

PENGEMBANGAN METODE PEMBUATAN ELEKTRODA TEMBAGA – KARBON DENGAN METALURGI SERBUK

Ahmad Junaidi¹, Amin Suhadi²

Department of Mechanical Engineering Pancasila University
Jl. Borobudur No. 7, Jakarta Pusat, 10320, Indonesia¹⁾
Peneliti Pada Balai Besar Teknologi Kekuatan Struktur, BPPT
Kawasan PUSPIPEK, Serpong, Tangerang 15314²⁾
Email: aminsuhadi@gmail.com

Naskah diterima 1 Agustus 2013; direvisi 20 Agustus 2013; disetujui terbit 29 Agustus 2013

Abstract

Copper or carbon as a single element is widely known as good material for Electric Discharge Machine (EDM) electrode because copper and carbon have good heat resistance, good stability on electrical conductivity and high strength on high temperature. Nevertheless, the wear resistance of electrode made of either copper or carbon is low. Generally, production of electrode is formed by casting and followed by rolling process, but it is difficult to add other elements to increase its wear resistance. To improve the characteristics of the electrodes new method of forming is introduced in this research by powder metallurgy method. Powder metallurgy is enable to combine carbon and copper powder to form solid electrode with high wear resistance. This research was conducted by varying compaction load and sintering temperature on material with chemical composition of 95%Cu and 5%C. Each specimen was measured its density, hardness, melting temperature and electrical conductivity after sintering. Experimental result show that by increasing compaction load and sintering temperature the density, hardness and the strength is increased. As a result wear resistance of the electrode is also increased. Finally the life time of the electrode is also longer.

Keyword: electrode, powder, compaction, sintering, copper, carbon

METHOD DEVELOPMENT ON COPPER-CARBON ELECTRODE PRODUCTION BY POWDER METALLURGY

Abstrak

Tembaga atau karbon sebagai elemen tunggal sudah dikenal sebagai bahan baku yang bagus untuk elektroda EDM (Electric Discharge Machine) karena tembaga dan karbon mempunyai ketahanan panas yang baik, konduktivitas listrik yang stabil dan kekuatan tarik yang tinggi pada suhu tinggi. Namun elektroda yang dibuat dari kedua material ini mempunyai ketahanan aus rendah. Pada umumnya pembuatan elektroda dibentuk dengan cara pengecoran kemudian diikuti dengan pencanaan, namun sulit untuk menambahkan elemen untuk meningkatkan ketahanan ausnya. Pada penelitian ini untuk meningkatkan karakteristik dari elektroda telah dikembangkan metoda pembentukannya dengan cara metalurgi serbuk. Dengan metalurgi serbuk, memungkinkan mencampur serbuk karbon dengan tembaga untuk membentuk elektroda padat dengan ketahanan aus yang tinggi. Pada penelitian ini telah dilakukan proses pembuatan benda uji elektroda dengan membuat variasi beban kompaksi dan suhu sintering pada material yang mempunyai komposisi kimia 95%Cu dan 5%C. Masing masing benda uji diukur berat jenisnya, kekerasan dan suhu lelehnya serta konduktivitas listrik setelah sintering. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan meningkatnya beban

kompaksi dan suhu sintering, densitas, kekerasan dan kekuatannya meningkat sehingga ketahanan ausnya juga meningkat. Akhirnya umur operasinya juga meningkat.

Kata kunci : elektroda, serbuk, kompaksi, sintering, tembaga, karbon

1. PENDAHULUAN

Mesin *Electric Discharge Machine* (EDM) adalah mesin yang digunakan untuk memotong logam dengan cara menguapkan bagian logam yg dipotong dengan pijaran listrik (*spark discharge*) yang ditimbulkan oleh elektroda yang diberi aliran listrik dan didekatkan ke logam yang bersangkutan. Berbagai jenis material digunakan sebagai elektroda, salah satunya yang paling banyak digunakan adalah tembaga murni. Tembaga sebagai elektroda memiliki keuntungan lebih dibandingkan karbon, karena bentuk keausan ketika digunakan (*discharge-dressing*) lebih baik. Elektroda ini setelah digunakan untuk memotong satu benda kerja, sesudahnya dapat digunakan lagi untuk proses pengerjaan *finishing* atau digunakan untuk mengerjakan benda kerja yang lain. Elektroda tembaga mempunyai densitas yaitu $8,96 \text{ gr/cm}^3$, titik leleh $1084,62^\circ\text{C}$ dan kekerasan brinell 874 Mpa , tahanan listrik (20°C) $16,78 \text{ n}\Omega \cdot \text{m}$, konduktivitas panas (300°K) $401 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$.

Pada mesin EDM Pemotongan dilakukan di dalam cairan dielektrik, cairan dielektrik ini digunakan sebagai pendingin dan sekaligus pembersih tatal dari permukaan benda kerja. Jarak antara benda kerja dan alat iris ditahan tetap. Dengan mesin EDM, toleransi ketepatan pemotongan sangat tinggi, yaitu antara $0,005$, sampai $0,125 \text{ mm}$, tetapi ketelitian ini sangat dipengaruhi oleh keausan elektroda, sedangkan keausan elektroda ini tergantung pada titik lebur keduanya, yaitu benda kerja dan elektroda. Titik cair tembaga sekitar 1084°C , sedangkan temperatur percikan api pada celah elektroda dan benda kerja mencapai 3800°C . Titik lebur tembaga yang rendah menyebabkan keausan yang sangat tinggi dibandingkan dengan bagian benda kerja yang bisa dihilangkan. Karena itu perlu dicari material atau paduan material yang secara menyatu mempunyai titik leleh tinggi sehingga ketahanan ausnya meningkat.

