

Perbandingan Kekerasan dan Kekuatan Tekan Paduan Cu – Sn 6% Hasil Proses Metalurgi Serbuk dan Sand Casting

(The Comparison of Hardness and Compressive Strength of Cu-Sn 6 % Alloy by Powder Metallurgy and sand Casting Process)

TOTOK SUWANDA, MUH. BUDI NUR RAHMAN, DENY FAJRUR RAMDANI

ABSTRACT

Metal production by sand casting and powder metallurgy indicates the advantage of metal process technology. Bearing materials must have hardness and compressive strength properties to withstand wear and pressure load. Material porosity provides the space for lubricant. The lubrication will decrease the friction and keep temperature low. Low friction and low temperature will increase the life time of bearing. The goal of this research is to compare the hardness, compressive strength, macrostructure and microstructure between Cu-Sn 6% alloy produced by sand casting and by powder metallurgy. During sand casting process, the metal was melted in the furnace and then poured in to the sand mold, whilst in the powder metallurgy process; the metal powder was compacted in the metal mould and then heated to a temperature below its melting point (sintering process). In this research, the powder was compacted at 200 MPa and then sintered at 800° C for 45 minutes. The observation of the microstructure showed that the Cu-Sn 6% alloy produced by powder metallurgy possessed more porosity than produced by sand casting. The sand casting process produced the Cu-Sn 6% alloy with Brinell Hardness Number (BHN) of 47.97 kgf/mm² and compressive strength of 680.8 MPa. The powder metallurgy process produced the Cu-Sn 6% alloy with Brinell Hardness Number (BHN) of 27.08 kgf/mm² and compressive strength of 944.4 MPa.

Keywords: sand casting, powder metallurgy, porosity, hardness, compressive strength

PENDAHULUAN

Dengan majunya perkembangan dunia industri dewasa ini khususnya manufaktur, sebagai seorang *engineer* dituntut untuk dapat mengikuti dan mampu memberikan keilmuannya untuk menunjang perkembangan teknologi tersebut. Produksi logam dengan *sand casting* dan metode metalurgi serbuk merupakan contoh dari kemajuan teknologi pengolahan logam.

Produk hasil *sand casting* dapat langsung dipakai sebagai produk akhir, akan tetapi kebanyakan masih memerlukan proses lanjut seperti proses pemotongan, penyambungan, perlakuan fisis atau proses penyelesaian lainnya. Keuntungan pada *sand casting* adalah proses pembuatan yang relatif mudah dan

dapat menghasilkan produksi yang sangat banyak.

Metalurgi serbuk adalah bagian dari ilmu metalurgi yang menggunakan serbuk logam sebagai bahan dasar atau bahan utama tanpa melalui proses peleburan. Pada proses ini serbuk logam terlebih dahulu dipadatkan atau dikompaksi (*compacting*) sesuai dengan bentuk yang diinginkan. Kemudian dipanaskan (*sintering*) yang bertujuan untuk memperoleh ikatan padat dan kuat antar partikel. Pemanasan dilakukan di bawah titik lebur dari serbuk logam yang diproses tersebut. Energi yang digunakan dalam proses ini relatif rendah dan hasil akhirnya dapat langsung disesuaikan dengan dimensi yang diinginkan, sehingga mengurangi biaya permesinan dan bahan baku.

Produksi metalurgi serbuk banyak digunakan di industri terutama untuk komponen mesin

seperti bantalan dan roda gigi. Sifat fisik dari produk yang dibuat dengan metode metalurgi serbuk banyak tergantung dari proses pengerjaan dan karakteristik serbuknya. Oleh karena itu, kualitas produk akhir ditentukan oleh berbagai parameter proses seperti material awal yang digunakan, ukuran partikel serbuk, komposisi prosentase serbuk, tekanan kompaksi, suhu *sintering* dan lama waktu *sintering*.

Logam yang biasa dijadikan serbuk dalam proses metalurgi serbuk antara lain baja, aluminium dan tembaga. Bahan serbuk yang digunakan dalam penelitian ini adalah campuran antara serbuk tembaga (Cu) dan timah (Sn). Kedua logam tersebut memiliki karakteristik yang berbeda sehingga dapat dilakukan penggabungan dan pengamatan struktur makro, struktur mikro, pengujian kekerasan dan pengujian tekan pada setiap spesimen hasil dari proses metalurgi serbuk dan *sand casting*.

