

Pengembangan *Metallic foam* sebagai bahan dasar *Self lubricated bearing* dengan menggunakan bahan campuran CuZnC dengan *space holder* Tepung Jagung

Metallic Foam development as the basic material for *Self lubricated bearings* using a mixture of CuZnC with a Corn Starch *Space holder*

Sunjaya¹

Dr. Ir. Muki Satya Permana, MT²

Dr. Ir. Djoko Hadi Paryitno³

1. Magister Teknik Mesin, Universitas Pasundan, Bandung
2. Magister Teknik Mesin, Universitas Pasundan, Bandung
3. Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Bandung

Abstract

The use of powder metallurgy in the automotive field began with the use of self-lubricated bearings through a sintering process in 1920 to 1930. Currently, the development of powder metallurgy is directed at the manufacture of metallic foam or porous metals. This research will develop Brass Powder (CuZn) which is mixed with graphite which is expected to increase the lubrication effect. Space holders are used to help form porosity in metallic foam, which in this study used corn flour. The alloy powder will be mixed and milled, compacted at a pressure of 100 kgf/cm² and 110 kgf/cm², sintered at a maximum temperature of 9000C with initial holding at 2000C for 1 hour and final holding at 9000C for 1 hour. Hardness testing was carried out to determine the strength of the specimen, microstructure test to determine the porosity that was formed. This study concluded that compaction pressure and sintering time had a major effect on the porosity formed

Keyword : Powder Metallurgy, Metallic Foam, Space Holder, CuZnC, Corn Starch, Porosity

1. Pendahuluan

Self lubricated bearing adalah salah satu aplikasi komponen logam berpori. *Bearing* jenis ini tidak membutuhkan pelumas eksternal pada pengoperasiannya. [1] Material yang umum digunakan pada pembuatan *Self lubricated bearing* ini dapat berupa logam maupun non logam.

Menurut Yilmaz [2] *Self lubricated bearing*, harus diproduksi dengan menggunakan metode metalurgi serbuk (*Powder metallurgy*). Pembuatan *Self lubricated bearing* yang sudah umum dilakukan adalah dengan *insert graphite*, yaitu

dengan cara melubangi *bearing* untuk diisi *graphite* yang berbentuk silinder kecil dengan jumlah dan pola tertentu. Hal ini dilakukan dalam upaya *graphite* yang dimasukkan akan mencegah *metal to metal contact* yang terjadi pada saat pengoperasian *bearing*.

Pada penelitian ini akan dikembangkan *Self lubricated bearing* berbahan dasar Cu-Zn-C dengan *space holder* tepung jagung (*Corn Starch*). Tepung jagung sebagai bahan pembantu pembentuk pori-pori akan dicampurkan dengan Cu-Zn-C pada proses pencampuran (*mixing*), penekanan (kompaksi) dan peleburan (*sintering*), sehingga akan

menghasilkan *metallic foam*. Proses ini diharapkan dapat menghemat waktu dan biaya pembuatan. Inilah yang membedakan dengan penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya.

T. Futami [3] dan tim melakukan penelitian yang membuktikan bahwa melakukan peleburan Cu dengan *graphite* dalam bentuk *powder* menghasilkan material yang tahan gores, dimana ketahanan gores ini berbanding lurus dengan kekerasannya. Fakta lain menunjukkan bahwa penambahan *graphite* pada proses pencampuran dapat membentuk efek pelumasan sinergis padat-cair, yang memiliki peningkatan efektif pada sifat pelumasan. [4]

Self lubricated bearing yang berbahan dasar grafit dan tembaga lebih hemat biaya daripada yang berbahan dasar perak, emas, atau platinum. [5] Cu pada *bearing* ini dipadukan dengan *graphite* sebagai material *self lubricated* sehingga tidak mengandung timbal yang membahayakan bagi lingkungan.

