TUGAS AKHIR – TL141584

PENGARUH KOMBINASI UKURAN PARTIKEL Cu DAN TEMPERATUR SINTERING TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN DENSITAS KOMPOSIT W-Cu

FANY RAHMANSAH ABADI
NRP. 2710100075

DosenPembimbing
Dr. Widyastuti, S.Si, M.Si

JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015

(halaman ini sengaja dikosongkan)

FINAL PROJECT– TL 091584

THE EFFECT OF VARIATION OF PARTICLE SIZE Cu POWDER AND SINTERING TEMPERATURE TO MECHANICAL PROPERTIES AND DENSITY OF W-Cu COMPOSITE

FANY RAHMANSAH ABADI
NRP. 2710100075

Advisor
Dr. Widyastuti, S.Si, M.Si

DEPARTMENT OF MATERIALS AND METALLURGICAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2015

(halaman ini sengaja dikosongkan)

PENGARUH KOMBINASI UKURAN PARTIKEL Cu DAN TEMPERATUR SINTERING TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN DENSITAS KOMPOSIT W-Cu

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Material Inovatif
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
FANY RAHMANSAH ABADI
NRP. 2710 100 075

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si. ..... (Pembimbing)

SURABAYA
JANUARI 2015

PENGARUH KOMBINASI UKURAN PARTIKEL Cu DAN TEMPERATUR SINTERING TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN DENSITAS KOMPOSIT W-Cu

NamaMahasiswa : Fany Rahmansah Abadi
NRP : 2710100075
Jurusan : Teknik Material danMetalurgi
DosenPembimbing : Dr. Widyastuti, S.Si, M.Si

Abstrak

Proyektil adalah bagian dari peluru yang dioptimalkan agar proyektil mempunyai kemampuan untuk menembus yang tinggi dan jangkaukan yang luas. Material yang biasa digunakan dalam pembuatan peluru adalah timbal. Namun timbah merupakan material beracun yang dapat membahayaakan tubuh. Oleh karena itu pada penelitian ini digunakan material alternatif dari komposit tungsten dan tembaga (WCu) sebagai material alternatif dalam pembuatan proyektil peluru

Pembuatan dilakukan dengan proses metalurgi iserbuk dengan berat Cu 20% dari berat total komposit. Variabel yang digunakan adalahi ukuran partikel Cu 20-25, 30,35 dan 30-35µm dan temperatur sintering 1100, 1200 dan 1300^{o}C. Proses ini dilakukan dengan tekanan kompaksi 600 Mpa dan waktu tahan selama 3 jam. Setelah itu secara berturut-turunt dilakukan pengujian densitas, kekerasan, SEM, XRD dan uji tekan.

Berdasarkan hasil pengujian, fasa yang terbentuk dari hasil XRD adalah W dan Cu, sinter density tertinggi sebesar 12.78 g/cm^{3}dan porositas terkecil sebesar 20,46% pada saat ukuran partikel Cu 20-25 µm dengan temperatur sintering 1300^{o}C. Kekuatan tekan tertinggi sebesar 261,82 Mpa pada 20-25µm-1300^{o}C, modulus elastisitas tertinggi sebesar 58,31 Gpa pada 20-25µm 1300^{o}C

Kata Kunci: core proyekti ; komposit W-C; metalurgiserbuk

(halaman ini sengaja dikosongkan)

THE EFFECT OF VARIATION OF PARTICLE SIZE Cu POWDER AND SINTERING TEMPERATURE TO MECHANICAL PROPERTIES AND DENSITY W-Cu COMPOSITE

NamaMahasiswa : Fany Rahmansah Abadi
NRP : 2710100075
Jurusan : Teknik Material danMetalurgi
DosenPembimbing : Dr. Widyastuti, S.Si, M.Si

Abstract

Projectile is part of the bullets that optimized to be the bullet has a high range and penetrating. Usually, The material used in the manufacture of bullets is Pb . However Pb a toxic material that can dangerous for body. Therefore in this study used an alternative material of the composite tungsten and copper (WCU) as an material in the manufacture of a bullet

Manufacture of composite made by powder metallurgy process with Cu 20% of the total weight of Composite. The variables used were Cu particle size 20-25, 30.35 and 30-35μm and temperature sintering 1100, 1200 and 1300^{o}C. This process is done by compacting pressure of 600 MPa and holding time for 3 hours. After that, perform the testing density, hardness, SEM, XRD and pressure tests of composite.

Based on test results, a phase which is formed from the results of XRD is W and Cu, sinter highest density of 12.78 g / cm3 and the smallest porosity of 20.46% when the particle size of 20-25 μm Cu sintering temperature 1300^{o}C. The highest compressive strength of 261.82 MPa at 20-25μm-1300^{o}C, the highest elasticity modulus of 58.31 GPa at 1300^{o}C 20-25μm

Key words : core projectile; W-Cu composit; powder metallurgy

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikumWr. Wb.

Puja dan Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena berkat limpahan Rahmat dan HidayatNya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul

"Pengaruh Kombinasi Ukuran Partikel Cu dan Temperatur Sintering Terhadap Sifat Mekanik dan Densitas Komposit W-Cu"

Adapun laporan ini disusun dan diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan studi di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI – Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya.

Penghargaan dan ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada :

- Allah Subhanahu Wata'ala, atas agama Rahmat-Nya sehingga saya dapat mendapat hidayah untuk tetap tegak menjadi hamba-Nya dan semoga saya selalu dipilih agar mudah mengamalkan agama-Nya yang sempurna
- Orang tua tercinta, atas jasa–jasanya yang tak terhingga dalam mendidik dan membesarkan saya.
- Ibu Widyastuti S.Si, M.Si sebagai dosen pembimbing yang sangat saya hormati.Terima kasih atas segala bimbingan, masukan, dan saran yang bapak berikan.
- Kepada Bapak Dr. Sungging Pintowantoro, ST., MT selaku Ketua Jurusan Teknik Material dan Metalurgi.

- Bapak Ibu Hariyati Purwaningsih, dan Ibu Rindang Fajarin selaku dosen penguji yang sangat saya hormati.Terima kasih atas segala masukan, pertanyaan dan pencerahan yang diberikan kepada saya.
- Bapak-bapak dan Ibu-ibu dosen jurusan Teknik Material dan Metalurgi yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.
- Keluarga Besar yang sudah mensupport saya untuk segera menyelesaikan Tugas akhir ini
- Staf laboratorium SEM, dan XRD JurusanTeknik Material dan Metalurgi, FTI-ITS.Mbak Iis
- Staf Laboratorium Fisika Material JurusanTeknik Material dan Metalurgi Mas Ridho
- Staf Laboratorium Metalurgi Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
- Staf Laboratorium Beton Teknik Sipil FTSP-ITS.
- Staff laboratorium Kimia Terapan UM dan Laboratorium Teknik Fisika ITS
- Teman-teman seperjuangan Laboratorium Fisika Material. Viko, Metrim, Romlan, Febri, Aji, Risky, Yayak, Alfin dan Ratna
- Sobat-sobat Yayasan SDM IPTEK, Johan, Maktum, Sidiq, Miftah, Arif dan kawan-kawan
- Sobat-Sobat JMMI, Hendro, Ilham, Ujek dan kawan semua.
- Dan juga kepada Seluruh Teman – Teman seperjuanganku MT-12, terima kasih karena sudah menjadi teman – teman terbaik dijurusan ini.

Penulis menyadari dengan keterbatasan ilmu, tentu laporan ini masih jauh dari sempurna. Untuk itu saya selaku

penulis dengan senang hati menerima kritik dan saran yang bersifat membangun dari para pembaca laporan ini. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat member manfaat bagi kita semua. Aamiin

Wassalamu'alaikumWr. Wb.

Surabaya, 27 Januari 2015

Penulis

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

Hal
Halaman Judul i
Lembar Pengesahan v
Abstrak vii
Abstract ix
Kata Pengantar xi
Daftar Isi xv
Daftar Gambar xvii
Daftar Tabel xix
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Perumusan Masalah 2
1.3 Batasan Masalah 2
1.4 Tujuan Penelitian 3
1.5 Manfaat Penelitian 3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 5
2.1 Proyektil 5
2.2 Material 6
2.2.1 Tungsten (W) 6
2.2.2 Tembaga (Cu) 7
2.2.3 Paduan W-Cu 7
2.3 Komposit 9
2.3.1 *Metal Matrix Composite (MMC)* 9
2.4 Karakterisasi Serbuk 11
2.4.1 Ukuran dan Distribusi ukuran serbuk 11
2.4.2 Bentuk Serbuk 12
2.5 Metalurgi Serbuk 14
2.5.1 Kompaksi 16
2.5.2 Sintering 17
2.5.2.1 Liquid Fase Sintering 17
2.7 Road Map Penelitian 24

BAB III METODOLOGI PENELITIAN 25
3.1 Bahan 25
3.2 Alat 26
3.3 Diagram Alir Penelitian 34
3.4 Pelaksanaan Penelitian 35
3.4.1 Preparasi Bahan 35
3.4.2 Proses Percobaan 36
3.5 Pengujian 37
3.5.1 Uji Fasa (XRD) 37
3.5.2 Uji Morfologi (SEM) 37
3.5.3 Uji Kekerasan 38
3.5.4 Pengukuran Modulus Elastisitas (Uji Tekan) ... 38
3.5.5 Pengukuran Densitas 39

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN 41
4.1 Analisa Data 41
4.1.1 Proses pembuatan Komposit WCu 41
4.1.2 Hasil Analisa Densitas dan Porositas Komposit WCu 49
4.1.3 Hasil Analisa XRD 53
4.1.4 Hasil Analisa Morfologi (SEM) 57
4.1.5 Hasil Analisa Sifat Mekanik Komposit WCu . 65
4.2 Pembahasan 68

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 75
5.1 Kesimpulan 75
5.2 Saran 75

DAFTAR PUSTAKA 77
LAMPIRAN 79

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sifat Fisik Tungsten 6
Tabel 2.2 Sifat fisik Tembaga 7
Tabel 3.1 Karakterisasi Material Awal 36
Tabel 3.2 Rancangan Penelitian 40

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Bagian-bagian peluru 5
Gambar 2.2 Diagram Fasa W-Cu..... 8
Gambar 2.3 Bentuk-bentuk Partikel Serbuk 14
Gambar 2.4 Skema sederhanan proses kompaksi 16
Gambar 3.1 Serbuk tungsten (W) produksi buffalo tungsten. 25
Gambar 3.2 Serbuk tembaga produksi Merck 26
Gambar 3.3 Sebuk Zinc Stearat 26
Gambar 3.4 Masker dan Sarung tangan 27
Gambar 3.5 Sieve..... 27
Gambar 3.6 Neraca Analitik 28
Gambar 3.7 *Beaker glass* 28
Gambar 3.8 Dies Kompaksi..... 29
Gambar 3.9 Alat Kompaksi 29
Gambar 3.10 *Furnace* 30
Gambar 3.11 Hot Plate dan Magnetic Stirrer..... 30
Gambar 3.12 *Glass* Tahan Api..... 31
Gambar 3.13 Jangka Sorong 31
Gambar 3.14 Alat uji XRD (Philips X'perts) 32
Gambar 3.15 Mesin uji SEM 32
Gambar 3.16 Alat uji tekan..... 33
Gambar 3.17 Alat uji kekerasan..... 33
Gambar 3.18 Diagram Alir Penelitian 35
Gambar 3.19 Skema Uji Tekan..... 39
Gambar 4.1 Serbuk Tungsten, Tembaga dan Campuran 41
Gambar 4.2 Bentuk dan ukuran serbuk W..... 42
Gambar 4.3 Distribusi ukuran serbuk W 43
Gambar 4.4 Hasil uji XRD pada serbuk W..... 44
Gambar 4.5 Bentuk dan ukuran serbuk Cu 46
Gambar 4.6 Grafik XRD serbuk Cu..... 47
Gambar 4.7 Bentuk dan ukuran sampel 48
Gambar 4.8 Sampel komposit WCu 49
Gambar 4.9 Grafik hubungan pengaruh ukuran partikel Cu terhadap densitas komposit..... 50

Gambar 4.10 Grafik Pengaruh ukuran partikel Cu terhadap porositas pre sintering dan pasca sintering..... 51
Gambar 4.11 Grafik Pengaruh temperatur terhadap densitas pre sintering dan pasca sintering 52
Gambar 4.12 Grafik Pengaruh temperatur terhadap porositas pre sintering dan pasca sintering. 53
Gambar 4.13 Grafik XRD pada temperatur 1100^0 C..... 54
Gambar 4.14 Grafik XRD pada temperatur 1200^0 C..... 55
Gambar 4.15 Grafik XRD pada temperatur 1300^0 C..... 56
Gambar 4.16 Gambar Struktur mikro komposit WCu perbesaran 200x a) pasca kompaksi b) pasca sintering 57
Gambar 4.17 Gambar Distribusi ukuran partikel Komposit WCu pada ukuran Cu 20-25µm a) 1100^oC. b) 1200^oC.c) 1300^oC..... 58
Gambar 4.18 Distribusi ukuran partikel Komposit WCu pada temperatur 1200^oC a)20-25µm b) 25-30µm. c) 30-35. 59
Gambar 4.19 BSE SEM komposi WCu (a) partikel Cu 20-25µm (b) partikel Cu 25-30µm (c) partikel Cu 30-35µm dengan temperatur 1100^oC pada perbesaran 200x 60
Gambar 4.20 BSE SEM komposi WCu (a) temperatur 1100^oC (b) 1200^oC (c) 1300^oC dengan partikel Cu 20-25µm perbesaran 200x..... 62
Gambar 4.21 Daerah interface pasca sintering a) antar serbuk W b) serbuk W dan Cu. 64
Gambar 4.22 Grafik Pengaruh Temperatur Terhadap Kekerasan (HRb) 65
Gambar 4.23 Grafik Pengaruh Temperatur Sintering dan Ukuran Partikel Cu Terhadap *Compressive Strength* pada Komposit W-Cu (MPa)..... 66
Gambar 4.24 Grafik Pengaruh Temperatur Sintering dan Ukuran Partikel Cu Terhadap *Compressive Strength* pada Komposit W-Cu (MPa)..... 67

BAB I
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dewasa ini perkembangan teknologi didunia sangatlah pesat. Teknologi berkembang diberbagai bidang, begitu pula dibidang pertahanan. Seluruh negara didunia berlomba-lomba untuk meningkatkan teknologi pertahanannya, tidak terkecuali di Indonesia. Indonesia mempunya sebuah Industri yang bergerak dibidang pertahanan dan keamanan yaitu PT Pindad. PT Pindad inilah yang menjadi salah satu pemasok utama teknologi persenjataan kepada tentara-tentara di Indonesia. Berbagai jenis produk pertahanan dihasilkan disini, termasuk proyektil peluru. yang merupakan alat persenjataan yang paling banyak digunakan, Dalam pembuatannya. Pada produksi *core* proyektil peluru, PT Pindad menggunakan proses Casting dengan bahan utama berupa Timbal. Perlu diketahui, poses Casting mempunyai beberapa kelemahan diantaranya sergregasi, maschining dan tolerasni prodak akhir yang buruk. Hal tersebut dapat dihindari dengan menggunakan proses metalurgi serbuk (R.M. German, 1984).

