

PENGARUH TEMPERATUR SINTER TERHADAP KEKERASAN ELEKTRODA TEMBAGA-5%KARBON YANG DIBUAT DENGAN METODE SERBUK METALURGI

Ahmad Junaidi, Dicky Seprianto *)

*) Staf Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Sriwijaya
Jl.Srijaya Negara Bukit Besar Palembang 30139
Telp: 0711-353414, Fax: 0711-453211

RINGKASAN

Dikenal berbagai material yang dapat dipergunakan untuk bahan elektroda EDM yang harus memiliki sifat tahan panas dan stabil dengan konduktivitas listrik dan tahan terhadap deformasi plastis pada temperature tinggi. Salah satu diantaranya adalah tembaga karbon yang termasuk paduan logam dengan partikel serbuk. Tujuan penelitian adalah membuat material tersebut yang terdiri dari tembaga dengan karbon secara metalurgi serbuk melalui pemaduan mekanik. Penelitian dilakukan dengan cara konsolidasi melalui pembebanan kompaksi dan disusul dengan sinter. Rangkaian percobaan dilakukan terhadap berbagai variasi kompaksi dan variasi suhu sinter dengan komposisi 95%Cu dan 5%C. Percobaan dilakukan di laboratorium teknik mesin dan kimia Polsri. Terhadap tiap benda uji dilakukan percobaan kekerasan. Dari hasil percobaan ternyata bahwa secara umum terdapat kecenderungan dengan meningkatnya beban kompaksi, kekerasan akan meningkat, makin tinggi suhu sinter makin baik konsolidasi serbuk. Hasil penelitian yang diperoleh belum dapat dikatakan sempurna, khususnya pengendalian lingkungan sarana sinter dan proses pembebanan kompaksi. Disarankan agar penelitian ini dilanjutkan dengan percobaan pembuatan elektroda EDM dan percobaan pemotongan dengan EDM sesungguhnya.

Kata kunci : Metalurgi serbuk, kompaksi dan sintering

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Sejak tahun 2001, industri metalurgi serbuk mengalami pertumbuhan yang signifikan sebesar 11% pertahun. Tahun 2002, Amerika utara membutuhkan 368.000 ton besi dalam komponen manufaktur metalurgi serbuk. Akan tetapi, penelitian dibidang metalurgi serbuk di Indonesia relatif sangat kecil apabila dibandingkan dengan negara maju, seperti dikawasan Asia, misalnya Jepang, Cina dan India, yang merupakan pioner pengembangan teknologi metalurgi

serbuk untuk aplikasi komponen otomotif.

Tembaga murni digunakan sebagai *cutting tool* pada Mesin EDM. Mesin EDM (*Elektric Discharge Machine*) adalah mesin yang memotong benda kerja dengan menguapkan benda kerja dan *spark discharge* yang diberikan oleh *power supply*. Jarak antara benda kerja dan alat iris ditahan tetap. Pemotongan dilakukan di dalam cairan dielektrik, cairan dielektrik ini digunakan sebagai pendingin dan sekaligus pembersih tatal dari permukaan benda kerja. Dengan mesin ini, toleransi

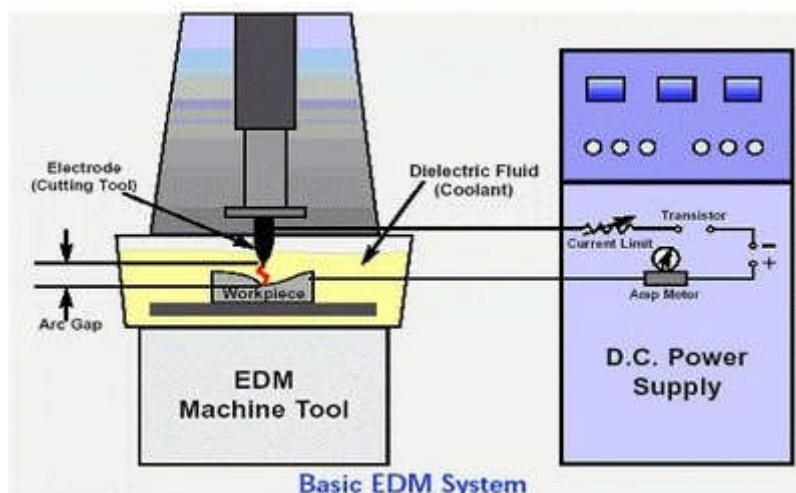
pemotongan antara 0,005 sampai 0,125 mm bisa didapatkan, sehingga keausan alat iris sangat mempengaruhi ketelitian dimensi hasil pemotongan, sedangkan keausan alat iris tergantung pada titik lebur keduanya, yaitu benda kerja dan alat iris. Titik cair tembaga sekitar 1083°C , sedangkan temperatur percikan api pada celah elektroda dan benda kerja mencapai 3800°C . Titik lebur tembaga yang rendah menyebabkan keausan yang terlalu tinggi dibandingkan dengan bagian benda kerja yang bisa dihilangkan [6].

