan nilai porositas, nilai porositas memiliki hubungan berbanding terbalik dengan nilai densitasnya. Setiap kenaikan densitas diikuti dengan penurunan porositas. Berdasarkan literatur, Peningkatan temperatur akan mengurangi jumlah dan ukuran pori yang ada⁽⁹⁾. Dari **Gb. 3** hubungan porositas terhadap temperatur sinter menunjukkan bahwa nilai porositas mengalami penurunan yaitu mulai dari temperatur 700°C (19,90 %), 750°C (18,98 %), sampai 800°C (18,23 %). Hal ini terjadi karena terisinya pori antar butir Cu atau C grafit oleh fasa cair Sn dan Zn sehingga pori berkurang. Sebelum disinter, banyak pori tertutup oleh titik kontak antar partikel permukaan dan pori berkumpul di sekitar butir. Kemudian seiring dengan kenaikan temperatur sinter sampai 800°C, terjadi penataulangan (*rearrangement*) fasa cair Sn dan Zn mengisi pori di antara Cu atau C grafit sehingga pori berkurang.



Gambar 3 : Hubungan Porositas dengan Temperatur Sinter

Namun, nilai porositas mengalami kenaikan yang cukup signifikan mulai dari temperatur 825°C (21,46 %), 850°C (25,21 %), 875°C (26,02 %), hingga 900°C (27,52 %). Hal ini terjadi karena adanya difusi cepat dari Sn dan Zn ke Cu dan C grafit yang kemudian meninggalkan pori yang besar (*swelling*). Selain itu disebabkan juga pembasahan C grafit yang tidak sempurna oleh Sn dan Zn sehingga membentuk pori pada daerah C grafit. Sedangkan pada sinter 900°C, sebagian sampel mengalami penggelembungan (**Gb.4**). Hal ini karena Zn yang sudah mulai menguap pada temperatur 900°C sehingga meninggalkan pori yang besar pada bagian tengah sampel bila diampelas (titik didih Zn 906°C).



Gambar 4. Sampel Hasil Sinter 900°C

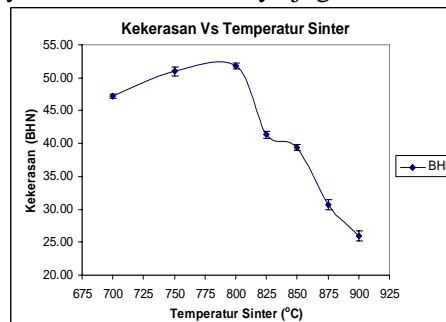
Berdasarkan standar ASM⁽⁵⁾, nilai porositas material bantalan perunggu 90Cu-10Sn dan 1,5 % C grafit adalah berkisar 25-35% dan referensi⁽⁶⁾ juga menyebutkan untuk aplikasi tertentu nilai porositas berkisar 10-35% Jadi material bantalan perunggu (*bronze bearing*) dengan nilai porositas yang didapat dalam penelitian ini masih berada dalam rentang nilai standar (kondisi aman) sebagai tempat penyimpan pelumas untuk aplikasi material tahan aus.

3.2. Pengujian Kekerasan

Menurut Literatur⁽²⁾ meningkatnya temperatur sinter kecenderungan sifat mekanik bakalan seperti kekerasan umumnya juga akan meningkat

Gambar 5 menyatakan hubungan kekerasan terhadap temperatur sinter di mana nilai kekerasan meningkat mulai dari temperatur 700°C (47 BHN), 750°C (51 BHN), sampai temperatur 800°C (52 BHN). Peningkatan nilai kekerasan ini terjadi karena adanya mekanisme *liquid phase sintering* melalui difusi atom di mana fasa cair Sn dan Zn mengisi pori di antara serbuk Cu atau C grafit sehingga pori berkurang kemudian membasahi batas butir Cu membentuk suatu ikatan yang kuat. Pada saat *liquid phase sintering*, terjadi juga perpindahan massa antar serbuk Cu atau C grafit melalui *solid state diffusion* sehingga densitas meningkat. Ikatan yang kuat dan meningkatnya densitas ini menyebabkan kekerasan juga semakin meningkat.