Permasalahan yang timbul pada elektroda yang menggunakan metode pembuatan dengan cara yang biasa dilakukan sekarang adalah:

- Cepat aus karena titik leleh yang rendah
- Dengan metode pembuatan yang sudah dilakukan tidak memungkinkan untuk menambahkan elemen lain untuk meningkatkan ketahanan aus

Saat ini belum ada teknologi pembuatan elektroda tembaga maupun karbon yang dibuat dengan cara metalurgi serbuk, karena itu tujuan dari penelitian ini adalah untuk memperbaiki ketahanan aus dari elektroda sehingga bermanfaat untuk meningkatkan masa pakai dari elektroda dan pada akhirnya dapat mengurangi kerugian waktu dan biaya produksi pengerjaan dengan mesin EDM.

Metalurgi serbuk merupakan salah satu teknik produksi dengan menggunakan serbuk sebagai material awal sebelum proses pembentukan. Prinsip ini adalah memadatkan serbuk logam menjadi bentuk yang diinginkan dan kemudian memanaskannya di bawah temperatur leleh. Sehingga partikel-partikel logam memadu karena mekanisme transportasi massa akibat difusi atom antar permukaan partikel. Metode metalurgi serbuk memberikan kontrol yang teliti terhadap komposisi dan penggunaan campuran yang tidak dapat difabrikasi dengan proses lain. Kualitas material ditentukan oleh cetakan dan penyelesaian akhir (*finishing touch*).

Proses metalurgi serbuk adalah merupakan proses pembuatan produk dengan menggunakan bahan dasar dalam bentuk serbuk yang kemudian di sinter yaitu proses konsolidasi serbuk pada temperatur tinggi yang di dalamnya termasuk juga proses penekanan atau kompaksi. Kualitas produk sangat dipengaruhi kehomogenan komponen penyusun bahan melalui proses pencampuran atau yang juga biasa disebut sebagai proses kalsinasi. Pencampuran dapat dilakukan dengan proses kering (*dry mixing*) dan proses basah (*wet mixing*). Cara pencampuran basah (*wet mixing*) adalah cara yang lebih banyak dipakai yaitu dengan menggunakan pelarut organik untuk mengurangi pengaruh atmosfer yang menyebabkan terjadinya proses oksidasi. Penekanan adalah salah satu cara untuk memadatkan serbuk menjadi bentuk yang diinginkan. Terdapat beberapa metode penekanan, diantaranya, penekanan dingin (*cold compaction*) dan penekanan panas (*hot compaction*). Penekanan terhadap serbuk dilakukan agar serbuk dapat menempel satu dengan lainnya sebelum ditingkatkan ikatannya dengan proses *sintering*. Dalam proses pembuatan suatu paduan dengan metode

metalurgi serbuk, terikatnya serbuk sebagai akibat adanya *interlocking* antar permukaan, interaksi adesi-koheisi, dan difusi antar permukaan. Difusi dapat terjadi pada saat dilakukan proses *sintering*. *Sintering* adalah salah satu tahapan metodologi yang sangat penting dalam ilmu bahan, terutama untuk bahan keramik. Selama *sintering* terdapat dua fenomena utama yaitu : pertama adalah penyusutan (*shrinkage*) yaitu proses eliminasi porositas dan yang kedua adalah pertumbuhan butiran. Fenomena yang pertama dominan selama pemadatan belum mencapai kejenuhan, sedang kedua akan dominan setelah pemadatan mencapai kejenuhan. Parameter *sintering* diantaranya adalah : temperatur, waktu penahanan, kecepatan pendinginan, kecepatan pemanasan dan atmosfer. *Sintering* biasanya digunakan pada sampel pada temperatur tinggi. Dalam terminologi teknik istilah *sintering* digunakan untuk menyatakan fenomena yang terjadi pada produk bahan padat dibuat dari serbuk, baik logam/non logam. Sebuah kumpulan partikel dengan ukuran yang tepat dipanaskan sampai suhu antara $\frac{1}{2}$ dan $\frac{3}{4}$ titik leleh, ini dalam orde menit selama perlakuan ini partikel-partikel bergabung bersama-sama.

Pada dasarnya bahan atau material mempunyai beberapa sifat yang diklasifikasikan menjadi sifat mekanik (kekuatan, keuletan, kekerasan, ketangguhan, mulur dan kelelahan), sifat fisik (densitas) dan sifat kimia (komposisi, korosi). Kerapatan (densitas) merupakan salah satu sifat fisis dari zat padat, cair maupun gas. Secara umum, densitas didefinisikan sebagai perbandingan antara massa (m) dibagi dengan volume (v). Densitas teoritis dapat dihitung menggunakan persamaan *rule of mixture*.

$$\rho_c = \rho_m \cdot v_{fm} + \rho_p \cdot v_{fv} \quad (1)$$

$$v_{fm} = \frac{\frac{m_{Cu}}{\rho_{Cu}}}{\frac{m_{Cu}}{\rho_{Cu}} + \frac{m_C}{\rho_C}} \quad (2)$$

$$v_{fv} = \frac{\frac{m_C}{\rho_C}}{\frac{m_{Cu}}{\rho_{Cu}} + \frac{m_C}{\rho_C}} \quad (3)$$

Formula untuk menghitung densitas dan porositas ditunjukkan pada persamaan (4).

$$Densitas = \frac{m_{udara}}{(m_{udara} - m_{air})} \times \rho_{air} \quad (4)$$

Angka Kekerasan Brinell (HB) didefinisikan sebagai hasil bagi (Koefisien) dari beban uji (F) dalam Newton yang dikalikan dengan angka faktor 0,102 dan luas permukaan bekas luka tekan (injakan) bola baja (A) dalam milimeter persegi. Indentor (Bola baja) biasanya telah dikeraskan dan diplating ataupun terbuat dari bahan Karbida Tungsten. Jika diameter Indentor 10 mm maka beban yang digunakan (pada mesin uji) adalah 3000 N sedang jika diameter Indentornya 5 mm maka beban yang digunakan (pada mesin uji) adalah 750 N dan diameter indentor 2.5 mm beban yang digunakan adalah 625 N. Untuk semua jenis baja lama pengujian adalah 15 detik sedang untuk material bukan besi lama pengujian adalah 30 detik.