Tembaga sebagai elektroda memiliki keuntungan lebih dibandingkan graphite, karena bentuk keausan ketika digunakan (*discharge-dressing*) lebih baik. Elektroda ini setelah digunakan mengerjakan satu benda kerja, sesudahnya dapat digunakan lagi untuk proses pengerjaan *finishing* atau digunakan untuk mengerjakan benda kerja yang lain. Elektroda tembaga non serbuk mempunyai kriteria aspek fisis berupa densitas yaitu $8,96 \text{ gr/cm}^3$, titik

leleh $1084,62^{\circ}\text{C}$ dan dari segi aspek mekanik yaitu berupa kekerasan brinell 874 Mpa, tahanan listrik (20°C) $16.78 \text{ n}\Omega \cdot \text{m}$, konduktivitas panas (300°K) $401 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$, dan lain sebagainya.

Fungsi elektroda adalah menghantarkan tegangan listrik dan mengerosi benda kerja menjadi bentuk yang diinginkan. Bahan elektroda yang berbeda memberikan pengaruh yang sangat besar terhadap proses pemesinan. Ketika memilih bahan elektroda dan merencanakan cara pembuatannya, faktor-faktor berikut harus diperhitungkan:

- Harga bahan elektroda.
- Kemudahan pembuatan/membentuk elektroda.
- Jenis dari hasil yang diinginkan (misalnya kehalusan).
- Besaran keausan elektroda.
- Jumlah elektroda yang diperlukan untuk menyelesaikan sebuah benda kerja.
- Kecocokan jenis elektroda dengan jenis pengerjaan.



Gambar 1. Proses Pemesinan dengan EDM

Alat iris (elektroda) EDM yang biasa digunakan di PT X terbuat dari tembaga padat yang di diberi perlakuan pemesinan guna membentuk alat iris. Umur alat iris dengan bahan ini hanya sekitar 20 kali pemakaian [1].

Sesudah itu alat iris harus diganti karena dimensinya sudah berubah

karena aus. Pada penelitian ini akan dibuat alat iris dengan bahan yang baru yaitu Cu-C dengan teknologi serbuk (*Powder technology*) yang akan menggunakan serbuk Cu sebagai bahan utama dan serbuk C sebagai bahan tambah.

PERUMUSAN MASALAH

Salah satu metode pembuatan elektroda EDM yaitu dengan metode serbuk metalurgi yang dikenal dengan *powder metallurgy metode*, menggunakan bahan serbuk tembaga sebagai bahan utama dan serbuk karbon sebagai bahan tambah yang kemudian mengalami proses pembentukan sampai menjadi bentuk material baru sesuai dengan standar yang digunakan.

Penelitian yang diajukan adalah untuk meneliti bahan pengganti *tool* untuk EDM sehingga didapatkan alat iris yang lebih panjang umur pemakaiannya. Bahan yang akan diteliti adalah paduan Cu-C. Permasalahan yang akan diteliti

adalah : Meneliti perubahan sifat fisis dan mekanis dengan adanya variasi tekanan kompaksi sebesar 200 MPa, 300 MPa, dan 400 MPa dan variasi suhu sinter 700°C, 800°C dan 900°C selama 60 menit pada campuran tembaga dengan fraksi berat 5% carbon.

TINJAUAN PUSTAKA

Hasil Penelitian Terdahulu

Hasil pengujian dari berbagai variasi suhu sinter, persen berat tambahan, tekanan pemadatan yang sesuai akan menaikkan hasil pengujian mekanis seperti kekerasan dan keausan. penelitian mengenai metalurgi ini telah diteliti antara lain di tunjukkan di dalam table 1.