Space holder adalah sebuah metode untuk meningkatkan porositas dari *metallic foam*. Porositas yang tinggi akan tercapai dari pengaturan tekanan kompaksi yang rendah dan volume bahan *space holder* yang tinggi. [6] Dalam penelitian ini *space holder* yang akan digunakan adalah tepung jagung. Tepung jagung memiliki kandungan karbohidrat yang tinggi, dimana porositas dapat diatur dengan mengatur ukuran butir yang sesuai. [7]

2. Perumusan Masalah

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan *metallic foam* sebagai bahan

dasar dari *Self lubricated bearing*. Secara khusus tujuan penelitian ini adalah memadukan CuZnC dengan variasi *graphite* dan variasi *space holder* tepung jagung sebagai bahan dasar dari *metallic foam*.

Bearing merupakan komponen mesin yang bersinggungan terus menerus dengan suatu poros, sehingga setelah penggunaan yang lama akan mengalami keausan. Pencampuran CuZnC dengan *space holder* tepung jagung pada proses pembentukan *metallic foam* sebagai bahan dasar *Self lubricated bearing* diharapkan akan menghasilkan material baru yang lebih tahan aus sehingga usia pakai material lebih tahan lama dibandingkan *Self lubricated bearing* yang sudah ada.

3. Tinjauan Pustaka

Perkembangan teori pelumasan hidrodinamik bantalan berpori bukanlah hal baru. Pada tahun 1957 Morgan dan Cameron pertama kali melakukan survei analitik tentang studi bantalan berpori dengan bantuan kondisi hidrodinamik. [8] Material dasar pembuatan bantalan pun sudah mengalami pengembangan yang sangat pesat.

Material *self lubricated* didefinisikan sebagai bahan yang mampu meluncur pada permukaan logam yang membantu pada beban dan kecepatan tinggi dengan tidak adanya pelumas tanpa mengalami kerusakan yang parah. [9] *Bearing* jenis ini tidak memerlukan pelumas eksternal pada pengoperasiannya [1]

Material yang umum digunakan pada pembuatan *Self lubricated bearing* ini antara lain dapat berupa logam maupun non logam.

Material logam diantaranya *copper*, aluminium *alloy*, dan perunggu. Sedangkan material non logam diantaranya *graphite*, *polyethylene*, dan *teflon*. Karena temperatur leleh yang sangat tinggi dari beberapa logam, *Self lubricated bearing* dan *super alloy* harus diproduksi dengan menggunakan metode metalurgi serbuk (*Powder metallurgy*). [2] Penggunaan *Powder metallurgy* pada bidang otomotif dimulai dengan penggunaan *Self lubricated bearing* melalui proses sintering pada tahun 1920 dan 1930. [10]

Metallic foam (logam dengan porositas tinggi) telah dikembangkan dan banyak digunakan sebagai bahan rekayasa baru. Material ini memiliki sifat kombinasi yang unik, kemampuan menyerap energi benturan yang tinggi, permeabilitas udara dan air, konduktivitas termal rendah dan sifat isolasi listrik yang baik. [11] Penggunaan material ini dalam bidang teknologi antara lain sebagai komponen peredam kejut, alat filterisasi debu dan cairan, knalpot pada mesin kendaraan, dan lainnya.

Metode yang digunakan untuk menghasilkan *metallic foam*, diantaranya adalah; casting, *metallic deposition*, *powder metallurgy* dan *sputter deposition*. Dalam penelitian ini *metallic foam* yang dihasilkan akan menggunakan metode sintering *powder metallurgy*.

Teknik pembentukan *metallic foam* dengan sintering *powder metallurgy* mengingatkan kita pada awal peradaban manusia, dimana hampir setiap bahan logam atau keramik awalnya dibuat melalui bentuk bubuk. Secara umum diterima bahwa untuk dikategorikan sebagai bubuk, butiran padat

harus memiliki ukuran partikel di bawah sekitar 1 mm (1000 μm). [12]

Aplikasi modern sintering dalam teknologi material tersebar luas: mulai dari baja struktural, bantalan berpelumas mandiri, komponen filter yang terbuat dari logam berpori, produksi teknologi serbuk bagian baja struktural, bantalan pelumasan sendiri, logam berpori untuk penyaringan, kabel tungsten untuk filamen lampu, bahan magnetik lunak dan keras, kontak listrik, dan sebagainya.