Persamaan untuk nilai kekerasa Brinell adalah :

$$HB = \frac{2F}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})} (kg/mm^2) \quad (5)$$

Bahan yang paling banyak digunakan untuk konduktor adalah tembaga (Cu) karena mempunyai sifat konduktivitas listrik yang tinggi. Ukuran penampang konduktor menentukan besarnya arus yang diijinkan melewati konduktor tersebut. Kapasitas arus maksimum yang diijinkan melewati suatu jenis konduktor disebut *capacity*, yang merupakan gabungan kata 'ampere' dan 'capacity'.

$$R = \rho \frac{L}{A} (\Omega) \quad (6)$$

$$\rho = \frac{R \cdot A}{L} (\Omega mm) \quad (7)$$

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \left(\frac{1}{\Omega mm} \right) \quad (8)$$

Pengujian keausan dapat dilakukan dengan berbagai macam metode dan teknik, yang semuanya bertujuan untuk mensimulasikan kondisi keausan aktual. Salah satunya adalah dengan metode Ogoshi dimana benda uji memperoleh beban gesek dari cincin yang berputar (*revolving disc*). Pembebanan gesek ini akan menghasilkan kontak antar permukaan yang berulang-ulang yang pada akhirnya akan mengambil sebagian material pada permukaan benda uji. Besarnya jejak permukaan dari material tergesek itulah yang dijadikan dasar penentuan tingkat keausan pada material. Semakin besar dan dalam jejak keausan maka semakin tinggi volume material yang terlepas dari benda uji.

Volume loss dapat dihitung dengan persamaan berikut :

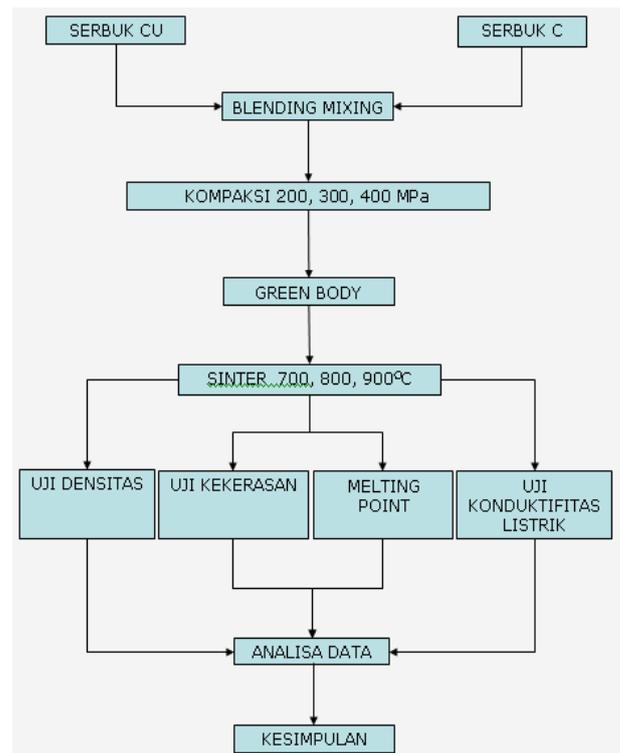
$$Volume (mm^3) = \frac{massa\ loss (gr)}{density \left[\frac{gr}{cm^3} \right]} \times 1000$$

Laju keausan dihitung dengan persamaan berikut :

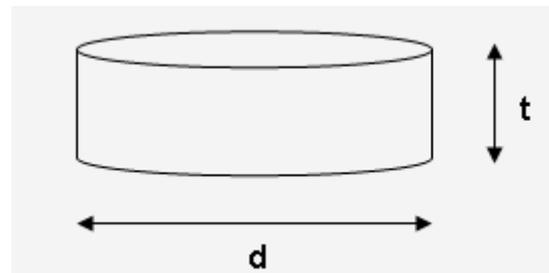
$$Wa = \frac{\Delta V}{F.S} (mm^3 / Nm) \quad (9)$$

2. BAHAN DAN METODE

Pada bagian metodologi penelitian ini, akan diuraikan mengenai tahapan atau langkah-langkah penelitian dari awal sampai akhir, sehingga didapatkan hasil mengenai studi sifat fisis dan mekanis elektroda yang dibuat dengan metode serbuk metalurgi, metode ini dikenal dengan pembuatan material paduan dari serbuk logam dan non logam. Setelah masalah diidentifikasi maka langkah berikutnya adalah pembuatan alur proses penelitian, dimana alur penelitian yang dilakukan adalah merupakan alur proses pelaksanaan pembuatan material paduan (*green body*) pada masing-masing peralatan, dilanjutkan dengan pengujian dan pemeriksaan sehingga pada akhirnya didapatkan hasil penelitian. Setelah preparasi serbuk sesuai dengan komposisi dan perbandingan berat. Pembuatan campuran dengan memasukkan kedalam *blending/mixing* untuk mendapatkan campuran yang homogen. Pada proses selanjutnya campuran tersebut dimasukkan ke dalam cetakan (*die*) dan di padatkan dengan proses *compacting*, variasi tekanan 200 MPa, 300 MPa, dan 400 MPa untuk mendapatkan bentuk dari material paduan yang dikenal dengan *green body*, kemudian dilakukan proses pemanasan (*sinter*) yang dilakukan di dalam dapur pemanas dengan temperatur di bawah titik lebur matrik, biasanya temperatur sintering adalah 2/3 kali temperatur lebur bahan utama dalam hal ini temperatur lebur dari tembaga 1038°C, sehingga dalam penelitian ini diambil variasi suhu sinter adalah: 700°C, 800°C dan 900°C. proses pendinginan material tersebut dilakukan di dalam dapur sampai mencapai temperatur ruang.