Penelitian yang menggunaan WCu sebagai komposit telah dilakukan oleh banyak orang. Gita (2013) melakukan penelitian tentang pembuatan komposit WCu dengan variasi %Wt Cu 20, 30 dan 40% dan tekanan kompaksi 400, 500 dan 600 Mpa dengan atmosfer gas argon selama 3 jam. Berdasarkan penelitian tersebut didapatkan bahwa nilai kekerasan, densitas dan nilai *transfer rupture strength* optimum berada pada %Wt Cu 20% dengan tekanan kompaksi 600Mpa. Pada penelitian yang dilakukan john. L (2005) ukuran partikel W yang semakin kecil akan meningkatkan densitas dari komposit WCu. Semakin tinggi temparatur maka komposit akan mendekati fase *full density*

Pada penelitian ini akan dilakukan penelitian pembuatan Komposit WCu dengan variasi ukuran partikel Cu sebagai pengikat *(binder)* dan W sebagai matriks dimana ukuran Cu divariasiakan menjadi tiga macam 20-25, 25-30µm dan 30-35µm. Variasi yang kedua yaitu temperatur sintering yang mencapai 1100˚C, 1200˚C, dan 1300˚C tahan 3 jam. Dari beberapa variasi tersebut diharapkan akan didapatkan spesifikasi komposit WCu yang optimum.

1.2. Perumusan Masalah

Perumusan Masalah pada penelitian kali ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh temperatur sintering terhadap sifat mekanik dan densitas dari komposit W-Cu ?
2. Bagaimana pengaruh ukuran serbuk partikel Cu terhadap sifat mekanik dan densitas dari komposit W-Cu ?

1.3. Batasan Masalah

Agar didapatkan hasil akhir yang baik dan sesuai dengan tujuan penelitian serta tidak menyimpang dari permasalahan yang ditinjau, maka batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Lingkungan diaanggap tidak berpengaruh
2. Serbuk W, Cu merupakan serbuk pro analisis
3. Distribusi serbuk dianggap homogeny
4. Pengotor diabaikan
5. Fraksi Berat W, Cu dan kompaksi yang digunakan tetap

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian kali ini adal untuk mempelajari :

1. Temperatur sintering yang optimum untuk menghasilkan sifat mekanik dan densitas komposit W-Cu yang optimal
2. Ukuran serbuk partikel Cu yang optimum untuk menghasilkan mekanik dan densitas komposit W-Cu yang optimal

1.5. Manfaat Penelitian

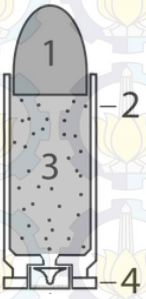
Penelitian kali ini diharapkan dapat menghasilkan material *core* proyektil peluru dari komposit W-Cu dengan proses Metalurgi Serbuk. Selain itu, penelitian ini juga dapat digunakan sebagai referensi untuk penelitian-penelitian selanutnya untuk terus mengembangkan kualitas dari proyektil peluru dengan proses metalurgi serbuk sehingga tercipta inovasi dibidang pertahanan yang dapat menjadi sumbangsih dalam teknologi persentajaan nasional.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Proyektil

Peluru dalam bahasa asing disebut cartride. Peluru memiliki beberapa bagian yaitu proyektik (bullet), kelongsong peluru (bullet case), mesiu (propellant) dan pemantik (rim). Proyektil merupakan bagian dari perluru yang meluncur di udara akibat dari dorongan ledakan yang terjadi didalam peluru.



Gambar 2.1. Bagian – bagian Peluru. (1) Proyektil (bullet). (2) Kelongsong Peluru (bullet case). (3) mesiu (propellant). (4) pemantik (rim)

Terdapat tiga macam bentuk umum proyektil, yaitu lead bullet, partially jacket dan full metal jacket. Proyektil bullet jacket terdiri atas lapisan tipis paduan tembaga yang menutupi seluruh bagian dari proyektil. Lead Bullet dan partially jacket bullet memiliki ujung nose yang datar atau setengah lingkaran, hal tersebut tergantung pada desain penggunaannya, apakah untuk olahraga menembak, berburu, perlindungan diri atau penggunaan militer (SAAMI, 2001).

Lead Bullet merupakan jenis proyektil yang komposisi utama penyusunnya adalah timbal. Hal itu disebabkan karena timbale merupakan logam yang padat, sifat itu cocok untuk aplikasi peluru. Timbale merupkan logam yang lunak sehingga

mudah mengikuti bentuk cetakannya saat mengenai target. (Carlucci, 2012).

Proyektil full metal jacket atau yang disebut jackeated merupakan proyektil timbal yang secara keseluruhan diselimuti oleh tembaga .Jenis ini biasanya menggunakan round pada bagian ujungnya, tujuannya adalah menghindari kerusakan pada ujung peluru ketika mesiu diledakkan untuk menuju sasaran dan memberikan kekerasan pada peluru ketika mengenai sasaran. Desain seperti ini dapat meningkatkan kemampuan penetrasi dari peluru (Carlucci, 2012).

2.2 Material

2.2.1 Tungsten

Wolfram adalah salah satu unsur kimia dengan nomor atom 74 dan nomor massa 183,84. Wolfram mempunyai simbol W dengan nama lain adalah tungsten. Wolfram (Tungsten) merupakan satu material yang memiliki sifat yang baik, hingga memungkinkan digunakan untuk berbagai bidang termasuk bidang militer. Secara fisik tungsten berwarna silver/perak yang memiliki densitas sangat tinggi yaitu 19.3 gr/cm^3 nilai tersebut lebih tinggi daripada Timbal yang mempunyai densitas sebesar 11.3 gr/cm^3.Dengan densitas yang lebih besar dari timbal, Wolfram merupakan material pengganti yang dominan untuk proyektil peluru Adapun sifat – sifat mekanik oleh Wolfram dapat dilihat pada tabel dibawah (ASM Vol.2):

Tabel 2.1. Sifat Fisik Tungsten

Sifat	Keterangan
Hardness (HV)	385
Modulus Elasticity (GPa)	405
Density (g/cm^3)	19.3
Melting Point (^{0}C)	3410
Specific Heat (J/K)	140
Thermal Conductivity (W/m.K)	130
Electrical conductivity (IACS)	31

2.2.2. Tembaga (Cu)

Tembaga adalah unsur kimia yang diberi lambang Cu Logam ini merupakan penghantar listrik dan panas yang baik.dan merupakan bahan logam yang sangat popular untuk berbagai jenis ke butuhan ,baik untuk industrialisasi ,kesehatan ataupun militer. Secara fisik, tembaga berwarna coklat kemerah-merahan yang memiliki nomor atom 29 dan massa relative 63.546 yang berwujud padat pada temperatur kamar. Tembaga adalah salah satu material yang memiliki konduktifitas panas yang tinggi, sehingga banyak diaplikasikan dalam bidang yang berhubungan dengan kelistrikan. Material Tembaga murni mempunyai konduktifitas panas sebesar 393 W/m.K. dengan daya hantar yang tinggi material ini dapat diaplikasikan untuk kawat kabel dan komponen – komponen kelistrikan yang lain. Adapun sifat – sifat yang dimiliki tembaga dapat dilihat pada table berikut (ASM Vol 2) :

Tabel 2.2. Sifat Fisik Tembaga

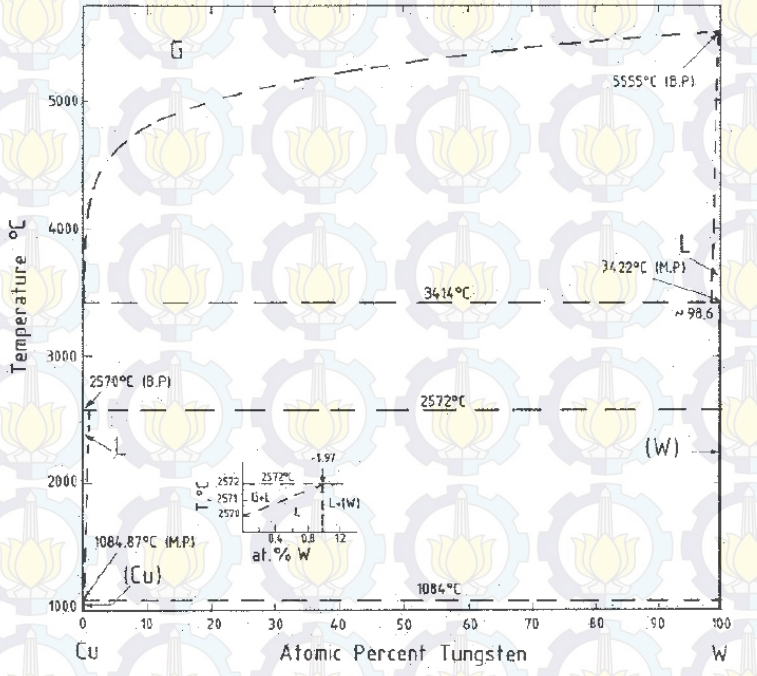
Sifat	Keterangan
Density (g/cm^3)	8.933
Melting Point (^0C)	1084.62
Specific Heat (J/K)	385
Thermal Conductivity (W/m.K)	391
Coefficient of Thermal Expansion ($10^{-6}/^0C$)	17.6

2.2.3. Paduan W-Cu

Tungsten memiliki sifat kekerasan yang sangat baik. Namun dengan kekerasan tersebut membuat Tungsten memiliki sifat getas, tidak tahan terhadap tekanan dan tarikan . Hal tersebut menjadi Tungsten murni sulit digunakan sebagai bahan proyektil peluru. Oleh karena itu, perlu adanya paduan yang memiliki sifat ulet, sehingga dapat menaikkan keuletan dari Tungsten salah satunya adalah tembaga yang merupakan material ulet. Dengan pemaduan material-material dengan sifat yang baik akan diperoleh material campuran yang memiliki sifat luar biasa yang

dapat diaplikasikan dalam bidang yang luas (Xi Xiaoli dkk, 2010).

Pemaduan material tungsten dengan material tembaga dengan metode metalurgi serbuk merupakan suatu proses pembentukan komposit W-Cu. Hal ini karena proses ini memenuhi salah satu kaedah komposit yakni komposit dapat dibentuk dari dua material yang salah satunya berperan sebagai penguat *(reinforced)* yang memiliki sifat yang lebih baik dari sisi mekanik seperti kekuatan, kekerasan dan kekakuan dan matriks yang umumnya berperan sebagai pemberi bentuk dengan sifat kekuatan dan kakakuan yang lebih rendah (Schwartz, 1984).



Gambar 2.2 Diagram Fasa W-Cu

Diagram fasa *equilibrium* Cu-W terdapat reaksi eutektik tunggal yang ada pada temperatur 3240°C. Pada sistem ini, dapat dibagi menjadi 3 kelompok berdasarkan *bulk composition*, yaitu eutektik, hipoeutektik, dan hipereutektik.Paduan hipoeutektik adalah paduan yang memiliki kandungan W dibawah komposisi eutektik (91% wt. W) sedangakan paduan hipereutektik memiliki kandungan W diatas komposisi eutektik.

2.3. Komposit

Komposit didefinisikan sebagai suatu material yang terdiri dari dua komponen atau lebih yang memilki sifat atau struktur yang berbeda yang dicampur secara fisik menjadi satu membentuk ikatan mekanik yang dengan struktur homogeny secara makroskopik dan heterogen secara mikroskopik. Material campuran tersebut akan menghasilkan material yang baru yang memiliki sifat unggul dari material pembentuknya. Dengan penggabungan dua atau lebih material yang berbeda, maka dapat diperbaiki dan dikembangkan sifat-sifat mekanik dan fisik dari material – material tersebut. (Sulistijono, 2012).
Berdasarkan matriks penyusunnya, komposit dapat diklasifikasikan ke dalam 3 jenis, yaitu:\

1. *Metal Matrix Composite* (MMC), dengan matrix yang digunakan adalah jenis logam.
2. *Polymer Matrix Composite* (PMC), dengan matrix yang digunakan adalah polimer.
3. *Ceramic Matrix Composite* (CMC), dengan matrix yang digunakan adalah jenis keramik.