Pada umumnya produksi bantalan dilakukan dengan proses *sand casting*, namun dengan majunya teknologi pengolahan logam pembuatan bantalan dapat dilakukan dengan proses metalurgi serbuk. Akan tetapi sampai saat ini, belum diketahui hanya kekerasan dan kekuatan tekan yang paling baik dari hasil proses *sand casting* dan metalurgi serbuk. Oleh karena itu penelitian tentang perbandingan kekerasan, kekuatan tekan, dan porositas antara produk hasil pengecoran *sand casting* dan metalurgi serbuk dipandang penting untuk dilakukan.

Makalah ini bertujuan untuk membandingkan struktur makro, struktur mikro, nilai kekerasan dan kekuatan tekan paduan Cu-Sn 6% (*bronze*) hasil proses metalurgi serbuk dan *sand casting*.

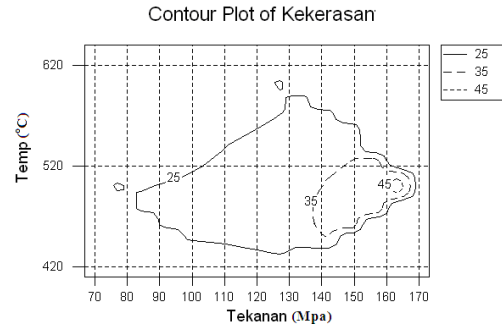
TINJAUAN PUSTAKA

1. Kajian Pustaka

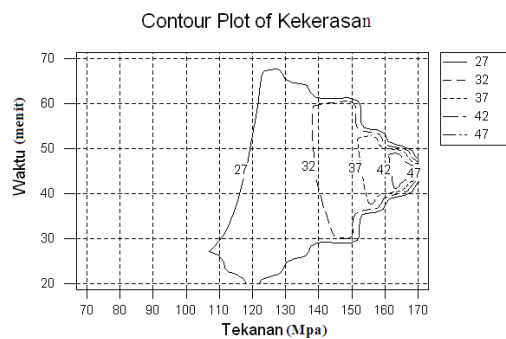
Seiring banyaknya produk-produk yang dihasilkan dari proses metalurgi serbuk dan proses *sand casting*, diharapkan hasil dari proses keduanya mampu menghasilkan produk yang berkualitas baik dengan biaya yang relatif murah.

Suwanda (2006) melakukan penelitian tentang optimasi tekanan kompaksi, temperatur sintering dan waktu sintering terhadap kekerasan. Pengaruh tekanan dan temperatur

sintering terhadap kekerasan dapat ditampilkan dalam grafik kontur pada Gambar 1.



GAMBAR 1. Kontur pengaruh temperatur sintering dan tekanan kompaksi terhadap kekerasan



GAMBAR 2. Kontur pengaruh waktu sintering dan tekanan kompaksi terhadap kekerasan.

Dari Gambar 1 terlihat bahwa kekerasan maksimum $H = 45$ BHN dapat diperoleh pada tekanan kompaksi sekitar 162 MPa dan temperatur sintering 500°C .

Pengaruh tekanan dan waktu sintering dapat dilihat pada Gambar 2. Dalam gambar tersebut terlihat bahwa kekerasan maksimum $H = 47$ BHN dapat diperoleh pada tekanan sekitar 170 MPa dan waktu sinter antara 40 hingga 50 menit. Berdasarkan kedua grafik pada Gambar 1 dan 2 maka dapat diperkirakan bahwa kekerasan maksimum aluminium pada penelitian ini dapat diperoleh pada tekanan kompaksi sekitar 170 MPa, temperatur sintering sekitar 500°C dan waktu sintering antara 40 menit hingga 50 menit dengan kekerasan Brinell 47.

Peningkatan suhu sintering menyebabkan berkurangnya jumlah porositas batas butir serbuk semakin sedikit. Hal ini menunjukkan bahwa dengan bertambahnya temperatur *sintering* menyebabkan ikatan partikel antar serbuk akan semakin kuat dan sempurna.