Gambar 1 Diagram alir penelitian



Gambar 2. Geometri spesimen
d = 15 mm, t = 7 mm

Proses pengujian terhadap material meliputi pengujian sifat fisis yaitu pengujian densitas (kerapatan) yang dilakukan dengan metode *Archimedes*, kemudian dilakukan pengujian kekerasan menggunakan metode *brinell*, diameter indenter 2.5 mm dan beban penekanan 62.5 kg. Kekerasan suatu material harus diketahui khususnya untuk material yang dalam penggunaannya akan mengalami gesekan (*frictional force*). Pengujian selanjutnya dilakukan untuk mengetahui seberapa besar kehilangan volume dan massa terhadap suhu sinter yang akan digambarkan dengan grafik, maka dilakukan pengujian *shrinkage* (penyusutan). Pengujian berikutnya adalah pengujian nilai resistansi material untuk mendapatkan konduktivitas listrik. Untuk

pengujian selanjutnya dilakukan uji *Melting Point* yang merupakan salah satu faktor penyebab keausan elektroda dan hasilnya akan dibandingkan dengan elektroda yang dipakai pada mesin EDM. Selanjutnya data-data yang didapat dari hasil pengujian tersebut diolah untuk mendapatkan kesimpulan akhir dari penelitian ini, untuk mengetahui aliran proses mulai dari bahan baku sampai menjadi bakalan dan siap untuk dilakukan pengujian untuk mendapatkan data-data yang diperlukan kemudian diolah dan dianalisa ditunjukkan pada gambar 1.

Untuk mendapatkan benda uji sesuai dengan karakteristik pengujian menurut standar yang berlaku, maka perlu dilakukan pembuatan spesimen sesuai dengan standar-standar yang berlaku pula. Karena itu dibuatlah benda uji yang ditunjukkan pada gambar 2.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

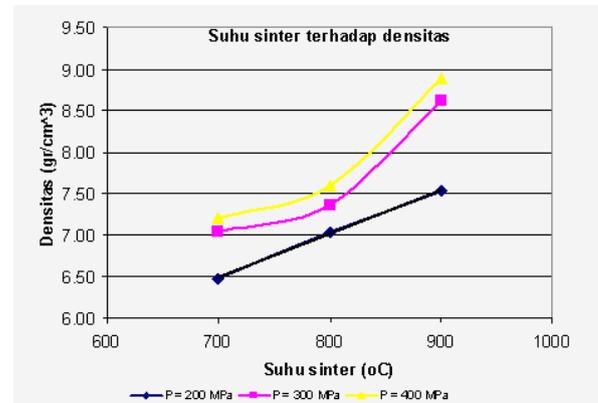
Untuk mengetahui pengaruh variasi suhu sinter dan variasi kompaksi terhadap sifat fisis dan mekanis dari elektroda maka perlu dilakukan pembuktian hypothesis tersebut lebih dahulu antara lain menggunakan metode Desain Eksperimen 2 faktor 3 level dengan 3 replikasi, dengan bantuan *software Factor Design*.

Desain faktorial merupakan solusi paling efisien bila eksperimen meneliti pengaruh dari dua atau lebih faktor, karena semua kemungkinan kombinasi tiap level dari faktor-faktor dapat diselidiki secara lengkap. Kelebihan desain faktorial adalah:

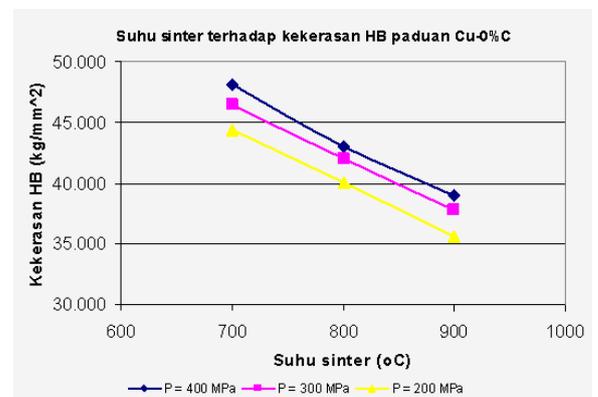
- ✚ Lebih efisien dibanding dengan metode *one-factor-all-a-time*.
- ✚ Mampu menunjukkan efek interaksi antar faktor.
- ✚ Dapat memberikan perkiraan efek dari suatu faktor pada kondisi level yang berbeda-beda dari suatu faktor lain.

Pada desain faktorial, setidaknya harus dilakukan dua replica untuk menentukan SS_0 jika kemungkinan semua interaksinya masuk dalam model perhitungan. Sedang untuk mengetahui variabilitas dari respon apakah benar-benar disebabkan oleh faktor dan interaksi yang disebabkan oleh faktor dan interaksi yang dipilih dapat digunakan koefisien determinasi atau dengan analisa residual untuk melihat apakah model desain sudah sesuai. Sedangkan RSM merupakan metode gabungan antara teknik matematika dan statistic untuk membuat model dan menganalisa suatu respon y yang dipengaruhi oleh beberapa faktor x untuk mengoptimalkan respon tersebut. Teknik pooling up untuk menarik keluar faktor yang mempunyai persentase kontribusi sangat kecil dari model. Dalam hal ini yaitu faktor temperatur dan

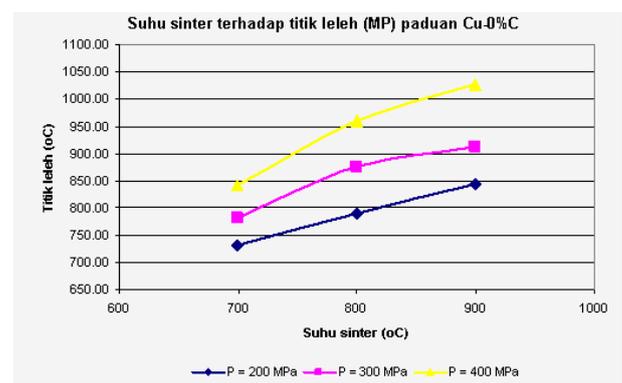
interaksinya, sehingga model hanya dipengaruhi oleh dua faktor yaitu kompaksi dan temperatur sinter. Kondisi ini dapat dilihat dalam analisa hasil penelitian.