Pada penelitian ini akan dikembangkan material paduan dari tembaga (*copper*) dengan seng (*zinc*) menghasilkan suatu logam yang dikenal dengan nama kuningan (*brass*). Kuningan ini akan dicampurkan dengan *graphite (carbon)* sebagai bahan dari *metallic foam*, dimana material-material tersebut akan berbentuk serbuk (*powder*).

Graphite micrograin dapat melebur dengan tembaga melalui proses impregnasi. [13] Campuran tembaga dengan *graphite* memiliki keunggulan dalam hal konduktivitas termal, ketahanan korosi dan *self lubrication*, dan banyak digunakan di bidang pekerjaan yang melibatkan gesekan, bantalan oli, dan lain-lain. [14]

Metode *powder metallurgy* dengan menggunakan *space holder* diperkenalkan pertama kali oleh Martin Bram [15] dalam penelitiannya pada tahun 2000. Penelitian selanjutnya oleh A.M Parvanian [16] pada tahun 2013 menyebutkan bahwa dalam proses *powder metallurgy* dilakukan dalam beberapa tahapan; proses *mixing* serbuk logam dengan *space holder*; proses kompaksi; menghilangkan residu dari bahan *space holder*; dan terakhir adalah proses *sintering*.

Proses penghilangan material *space holder* ini dapat dilakukan dengan berbagai macam cara antara lain; elektrokimia, mengatur temperatur sintering dan pelarutan menggunakan air pada suhu ruangan.

4. Material

Penelitian ini menggunakan serbuk kuningan yang di campur dengan serbuk grafit (provide by BRIN) sebagai bahan dasarnya. Serbuk kuningan pada 89,5 wt.% dan 68,5 wt.%, sedangkan untuk serbuk grafit pada 0,5 wt.% dan 1,5 wt.%. Untuk proses pembentukan porositas ditambahkan bahan *space holder* berupa tepung jagung dengan komposisi 10 wt.% dan 30 wt.%.

5. Metodologi Penelitian

Pengujian PSA (*Particle Size Analyzer*)

Homogenitas ukuran butir dari serbuk kuningan (CuZn), *graphite* dan tepung jagung (corn starch) diharapkan akan membantu mempermudah proses *bonding* antar serbuka pada saat dilakukan proses *sintering*.

Penelitian-penelitian yang sudah dilakukan menunjukkan bahwa pada proses alloying ukuran butir dari material berkisar antara 10 – 30 *micron*.

| Nomor Lab. | Sample ID | Ukuran Terbesar | D 10% | D 50% | D 90% | Ukuran Terbanyak |
|------------|-----------------|-----------------|-------|-------|-------|------------------|
| | | (µm) | | | | |
| 9169/22 | Serbuk Kuningan | 948.3 | 19.15 | 99.33 | 291.3 | 161.2 |
| 9170/22 | Serbuk Grafit | 76.43 | 3.934 | 18.88 | 43.27 | 18.86 |
| 9171/22 | Tepung Jagung | 33.01 | 1.259 | 12.63 | 20.71 | 15.65 |

Gambar 1 ukuran butir sebelum milling

Hasil pengujian awal PSA menunjukkan ukuran butir yang hampir sama pada *graphite* dan tepung jagung, tetapi ukuran butir yang jauh berbeda pada serbuk kuningan.