2.3.1. *Metal Matrix Composite (MMC)*

Metal Matrix Composite merupakan kombinasi dari dua material atau lebih dimana logam sebagai matriksnya dengan penguat keramik yang berupa fiber atau partikel. Karakteristik yang dimiliki MMC dibandingkan dengan logam monolitik (material tunggal) antara lain

- Kekuatan tinggi (ratio *strength-density* tinggi)
- Modulus elastis tinggi (ratio *stiffness-density* tinggi)
- Ketahanan fatik lebih baik Memiliki sifat yang baik pada temperatur tertentu, yaitu:
    - kekuatan lebih tinggi
    - laju creep rendah
- Sifat ketangguhan dan ketahanan beban kejut tinggi
- Ketahanan aus baik
- Sifat permukaan yang baik
- Koefisien termal ekspansi rendah
- Ketahanan ruangan vakum yang baik

Variasi dari sifat yang dimiliki MMC dapat dipengaruhi fakor-faktor dibawah ini, yaitu:

- Sifat, bentuk, dan susunan geometrik dari *reinforcement*
- Volum fraksi *reinforcement*
- Sifat dari matriks (termasuk pengaruh dari *porosity*)
- Sifat pada *interface* antara matriks dan *reinforcement Residual stress*

Kemungkinan terjadinya degradasi *reinforcement* pada temperatur tinggi yang menyebabkan terjadinya reaksi kimia dan kerusakan karena proses Logam yang biasa digunakan sebagai matriks adalah aluminium dan titanium. Aluminium banyak digunakan sebagai matriks pada material MMC. Keunggulan utama dari logam ini adalah densitas yang rendah sehingga komponen yang dihasilkan akan lebih ringan. Selain itu, aluminium merupakan logam yang tergolong mudah dalam fabrikasinya. Untuk meningkatkan kekuatannya agar bersaing dengan material lain (misalnya baja), maka ditambahkan penguat (dari bahan keramik) sehingga rasio kekuatan dan modulus dari material akan meningkat. Material yang biasa digunakan sebagai penguatcbiasanya dari golongan keramik, antara lain: fiber alumina, silikon karbida *whiskers*, dan partikel grafit. Pada material komposit, adanya penguat dapat meningkatkan karakteristik dari matriks, diantaranya ketahanan aus, koefisien

gesek maupun konduktivitas termal. Berdasarkan jenis penguatnya

Metal Matrix Composite dapat terbagi atas 2 kelompok, yaitu:

a. *Reinforced Continuous*

Penguat dari jenis *continuous* ini berupa *fiber*, dimana material komposit dengan jenis penguat ini digunakan apabila komponen yang akan dibuat mementingkan kekuatan tarik yang lebih baik. Pada penguat jenis *continuous*, kekuatan tarik akan berpusat pada fiber-fiber panjang. *Reinforced* dengan *continuous-alligned-fiber* memiliki sifat anisotropi. Kekuatan dan kekakuannya akan lebih akan lebih baik pada arah fiber dibandingkan pada arah tegak lurus (*transversal*).

b. *Reinforced Discontinuous*

Penguat dari jenis *discontinuous* dapat berupa *fiber, whiskers, particulate* atau serpihan (*flake*). Komponen untuk aplikasi yang pembebanannya diterima merata di seluruh material MMC sebaiknya menggunakan penguat berserat pendek atau *discontinuous* karena beban akan disalurkan ke semua penguat melalui matriks sehingga penyebarannya akan merata dan tidak terpusat seperti pada material (Dhian Ekawati, 2008)

2.4. Karakteristik Serbuk

Karakteristik Serbuk komposit dapat mempengaruhi sifat dari logam atau prodak yang akan dihasilkan. Ada beberapa macam karakteristik serbuk meliputi, ukuran serbuk, distribusi ukuran serbuk, bentuk serbuk, berat jenis serbuk, mampu alir (flowability), dan mampu tekan (compressibility)

2.4.1 Ukuran dan distribusi ukuran serbuk

Ukuran Partikel merupakan salah satu yang harus diperhatikan dalam proses metalurgi serbuk. Ukuran serbuk akan sangat menentukan hasil dari prodak yang akan dibuat. Ukuran partikel dapat diukur dengan melihat dimensi dari partikel

tersebut misalkan diameter. Namun dalam kenyataanya serbuk tidak hanya berbentuk bulat yang menyebabkan sulit untuk menentukan ukuran partikel. Ukuran partikel akan mempengaruhi densitas, porositas, dan sifat mekanis material hasil dari kompaksi. Semakin kecil ukuran partikel serbuk maka densitas bakalan (green density) akan semakin besar. Serbuk logam yang digunakan pada proses Metalurgi Serbuk biasanya berukuran 0.1 – 1000 µm. (Erhard Klar, 1983). Didalam bukunya (Erhard Klar, 1983) menjelaskan bahwa ada beberapa pengaruh ukuran partikel serbuk terhadap karakterisasi material, antara lain :

a. Ukuran partikel yang halus sangat diperlukan untuk kompaksi serbuk yang keras atau getas seperti Tungsten (W) dan alumina, karena dengan semakin tingginya gesekan antar partikel akan membantu meningkatkan kekuatan adhesi bakalan untuk memudahkan dalam proses penangganan selanjutnya.
b. Serbuk yang halus mempunya luas kontak permukaan dengan partikel lainnya lebih banyak yang menimbulkan meningkatnya mekanisme ikatan antar partikel secara difusi pada saat proses sintering. Namun partikel yang halus menyebabkan sulit untuk memperoleh densitas kompaksi yang seragan dengan luas yang besar
c. Serbuk yang kasar memiliki kepadaraan yang seragam pada proses kompaksi, tetapi luas permukaan kontak antar partikel lebih kecil. Pada proses sinter yang kurang baik akan menyebabkan terjadinya banyak porositas hingga akhirnya dapat menurunkan sifat mekanis produk

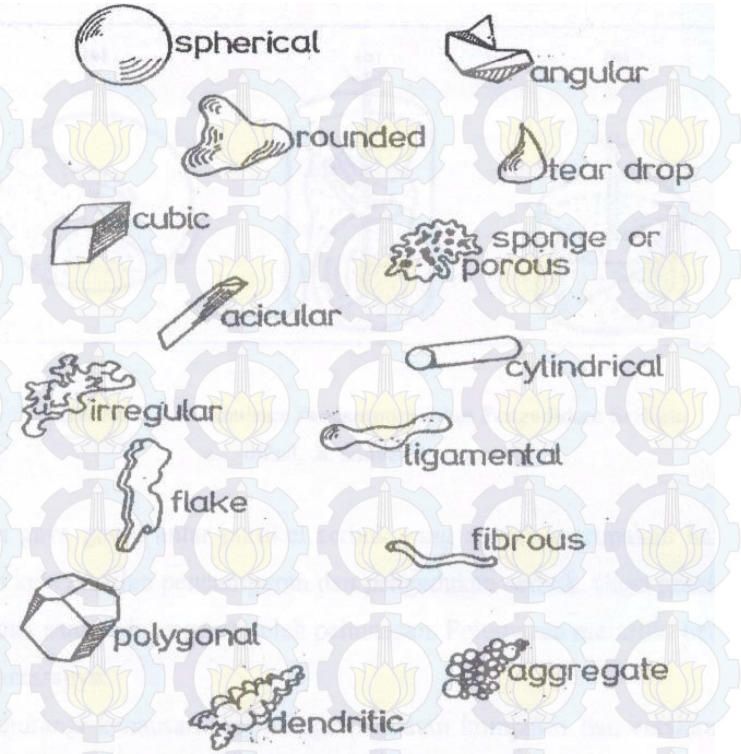
Distribusi partikel ukuran serbuk ini nantinya sangat menentukan pada kemampuan mengisi ruang kosong antar partikel untuk mencapai *full density* yang nantinya akan menentukan porositas, densitas dan kekuatan dari bakalan.

2.4.2 Bentuk Serbuk

Bentuk partikel serbuk merupakan hal penting yang mempengaruhi sifat massa serbuk, seperti efisiensi pemadatan (*packing efficiency*), mampu alir (*flowability*), dan mampu tekan

(*compressibility*). Bentuk partikel dapat memberikan informasi mengenai proses fabrikasi serbuk dan membantu menjelaskan karakteristik proses. Berdasarkan standar ISO 3252, bentuk partikel serbuk diklasifikasikan sebagai berikut (Erhard Klar, 1983)

a) Acicular : berbentuk jarum
b) Angular : berbentuk polihedral kasar dengan tepi tajam
c) Dendritic : berbentuk kristalin dan bercabang
d) Fibrous : berbentuk serabut yang beraturan atau tidak beraturan
e) Flaky : berbentuk serpihan
f) Granular : berbentuk tidak beraturan dan hampir bulat
g) Irregular : berbentuk tidak beraturan dan tidak memiliki simetri
h) Nodular : berbentuk bulat dan tidak beraturan
i) Spheroidal : berbentuk bulat



Gambar 2.3. Bentuk Partikel Serbuk
(German, 1984)

2.5. Metalurgi Serbuk

Metalurgi serbuk mengacu pada proses dimana serbuk logam dicampur (*mixed*) dan dikompaksi di dalam cetakan dibawah tekanan hingga mencapai ~80% densitas teori dan kemudian dilakukan proses sinter pada temperatur tinggi dibawah titik leburnya (~0,8 titik lebur). Proses sinter akan menyebabkan penggabungan antar partikel-partikel serbuk melalui difusi transport atom dan meningkatkan densitas (hampir mendekati nilai dari densitas teori) (Sri Harjanto, 2006)

Teknik pemrosesan dengan metalurgi serbuk memiliki keuntungan pada produk yang ingin dihasilkan, diantaranya sebagai berikut:

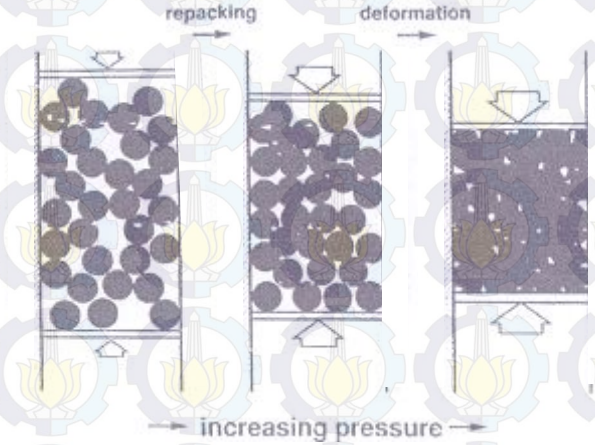
- *Part* (bagian-bagian) yang memiliki titik lebur tinggi dan permesinan
- yang sulit, seperti komponen-komponen *tungsten*, WC *cutting tools*.
- Kemampuan untuk membuat komponen dengan tingkat kerumitan yang tinggi dan toleransi dimensi yang baik dengan kualitas tinggi.
- Material dengan struktur butir yang halus
- *Alloy* dan komposit yang sulit dicampur dengan peleburan
- Magnet kuat yang mempersyaratkan susunan partikel-pertikel berukuran kecil
- Penggunaan bahan baku yang efisien
- Mengurangi biaya permesinan
- Dapat mengontrol besarnya densitas dan porositas sesuai dengan yang diinginkan
- Dapat meminimalkan terjadinya reaksi-reaksi antarmuka yang tidak diinginkan karena preparasi sampel dilakukan pada kondisi temperatur rendah.

Namun selain memiliki kelebihan, proses metalurgi serbuk juga memiliki beberapa kekurangan diantaranya ialah:

- Sulit untuk menghasilkan produk secara massal
- Sulit untuk mendapatkan distribusi partikel yang merata pada produk
- Membutuhkan kebersihan proses dengan tingkat sangat tinggi
- Terbentuknya inklusi di dalam produk yang dapat memberikan efek beracun
- Desain komponen harus dibuat sedemikian serupa sehingga dapat dengan mudah dikeluarkan dari cetakannya

2.5.1 Kompaksi

Pada banyak aplikasi untuk metalurgi serbuk, dengan memperhatikan sifat bahwa densitas tertinggi dicapai dengan kompaksi.Kompaksi bergantung pada sumber luar dari tekanan untuk mendeformasi serbuk menjadi densitas yang tinggi, sambil memberikan bentuk dan kontrol dimensi pada serbuk.Carapenekanan serbuk, kendala mekanik dan laju penekanan adalah parameter proses utama yang menentukan hasil densitas (R.M. German, 1994)



Gambar 2.4. Skema sederhana proses kompaksi (R.M. German, 1994)

Hasil kompaksi akan mengakibatkan komposisi yang tidak homogen, yaitu adanya perbedaan distribusi densitas dan porositas yang disebabkan dengan adanya gesekan antar partikel dan adanya penyusutan selama terjadi deformasi pada produk. Adapun parameter yang mempengaruhi *cold die compaction* adalah ukuran partikel, porositas, *work hardening, internal friction*, dan efek distribusi serbuk selama kompaksi (H. A. Qureshi, 2008).

2.5.2 Sintering

Sintering merupakan salah satu tahapan dalam proses metalurgi serbuk yang digunakan untuk membentuk ikatan antar partikel/serbuk setelah proses kompaksi. Proses ini dilakukan dengan memberikan panas/ memanaskan sampel pada temperatur di bawah *melting point*-nya hingga terjadi transfer massa pada permukaan serbuk sehinggai terbentuk ikatan bersama antar serbuk (German, 1984).