Gambar 3 Grafik hasil pengujian densitas

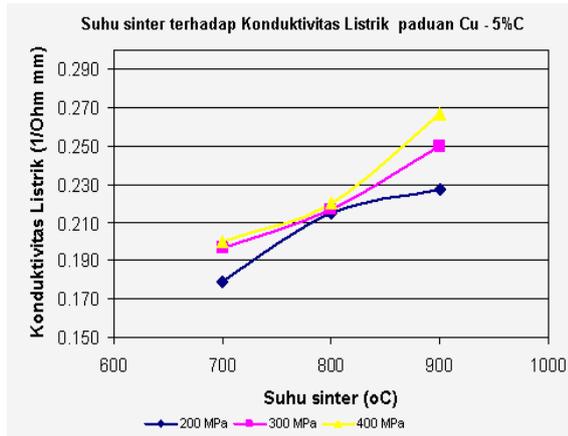


Gambar 4. Grafik hasil pengujian kekerasan Brinell

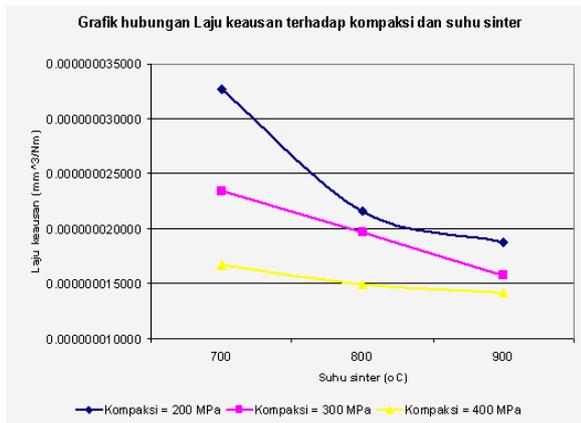


Gambar 5. Grafik hasil pengujian titik leleh

Gambar 3. memperlihatkan bahwa untuk komposisi 5%C, densitas akan meningkat dengan bertambahnya beban kompaksi. Hal ini memang sesuai dengan teorema *Seelig dan Wulff*.



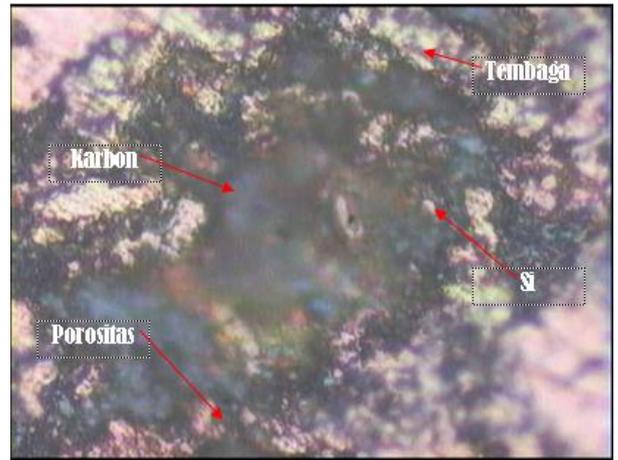
Gambar 6. Grafik hasil pengujian konduktivitas listrik



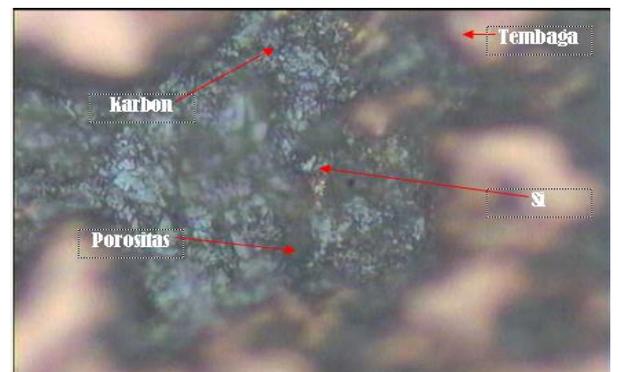
Gambar 7. Grafik hasil pengujian keausan



Gambar 8. $T_s=700^{\circ}\text{C}$, $P=200\text{ MPa}$, 500X menunjukkan pencampuran tembaga dan karbon yang saling mengisi dan beberapa porositas.



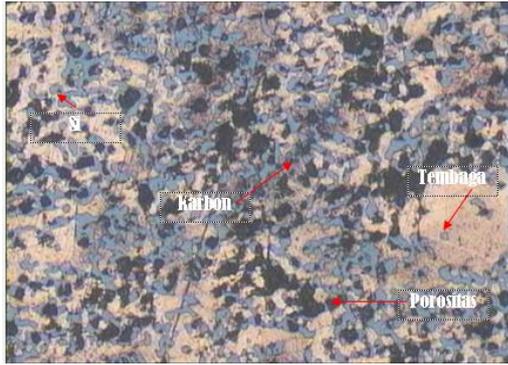
Gambar 9. $T_s=800^{\circ}\text{C}$, $P=200\text{ MPa}$, 500X. Pada suhu makin tinggi penyatuan tembaga dan karbon makin baik.