Tabel 1. Hasil Penelitian Terdahulu

No	Nama Peneliti	Hasil akhir Penelitian
1	Afrizal (2006)	menggunakan karbon dalam bentuk serat. Bahkan komposit Cu-C dengan penguatan serat sudah diproduksi.
2	Agung M (2006)	Sifat mekanis yang optimum terdapat pada suhu sinter 900°C dan 5% berat penguat karbon yaitu tegangan bending σ_{MOR} 301 MPa, VHN 489 MPa dan keausan spesifik minimum 0,000008221 mm ² /kg.
3	Arik dan Cengiz (2001)	Hasil pengujian kekerasan dan <i>transverse rupture strength</i> meningkat dengan bertambahnya temperature sinter dan tekanan kompaksi.
4	Brandusan (2004)	Kekerasan tertinggi didapat pada penambahan serbuk Cu sebesar 3%.
5	Fitria (2004)	meningkatnya tekanan kompaksi dan suhu sinter akan meningkatkan kekerasan dan densitas dari spesimen.
6	Rajkovic (2007)	serbuk Cu-1% berat Al. Serbuk Cu dan Al yang berasal dari atomisasi gas dioksida.
7	Senthi (2004)	suhu sinter pada temperatur 775°C adalah yang terbaik untuk hasil pengujian densitas dan kekerasan komposit Cu-12% berat Sn.
8	Sukanto (2004)	Hasil penelitian menunjukkan densitas maksimum setelah sintering sebesar 2,306 gr/cm ³ , kekerasan maksimum sebesar 44 BHN dan kekuatan patah melintang maksimum sebesar 20,7 MPa terjadi pada suhu 500°C dan tekanan 435 MPa.
9	Wildan dan Handayani	Hasil penelitian menunjukkan bahwa meningkatnya tekanan kompaksi dan temperature sinter akan meningkatkan kekerasan dan densitas dari specimen.
10	Zulfikar (2006)	densitas terbaik dicapai pada suhu sinter 550°C dan 95% serbuk al + 5% serbuk <i>fly ash</i> yaitu sebesar 2, 504 gr/cm ² dengan laju keausan sebesar 0,002 mm ² /Nm.

Metalurgi Serbuk

Proses metalurgi serbuk merupakan proses pembentukan logam yang menggunakan material dasar berupa partikel-partikel logam berbentuk serbuk. Dalam sejarah kehidupan manusia, proses metalurgi serbuk telah digunakan sejak 3000 tahun SM oleh bangsa Yunani Kuno untuk membuat perkakas.

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. Proses metalurgi serbuk memiliki banyak keuntungan antara lain :

1. Efisiensi pemakaian bahan yang sangat tinggi dan hampir mencapai 100%
2. Tingkat terjadinya cacat seperti segregasi dan kontaminasi sangat rendah.
3. Stabilitas dimensi sangat tinggi.
4. Kemudahan dalam proses standarisasi dan otomatisasi
5. Besar butir mudah dikendalikan

6. Mudah dalam pembuatan produk beberapa paduan khusus yang susah didapatkan dengan proses pengecoran (*casting*).
7. Porositas produk mudah dikontrol .
8. Cocok untuk digunakan pada material dengan kemurnian tinggi.
9. Cocok untuk pembuatan material paduan dengan matriks logam.

Setelah melalui proses pembuatan didapatkan produk akhir dengan proses tambahan seperti *machining* dan *grinding* untuk mendapatkan bentuk yang diinginkan.

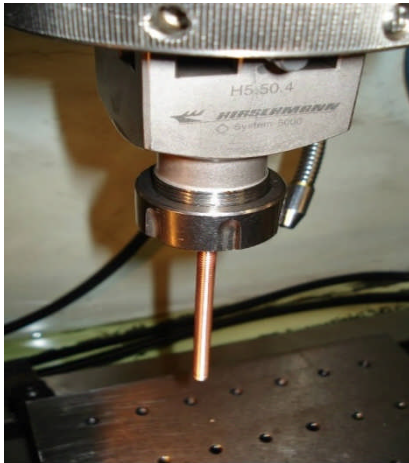
Cara Kerja EDM

Mengetahui tentang apa yang terjadi di antara elektroda dan benda kerja dapat sangat membantu operator EDM dalam banyak hal. Pengetahuan dasar teori EDM dapat membantu dalam memecahkan masalah yang timbul (*troubleshooting*), misalnya dalam hal pemilihan kombinasi benda kerja/electroda dan pemahaman mengapa pengerjaan yang bagus untuk satu benda kerja tidak selalu berhasil untuk yang berikutnya. Deskripsi berikut ini menjelaskan tentang kombinasi apa yang telah diketahui dan apa yang telah ada dalam teori tentang proses EDM.