Proses sintering ini sangat mempengaruhi hasil akhir dari sifat mekanik material. Begitu pula terhadap komposit W-Cu, kekerasan meningkat dengan meningkatnya porositas suhu Sintering. Hal ini karena efek tembaga dan isi porositas komposit. Sebagaian kadar tembaga dan berkurang, sehingga akan meningkat kekerasan. (A Ibrahim, 2009)

2.5.2.1 Liquid Fase Sintering

Liquid fase sintering biasanya digunakan pada material dengan kepadatan tinggi, contohnya pada Si_3N_4, WC, SiC, dan banyak lagi. Ada tiga proses dalam proses *Liquid fase sintering* (R.M German, 1985) diantaranya :

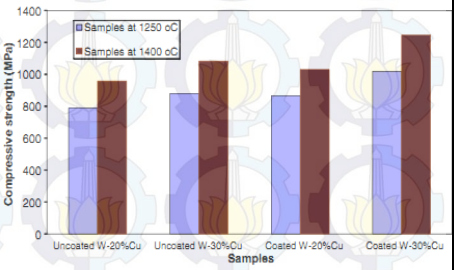
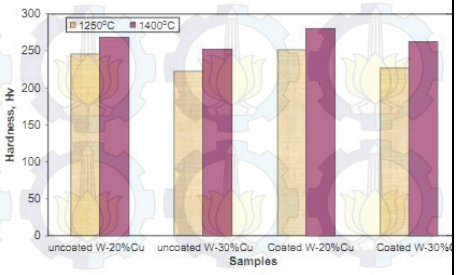
a. *Rearrangement,* proses penataan ulang dimana material yang mencair akan masuk kedalam pori – pori material yang berfasa solid. Dengan begitu porositas dari material akan semakin berkuran
b. *Solution – presipitation,* pada partikel-partikel yang berdekatan atom akan masuk kedalam larutan. Partikel yang lebih kecil akan masuk kedalam partikel yang lebih besar.
c. Final Densification, Sintering dari kerangka solid

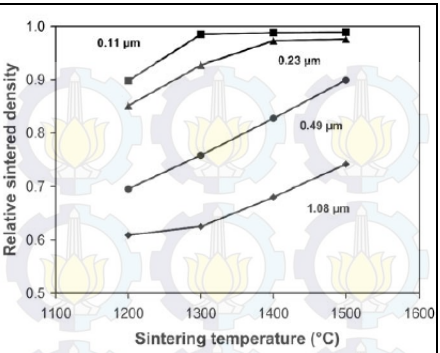
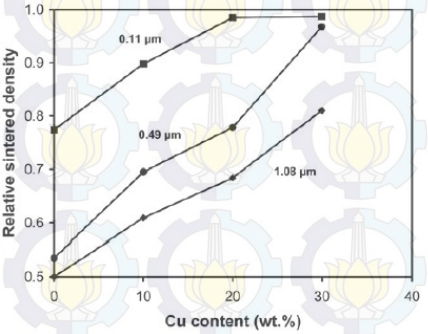
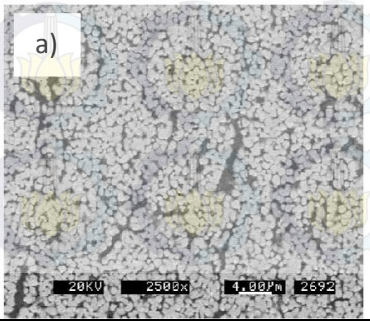
Liquid phase sintering (LPS) diterapkan pada komposit yang mencair pada rentang temperatur tertentu. Dalam beberapa kondisi, butiran-butiran padat larut dalam cairan. Kelarutan ini menyebabkan cairan membasahi padatan, memberikan kekuatan kapiler yang menarik butir secara bersama-sama. Pada saat yang sama, temperatur yang tinggi melunakkanbagian yang padat, membantu densifikasi lebih lanjut. Karena produk akhir adalah

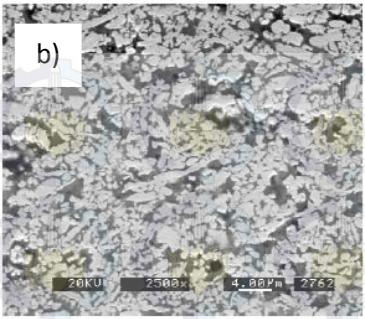
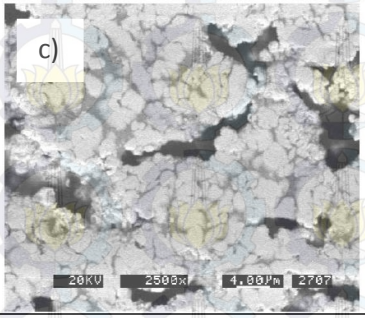
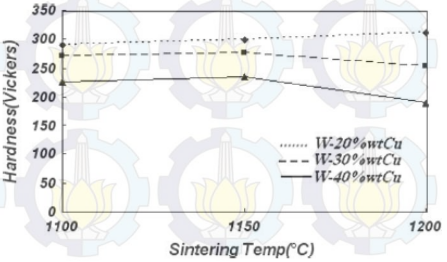
komposit dengan sifat yang dapat disesuaikan, LPS adalah proses sintering komersial yang dominan (Randal M. German, Pavan Suri, Seong Jin Park, 2008).

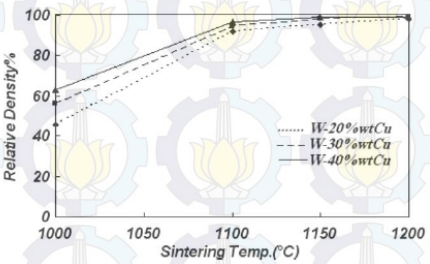
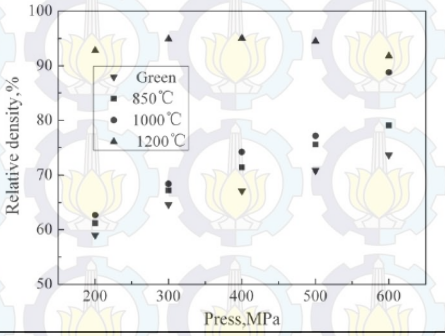
2. 6 Penelitian Sebelumnya

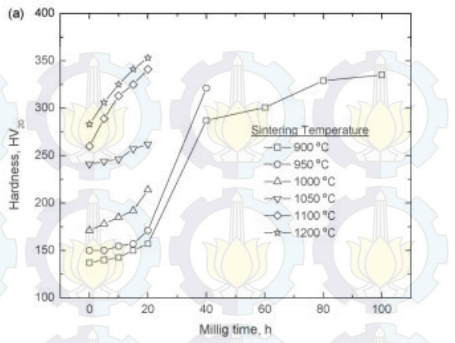
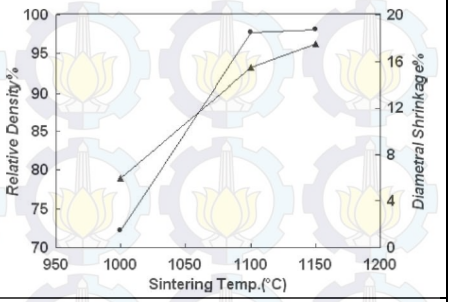
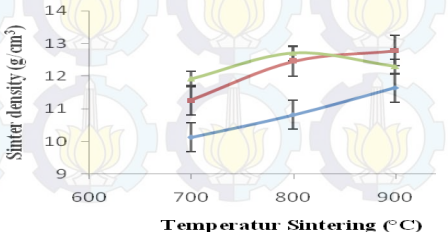
Dibawah ini adalah beberapa penelitian telah dilakukan mengenai komposit W-Cu

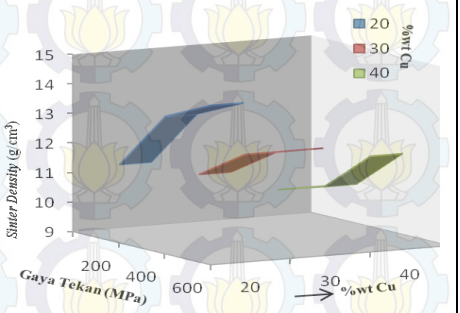
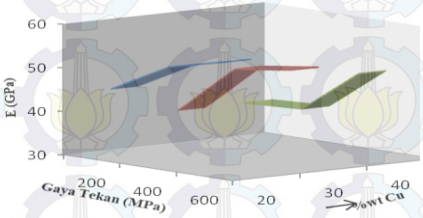
Peneliti	Metode	Hasil
A. Ibrahim, 2008	- % Berat Cu 20% & 30% - Temperatur sintering 1250°C dan 1400°C	- Dengan temperatur 1400°C dan 20% Cu didapatkan hasil compressive strenght dan hardness yang optimum  
John L, (2005)	- Ukuran partikel W 0.11, 0.23, 0.49, 1.08µm - % berat Cu 10,	- Semakin kecil ukuran partikel W menyebabkan komposit semakin mendekati densifikasi sempurna.

	20, 30 % - Temperatur sintering 1200-1500^{o}C	 - Densitas optimum pada penelitian ini terjadi ketika komposit mengandung 20% dan 30% Cu dari berat total komposit  

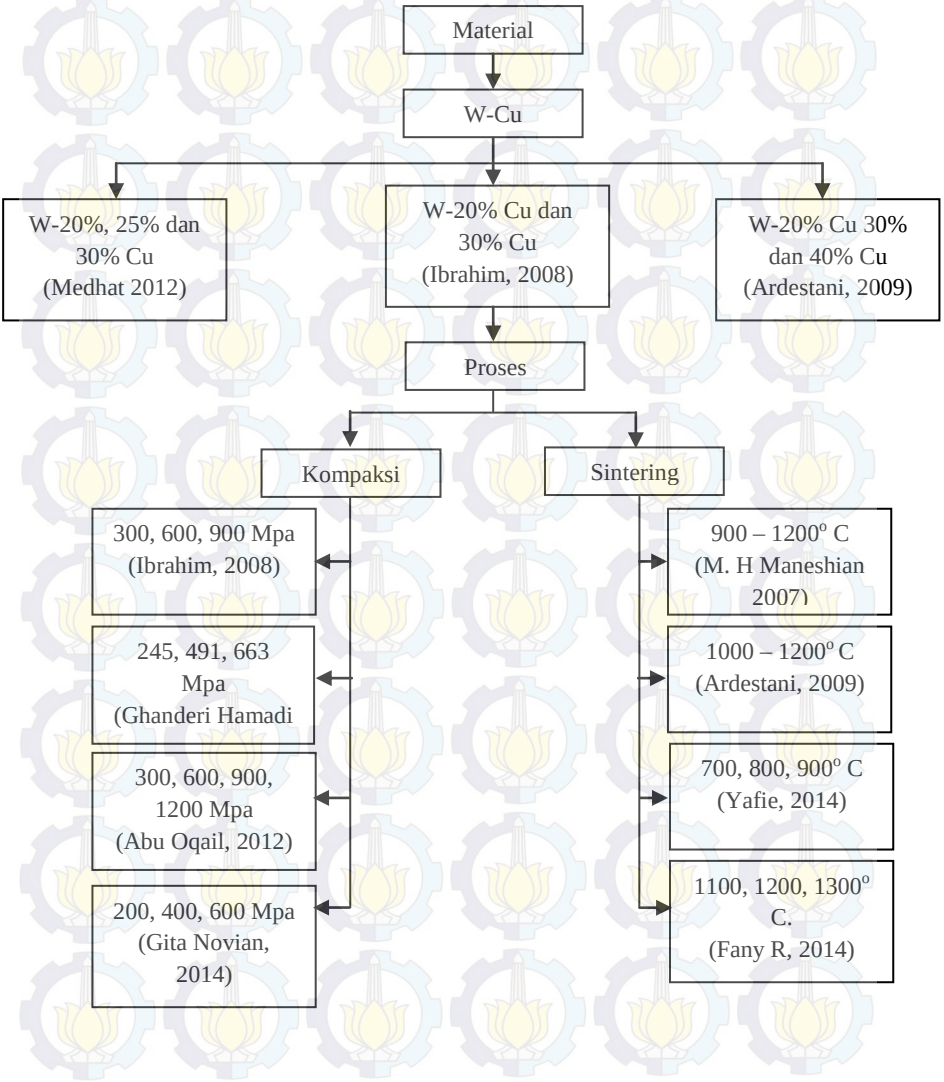
		b)  c) 
M.Ardestani, (2009)	- Wt% Cu 20, 30 dan 40% - Temperatur sintering 1100-1300^{o}C	- Hardness maksimum pada temperatur 1200^{o}C dan 20%Cu. Pada komposi dengan 30-40% Cu kekerasannya menurun - Pada 30-40% Cu hardness maksimal terjadi pada temperatur 1150^{o}C  - *Relative Sinter density* tertinggi

		saat temperatur sintering mencapai 1200°C dengan 20% Cu 
Lai Mai, (2014)	- W-30%wt Cu - Temperatur sintering 850, 1000, 1200°C - Tekanan Kompaksi 200-600 MPa	- *Relative sinter density* tertinggi pada temperatur 1200°C dengan tekanan kompaksi 400 Mpa 
(M.H. Maneshian, 2007)	- Kompaksi 100-150 MPa - Temperatur sintering 900 – 1200°C - Waktu tahan selama 90 menit	- Hardness tertinggi terjadi pada saat temperatur 1200°C.