Nilai kekerasan mengalami penurunan yang cukup signifikan mulai dari temperatur 825°C (41 BHN), 850°C (39 BHN), 875°C (31 BHN), hingga 900°C (26 BHN). Hal ini karena pada temperatur yang tinggi mulai dari 825°C terjadi difusi yang cepat dari Sn dan Zn ke Cu dan C grafit yang kemudian meninggalkan pori yang besar (*swelling*) menyebabkan nilai kekerasannya menurun. Selain itu saat difusi cepat, ada pula grafit yang tidak terbasahi secara sempurna oleh Sn dan Zn sehingga membentuk suatu pori yang menyebabkan kekerasannya juga menurun.



Gambar 5 : Hubungan Kekerasan dengan temperatur sinter.

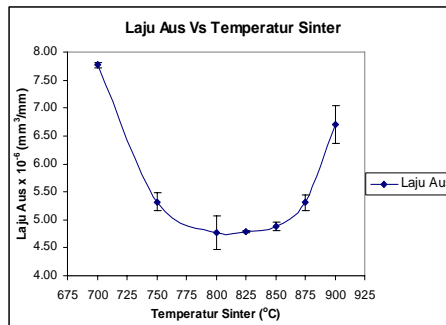
3.3. Pengujian Keausan

Pengujian keausan dilakukan untuk mengetahui pengaruh temperatur sinter terhadap ketahanan aus sampel dari beban gesek material yang lebih keras. Sebenarnya bila dikaitkan temperatur sinter terhadap nilai laju aus maka tidak ada korelasinya secara langsung, akan tetapi nilai laju aus berhubungan langsung dengan nilai kekerasan material. Menurut literatur⁽¹⁰⁾, semakin keras suatu material maka ketahanan ausnya semakin meningkat

Dari **Gb.6**, dapat terlihat suatu hubungan laju aus terhadap temperatur sinter di mana nilai laju aus menurun mulai dari temperatur 700°C ($7,76 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{mm}$), 750°C ($5,32 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{mm}$), sampai 800°C ($4,76 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{mm}$). Penurunan nilai laju aus sampai temperatur 800°C disebabkan oleh peningkatan kekerasan karena adanya ikatan yang kuat dan densitas yang meningkat akibat proses *liquid phase sintering* dan *solid state diffusion*.

Terjadinya kenaikan laju aus mulai dari temperatur 825°C ($4,78 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{mm}$), 850°C ($4,88 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{mm}$), 875°C ($5,30 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{mm}$), sampai pada temperatur 900°C ($6,70 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{mm}$)

disebabkan oleh penurunan nilai kekerasan akibat adanya pembesaran pori (*swelling*) dan tidak terbasahnya secara sempurna C grafit oleh Sn dan Zn.

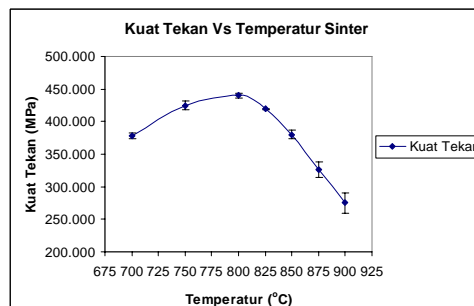


Gambar 6 : Hubungan Laju Aus dengan temperatur

3.4. Pengujian Kuat Tekan

Dengan semakin meningkatnya temperatur sinter maka sifat mekanik seperti kekuatannya juga cenderung semakin meningkat⁽²⁾. Hubungan temperatur sinter terhadap kuat tekan dimana nilai kuat tekan mengalami kenaikan sampai temperatur optimumnya (800°C) yaitu mulai dari temperatur 700°C (379 MPa), 750°C (425 MPa), sampai 800°C (440 MPa) terlihat pada **Gb. 7**. Hal ini terjadi karena adanya ikatan yang kuat, kenaikan densitas dan kenaikan kekerasan seiring dengan peningkatan temperatur sampai 800°C melalui *liquid phase sintering* dan perpindahan massa melalui *solid state diffusion* yang melibatkan difusi atom atau partikel.