Pada saat ini beberapa teori tentang bagaimana EDM bekerja telah mengalami kemajuan selama beberapa tahun, sebagian besar mendukung model *thermo electric*. Sembilan ilustrasi berikut menunjukkan tahap demi tahap apa yang telah diyakini terjadi selama satu siklus EDM.

Pada proses awal EDM, elektrode yang berisi tegangan listrik didekatkan ke benda kerja (elektrode positif mendekati benda kerja/turun). Di antara dua elektrode ada minyak isolasi (tidak menghantarkan arus listrik), yang pada EDM dinamai cairan *dielectric*. Walaupun cairan dielektrik adalah

sebuah isolator yang bagus, beda potensial listrik yang cukup besar menyebabkan cairan membentuk partikel yang bermuatan, yang menyebabkan tegangan listrik melewatinya dari elektrode ke benda kerja. Dengan adanya *graphite* dan partikel logam yang tercampur ke cairan dapat membantu transfer tegangan listrik dalam dua cara: partikel-partikel (konduktor) membantu dalam ionisasi minyak dielektrik dan membawa tegangan listrik secara langsung, serta partikel-partikel dapat mempercepat pembentukan tegangan listrik dari cairan. Daerah yang memiliki tegangan listrik paling kuat adalah pada titik di mana jarak antara elektrode dan benda kerja paling dekat.



Gambar 2. Proses pengerjaan dengan EDM

Pemilihan Elektroda

Fungsi elektroda adalah menghantarkan tegangan listrik dan mengerosi benda kerja menjadi bentuk yang diinginkan. Bahan elektroda yang berbeda memberikan pengaruh yang sangat besar terhadap proses pemesinan. Beberapa elektrode menghilangkan benda kerja secara efisien tetapi keausannya tinggi, elektrode yang lain memiliki keausan rendah tetapi kemampuan menghilangkan benda kerja sangat lambat. Ketika memilih bahan elektrode dan merencanakan cara pembuatannya, faktor-faktor berikut harus diperhitungkan:

- Harga bahan elektrode.
- Kemudahan pembuatan/membentuk elektroda.
- Jenis dari hasil yang diinginkan (misalnya kehalusan).
- Besaran keausan elektroda.
- Jumlah elektroda yang diperlukan untuk menyelesaikan sebuah benda kerja.
- Kecocokan jenis elektroda dengan jenis pengerjaan.
- Jumlah lubang penyemprot (*flushing holes*), jika diperlukan.

Jenis Bahan Elektroda

Bahan elektroda dibagi menjadi dua macam, yaitu: logam dan *graphite*. Pada saat ini ada lima macam elektrode, yaitu: kuningan (*brass*), Tembaga (*copper*), Tungsten, Seng (*zinc*), dan Graphite. Selain itu, beberapa elektrode dikombinasikan dengan logam yang lain agar dapat digunakan secara efisien, yaitu:

- kuningan dan seng,
- tembaga dan tellurium,
- tembaga, *tungsten* dan perak.

Pada awalnya, kuningan digunakan sebagai elektrode walaupun keausannya tinggi. Akhirnya, EDM menggunakan tembaga dan paduannya untuk meningkatkan rasio keausan. Masalah yang muncul dengan tembaga adalah karena titik cairnya sekitar 1.085°C , padahal temperatur percikan api pada celah elektrode dan benda kerja mencapai 3.800°C . Titik lebur tembaga yang rendah menyebabkan keausan yang terlalu tinggi dibandingkan dengan bagian benda kerja yang bisa dihilangkan.

Penelitian menunjukkan bahwa elektrode *graphite* memiliki laju yang lebih besar dalam menghilangkan bagian benda kerja dibandingkan dengan keausannya sendiri. *Graphite* tidak mencair di celah elektrode, pada sekitar temperatur 3.350°C berubah dari bentuk padat menjadi gas. Karena *graphite* lebih tahan panas di celah

elektroda dibandingkan dengan tembaga, untuk sebagian besar pengerjaan EDM lebih efisien menggunakannya. *Tungsten* memiliki titik lebur setara dengan *graphite*, akan tetapi tungsten sangat sulit dibentuk/dikerjakan dengan mesin.