		
M. Ardestani (2009)	- Temperatur sintering 1000, 1100, 1150°C - W-30%wtCu	- *sinter density* yang optimum didapatkan ketikan temperatur sintering mencapai 1150°C 
Yafi, (2014)	- temperatur sintering 700, 800 dan 900°C - waktu tahan 1, 2 dan 3 jam	- Sinter density akan meningkat seiring dengan kenaikan temperatur, sinter density tertinggi ketika temperatur 900°C 

Vian, (2013)	- Wt% Cu 20,30 dan 40% - Tekanan kompaksi 200,300 dan 400 Mpa	- Sinter density tertinggi terjadi saat serbuk Cu mengandung 20% dari total berat komposi  - Modulus elastisitas tertinggi terjadi ketika komposit mengandung 20% Cu dari berat total 

2.7. Road Map Penelitian



BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Bahan

Ada beberapa bahan yang akan digunakan dalam penelitian kali ini, antara lain adalah :

1. Serbuk W

   Serbuk tungsten diperoleh dari Buffalo Tungsten (S) Pte. Ltd. dengan spesifikasi sebagai berikut:

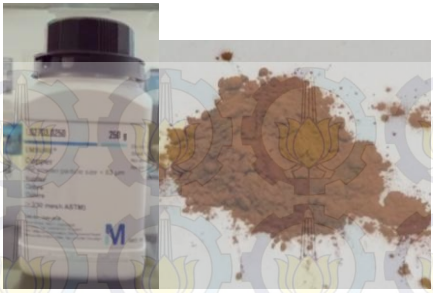
   Densitas : 19,3 g/cm^3
   Temperatur lebur : 3410°C
   Ar : 183,86 g/mol

Gambar 3.1 Serbuk W (Tungsten)

2. Serbuk Cu

   Serbuk tembaga diperoleh dari Merck dengan spesifikasi sebagai berikut:

   Densitas : 8,933 g/cm^3
   Temperatur lebur : 1084,62°C
   Ar : 63,546 g/mol



Gambar 3.2 Serbuk Cu (Tembaga)

3. Pelumas
   Pelumas yang digunakan dalam penelitian ini adalah zinc stearate. Dalam aplikasinya, fungsi dari Pelumas adalah sebagai pereduksi gesekan antara serbuk dengan serbuk maupun serbuk dengan dinding cetakan saat dilakukan penekanan.Pelumas yang digunakan sebanyak 1% dari berat campuran. Zinc stearate memiliki densitas 1,09 g/cm^3 dan temperatur lebur 130°C.

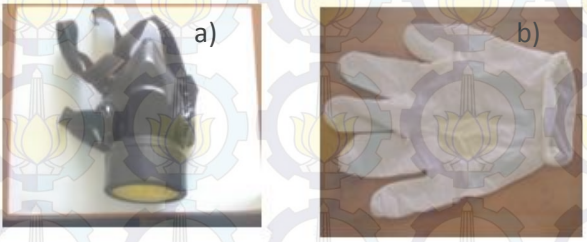
Gambar 3.3 Serbuk Zinc Stearat

3.2 Alat

Adapum Peralatan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Masker dan sarung tangan

Sebagai alat keamanan untuk pernapasan dan bersentuhan dengan bahan guna mengantisipasi adanya efek dari bahan.

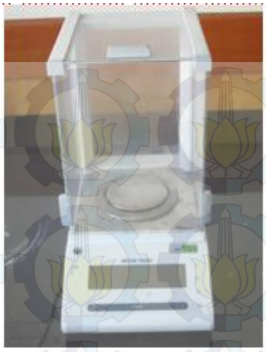


Gambar 3.4 a) Masker dan b) Sarung Tangan

2. *Sieve*
   Berfungsi untuk menghomogenkan ukuran serbuk.

Gambar 3.5 Ayakan

3. Neraca analitik
   Digunakan untuk menimbang serbuk W dan Cu serta sampel hasil *sintering.*



Gambar 3.6 Neraca Analitik

4. *Beaker glass*
   Digunakan untuk tampat serbuk saat dilakukan *mixing*.

Gambar 3.7 *Beaker Glass*

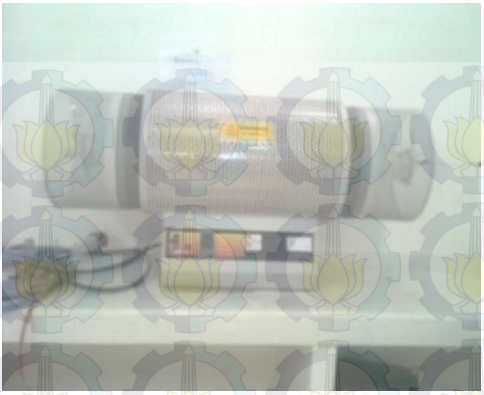
5. *Dies* kompaksi
   Digunakan untuk cetakan agar menghasilkan bentuk pelet saat dikompaksi.

Gambar 3.8 *Dies* Kompaksi

6. Alat kompaksi
   Alat kompaksi *Carver* untuk melakukan kompaksi pada serbuk supaya terdeformasi dengan menggunakan tekanan 400MPa.

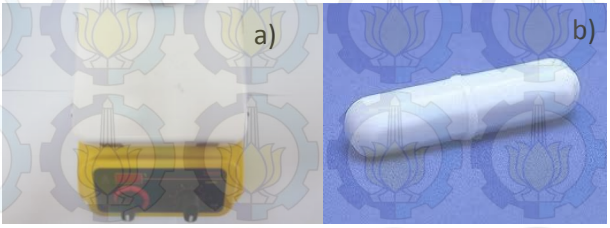
Gambar 3.9 Mesin Kompaksi

7. *Furnace*
   Digunakan untuk pemanasan saat *sintering.*



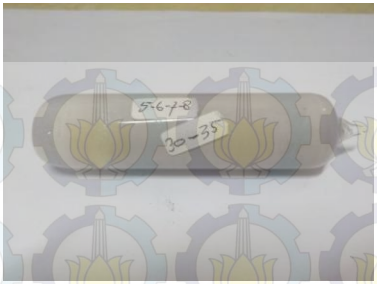
Gambar 3.10 *Furnace*

8. *Magnetic stirrer* dan *hot plate*
   Digunakan untuk pencampuran serbuk W dan Cu.



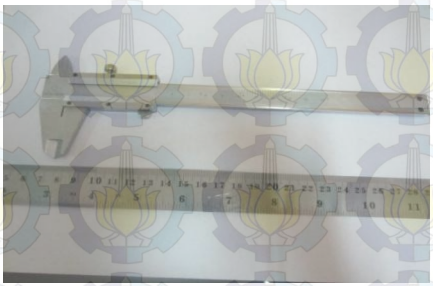
Gambar 3.11 a) *Hot Plate* dan b) *MagneticStirrer*

9. *Glass* tahan api
   Glass tahan api digunakan untuk menjaga agar sampel komposit WCu tetap dalam keadaan vacum.



Gambar 3.12 *Glass* tahan api

10. Jangka sorong
    Digunakan untuk mengukur diameter dan tinggi sampel setelah dilakukan kompaksi.



Gambar 3.13 Jangka Sorong

11. Alat uji XRD
    Pengujian menggunakan alat XRD bertujuan untuk mengetahui fasa yang terbentuk, struktur kristal dll.

Gambar 3.14 Alat Uji XRD

12. Alat uji SEM
    Pengujian menggunakan alat SEM bertujuan untuk mengetahui morfologi sampel setelah dilakukan proses metalurgi serbuk dengan variasi temperatur dan waktu tahan *sintering.*

Gambar 3.15 Alat Uji SEM

13. Alat uji tekan

Pengujian menggunakan alat uji tekan bertujuan untuk mengetahui kekuatan, modulus elastisitas dan *yieldstrength* dari sampel, dimana sampel memiliki bentuk yang lebih sederhana dari sampel uji tarik.

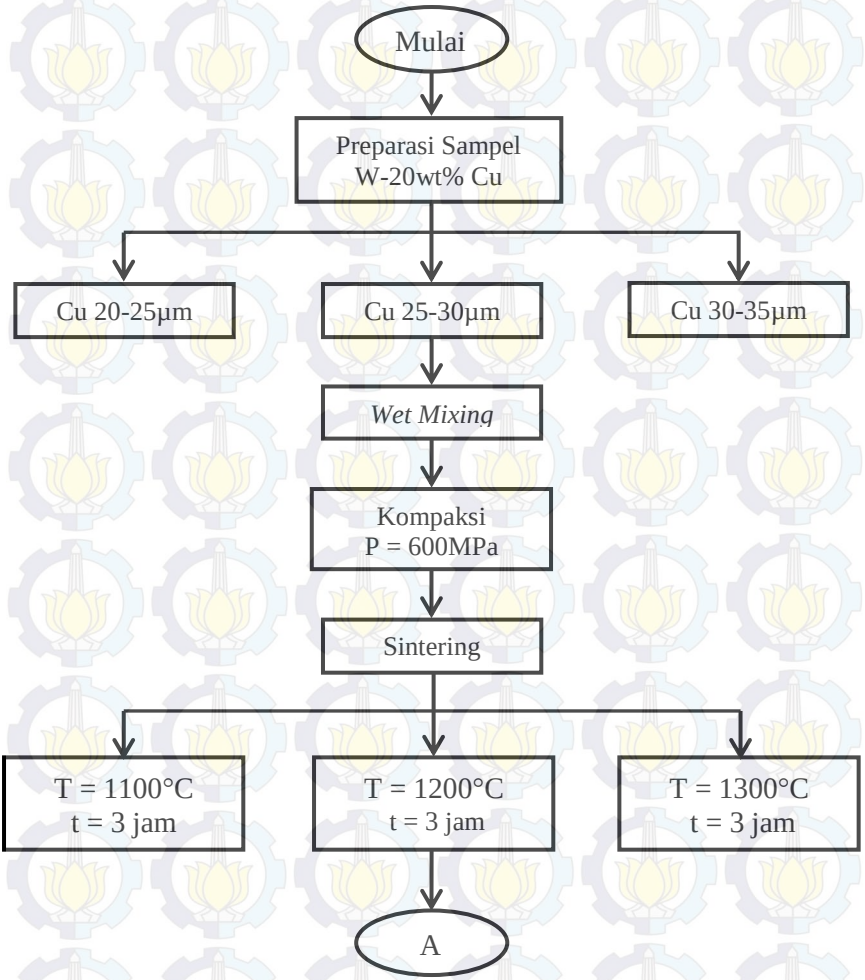
Gambar 3.16 Alat Uji Tekan

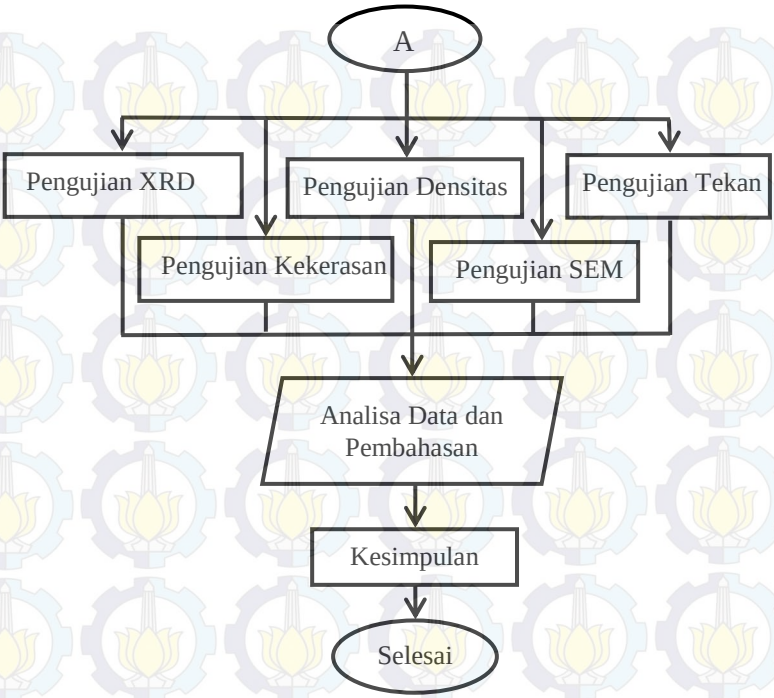
14. Alat uji kekerasan

Pengujian menggunakan alat uji kekerasan bertujuan untuk mengetahui kekerasan dari sampel setelah dilakukan proses metalurgi serbuk dengan variasi temperatur dan waktu tahan *sintering.*

Gambar 3.17 Alat Uji Kekerasan

3.3 Diagram Alir Penelitian





Gambar 3.18 Diagram Alir Penelitian

3.4 Pelaksanaan Penelitian

3.4.1 Preparasi Bahan

Langkah awal yang perlu dilakukan sebelum melakukan penelitian adalah mepreparisa bahan sebagai berikut:

1. *Sieving* (pengayakan) dilakukan terhadap serbuk W dan Cu karena memiliki ukuran serbuk yang bervariasi.
2. Serbuk W dan Cu ditimbang berdasarkan persentase berat yang telah ditentukan yaitu 80%W dan 20%Cu. Untuk sampel pengujian dengan diameter 14 mm dan tinggi 14 mm.

Tabel 3.1 Karakterisasi Material Awal

Material	m (gram)	ρ (g/cm^3)
W	27.014	19.3
Cu	6.753	8.93

3.4.2 Proses Percobaan

1. Memisahkan serbuk Cu sesuai ukurang yang telah ditentukan dengan *sieving* (20-25µm, 25-30µm, dan 30-35µm)
2. Mencampur *(mixing)* serbuk W dan Cu yang telah ditimbang dengan memasukkannya ke dalam *beaker glass*serta menambahkan alcohol untuk diaduk dengan *magnetic stirrer* dan *hot plate* agar serbuk homogen, selama 30 menit.
3. Memasukkan serbuk ke dalam *dies* sebelum dikompaksi. Sebelumnya *dies* dilapisi oleh zinc stearat agar sampel mudah dikeluarkan setelah dikompaksi.
4. Mengompaksi serbuk sesuai dengan die yang sudah dipersiapkan dengan tekanan 400 MPa.
5. Menimbang massa sampel yang telah dikompaksi dengan neraca analitik.
6. Mengukur volume sampel yang telah dikompaksi dengan jangka sorong.
7. Menghitung densitas sampel setelah dikompaksi *(green density)* dengan membagi massa dengan volum sampel yang didapatkan dari pengukuran sebelumnya.
8. Vacum sampel menggunakan gelas tahan api sebelum disintering di dalam *furnace*. Proses sintering dapat dilakukan untuk beberapa sampel secara bersamaan.
9. Proses sintering dilakukan pada temperatur 1100, 1200 dan 1300^{o}C dengan waktu tahan 3 jam
10. Menghitung massa sampel setelah proses *sintering* dengan timbangan digital.
11. Melakukan pengujian XRD untuk mengetahui fasa dari sampel.