2. Pengujian Kekerasan Brinell

Kekerasan didefinisikan sebagai ketahanan bahan terhadap penetrasi logam. Pengujian kekerasan adalah salah satu dari banyak pengujian yang dipakai, karena dapat dilaksanakan pada benda uji kecil tanpa kesukaran mengenai spesifikasinya. Metode pengujian kekerasan yang digunakan adalah Brinell. Pada metode Brinell penetrator menggunakan bola baja atau karbida. Beban diberikan sedemikian rupa sehingga jika gaya penekanan dihilangkan maka pada benda kerja terdapat bekas penekanan. Pengujian kekerasan ini dilakukan pada beberapa titik untuk setiap benda uji. Setelah hasil atau nilai kekerasan dari setiap titik diketahui kemudian dihitung rata-ratanya. Nilai kekerasan atau *BHN* dari benda kerja dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut:

$$BHN = \frac{2P}{\pi \cdot D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \text{ (kg/mm}^2\text{)} \quad (1)$$

dengan:

- P = gaya penekanan (kg)
- D = diameter penetrator (mm)
- d = diameter bekas penekanan (mm)

3. Pengujian Kekuatan Tekan

Pada umumnya kekuatan tekan lebih tinggi dari kekuatan tarik sehingga pada perencanaan cukup mempergunakan kekuatan tarik. Tetapi kalau suatu komponen hanya menerima beban tekan saja dan dirancang berdasarkan kekuatan tarik kadang-kadang perhitungan menghasilkan dimensi yang berlebihan. Dalam hal tersebut pengujian tekan masih diperlukan. Setelah hasil atau nilai tekan dari setiap spesimen diketahui kemudian dihitung rata-ratanya. Beban diberikan sedemikian rupa dengan besar gaya penekanan diatur. Benda uji ditekan sampai mengalami retak. Nilai tekan dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\sigma_{db} = \frac{F_{dr}}{A_o} \quad (2)$$

dengan,

- σ_{db} = Kekuatan tekan (kg/mm²)
- F_{dr} = Gaya penekanan (kg)
- A_o = Luas penampang (mm²)

METODOLOGI PENELITIAN

1. Alat untuk Metalurgi Serbuk

- a. Cetakan
Cetakan yang digunakan terbuat dari baja EMS 45 yang berbentuk lingkaran.
- b. Timbangan
Untuk menentukan berat dari serbuk Cu dan serbuk Sn yang dipadukan. Ketelitian dari timbangan yang digunakan adalah 0.01 gram.
- c. Cawan keramik
Alat ini berfungsi sebagai pengaduk serbuk sebelum dilakukan proses kompaksi.
- d. Mesin kompaksi
Alat ini berfungsi untuk memadatkan serbuk Cu-Sn setelah penimbangan dan pencampuran.
- e. Dapur pemanas
Setelah dilakukan pemadatan, benda uji di masukkan ke dalam alat pemanas untuk memperoleh ikatan partikel yang kuat.
- f. Zoom Stereo Microscope
Alat ini digunakan untuk melihat struktur makro dari benda uji.
- g. Inverted Metallurgical Microscope
Alat ini digunakan untuk melihat struktur mikro.

2. Alat untuk sand casting

- a. Tungku pemanas
- b. Pasir untuk pembuatan cetakan.
- c. Sendok Pasir
- d. Saringan Pasir
- e. Penumbuk pasir
- f. Cawan lebur Kowi

3. Bahan

- a. Serbuk Cu – Sn
- b. Logam Cu – Sn
- c. Larutan Etsa (HNO₃)

4. Pembuatan Benda Uji Metalurgi Serbuk

Penimbangan dan pencampuran serbuk

Langkah pertama yang harus dilakukan adalah memasukkan serbuk Cu ke dalam cetakan. Kemudian serbuk Cu tersebut dikeluarkan dan ditimbang. Langkah ini bertujuan untuk mengetahui kapasitas cetakan dalam menampung serbuk. Untuk mengetahui berapa gram berat serbuk Sn yang harus dicampurkan ke dalam serbuk Cu dijelaskan dalam uraian berikut ini.

Misalnya :

Daya tampung cetakan untuk satu spesimen uji = A

Prosentase Sn yang akan dicampurkan = B %

Berat serbuk Sn = $B\% \times A = n_1$ (g)

Selanjutnya setelah proses penimbangan serbuk Sn selesai maka serbuk Cu seberat A gram dikurangi atau diambil seberat jumlah dari n_1 . Langkah terakhir adalah pencampuran dari serbuk Cu - Sn.