Tungsten digunakan sebagai pengerjaan awal, biasanya berbentuk tabung atau rui untuk lubang-lubang dan lubang kecil proses gurdi. Elektroda logam biasanya yang terbaik untuk pengerjaan EDM bagi material yang memiliki titik lebur rendah seperti: aluminium, copper dan brass. Untuk pengerjaan baja dan paduannya, elektroda *graphite* lebih disarankan. Prinsip umum dalam pemilihan elektroda adalah: elektrode logam untuk benda kerja atau paduan yang

memiliki titik lebur rendah, dan elektrode *graphite* untuk yang memiliki titik lebur tinggi. Hal tersebut dengan pengecualian untuk pengerjaan *tungsten*, *cobalt*, and *molybdenum*. Elektroda logam seperti tembaga sangat direkomendasi karena frekuensi yang lebih tinggi diperlukan untuk mengerjakan benda kerja tersebut.

Tembaga sebagai elektroda memiliki keuntungan lebih dibandingkan *graphite*, karena bentuk keausan ketika digunakan (*discharge-dressing*) lebih baik. Elektroda ini setelah digunakan mengerjakan satu benda kerja, sesudahnya dapat digunakan lagi untuk proses pengerjaan *finishing* atau digunakan untuk mengerjakan benda kerja yang lain.



Tembaga



Graphite



Tembaga Batangan



Brass Tubing

Gambar 3. Jenis bahan elektroda

Tembaga

Tembaga mempunyai konduktivitas termal $398 \text{ watts/m}^{\circ}\text{C}$, dan koefisien ekspansi termalnya $16.8 \text{ ppm}^{\circ}\text{C}$. Logam tembaga digunakan secara luas dalam industri peralatan listrik. Kawat tembaga dan paduan tembaga

digunakan dalam pembuatan motor listrik, generator, kabel transmisi, instalasi listrik rumah dan industri, kendaraan bermotor, konduktor listrik, kabel, tabung *microwave*, sakelar, bidang telekomunikasi, dan bidang-bidang yang membutuhkan sifat

konduktivitas listrik dan panas yang tinggi, seperti untuk pembuatan tabung-tabung dan klep di pabrik penyulingan [13]. Tembaga adalah unsur kimia dasar dengan warna kemerahan dan mempunyai konduktivitas listrik yang baik. Produk tembaga berupa kabel listrik, peralatan rumah tangga, pipa dan tabung, radiator mobil, dan sebagainya. Tembaga juga digunakan sebagai pigmen dan pengawet untuk kertas, cat, tekstil, dan kayu.



Gambar 3. Serbuk Tembaga

Tembaga juga dapat dikombinasikan dengan seng untuk menghasilkan kuningan dan timah untuk menghasilkan bronze. Tembaga pertama kali digunakan sejak 10.000 tahun yang lalu. Sebuah liontin tembaga pada sekitar 8.700 B.C. ditemukan di Irak utara. Amerika Serikat dan Chile adalah negara-negara penghasil tembaga, diikuti oleh Rusia, Kanada, dan Cina. Tembaga jarang ditemukan di alam, tetapi biasanya bercampur dengan bahan kimia lain dalam bentuk bijih tembaga. Ada sekitar 15 bijih tembaga ditambang secara komersial di 40 negara di seluruh dunia. Yang paling umum dikenal sebagai bijih sulfida di mana tembaga secara kimiawi terikat dengan belerang. dikenal sebagai bijih oksida, bijih karbonat, seperti ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik Tembaga (*Copper*)

General Properties	
Nama, symbol, nomor atom	Cuprum, Cu, 29
Jenis elemen	Logam paduan
Grup, periode, blok	11, 4, d
Berat atom standar	63.546(3)g.mol ⁻¹
Konfigurasi ekeltron	[Ar]3d ¹⁰ 4s ¹
Electron per shell	2, 8, 18, 1 (Image)
Physical properties	
fasa	Solid
Densitas (near r.t.)	8.96g.cm ⁻³
Densitas fasa cair at m.p.	8.02 g.cm ⁻³
Titik leleh	1357.77° K, 1084.62°C, 1984.32°F
Titik pencairan	2835°K, 2562°C, 4643°F
Energi panas	13.26 kJ.mol ⁻¹
Heat of vaporization	300.4 kJ.mol ⁻¹
Kapasitas panas spesifik	(25°C) 24.440 J.mol ⁻¹ .°K ⁻¹
Vapor pressure	
ρ /Pa	1, 10, 100, 1 k, 10 k, 100 k
At T/K	1509, 1661, 1850, 2089, 2404, 2834
Miscellanea	
Struktur kristal	Face-centred cubic
Magnetic ordering	Diamagnetic
Tahanan listrik	(20°C) 16.78 nΩ .m
Konduktivitas panas	(300°K) 401 W.m ⁻¹ .K ⁻¹
Thermal expansion	(25°C) 16.5 μ m.m ⁻¹ .K ⁻¹
Modulus Young	110 – 128 GPa
Shear modulus	48 GPa
Bulk modulus	140 GPa
Poisson ratio	0.34
Mohs hardness	3.0
Vickers hardness	369 MPa
Brinell hardness	874 MPa
CAS registry number	7440-50-8