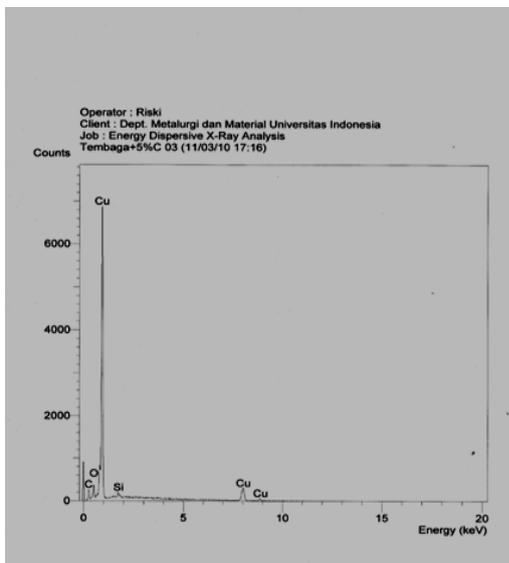
Gambar 10. $T_s=700^{\circ}\text{C}$, $P=300\text{ MPa}$, 500X. Walaupun tekanan tinggi tetapi suhunya rendah masih ditemukan porositas



Gambar 11. $T_s=800^{\circ}\text{C}$, $P=300\text{ MPa}$, 500X. Pada suhu lebih tinggi dengan tekanan sama porositas makin mengecil



Gambar 12. $T_s=900^{\circ}\text{C}$, $P=200\text{ MPa}$, 100X. Pada suhu lebih tinggi nampak homogenitas dan ikatan antar serbuk lebih merata dan menyatu.



Gambar 13. Grafik hasil deteksi komposisi kimia dengan EDAX menunjukkan keberadaan elemen Cu dan C

Tabel 1. Hasil pemeriksaan komposisi benda uji dengan komposisi Cu dan 5%C

```

SEMQuant results. Listed at 17:17:12 on 11/03/10
Operator: Riski
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis
Spectrum label: Tembaga+5%C 03

System resolution = 60 eV

Quantitative method: ZAF ( 3 iterations).
Analysed all elements and normalised results.

1 peak possibly omitted: -0.02 keV

Standards :
C K Carbon Low 13/09/06
O K AL2O3 17/11/09
Si K Low Carbon Steel 13/09/06
Cu K Copper 22/03/06

Elmt Spect. Element Atomic
Type % %
C K ED 0.43 2.14
O K ED 1.21 4.55
Si K ED 0.31 0.66
Cu K ED 98.05 92.65
Total 100.00 100.00

* = <2 Sigma
  
```

Begitu pula dengan suhu sintering semakin meningkat maka nilai densitas cenderung naik untuk semua benda uji. Hal ini sesuai dengan mekanisme sintering, dimana semakin tinggi suhu sintering maka akan terjadi proses pemadatan sekumpulan serbuk dan terjadi ikatan yang kuat antara butiran-butirannya dan disertai pengurangan pori yang terdapat diantara butiran. Pengaruh penambahan karbon tampak jelas, densitas untuk tekanan yang bervariasi, cenderung naik dengan meningkatnya temperatur sinter. Hal ini mungkin terjadi oleh karena nilai densitas karbon jauh lebih rendah dibandingkan densitas tembaga. Ikatan antar partikel akan semakin kuat, sifat-sifat dari produk sinter seperti kekerasan, keliatan, dan konduktivitas akan meningkat pula sampai ke titik tertentu dimana akan stabil. Dari Gambar 3. terlihat densitas aktual paduan Cu – 5%C meningkat seiring dengan peningkatan tekanan sebesar 8.89 gr/cm^3 pada kompaksi 400 MPa dan suhu sinter 900°C namun hasil ini berbeda dengan densitas teoritis yang dihitung menggunakan metode *Rule of Mixture* yaitu sebesar 8.82 gr/cm^3 . Hal ini menunjukkan dengan naiknya tekanan kompaksi, kerapatan susunan partikel serbuk akan meningkat, dengan perkataan lain, berat jenis paduan Cu – 5%C naik dan porositasnya turun. Penambahan karbon pada paduan tembaga akan menurunkan densitas relatifnya. Pada suhu sinter 900°C dan kompaksi 400 MPa terlihat jarak antara *Rule of Mixture* dengan kondisi aktual terlihat berbeda. Hal ini menunjukkan porositas yang terkandung dalam paduan tersebut sedikit. Makin besar jarak antara *Rule of Mixture* dengan kondisi aktual maka semakin banyak porositas yang terkandung dalam paduan. Berat jenis (densitas) tembaga bebas oksigen pada suhu 20°C adalah $8,94\text{ gr/cm}^3$ [18], nilai ini masih sedikit diatas nilai densitas maksimum paduan Cu – 5%C. Densitas hasil proses sinter pada temperatur 700°C , 800°C dan 900°C selama waktu konstan yaitu 60 menit, memperlihatkan kecenderungan meningkat untuk paduan tembaga karbon. Peningkatan cukup besar, lihat grafik pada gambar 3. Penambahan karbon 5% cenderung meningkatkan densitas. Laju peningkatan tertinggi tampak pada suhu sinter 900°C yaitu sekitar 13%. Adanya dua partikel yang saling mengikat dari hasil kompaksi, dimulai dengan adanya titik kontak kemudian leher tumbuh dan akan menciptakan batas butir pada partikel kontak dan jika waktu sinter efektif maka akan terbentuk dua partikel bergabung menjadi satu partikel besar. Dengan meningkatnya kompaksi

dan suhu sinter maka kekerasan semakin meningkat, kekerasan optimum di dapat pada kompaksi 400 MPa dan suhu sintering 900°C dengan nilai sebesar 51,46 kg/mm². Pada gambar 4. terlihat dengan kompaksi 200 MPa dan suhu sintering 900°C didapat nilai kekerasan sebesar 35.621 kg/mm². Disamping sifat konduktivitas listrik maka kekerasan merupakan persyaratan penting bagi bahan elektroda