Penyeragaman ukuran butir dari serbuk kuningan dengan *graphite* dan tepung jagung dilakukan melalui proses *milling* dengan menggunakan *Planetary Ball Mill*. Proses *milling* dilakukan pada putaran 35 Hz selama 1 jam menggunakan *ball mill* berukuran diameter 5 dan 10 mm, sehingga menghasilkan ukuran lebih kecil dari sebelumnya, secara lengkap ditunjukkan pada gambar 2.

| Nomor Lab. | Sample ID | Ukuran Terbesar | D 10% | D 50% | D 90% | Ukuran Terbanyak |
|------------|-----------------|-----------------|-------|-------|-------|------------------|
| | | (µm) | | | | |
| 0641/2023 | Serbuk Kuningan | 111.0 | 2.082 | 16.25 | 64.85 | 27.39 |

Gambar 2 ukuran butir sesudah milling

Serbuk kuningan, *graphite* dan tepung jagung dipadukan dengan menggunakan alat yang sama pada saat proses *milling* yaitu *Planetary Ball Mill*, pada putaran 35 Hz selama 2 jam. Serbuk paduan sebanyak 2 gram kemudian dimasukkan kedalam mesin *dies and punch* dengan penekanan sebesar 100 kgf/cm² dan 110 kgf/cm². Kompaksi ini akan menghasilkan pellet dengan diameter 16 mm dan tebal 6 mm.

Proses akhir adalah *sintering* pada temperatur maksimal 900°C dengan *holding time* pertama pada temperature 200°C dan pada temperature 900°C masing-masing selama 1 jam. Secara lengkap proses paduan bisa dilihat pada table 1.

| CuZn (gr) | C (gr) | Corn Starch (gr) | Mill ing | Kompa ksi | Sinteri ng |
|-----------|----------|------------------|----------|---------------------|------------|
| 1,79 | 0,01 | 0,20 | 30 | 100 | 200°C |
| 89,5 wt.% | 0,5 wt.% | 10 wt.% | Hz | kgf/cm ² | – |
| 1,37 | 0,03 | 0,60 | 2 | 2 | 900°C |
| 68,5 wt.% | 1,5 wt.% | 30 wt.% | Jam | 110 | Holdin g |
| | | | | kgf/cm ² | g 1 jam |

Tabel 1 proses pembentukan metallic foam

6. Pembahasan

Hasil proses sintering menunjukkan pada komposisi serbuk paduan dengan menggunakan 30 wt.% tepung jagung pada saat temperature mencapai 200°C dan *holding* selama 1 jam, specimen mengalami pembengkakan sehingga terjadi keretakan. Hal ini berdampak pada kekuatan specimen, dimana specimen menjadi bersifat getas. Sehingga untuk proses pengujian selanjutnya hanya diujikan pada serbuk dengan paduan 10 wt.% tepung jagung. Keretakan dan perubahan sifat dari specimen ini juga terjadi pada saat penelitian dikembangkan pada serbuk dengan paduan 20 wt.%.

Pengujian Vickers Microhardness

Hasil pengujian kekerasan dengan menggunakan metode *Vickers* menunjukan rata-rata kekerasan dari specimen sebesar 20 HV.

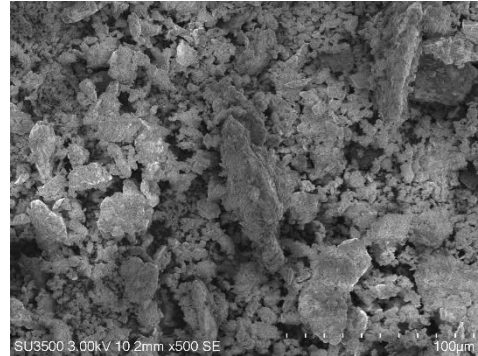
| UJI KEKERASAN MIKRO VICKERS | | | | | |
|---|-----------------|-------|-------|-------|----|
| Foto Benda Uji : | Hasil Pengujian | | | | |
|  | No. | d1 | d2 | d Avg | HV |
| | 1 | 381,0 | 370,0 | 375,5 | 26 |
| | 2 | 419,0 | 412,0 | 415,5 | 21 |
| | 3 | 454,0 | 463,0 | 458,5 | 18 |
| | 4 | 469,0 | 471,0 | 470,0 | 17 |
| | 5 | 454,0 | 456,0 | 455,0 | 18 |
| Avg HV | | | | | 20 |