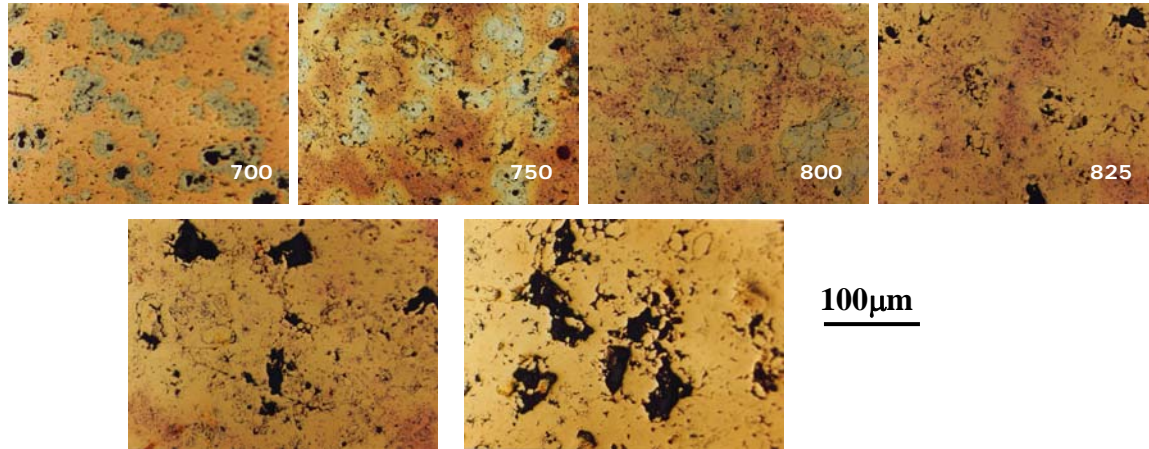
Pada temperatur 825°C (419 MPa), 850°C (380 MPa), 875°C (326 MPa), hingga 900°C (275 MPa) nilai kuat tekan mengalami penurunan yang cukup signifikan. Hal ini karena pada temperatur tersebut terjadi difusi yang cepat dari Sn dan Zn ke Cu dan C grafit yang kemudian meninggalkan pori yang besar (*swelling*) sehingga kekuatan menurun.



Gambar 7 : Hubungan Kuat Tekan dengan temperatur sinter

3.5. Pengamatan Struktur Mikro

Menurut literatur⁽⁹⁾, peningkatan temperatur sinter akan mengurangi jumlah dan ukuran pori. Analisa metalografi terlihat bahwa ukuran pori semakin kecil seiring dengan peningkatan temperatur mulai dari temperatur 700, 750 hingga 800°C (**Gb.8**). Hal ini menandakan adanya densifikasi yang diikuti dengan pengecilan pori karena terisinya pori oleh fasa cair sampai temperatur 800°C. Sedangkan pada temperatur 825, 850, 875 sampai 900°C ukuran pori terlihat semakin membesar karena adanya *swelling*. Walaupun sifat mekanik pada 825-900°C menurun, adanya pori sebenarnya juga menguntungkan sebagai tempat penyimpanan pelumas (*oil reservoir*) untuk aplikasi material tahan aus.



Gambar 8 : Mikrostruktur dari bantalan perunggu (Cu-Sn-Zn +C) setelah sinter dengan temperature sinter mulai 700 °C hingga 900 °C.

VI. KESIMPULAN

1. Kenaikan temperatur sinter hingga temperatur optimumnya 800°C akan menghasilkan kenaikan nilai kekerasan, ketahanan aus, kuat tekan, densitas, dan menurunkan porositas. Kemudian setelah melewati temperatur optimumnya 800°C nilai kekerasan, ketahanan aus, kuat tekan, densitas mengalami penurunan, sedangkan porositas meningkat.

DAFTAR PUSTAKA

1. Chandrawan, David dan Myrna Ariati. *Metalurgi Serbuk, Teori dan Aplikasi Jilid 1*. Depok. 1999. (Hal 5-67)
2. German, R.M. *Powder Metallurgy Science*. USA. 1984. Hal (2-192)
3. Metal Powder Industries Federation. *Powder Metallurgy Design Manual 2nd Edition*. Priceton USA.1995.(Hal74-76)
4. ASM Handbook Volume 2. *Properties and Selection : Nonferrous Alloy and Special-Purpose Materials*. USA : ASM International. 1990. (Hal 392-530)
5. ASM Handbook Volume 7. *Powder Metal Technologies and Applications*. USA : ASM International. (Hal 863, 1054)
6. www.sdp-si.com/herb/spk/sdp-si/D200/PDF/D200_T16.pdf
7. me.emu.edu.tr/majid/ME364/ME364_PM_process.PDF
8. German, Randall. M. *Sintering Theory and Practice*. New York : John Willey & Sons, Inc. 1996. (Hal 8-534)
9. Klar, Erhard. *Powder Metallurgy, Applications, Advantages, and Limitations*. Ohio : American Society for Metals. 1983. (Hal 9-33)
10. ASM Handbook Vol 18. *Friction, Lubrication, & Wear Technology* (708, 816)