Karbon

Karbon dengan ukuran 200 mesh dan kadar 91,7% mempunyai modulus tarik tinggi, densitas 2.267 gr/cm^3 , konduktivitas thermalnya 2 kali tembaga, dan koefisien ekspansi thermal sangat kecil yaitu $-1.5 \text{ ppm}^{\circ}\text{C}$. Karbon mempunyai struktur kristal dengan jaringan lapisan teratur dari enam atom yang terikat. Ada beberapa jenis karbon dalam keadaan *amorf* dan juga berbagai keadaan tengah, antara keadaan *amorf* dan keadaan kristal. Secara morfologi karbon ada dalam berbagai bentuk; karbon aktif, pelumas padat dan karbon seperti gelas yang terlihat seperti gelas hitam yang sangat keras. Oleh karena itu jenis dan penggunaan karbon sangat luas. Sekarang sudah ada produksi massal dari serat karbon yang *elastic* dan dengan sifatnya yang ringan. Bahan ini memberikan harapan pada berbagai penggunaan [19].

Kontrol kualitas (*quality control*) dilakukan terhadap bahan baku dan terhadap hasil produk supaya memenuhi persyaratan standar minimum Standar Industri Indonesia (SNI NO. 0258-79 untuk pasar ekspor standar minimum mengacu pada *American Society for Testing Materials* (ASTM), *American Water Work Association* (AWWA), *Deutsches Institut für Normung e.V* (DIN), dan *International Organization for Standardization* (ISO)

Manfaat Penelitian

Paket pengujian elektroda pada kegiatan penelitian ini akan banyak memberikan kontribusi bagi para operator mesin EDM (*Electric Discharge Machine*). Sedangkan kontribusi hasil penelitian dalam dunia pendidikan adalah untuk mengembangkan ilmu yang berkaitan dengan rekayasa manufaktur baik bagi mahasiswa maupun kalangan akademisi yang *concern* pada dunia industri. Hasil penelitian ini juga dapat memotivasi

mahasiswa untuk menemukan material yang baru sebagai alternative pengganti material yang biasa di pakai.

METODOLOGI PENELITIAN

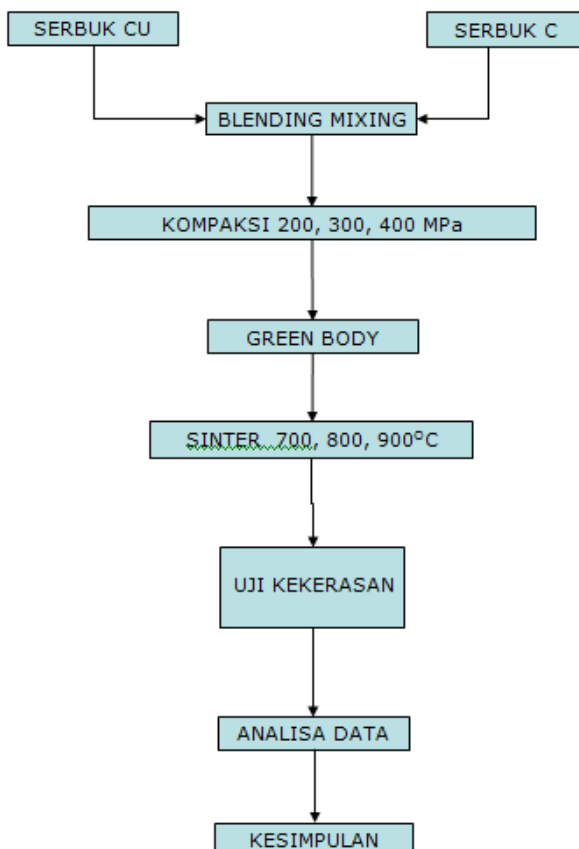
Prosedur Penelitian

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.