Gambar 3

Pengujian Mikrostruktur

Pengujian mikrostruktur diujikan pada serbuk paduan CuZnC – tepung jagung dengan menggunakan uji SEM. Pengujian in bertujuan untuk melihat bentuk dan ukuran dari butiran paduan. Hasil pengujian menunjukkan terjadi perubahan yang signifikan dari ukuran butir

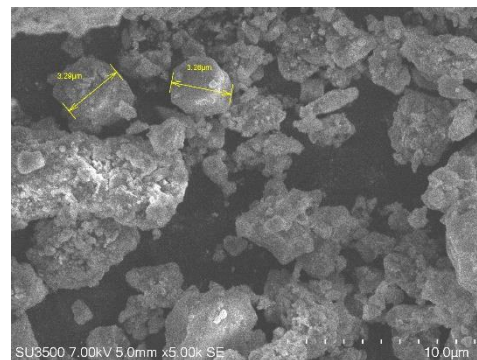
serbuk paduan, hal ini dapat terjadi karena pada saat *mixing* dan *milling* proses yang terjadi sekaligus memperkecil ukuran butir dari serbuk paduan.



Gambar 4

Butiran berbentuk kurva dengan didominasi kurva yang berbentuk hampir bulat sempurna sedangkan sisanya berbentuk silinder dengan ujung tumpul. Bentuk butiran yang demikian diharapkan mampu untuk menghasilkan *bonding* yang baik antar butirannya.

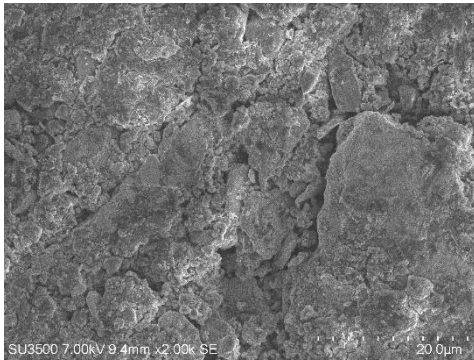
Ukuran butir dari sebelum dilakukan *mixing* dan *milling* menjadi lebih kecil dari ukuran sebelumnya ukuran, hal ini diharapkan mampu menghasilkan porositas yang teratur pada hasil specimen.



Gambar 5

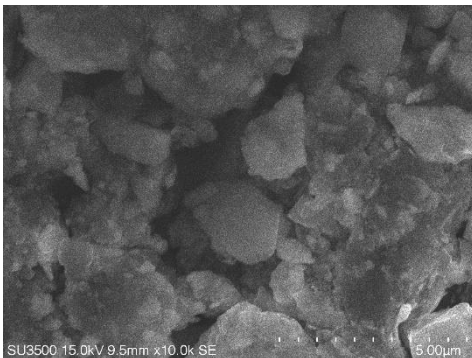
Pengujian SEM berikutnya diujikan pada specimen yang telah dilakukan proses sintering sebagai proses akhir. Gambar 6 memperlihatkan terjadinya *bonding* antar

butiran sebagai hasil sintering pada temperature mencapai 900°C.



Gambar 6

Hasil pengujian SEM berikutnya memperlihatkan porositas yang terbentuk akibat dari beberapa proses sebelumnya. Porositas yang terbentuk pada specimen akan membantu untuk melepaskan panas saat terjadinya gesekan antar logam.



Perhitungan Porositas

Porositas adalah ukuran yang digunakan untuk menjelaskan kekosongan ruang yang ada dalam specimen, porositas dapat dihitung secara teori menggunakan persamaan dan variabel-variabel yang ada.

Porositas dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$Porosity (Pt) = 1 - \frac{Bulk Density (Pb)}{Particle Density (Pd)}$$

$$Particle Density (Pd) = \frac{Mass of Sample}{Volume of Sample}$$

$$Bulk Density (Pb) = \frac{Mass of Sample}{Volume of Sample}$$

Dari persamaan di atas nilai porositas yang dihasilkan dari specimen penelitian ini sebesar 20.13%. Besaran nilai porositas ini dimungkinkan terpengaruh dari tekanan kompaksi dan waktu sintering.