12. Melakukan pengujian SEM untuk mengetahui morfologi dari sampel.
13. Melakukan uji kekerasan *(hardness)* menggunakan metode Rockwell B.
14. Melakukan uji tekan *(compression)* untuk mengetahui modulus elastisitas dari sampel.

3.5 Pengujian

3.5.1 Uji Fasa (XRD)

Pengujian fasa pada penelitian ini menggunakan alat XRD X'pert PANanalytical (gambar 3.14). Dengan alat ini akan diketahui fasa-fasa yang terdapat pada sampel uji. Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam pengujian ini adalah :

1) Meletakkan sampel uji pada *holder*. Sampel uji harus memiliki ketinggian yang sama/rata dengan *holder*.
2) Meletakkan *holder* pada mesin XRD.
3) Menjalankan alat XRD.
4) Setelah pengujian selesai, data hasil pengujian berupa grafik akan tertera pada layar computer.

Untuk dapat mengetahui fasa yang terdapat pada sampel uji maka diperlukan adanya analisa grafik menggunakan software MATCH. Analisa ini dilakukan dengan mencocokan puncak grafik hasil XRD dengan data base puncak.

3.5.2 Uji Morfologi (SEM)

Pengujian struktur permukaan dari sampel uji pada penelitian ini menggunakan alat SEM FEI S50, dengan pengujian ini akan dapat diketahui morfologi dari permukaan sampel uji. Langkah-langkah dalam melakukan pengujian SEM ini adalah :

1) Mempersiapkan sampel uji yang akan di SEM, termasuk memotong samp[el uji.
2) Membersihkan permukaan sampel uji yang akan di SEM.
3) Meletakkan sampel uji pada *holder* dengan menempelkan *carbon tipe* terlebih dahulu sebagai perekat.
4) Memasukkan sampel uji ke dalam mesin SEM.
5) Hasil yang diperoleh akan ditampilkan di layar komputer.

3.5.3 Uji Kekerasan

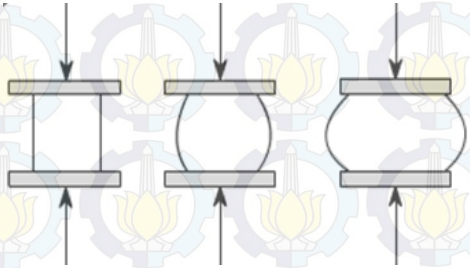
Pengujian kekerasan pada penelitian ini menggunakan alat uji kekerasan universal, yakni metode uji kekerasan yang diinginkan dapat disesuaikan dengan mengganti indentor sesuai dengan standar uji kekerasan. Dalam penelitian ini uji kekerasan dilakukan dengan metode Rockwell B. adapun langkah-langkah dalam pengujian kekerasan adalah :

1) Meratakan permukaan sampel uji yang akan ditekan.
2) Mengganti indentor dengan indentor untuk Rockwell B.
3) Meletakkan sampel uji pada *holder* alat uji.
4) Menjalankan alat uji kekerasan.
5) Hasil dari uji kekerasan akan ditampilkan di layar computer.

3.5.4 Pengukuran Modulus Elastisitas (Uji Tekan)

Pengujian modulus elastisitas pada penelitian ini menggunakan pengujian tekan.Alat tekan yang digunakan adalah produk GOTECH tipe GT-7001-LC50 (gambar 3.22) yang memiliki kapasitas 50 ton. Langkah-langkah dalam pengujian tekan ini adalah :

1) Meratakan permukaan sampel uji baik sisi bawah maupun atas agar gaya yang diterima merata.
2) Meletakkan sampel uji pada mesin uji tekan.
3) Menjalankan mesin uji tekan. Mesin akan menekan sampel uji hingga mengalami *fracture*.
4) Hasil pengujian akan dikeluarkan oleh computer berupa grafik.
5) Menganalisa hasil uji tekan untuk mengetahui modulus elastisitas dari sampel uji.



Gambar 3.19 Skema Uji Tekan

3.5.5 Pemgukuran Densitas

Pengukuran densitas pada penelitian ini menggunakan metode Archimedes. Yakni membandingkan selisih massa sampel uji di udara dan di dalam air dengan volumnya, dimana penghitungannya menggunakan persamaan 3.2. Adapun langkah-langkah pengujian ini adalah :

1) Menimbang massa sampel uji di udara.
2) Menimbang massa sampel uji di dalam air
3) Menghitung volume sampel uji.
4) Menghitung densitas sampel uji dengan persamaan 3.2.

$$V = \frac{(m_D - m_S)}{\rho H_2O} \quad (3.1)$$

$$\rho = \frac{m_D}{(m_D - m_s)/\rho_{H_2O}} \quad (3.2)$$

Dengan :

- ρ = *Sinter Density* (g/cm^3)
- ms = massa basah di air (g)
- mD = massa kering (g)
- V = Volume (cm^3)
- $\rho H2O$ = massa jenis air = 1 g/cm^3

3.6 Rancangan Penelitian

Berdasarkan uraian di atas dapat dibuat tabel rancangan penelitian (Tabel 3.1) sebagai berikut:

Tabel 3.2 Rancangan Penelitian

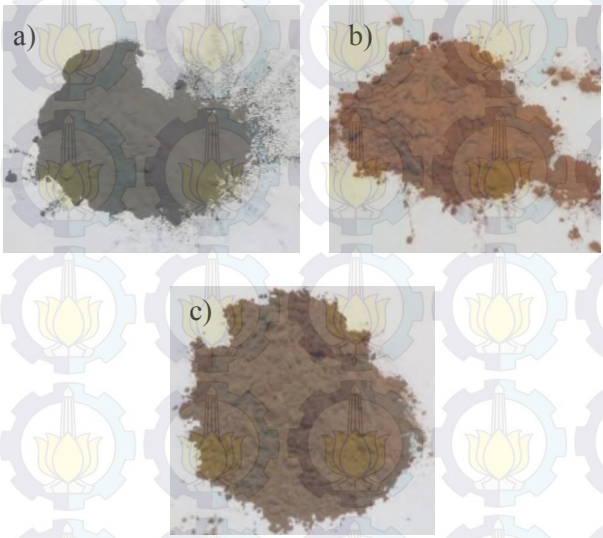
Temperatur sintering (°C)	Variasi ukuran serbuk (µm)	Hasil pengujian				
		XRD	SEM	Kekerasan	Tekan	Densitas
1100	20-25					
	25-30					
	30-35					
1200	20-25					
	25-30					
	30-35					
1300	20-25					
	25-30					
	30-35					

BAB IV
ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data

4.1.1 Proses Pembuatan Komposit WCu

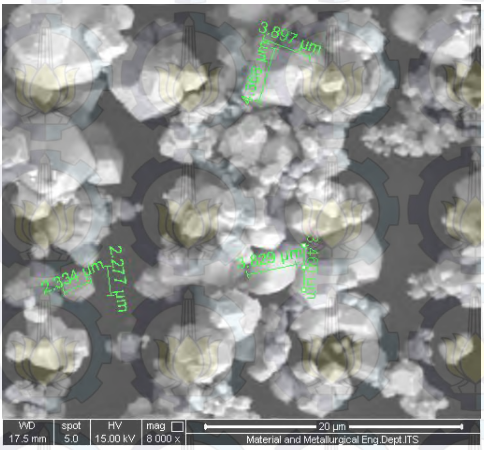
Pada penelitian kali ini pembuatan komposit WCu menggunakan bahan dasar berupa serbuk Tungsten dan tembaga. Pembuatan komposit WCu pada penelitian ini memerlukan serbuk Cu sebesar 6,7536 gr atau 20% dari total berat komposit dan serbuk W sebesar 27,0145 gr atau 80% dari total berat komposit.



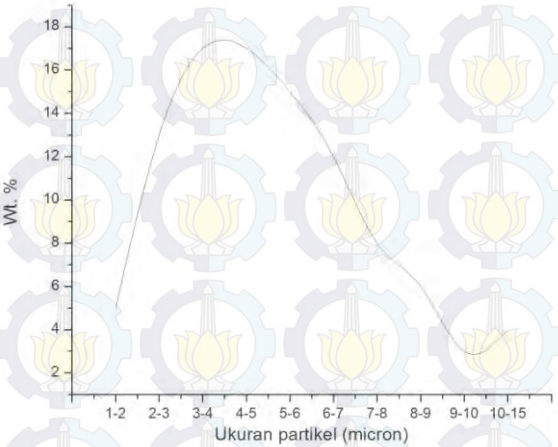
Gambar 4.1. a) Serbuk tungsten (W). b) serbuk tembaga (Cu) c) serbuk hasil mixing tungsten dan tembaga

Secara fisik serbuk tungsten berwarna hitam seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1.a tungsten disini berfungsi sebagai matriks yang mempengaruhi sifat komposit yang akan dihasilkan. Pada gambar 4.1.c memperlihatkan serbuk dari hasil proses mixing yang berwarna. Pada proses tersebut tidak terjadi reaksi

antar serbuk serbuk hanya tercampur secara merata sehingga terjadi perubaha warna menjadi berwarna coklat kemerahan. Salah satu sifat yang penting dari tungsten adalah kekerasannya, yang mencapai 385 HV. Dari pengamatan SEM yang dilakukan, serbuk tungsten mempunyai bentuk poligonal seperti yang terlihat pada Gambar 4.2. serbuk W juga mempunyai beberapa ukuran yang berbeda seperti terlihat pada Gambar 4.3. Ukuran terbanyak yang terdapat pada serbuk W adalah 3-5µm yang mencapai 34% dari jumlah berat total serbuk W.

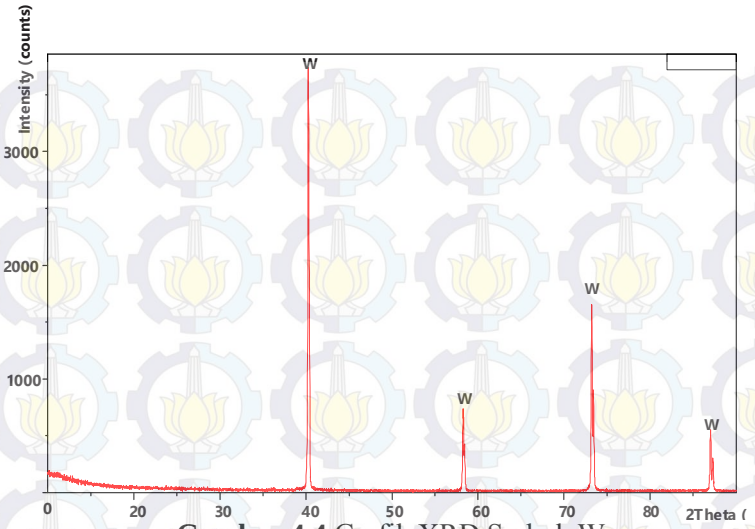


Gambar 4.2 Bentuk dan ukuran serbuk W



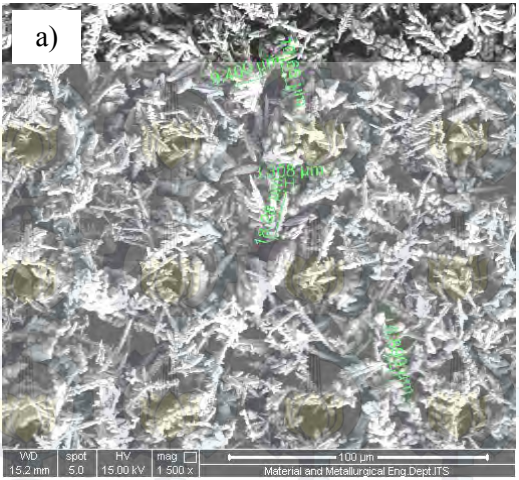
Gambar 4.3. Distribusi serbuk W

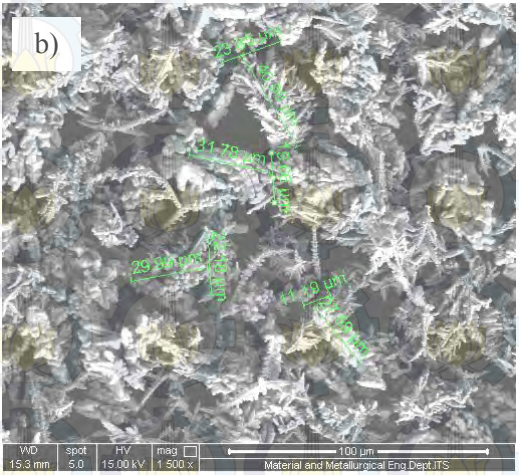
Berdasarkan analisa hasil XRD pada Gambar 4.4 didapatkan grafik XRD memiliki empat puncak yang mempunyai nilai 2θ dengan ratio berturut-turut adalah 40.2571, 58.2492, 73.2016 dan 87.0150. jika dibandingkan dengan PDF card 00-004-0806 unsur W sebagai pedoman untuk menentukan fasa dari grafik XRD yang berturut turut 40.2638, 58.2744, 73.1953 dan 87.0210 maka dapat diambil kesimpulan bahwa grafik XRD tersebut merupakan unsur W. Hal ini berarti serbuk W mempunyai kualitas yang baik Berdasarkan hasil uji XRD untuk serbuk W tanpa ditemukan unsur pengotor yang lain. Dari analisa XRD tersebut juga didapatkan bahwa unsurn W mengandung struktur kristal Body Center Cubic (BCC)