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 indentor 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 4.



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Hasil pengujian yang telah dilakukan pada penelitian ini memperlihatkan pengaruh kompaksi dan suhu sintering terhadap densitas, kekerasan, titik lebur, konduktivitas listrik, keausan dan penyusutan spesimen. Fenomena yang terjadi pada penelitian merupakan hasil yang tidak direkayasa sehingga hasil yang diperoleh dapat dipertanggungjawabkan dan merupakan hasil penelitian yang sebenarnya.

Hasil dari penelitian didapatkan dari hasil data pengujian kekerasan. Spesimen hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 3.7 dengan dimensi spesimen diameter 15 mm dan tebal 7 mm. setiap spesimen dilakukan beberapa kali pengujian kemudian hasil dari pengujian dirata-ratakan untuk mendapatkan hasil pengujian. Kesulitan dalam pengujian ini adalah saat pengukuran. Pengukuran harus dilakukan dengan sangat cermat agar menghasilkan hasil yang tepat sesuai dengan hasil pengujian yang dilakukan.

Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan menggunakan metode *Brinell Hardness* dengan diameter indenter 2,5 mm dan beban penekanan 62.5 kg. Pengujian kekerasan bertujuan untuk mengetahui nilai kekerasan dari paduan Cu – 5%C, karena kekerasan akan mempengaruhi laju keausan dari material tersebut. Tekanan kompaksi yang berbeda memberikan pengaruh terhadap kekerasan, yaitu dengan meningkatnya tekanan kompaksi dapat meningkatkan kekerasan. Hal tersebut sesuai dengan hasil pengujian kekerasan, dimana kekerasan tertinggi pada paduan Cu - 5%C, Hasil injakan indenter yang berbentuk lingkaran diamati dengan *profil projector*. Standar pengujian digunakan adalah ASTM E-10.

Pengujian kekerasan brinell dilakukan 3 kali pada setiap spesimen kemudian

dirata-ratakan. Contoh perhitungan kekerasan spesimen pada kompaksi

200 MPa dan suhu sintering 700°C adalah sebagai berikut :

$$HB_1 = \frac{2 \times 62,5}{\pi \times 2,5 (2,5 - \sqrt{2,5^2 - 1,29^2})} = 44,41 \text{ (kg / mm}^2\text{)}$$

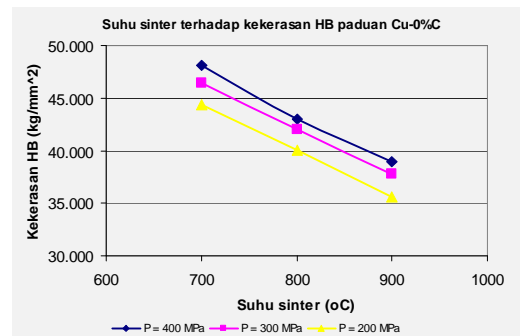
$$HB_2 = 45,17 \text{ (kg/mm}^2\text{)}$$

$$HB_3 = 45,94 \text{ (kg/mm}^2\text{)}$$

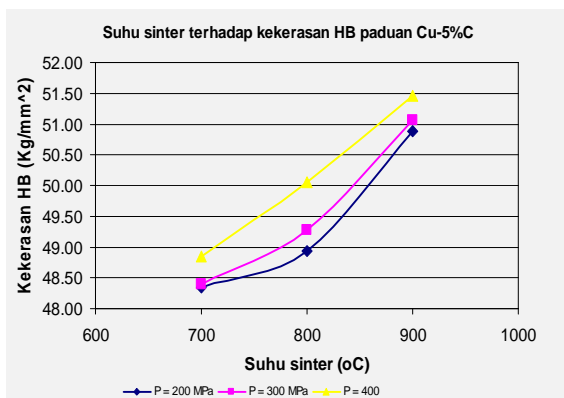
$$HB_{\text{rerata}} = \frac{44,41 + 45,17 + 45,94}{3} = 48,34 \text{ (kg / mm}^2\text{)}$$

Tabel 3. Hasil pengujian kekerasan Brinell paduan Cu-5%C

Kompaksi (Mpa)	Suhu sinter terhadap kekerasan (kg/mm ²)		
	700	800	900
200	48.34	48.94	50.89
300	48.40	49.28	51.07
400	48.85	50.06	51.46



Gambar 6. Grafik hasil pengujian kekerasan Cu-0%C



Gambar 5. Grafik hasil pengujian Kekerasan Brinell Cu-5%C

Tabel 4. Hasil pengujian kekerasan Brinell paduan Cu-0%C

Kompaksi (Mpa)	Suhu sinter terhadap kekerasan (Kg/mm ²)		
	700	800	900
400	48.095	46.469	44.419
300	42.960	42.020	40.013
200	38.956	37.734	35.621

Pembahasan

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 6 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.