Dari gambar 4 terlihat penurunan kekerasan Brinell seiring dengan peningkatan suhu sinter dan penurunan kompaksi. Kekerasan didapat dari kompaksi 200 MPa pada suhu sinter 900°C sebesar 35.621 kg/mm². Selain pengujian dengan spesimen yang dibuat dilakukan juga pengujian menggunakan elektroda. Hasil pengujian menunjukkan kekerasan dari elektroda tersebut sebesar 50,30 kg/mm². Dari hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa paduan Cu-5%C dengan kompaksi 400 MPa dan suhu sintering 900°C yang paling mendekati nilai kekerasan elektroda. Dari gambar 6 terlihat nilai konduktivitas tertinggi 0.267 (1/Ω mm) pada kompaksi 400 MPa dan suhu sinter 900°C, sedangkan nilai terendah 0.179 (1/Ω mm) pada kompaksi 200 MPa dan temperatur sinter 700°C, ini menunjukkan bahwa konduktivitas listrik meningkat seiring dengan meningkatnya suhu sinter dan hal ini menunjukkan bahwa kehomogennan campuran sudah baik. Dalam pengujian ini spesimen dicampur dengan menggunakan *ball mill* selama 1 jam. Untuk tembaga non oksigen mempunyai nilai konduktivitas listrik pada suhu 20°C sebesar 0,058 (1/Ω.mm) [23], dengan demikian nilai konduktivitas listrik untuk paduan Cu – 5%C jauh lebih besar dari nilai tembaga non oksigen dan nilai konduktivitas untuk elektroda adalah 0.221588 (1/Ω.mm). Dengan bertambahnya beban, jumlah dislokasi akan meningkat yang berarti bahwa tahanan listrikpun akan bertambah besar. Gambar 6 menunjukkan grafik hubungan antara densitas dan konduktivitas listrik, dimana nilai konduktivitas listrik meningkat seiring dengan naiknya nilai densitas aktual dari paduan Cu – 5%C. Peningkatan suhu sintering berpengaruh juga terhadap nilai keausan spesimen. Pada suhu 900°C dan kompaksi 400 MPa terjadi nilai keausan terendah dengan nilai 1,4178 x 10⁻⁸ (mm³/Nm), dengan menurunnya suhu sinter dan kompaksi maka akan meningkatkan nilai keausan. Nilai keausan tertinggi pada suhu sinter 700°C dan kompaksi 200 MPa dengan nilai keausan sebesar 3,2692 x 10⁻⁸ (mm³/Nm). Nilai keausan meningkat seiring dengan penurunan suhu sinter dan kompaksi karena semakin tinggi suhu sintering menyebabkan nilai kekerasan meningkat. Spesimen dengan nilai kekerasan yang tinggi akan

tidak mudah aus. Hal tersebut sesuai dengan hasil pengujian kekerasan dan densitas, yang menunjukkan kekerasan dan densitas tertinggi juga terjadi pada temperatur 900°C dan kompaksi 400 MPa.

Pengujian unsur-unsur yang terkandung dalam fasa pada material paduan tembaga karbon dilakukan dengan menggunakan EDAX. Fasa 1 yang berwarna hitam (gelap), kemungkinan fasa yang terbentuk adalah Al₂O₃. Senyawa ini terbentuk akibat atmosfer yang digunakan pada saat proses sintering tidak *inert* sehingga sampel teroksidasi. Senyawa Al₂O₃ merupakan senyawa yang *brittle* sehingga akan menyebabkan material menjadi *brittle* dan menurunkan sifat mekanis dari material. Fasa 2 yang berwarna abu-abu dan berbentuk serpihan, kemungkinan fasa yang didominasi warna abu-abu seperti asap adalah Si. Fasa ini menunjukkan bahwa terjadi reaksi *interface* antara unsur penambah C, matrik (Cu) dengan membentuk suatu fasa yang berfungsi untuk menguatkan ikatan partikel serbuk. Namun terlihat bahwa kadar C yang ada memang lebih rendah, hal ini mungkin terjadi karena Cu kurang memberikan hasil yang optimal, walaupun sifat mekanis yang dihasilkan sudah cukup baik. Fasa 3 yang berwarna abu-abu terang, kemungkinan fasa yang terbentuk adalah Cu-O-C.

Gambar 8 s/d 12 menunjukkan struktur mikro spesimen yang difoto dengan mikroskop optic. Spesimen yang telah di-polish kemudian di-tsa dengan larutan 25 ml NH₄OH, 15 ml H₂O₂(3%), 25 ml aquades selama 15 detik dan dibilas dengan air. Pengambilan foto dilakukan pada setiap variasi kompaksi dan temperatur sinter. Tujuannya supaya bisa diketahui pengaruh kompaksi dan temperatur sinter terhadap struktur mikro dari spesimen.

Dari setiap foto struktur mikro dapat dilihat adanya larutan padat O dan Si dibawah 1%, partikel Si berbentuk serpihan-serpihan atau bulatan berwarna abu-abu, sedangkan porositas ditunjukkan dengan lubang-lubang yang berwarna hitam. Hal ini sesuai dengan uji komposisi yang telah dilakukan, dimana unsur yang paling besar persentasenya adalah Cu (98,43%) diikuti oleh O (0,99%), C (0,37%) dan Si (0,21%).

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa dan pembahasan pada pembuatan elektroda dengan menggunakan metode serbuk metalurgi maka dapat disimpulkan seperti dalam tabel 5.1 berikut :

Paduan Cu-5%C hasil metalurgi secara umum mencapai kondisi optimum pada kompaksi 400 MPa dan suhu sintering 900°C. Melihat hasil-hasil tersebut pengaruh penambahan 5% serbuk karbon pada serbuk tembaga menunjukkan pengaruh yang tidak terlalu berarti terhadap perubahan densitas, malah nilai-nilai tersebut masih dibawa nilai densitas tembaga non serbuk. Pengujian komposisi dengan menggunakan EDAX diperoleh unsur-unsur diantaranya adalah C, O, Si dan Cu dengan prosentase terbesar pada unsur Cu.