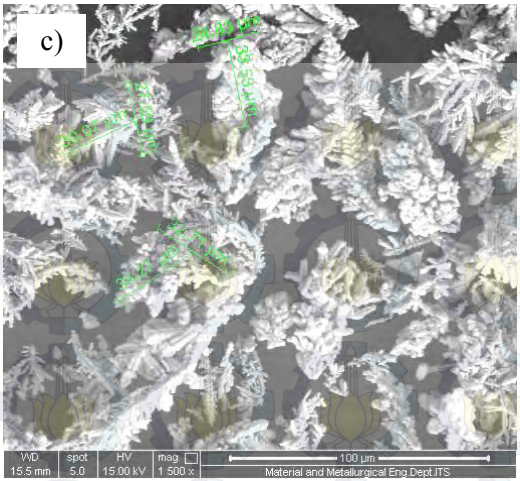


Gambar 4.4 Grafik XRD Serbuk W

Dari Gambar 4.1.b dapat dilihat penampakan visual serbuk Tembaga yang berwarna merah kecoklatan. Dalam penelitian ini, serbuk tembaga berfungsi sebagai filler yang berfungsi sebagai pengikat serbuk tungsten sehingga dapat meningkatkan sifat mekanik dari komposi WCu. Dalam penelitian ini dilakukan tiga kali proses siveing pada serbuk Cu untuk mendapatkan ukuran serbuk Cu yang berbeda. Terlihat dari Gambar 4.5 analisa SEM dengan serbuk Cu berbentuk *dendritic*. Pada Gambar 4.5 (a) menunjukkan serbuk Cu dengan range ukuran 30-35µm. (b) menunjukkan serbuk Cu dengan range ukuran 25-30µm dan (c) menunjukkan serbuk Cu dengan range ukuran 20-25µm. Dengan variasi tiga serbuk yang berbeda, diharapkan nantinya dapat mengetahui pengaruh ukuran ukuran partikel terhadap densitas dan sifat mekanik komposit W-Cu

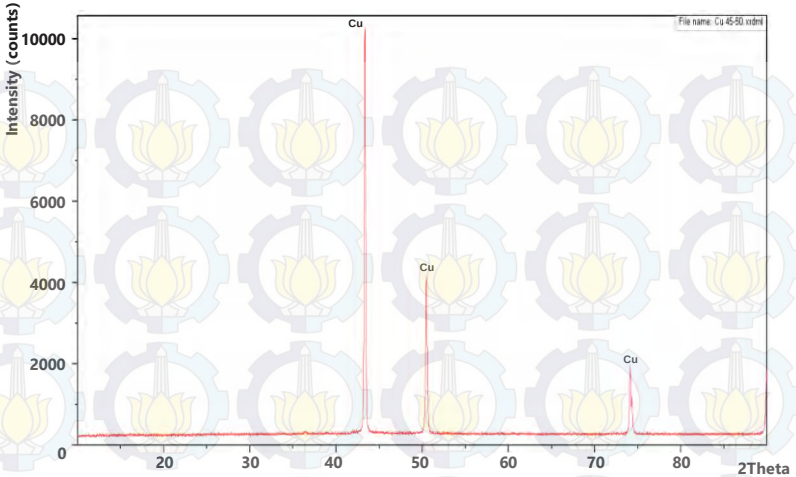

a)
WD
15.2 mm
spot
5.0
HV
15.00 kV
mag
1 500 x
100 µm
Material and Metallurgical Eng.Dept.ITS


b)
WD
15.3 mm
spot
5.0
HV
15.00 kV
mag
1 500 x
100 µm
Material and Metallurgical Eng.Dept.ITS



Gambar 4.5. Bentuk dan Ukuran serbuk Cu (a) Cu ukuran 20-25µm (b) Cu ukuran 25-30 µm (c) Cu ukuran 20-25µm

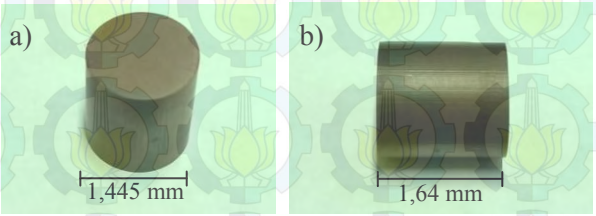
Dari Gambar 4.6 didapatkan grafik XRD dari Cu yang memiliki tiga puncak yang mempunyai nilai 2θ dengan ratio berturut-turut adalah 43,3428, 50.4690 dan 74.1447. jika dibandingkan dengan PDF card 01-071-3761 unsur Cu sebagai pedoman untuk menentukan fasa dari grafik XRD yang berturut turut 43.3158, 50.4479 dan 74.1236 maka dapat diambil kesimpulan bahwa grafik XRD tersebut merupakan unsur Cu. Dari XRD tersebut dapat diketahui pula bahwa struktur kristal dari Cu adalah Face Center Cubic (FCC). Jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya (Yafi, 2014) serbuk Cu mempunyai bentuk yang berbeda. Jika dulu bentuknya spherical maka sekarang adalah dendritik. Namun ketika dibandingkan hasil XRDnya ternyata keduanya tetap mempunyai struktur kristal yang sama yakni FCC.



Gambar 4.6 Grafik XRD Serbuk Cu

Hassetelah proses *mixing* kemudian dikompaksi hingga tekanan 600 Mpa. Selama proses kompaksi ini terjadi gaya kohesi yaitu gaya tarik menarik antar partikel sejenis dalam hal ini adalah W-W dan Cu-Cu. Semenetara itu W dengan Cu akan mengalami gaya adhesi dimana serbuk W dan Cu akan saling tarik menarik pula. Gaya tersebut akan menyebabkan terjadinya interaksi mekanik pada permukaan. Hasil dari proses ini disebut *green density*. Homogenisasi yang diharapkan terjadi pada hasil kompaksi akan sulit terwujud, hal ini terjadi karena adanya gesekan antar partikel, maupun partikel dengan dinding cetakan Sebelumnya cetakan dilumasi menggunakan *zinc stearate* sebagai *lubricant* untuk mempermudah proses pengeluaran sampel dari cetakan. Penggunaan *zinc stearate* ini hanya digunakan secukupnya saja, karena penambahan *lubricant* yang terlalu banyak akan meningkatkan porositas setelah proses sinter karena lubriant tersebut yang seharusnya menguap ketika proses sintering tetapi terperangkap di dalam material dan akhirnya menyebabkan adanya porositas **(A. Ibrahim, 2009)**. Pada kompaksi ini dibuat sampel sebanyak 36 dengan masing-masing 4 sampel untuk proses sintering dengan berbagai variabel yaitu

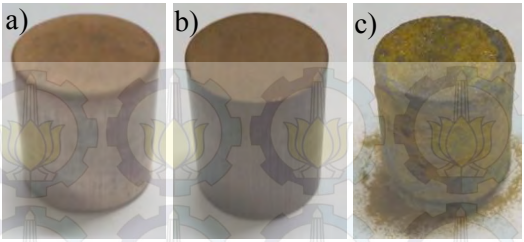
ukuran partikel Cu (20-25, 25-30 dan 30-35 µm) dan temperatur sintering (1100, 1200 dan 1300^{0}C). Sampel hasil kompaksi dapat dilihat pada Gambar 4.7



Gambar 4.7 Bentuk dan Ukuran Sampel, (a) Diameter sampel, (b) Tinggi Sampel

Selanjutnya adalah menghitung densitas komposit pasca sintering atau yang biasa disebut *green density*. Perhitungan *green density* dilakukan dengan cara menghitung dimensi dari sampel (tinggi dan diameter) serta massa sampel. Dengan menggunakan rumus massa dibagi volume maka akan didapatkan *green density* dari komposit WCu.

Setelah itu barulah dilakukan proses sintering dengan temperatur berdasarkan variabel. Proses sintering dilakukan dengan keadaan vacum dan dialiri oleh gas argon. Hal tersebut dilakukan guna menjaga komposit agar tidak teroksidasi seperti pada gambar 4.8.c. Selama proses sintering ini akan terjadi difusi atom kedalam porositas sehingga akan mengurangi porositas komposit. Difusi atom adalah sebuah proses perpindahan zat padat akibat adanya kenaikan temperatur.Perbedaan spesimen pasca kompaksi dan pasca sintering dapat dilihat pada Gambar 4.8. spesimen pre sintering mempunyai warna lebih terang daripada sampel setelah sintering. Permukaan sampel pre sintering sangat rapuh daripada sampel pasca sintering yang sangat conmpact.



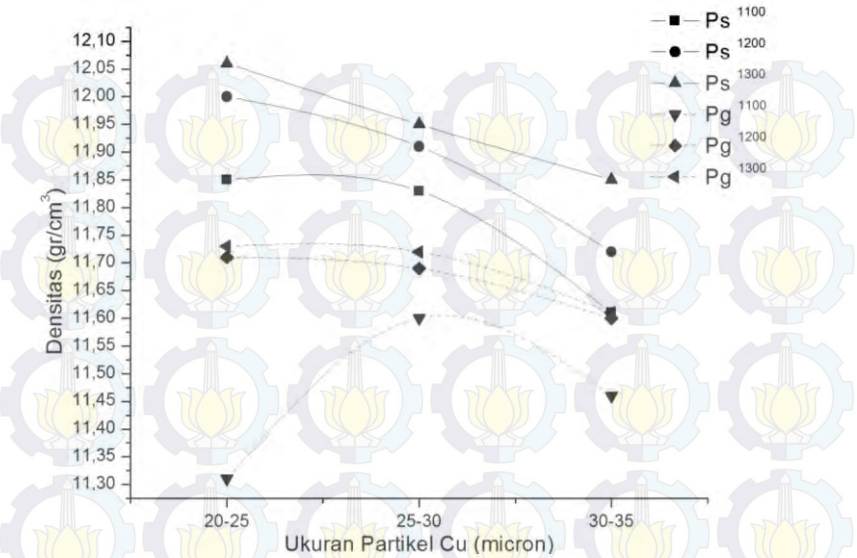
Gambar 4.8 Sampel komposi WCu. a.) pasca kompaksi. b) pasca sintering. c) teroksidasi

Sebelum dilakukan sintering, dihitung dahulu densitas yang dihasilkan dari proses kompaksi. Densitas ini yang disebut dengan *green density*. Perhitungan densitas ini dilakukan dengan mengukur dimensi (diameter dan tinggi) sampel serta menimbang massa. Dengan memperoleh dimensi dan massa, maka densitas bisa dihitung dengan rumus umum massa dibagi dengan volum. Proses berikutnya yaitu sintering dilakukan dengan variabel seperti yang disebutkan diatas. Kemudian dilakukan peritungan densitas dengan menggunakan prinsip achimedes.

Setelah proses diatas selesai, berikutnya melakukan persiapan sampel untuk dilakukan beberapa pengujian yang antara lain : uji kekerasan, uji tekan, uji XRD, dan uji SEM.

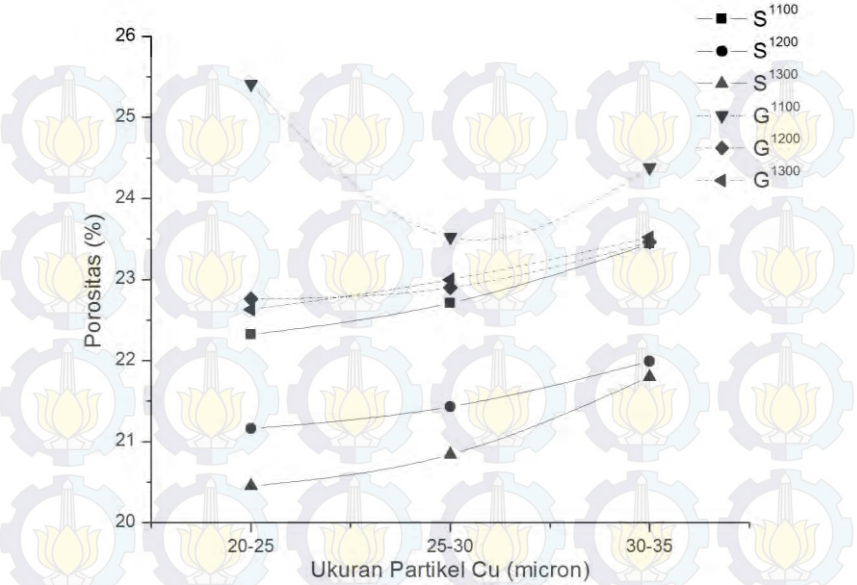
4.1.2 Hasil Analisa Densitas dan Porositas Komposit WCu

Densitas dan porositas mempunyai hubungan yang berbanding terbalik. Semakin besar densitas komposit maka akan semakin kecil pula porositas pada komposit. Ketika komposit mencapai full density maka komposit tersebut tidak mempunyai porositas. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi densitas dan porositas suatu komposit. Dua diantaranya adalah *partikel size* dan temperatur sintering. *Particle size* meliputi ukuran serbuk dan distribusinya, bentuk partikel dan variasi ukuran, surface area, dan internal particle struktur.