7. Kesimpulan

Penelitian ini menghasilkan beberapa kesimpulan, yaitu :

- Paduan serbuk yang dapat menghasilkan specimen yang tidak mengalami keretakan adalah pada paduan 30 wt.% tepung jagung.
- Nilai kekerasan terkecil yang diperoleh dari penelitian ini adalah 18 HV dan nilai terbesar 26 HV
- Porositas yang terbentuk sebesar 20,13%

8. Saran

Prosentase penggunaan *space holder* tepung jagung tidak boleh lebih dari 10 wt.%, karena akan mengakibatkan keretakan. Besarnya tekanan kompaksi akan mempengaruhi kerapatan dan *bonding* yang terbentuk, sehingga kenaikan tekanan kompaksi perlu dilakukan pada penelitian sejenis.

9. Daftar Pustaka

- [1] Naduvinamani, N. and S.S Hosmani (2018). Porous exponential slider bearings

- lubricated with MHD-couple stress fluid. Industrial lubrication and Tribology
- [2] SS. Yilmaz, Bekir Sadik and Remzi Varol. (2010) Effect of boronizing and shot peening in ferrous based FeCu–Graphite powder metallurgy material on wear, microstructure and mechanical properties. Celal Bayar University
- [3] T. Futami, M. Ohira, H. Muto, and M. Sakai. (2009) Contact/scratch-induced surface deformation and damage of copper–graphite particulate composites. Toyohashi University of Technology
- [4] Junde Guo, Hang Du, Geng Zhang, Yan Cao, Junwen Shi and Wei Cao. (2020) Fabrication and tribological behavior of Fe-Cu-Ni-Sn-Graphite porous oil-bearing self-lubricating composite layer for maintenance free sliding component. Xi'an Technological University
- [5] R. Kumar and T.S. Sudarshan. (2016) Self-Lubricating Composites: Graphite-Copper. Advanced Performance Material
- [6] Shamsul Baharin Jamaludin, Chong Xin Yi, Alida Abdullah, and Kamarudin Hussin. (2013) Effect of Space Holder and Compaction Pressure on the Porosity of Sintered Copper. Universiti Malaysia Perlis
- [7] N. Michailidis, F. Stergioudi, A. Tsouknidas, and E. Pavlidouc. (2010) Compressive response of Al-foams produced via a powder sintering process based on a leachable space-holder material. Aristotle University of Thessaloniki
- [8] N.M. Bujurke, N.B. Naduvinamani and S.S. Benchalli. (2005) Secant-shaped porous slider bearing lubricated with couplestress fluids. Karnatak University
- [9] Evans, D. and G. Senior (1982). "Self-lubricating materials for plain bearings." *TRIBOLOGY international* 15(5): 243-248.
- [10] P. Ramakrishnan. (2013) Automotive applications of powder metallurgy. Indian Institute of Technology
- [11] Oleg D Neikov, and N. A. Yefimov (2009). Handbook of Non-Ferrous Metal Powders: Technologies and Applications
- [12] J.J. Dunkley. (2013) Advances in atomisation techniques for the formation of metal powders. Atomising Systems Ltd, UK
- [13] S Kalpakjian, and S Schmid. (2006) Manufacturing, engineering and technology SI 6th edition
- [14] Hailin Lu, Pengpeng Zhang, Shanshan Ren, Junde Guo, Xing Li, and Guangneng Dong. (2017) The preparation of polytrifluorochloroethylene (PCTFE) micro-particles and application on treating bearing steel surfaces to improve the lubrication effect for copper-graphite (Cu/C). Xi'an Jiaotong University
- [15] M. Bram, C. Stiller, H. P. Buchkremer, D. Stöver, and H. Baur. (2000) High-Porosity Titanium, Stainless Steel, and Superalloy Parts. Advanced Engineering Materials.
- [16] A.M. Parvanyan, M. Saadatfar, M. Panjepour, A. Kingston, and A.P. Sheppard. (2013) The effects of manufacturing parameters on geometrical and mechanical properties of copper foams produced by space holder

technique. Isfahan University of
Technology