Pelaksanaan proses kompaksi

Pengerjaan awal proses kompaksi adalah dengan memberi pelumas pada cetakan yang bertujuan untuk memperkecil gesekan antara partikel serbuk dengan dinding cetakan dan memperpanjang umur pakai dari cetakan. Prosedur pelaksanaan kompaksi diuraikan sebagai berikut:

- a. Serbuk dimasukkan ke dalam cetakan.
- b. Cetakan diletakkan pada alat kompaksi, lalu turunkan bagian penekan pada alat dengan memutar bagian pengontrol tekanan.
- c. Setelah tekanan kompaksi mencapai tekanan yang diinginkan, penekanan harus langsung dihentikan .
- d. Pengepresan berakhir dan benda uji dikeluarkan dari cetakan.

Pelaksanaan proses sintering

- a. Benda uji dimasukkan ke dalam alat sinter.
- b. Menghidupkan alat sinter dan menset temperatur sesuai dengan yang diinginkan.
- c. Setelah mencapai temperatur yang diinginkan, benda uji dibiarkan selama beberapa saat.

- d. Setelah selesai keluarkan benda uji dari dalam dapur.

Proses sand casting

- a. Pembuatan pola

Langkah pembuatan pola ditunjukkan sebagai berikut:

- Membuat pola dengan bahan kayu,
- Menghaluskan pola dengan amplas,
- Memasang pola pada papan,

- b. Pembuatan cetakan.

Langkah pembuatan pola dijelaskan sebagai berikut:

- Menyiapkan pasir yang akan dipakai dengan menyaring,
- Mencampur pasir dengan air secukupnya,
- Menyiapkan pola dan rangka cetak,
- Memasukkan pola pada rangka cetak,
- Menimbun pola dengan pasir dan padatkan dengan penumbuk,
- Mengangkat pola dari cetakan dan biarkan cetakan agak mengering sebelum penuangan.

- c. Peleburan dan penuangan logam cair

- Mengambil logam tembaga dan timah yang akan dituang dan timbang sesuai dengan kebutuhan,
- Menyalakan tungku pemanas sampai mendapatkan panas yang cukup,
- Memasukkan bahan batang tembaga dan timah ke dalam cawan lebur (kowi),
- Membersihkan terak pada permukaan cairan dengan menggunakan kawat,
- Menuangkan paduan cair kedalam cetakan dan biarkan hingga coran membeku,
- Membongkar cetakan dan mengambil coran setelah dingin.

- d. Penyelesaian

Coran dikeluarkan dari dalam cetakan dengan cara merusak cetakan dan membersihkannya dari bagian-bagian yang tidak diinginkan. Ukuran coran disesuaikan dengan cara membut dan memotong sehingga

dimensinya menjadi berdiameter 15 mm dan panjang 5 mm.

5. Pengamatan dan Pengujian

Pengamatan struktur mikro dan makro

Pengamatan ini bertujuan untuk melihat bentuk dari serbuk yang dihasilkan dengan metode mekanik serta melihat porositas yang terdapat dalam susunan serbuk setelah mengalami proses kompaksi dan *sintering*. Sebelum dilakukan pengamatan ada beberapa langkah yang harus dilakukan yaitu :

- Pengamplasan permukaan benda uji yang bertujuan untuk menghaluskan permukaan yang akan diamati. Pengamplasan dilakukan dengan kertas amplas paling kasar sampai paling halus.
- Setelah pengamplasan dilanjutkan dengan pemolesan dengan autosol sampai benda uji bersih dari goresan.
- Pengetsaan dengan cairan etsa yang bertujuan untuk memperjelas permukaan benda uji ketika diamati dengan mikroskop.

Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan ini dilakukan pada beberapa titik untuk setiap benda uji. Setelah hasil atau nilai kekerasan dari setiap titik diketahui kemudian dihitung rata-ratanya. Metode pengujian kekerasan yang digunakan adalah Brinell.

Pada metode Brinell, penetrator menggunakan bola baja atau karbida. Diameter spesimen benda uji sebesar 15 mm. Beban yang digunakan sebesar $15,625 \text{ kg}_f/\text{mm}^2$ dan diameter penetrator 2,5 mm. Setelah dilakukan penekanan pada bagian permukaan spesimen kemudian dilanjutkan dengan mengukur diameter bekas penekanan.