Pengaruh penambahan karbon akan meningkatkan kekerasan paduan, dimana kekerasan tertinggi terjadi pada penambahan karbon sebesar 5% berat. Namun demikian pada paduan dengan kandungan karbon di atas 5% berat kekerasannya menurun, hal ini kemungkinan disebabkan oleh penurunan densitas dari paduan dibanding densitas relatif [1], sehingga sifat kekerasan lebih dominan oleh karbon, ditandai dengan menurunnya kekerasan dan juga pada karbon yang

memiliki suhu lebur hingga 3550°C . Sinter antar serbuk grafit diperlukan suhu yang tinggi ($\frac{3}{4}T_m = 2600^{\circ}\text{C}$), dalam hal ini tidak mungkin tercapai karena sinter untuk spesimen adalah 900°C .

Dari gambar 6 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/mm^2 . Selain pengujian dengan spesimen yang dibuat dilakukan juga pengujian menggunakan elektroda. Hasil pengujian menunjukkan kekerasan dari elektroda tersebut sebesar $50,30\text{ kg/mm}^2$. 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.

Pada paduan tembaga 0% karbon tampak kecenderungan penurunan kekerasan yang cukup menyolok dengan naiknya temperatur. Hal ini dapat dijelaskan bahwa tanpa adanya butir karbon, proses dan pertumbuhan butir pada partikel tembaga yang telah mengalami deformasi plastis akibat kompaksi dapat berlangsung dengan mudah dengan naiknya temperatur. Makin tinggi derajat deformasi, makin rendah temperatur rekristalisasi, hal ini tampak dengan jelas dengan memperhatikan dan membandingkan laju penurunan kekerasan pada gambar 6.

KESIMPULAN

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

Tabel 5. Perbandingan Elektroda dari material serbuk dan non serbuk

Sifat Fisis dan Mekanis	Paduan Cu-5%C	Paduan Cu-0%C	Elektroda Non Serbuk
Kekerasan	Optimum 51,46 HB 2,5/62,5/20 Minimum ($200^{\circ}\text{C}/700\text{ Mpa}$) 48.34HB 2,5/62,5/20	Optimum ($200^{\circ}\text{C}/700\text{ Mpa}$) 48.1HB 2,5/62,5/20 Minimum 35,62HB 2,5/62,5/20	874 N/mm ² (89,09 kg/mm ²).

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 kekerasan, malah nilai-nilai tersebut masih dibawa nilai kekerasan tembaga non serbuk.

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.

SARAN

Penelitian ini hanya dilakukan pada 5%C berat penambah dan lama penahanan (*Holding Time*) 1 jam serta pada variasi kompaksi dan variasi suhu sintering, maka perlu dilanjutkan penelitian lanjutan dengan variasi lamanya penahanan suhu sintering, penekanan panas, fraksi berat bahan penambah, dan dengan karakteristik material yang berbeda sehingga akan

didapatkan material alternatif sebagai pengganti material yang digunakan pada proses pemotongan pada mesin EDM sesungguhnya. Sebaiknya didalam melakukan proses sinter harus diperhatikan adanya pengaruh lingkungan pemanasan.

DAFTAR PUSTAKA

1. *Courtesy EDM Tech. Manual, Poco Graphite Inc*
2. C. Schumacher, SAE Technology, paper No.892495, 1991
3. <http://digilib.its.ac.id/public/ITS-Undergraduate-7197-2702100009-bab2.pdf> .tgl 02 Feb 2010, jam 09.15 PM.
4. <http://okasatria.blogspot.com/2007/11/pengujian-kekerasan-oleh-okasatria.html>
5. Kalpakjian, S., 2003, Powder metallurgy Science. Metal Powder Industries Federation. Princeton, New Jersey.
6. Klar, E, Coordinator., 1993, "ASM Handbook Powder Metallurgy vol. 7" ASM international, US.