Tabel 5.1 Perbandingan Elektroda dari material serbuk dan non serbuk

Sifat Fisis dan Mekanis	Paduan Cu-5%C	Paduan Cu-0%C	Elektroda Non Serbuk
Densitas	Optimum 8,89 gr/cm ³ Minimum (200°C/700 Mpa) 8,48 gr/cm ³	Optimum 8,95 gr/cm ³ Minimum (200°C/700 Mpa) 7,40 gr/cm ³	8,96 gr/cm ³
Kekerasan	Optimum 51,46 HB 2,5/62,5/20 Minimum (200°C/700 Mpa) 48,34 HB 2,5/62,5/20	Optimum (200°C/700 Mpa) 48,1 HB 2,5/62,5/20 Minimum 35,62 HB 2,5/62,5/20	874 N/mm ² (89,09 kgf/mm ²)
Titik Leleh	Optimum 1042,33°C	Optimum 1027°C	1084,62°C
Konduktivitas Listrik	Optimum 0,267 (1/Ωmm)	Optimum 0,228 (1/Ωmm)	(20°C) 16,78 (1/nΩ.m)
Laju keausan	Optimum 1,4178 x 10 ⁻⁸ (mm ³ /Nm) Minimum (200°C/700 Mpa) 3,2692 x 10 ⁻⁸ (mm ³ /Nm)	Optimum 5,3167 x 10 ⁻⁹ (mm ³ /Nm) Minimum (200°C/700 Mpa) 8,3748 x 10 ⁻⁹ (mm ³ /Nm)	
Penyusutan	volume optimum 0,16%, massa optimum 0,18%	volume optimum 0,20%, massa optimum 0,13%	

Pengamatan struktur mikro menggunakan mikroskop optic pada paduan Cu-5%C dan paduan Cu-0%C serta material elektroda, dengan etsa larutan 25 ml NH₄OH, 15 ml H₂O₂(3%), 25 ml aquades selama 15 detik pada paduan tembaga karbon terdapat adanya 3 fasa yang berbeda, yaitu Fasa 1 yang berwarna hitam (gelap), kemungkinan fasa yang terbentuk adalah Al₂O₃. Senyawa ini terbentuk akibat atmosfer yang digunakan pada saat proses sintering tidak *inert* sehingga sampel teroksidasi. Fasa 2 yang berwarna abu-abu seperti asap dan berbentuk serpihan, kemungkinan adalah Si. Fasa 3 yang berwarna abu-abu terang, kemungkinan fasa yang terbentuk adalah Cu-O-C.

Hambatan dalam aplikasi material paduan umumnya adalah soal biaya. Meskipun sering kali proses manufaktur material paduan lebih efisien, namun material mentahnya masih terlalu mahal. Material paduan masih belum bisa secara total menggantikan material konvensional seperti baja, tetapi dalam banyak kasus kita memiliki kebutuhan akan hal itu.

DAFTAR PUSTAKA

Agung M, (2006),. Studi Sifat Fisis dan Mekanis Tembaga/Karbon dengan Variasi berat karbon dan Temperature Sintering, Thesis S2, Teknik Mesin UGM.

Akhmad Heerman Yuwono, 2009, Teori Dasar Pengujian Mekanik Pada Material, Departemen Metalurgi dan Material Fakultas Teknik UI.

Anonius, 1977, Standard Test Methode for water Absorption, Bulk Density, porosity on Fire White Product, New York, ASTM – 372-73.

Avner, S.H., 1987, *Introduction to Physical Metallurgy*, 2nd edition, McGraw Hill Book Co, New York.

Barsoum, M.W.,1997, *Fundamentals of Ceramics*, Mc.Graw Hill Companies. New York.

C. Schumacher, SAE Technology, paper No.892495, 1991

Courtesy EDM Tech. Manual, Poco Graphite Inc

Farid S, 2008, Studi Bentuk, Ukuran dan Densitas Serbuk Logam, Hasil Proses Pembuatan Dengan Metode Atomisasi, Skripsi UMS Surakarta.

Fitria H dan Wildan MW, 2004, Pressureless Sintering Serbuk Paduan Al-Si, Jurnal Mesin dan Industri, Vol 1, UGM.

German R.M., 1994, *Powder Metallurgy Science*, 2nd edition, Metal Powder Industries Federation, Princenton, New Jersey.

Goto, Ryuichiro, Powder Metallurgy Growth in The Automotive Market. American Powder Metals Industries International, 2003.

<http://digilib.its.ac.id/public/ITS-Undergraduate-7197-2702100009-bab2.pdf> .tgl 02 Feb 2010, jam 09.15 PM.

<http://okasatria.blogspot.com/2007/11/pengujian-kekerasan-oleh-okasatria.html>

<http://jiunkpe/s1/mesn/1999/jiunkpe-ns-s1-1999-24494063-10803>

J.B. Fogagnolo, F. Velasco, M.H.Robert., J.M.Torrallbam, Aluminium Matrix Composites Reinforced with Si₃N₄, AlN and ZrB₂, Produced by conventional powder Metallurgy and Mechanical Alloying, Avenue de la Universid, 2004, 30-28911.

- Kalpakjian, S., 2003, Powder metallurgy Science. Metal Powder Industries Federation. Princeton, New Jersey.
- K. Chawla, Composite Material: Science and Engineering. London Paris Tokyo: pringer-Verlag New York Berlin Heidelberg, 1987
- Klar, E, Coordinator., 1993, "ASM Handbook Powder Metallurgy vol. 7" ASM international, US.
- Kieffer R. and Hotop W., Pulvermetallurgie, Springer, 1973
- Nguyen Q, Minh, 1993, Ceramic Fuel Cell, Journal of American Ceramic Society, Vol, 76, No,3.
- Ristic MM, 1989, New Development – Sintering, Elsevier Publishing, 4, pp.3-7, Netherland.
- Seelig R. and Wulf, Trans, AIME, 166, 492 – 504, (1946)
- Sembiring Simon, Karakteristik keramik Cordierite Berbasis Silika Sekam pada temperature Rendah (*Low Temperature*), 2008.
- Sriati Djaprie, Pembuatan Elektroda Las Titik Dari Komposit Matriks Logam berupa Tembaga Dengan pengerasan Terdispersi Dengan cara Metalurgi Serbuk, Hibah bersaing, 1994.