Pengujian Tekan

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui nilai kekuatan tekan dari hasil proses metalurgi serbuk dan hasil *sand casting*. Beban diberikan sedemikian rupa dengan besar gaya penekanan diatur sampai benda uji mengalami retak, setelah benda uji retak pemberian tekanan dihentikan. Hasil atau

nilai tekan dari setiap spesimen diketahui kemudian dihitung rata-ratanya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

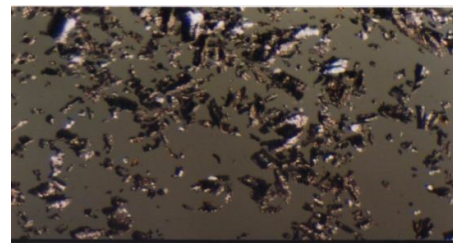
Penelitian dengan proses metalurgi serbuk ini menggunakan Cu sebagai logam utamanya dengan 6%Sn sebagai logam paduannya. Tekanan kompaksi yang digunakan adalah 200 Mpa, temperatur *sintering* 800 °C dan waktu 45 menit. Kapasitas cetakan yang digunakan untuk menampung serbuk sebanyak 6 gram. Setelah mengetahui daya tampung cetakan, maka berat dari Cu dengan 6% Sn yang telah ditentukan persentasenya dapat ditentukan. Adapun berat dari unsur Cu = 5,64 gram dan berat untuk unsur Sn = 0,36 gram

Penelitian dengan proses *sand casting* dibuat dari logam Cu sebagai logam utama dan Sn sebanyak 6% sebagai penguatnya. Coran dibuat dari logam yang dicairkan kemudian dituang dalam cetakan pasir dan dibiarkan membeku.

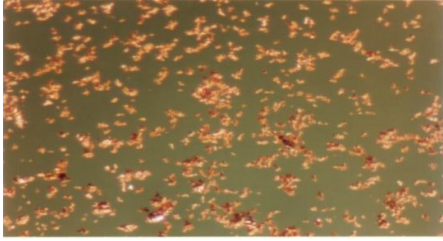
Proses *finishing* dilakukan dengan membuat spesimen uji dengan diameter 15 mm dan panjang 5 mm, menggunakan proses pembubutan dan pemotongan.

1. Pengamatan Struktur Makro

Pengamatan struktur makro bertujuan untuk melihat bentuk serbuk, ukuran serbuk, jenis serbuk dan pengamatan permukaan benda uji. Alat yang digunakan untuk pengamatan struktur makro adalah *Zoom Stereo Microscope* dengan perbesaran mulai dari 18X sampai maksimal 110X, sedangkan perbesaran yang digunakan untuk pengamatan kali ini adalah 50X. Bentuk serbuk Cu dan Sn dapat dilihat pada Gambar 3 dan 4.



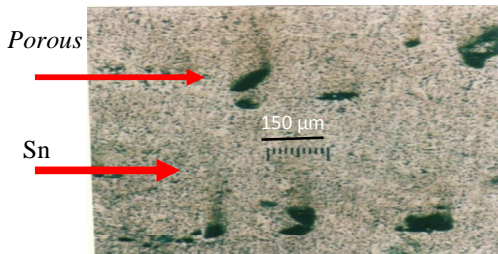
GAMBAR 3. Struktur makro serbuk Sn



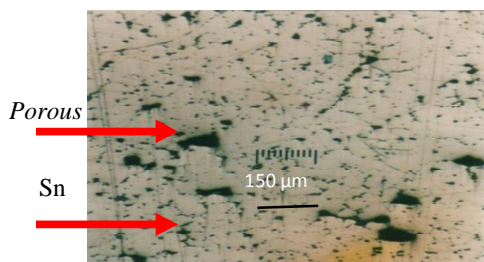
GAMBAR 4. Struktur makro serbuk Cu

Pada Gambar 3 di atas dapat dilihat bentuk dari serbuk Sn adalah berbentuk *flakes* (serpihan) dan *irregular* karena metode pembuatan serbuknya diperoleh dengan menggunakan metode mekanik yaitu dengan cara pengikiran. Bentuk serbuk Cu mempunyai bentuk serbuk yang sama yaitu *irregular*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4 di atas.

Gambar struktur makro untuk permukaan benda uji yang dibuat dengan proses metalurgi serbuk dan *sand casting* dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6.



GAMBAR 5. Struktur makro paduan Cu-Sn6% dengan metalurgi serbuk



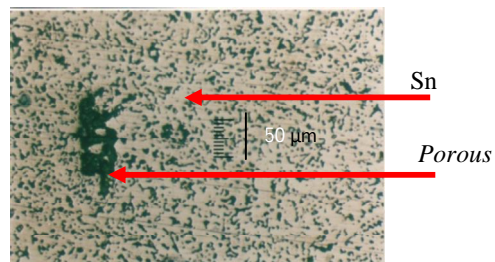
GAMBAR 6. Struktur makro paduan Cu-Sn6% dengan pengecoran

Melihat foto makro (Gambar 5 dan 6) di atas pada permukaan benda uji hasil pembuatan metalurgi serbuk terlihat adanya butiran Sn

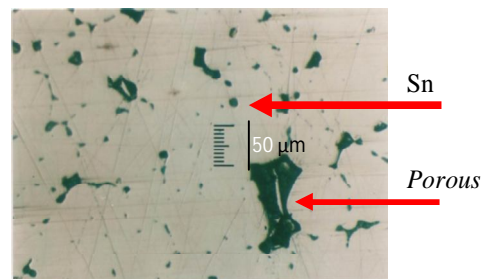
dengan susunan kurang rapi. Hal ini disebabkan karena bentuk serbuk yang tidak tentu dan terlihat juga pori-pori yang tersebar pada permukaan benda uji. Dalam struktur makro tersebut juga terlihat adanya celah atau rongga yang tidak terisi rata oleh serbuk Sn. Pada foto makro hasil pengecoran terlihat sedikit *porus* karena logam paduan melebur semua sehingga mengalami ikatan yang baik.

2. Pengamatan Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro pada produk *sand casting* dan metalurgi serbuk dilakukan setelah proses *sintering*. Pengamatan struktur mikro menunjukkan adanya batas butir, kerapatan partikel dan porositas yang terjadi pada benda uji. Alat yang digunakan dalam pengamatan struktur mikro adalah *Inverted Metallurgical Microscope* dengan perbesaran mulai 50X sampai 2500X, sedangkan pada pengamatan struktur mikro ini menggunakan perbesaran 200X. Hasil foto struktur mikro dapat dilihat pada Gambar 7 dan 8.



GAMBAR 7. Struktur mikro paduan Cu-Sn6% dengan proses metalurgi serbuk



GAMBAR 8. Struktur mikro paduan Cu-Sn6% dengan proses metalurgi serbuk

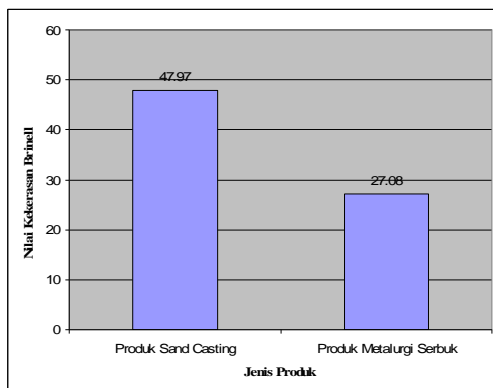
Gambar 7 dan gambar 8 terlihat adanya warna hitam yang tersebar rata pada benda uji yang

disebut dengan porositas. Rongga antara butiran Cu dan Sn terjadi karena beberapa faktor antara lain tekanan kompaksi yang kurang optimum dan temperatur *sintering* yang kurang tinggi. Temperatur *sintering* Cu pada 800 °C sedangkan titik lebur dari Cu adalah 1083 °C. Dengan demikian pada temperatur 800⁰ C memungkinkan ikatan antara serbuk Cu dan Sn belum maksimal. Faktor lain yang memungkinkan terjadinya rongga adalah bentuk serbuk yang tidak teratur sehingga mengurangi bidang kontak partikel.

Dalam Gambar 8, produk *sand casting* terlihat mempunyai pori-pori sangat sedikit karena paduan sudah mencair sehingga dapat disimpulkan bahwa paduan sudah terjadi ikatan antar partikel.

3. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan pada masing-masing benda uji dilakukan sebanyak tiga titik secara acak. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 9.



GAMBAR 9. Perbandingan kekerasan Brinell (BHN) antara produk *sand casting* dan produk metalurgi serbuk

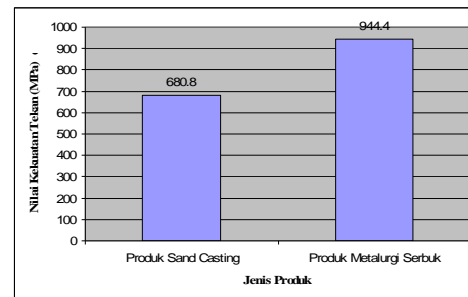
Gambar 9 di atas menunjukkan bahwa rata-rata kekerasan produk *sand casting* sebesar 47,97 BHN, lebih besar dibandingkan dengan produk metalurgi serbuk yaitu sebesar 27,08 BHN. Hal ini terjadi karena pada produk *sand casting* merupakan paduan mikroskopis mempunyai sedikit porositas karena telah mencair sebelum dicetak.

Pada produk metalurgi serbuk masih banyak rongga yang disebabkan karena bentuk serbuk yang berupa *flake* dan *irregular*. Selain itu tekanan kompaksi dan temperatur sintering

yang belum maksimal menyebabkan ikatan antar partikel belum kuat.

4. Pengujian Tekan

Hasil pengujian tekan paduan logam Cu-Sn 6 % dengan metode Pengecoran dan metalurgi serbuk dapat ditunjukkan pada Gambar 10.



GAMBAR 10. Perbandingan kekuatan tekan (MPa) antara produk *sand casting* dan produk metalurgi serbuk

Dari pengujian kekuatan tekan dapat diketahui perbedaan kemampuan menahan tekanan antara produk pengecoran dan metalurgi serbuk. Produk hasil pengecoran memiliki kekuatan tekan rata-rata 680,8 MPa lebih rendah dari pada produk hasil dari metalurgi serbuk 944,4 MPa. Hal ini disebabkan karena pada produk metalurgi serbuk mempunyai batas butir yang sangat banyak sehingga membutuhkan banyak energi untuk dapat menghancurkan spesimen uji.

Bantalan dalam pemakaian membutuhkan sifat yang tahan panas dan tahan terhadap keausan. Pada produk hasil metalurgi serbuk mempunyai kekuatan tekan yang tinggi dan pori-pori yang sangat banyak, porositas itu dapat dimanfaatkan sebagai tempat menyimpan pelumas pada bantalan. Selama pemakaian bantalan akan mengeluarkan pelumas (*self lubricating porous bearing*) untuk mengurangi gesekan sehingga temperatur pada permukaan bantalan tidak akan naik. Bantalan tidak berjalan panas membuat umur pemakaian bantalan lebih lama. Hasil proses metalurgi serbuk dapat diaplikasikan pada pembuatan *micro bearing* yang digunakan pada peralatan elektronik. Produk hasil proses *casting* mempunyai kekuatan tekan yang lebih rendah dan porositas yang sedikit. Bantalan produk *casting* dapat digunakan pada komponen-komponen mesin tetapi masih perlu diberikan

pelumasan karena produk hasil *casting* tidak mampu menyimpan pelumas sendiri.

KESIMPULAN

Hasil penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Hasil pengamatan struktur mikro dapat diketahui produk metalurgi serbuk memiliki porositas yang lebih banyak, sedangkan produk *sand casting* mempunyai sedikit porositas.
2. Hasil pengamatan struktur makro dapat diketahui bentuk serbuk tembaga dan timah adalah *irregular*.
3. Hasil pengujian kekerasan menunjukkan spesimen dengan proses *sand casting* memiliki kekerasan lebih tinggi dari (47,97 BHN) sedangkan dengan proses metalurgi serbuk (27,08 BHN). Setelah diuji statistik terdapat perbedaan pada sebesar 5 %.
4. Hasil pengujian tekan menunjukkan spesimen dengan proses *sand casting* memiliki kekuatan tekan (680,8 MPa) lebih rendah dari pada produk hasil proses metalurgi serbuk (944,4 MPa).

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada TPSDP DIKTI yang telah mendanai penelitian ini melalui Program *Student Grant*.

DAFTAR PUSTAKA

- Suwanda, T. (2006). Optimalisasi tekanan kompaksi, temperatur dan waktu sintering terhadap kekerasan dan berat jenis aluminium pada proses pencetakan dengan metalurgi serbuk. *Jurnal Ilmiah Semesta Teknik*, 9(2), 187-197.

PENULIS:

Totok Suwanda[✉], Muh. Budi Nur Rahman, Deny Fajrur Ramdani

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Jalan Lingkar Selatan, Bantul 55183, Yogyakarta, Indonesia.

[✉]Email: t_suwanda@yahoo.com

Diskusi untuk makalah ini dibuka sehingga 1 Oktober 2009 dan akan diterbitkan pada jurnal edisi November 2009.