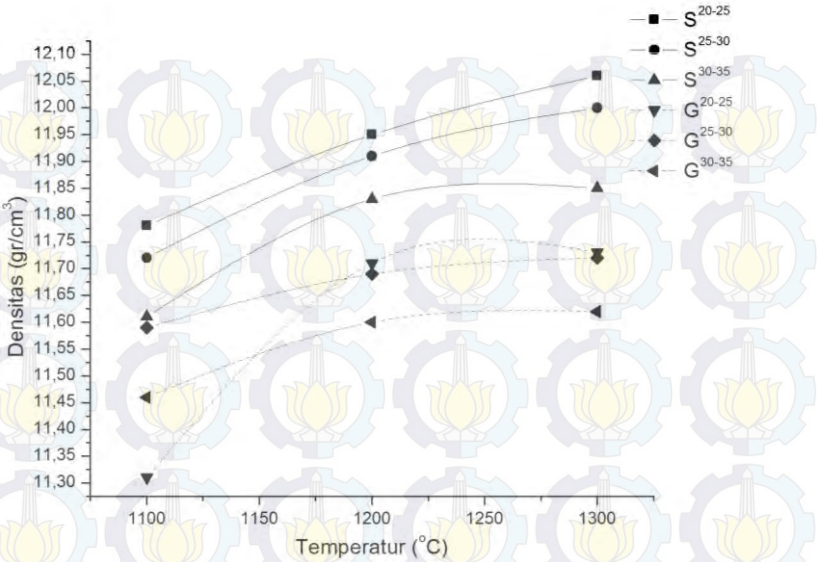
Gambar 4.9 Pengaruh ukuran partikel Cu terhadap green dan sinter density

Green Density merupakan besarnya densitas komposit setelah dilakukannya sintering dilambangkan dengan ρ_G. Sementara Sinter Density merupakan densitas komposit setelah dilakukkannya proses sintering dilambangkan dengan ρ_S. Dari Gambar 4.9 terlihat hubungan antara temperatur dengan sinter dan green density. Terlihat bahwa penurunan ukuran partikel Cu menaikkan Sinter Density dari komposit W-Cu. Nilai Sinter Density yang tertinggi terjadi pada saat ukuran partikel Cu 20-25 µm senilai 12.06 g/cm^3. Sementara itu densitas terendah terjadi pada ukuran partikel size Cu 30-35µm yaitu 11.61 gr/cm^3. Dari grafik diatas juga terlihat bahwa densitas pasca kompaksi lebih kecil daripada densitas pasca sintering.



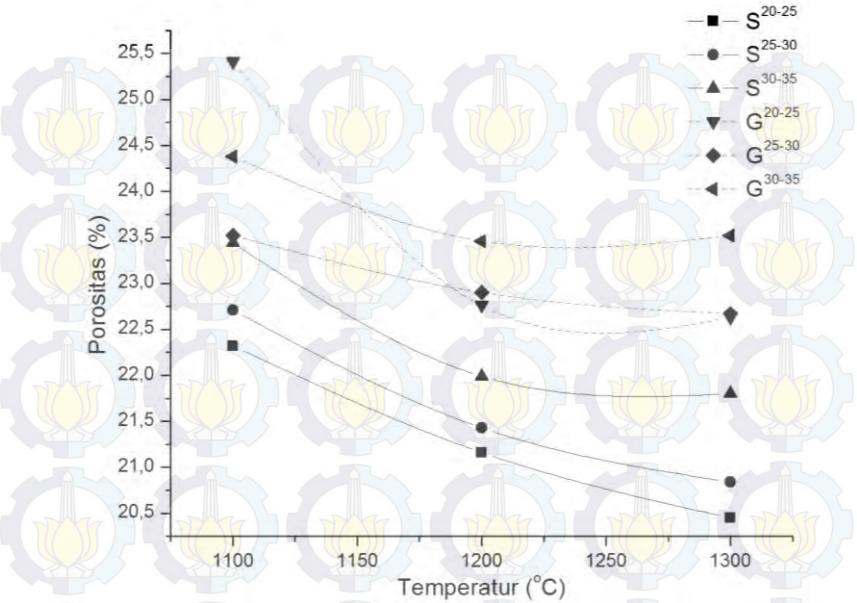
Gambar 4.10 Pengaruh ukuran partikel Cu terhadap porositas pre sintering dan pasca sintering

Pada Gambar 4.10 menjelaskan pengaruh ukuran partikel terhadap porositas pre dan pasca sintering. Porositas pre sintering dilambangkan dengan (G) dan pasca sintering dengan (S). Porositas komposit WCu pasca sintering lebih kecil daripada pre sintering. Porositas terkecil terjadi pada saat ukuran partikel Cu 20-25µm sebesar 20,46%. Sementara porositas pasca sintering yang tertinggi terjadi pada saat ukuran partikel Cu 30-35 sebesar 23,25%.



Gambar 4.11 Pengaruh temperatur terhadap densitas pre sintering dan pasca sintering

Pada Gambar 4.11 menjelaskan pengaruh temperatur partikel terhadap porositas pre dan pasca sintering. densitas pre sintering dilambangkan dengan (G) dan pasca sintering dengan (S). Porositas komposit WCu pasca sintering lebih kecil daripada pre sintering. Terlihat bahwa kenaikan temperatur sintering akan menaikkan Sinter Density dari komposit W-Cu. Nilai Sinter Density yang tertinggi terjadi pada temperatur 1300^0C senilai 12.06 g/cm^3. Sementara itu densitas terendah terjadi pada temperatur 1100^oC dengan ukuran 11.61 gr/cm^3



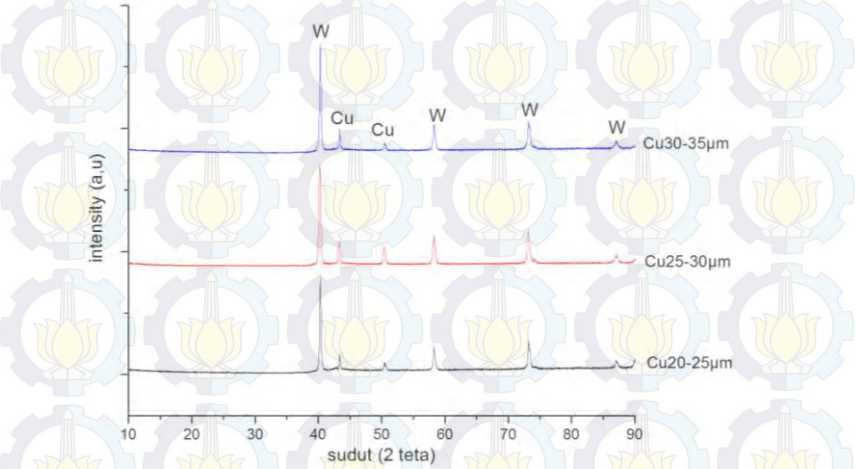
Gambar 4.12 Pengaruh temperatur terhadap porositas pre sintering dan pasca sintering

Pada Gambar 4.12 menjelaskan pengaruh temperatur terhadap porositas pre dan pasca sintering. Porositas pre sintering dilambangkan dengan (G) dan pasca sintering dengan (S). Porositas komposit WCu pasca sintering lebih kecil daripada pre sintering. Porositas terkecil terjadi pada saat temperatur 1300^{o}C sintering sebesar 20,46%. Sementara porositas pasca sintering yang tertinggi terjadi pada saat temperatur sintering 1100^{o}C sebesar 23,25%.

4.1.3 Hasil Analisa X-Ray Diffraction (XRD)

XRD (X-Ray Difraction) digunakan untuk mengetahui fasa yang ada pada suatu material dalam penelitian ini adalah fasa akhir yang terbentuk dari komposit W-Cu. Pengujian dilakukan menggunakan sudut 2Θ dengan range 10^{0}-90^{0}. Hasil pengujian

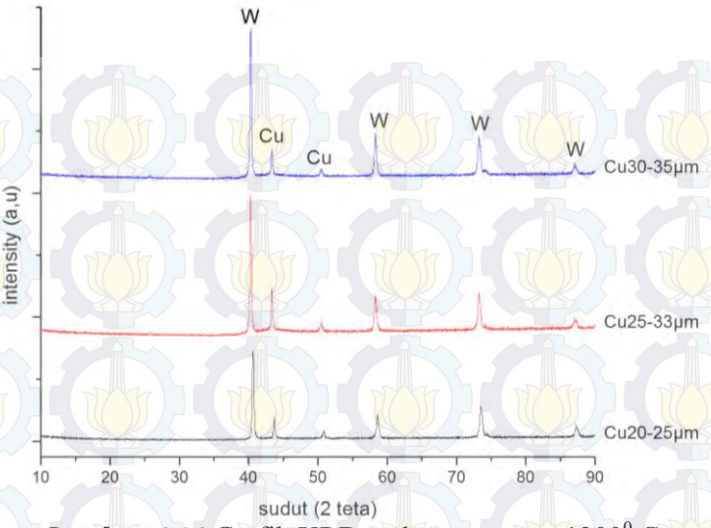
XRD untuk temperatur 1100^0 C dengan ukuran partikel Cu 20-25µm, 25-30µm dan 30-35µm dapat dilihat pada Gambar 4.13



Gambar 4.13 Grafik XRD pada temperatur 1100^0 C

Pada Gambar 4.13 menunjukkan hasil XRD komposit Wcu pasca dilakukannya proses sintering. Identifikasi fasa hasil XRD yang terjadi pada komposit WCu pasca sintering dilakukan menggunakan pencocokan manual dengan kartu PDF dari sofware ICDD PDF. Sebelumnya dilakukan identifikasi puncak-puncak menggunakan *search match*.

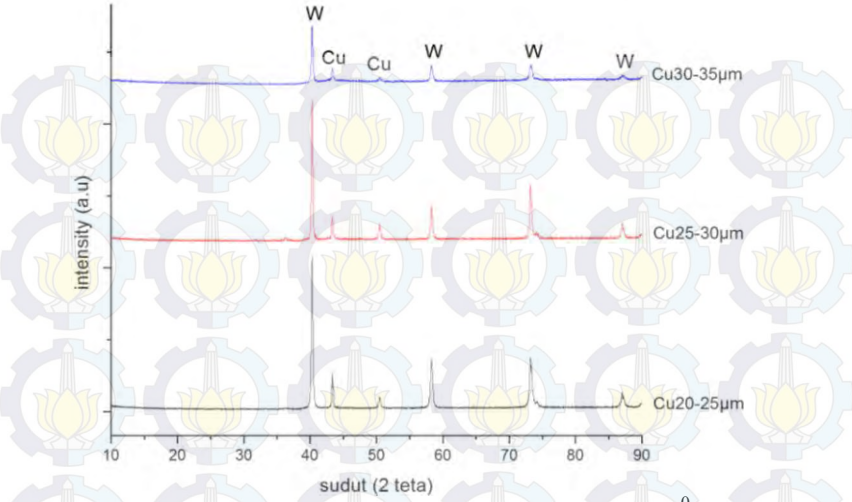
Setelah membandingkan kurva hasil XRD seperti pada Gambar 4.13 dengan ICDPDF didapatkan peak tertinggi untuk Tungsten terjadi pada 2θ antara $40{,}2664^O$ – $40{,}3688^O$ sedangkan nilai 2θ mendekati puncak kurva tertinggi ICDDPDF 01-075-6145 dan 01-077-3491 untuk tungsten, sedangkan untuk Cu nilai 2θ yang berkisar antara 43.3406^O – 43.4686^O yang nilainya mendekati ICDDPDF 03-065-9026 dan 00-002-1225.



Gambar 4.14 Grafik XRD pada temperatur 1200^0 C

Pada Gambar 4.14 menunjukkan hasil XRD komposit Wcu pasca dilakukannya proses sintering. Identifikasi fasa hasil XRD yang terjadi pada komposit WCu pasca sintering dilakukan menggunakan pencocokan manual dengan kartu PDF dari sofware ICDD PDF. Sebelumnya dilakukan identifikasi puncak-puncak menggunakan *search match*.

Setelah membandingkan kurva hasil XRD seperti pada Gambar 4.14 dengan ICDPDF didapatkan peak tertinggi untuk Tungsten terjadi pada 2θ antara $40{,}2762^O$ - $40{,}2841^O$ sedangkan nilai 2θ mendekati puncak kurva tertinggi ICDDPDF 00-050-1451 untuk tungsten, sedangkan untuk Cu nilai 2θ yang berkisar antara 43.3293^O – 43.3405^O yang nilainya mendekati ICDDPDF 03-065-9026



Gambar 4.15 Grafik XRD pada temperatur 1300^0 C

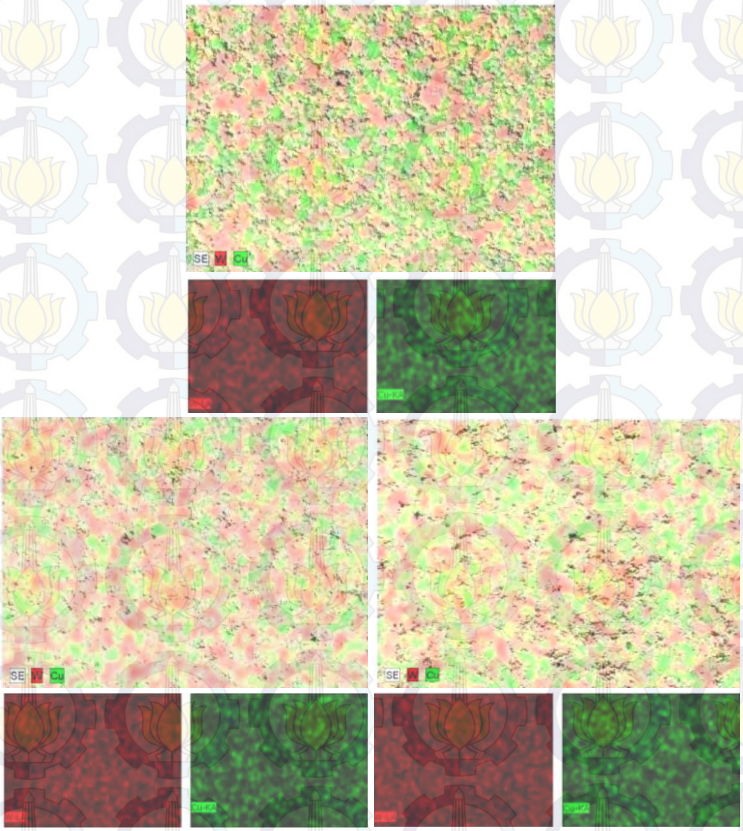
Pada Gambar 4.14 menunjukkan hasil XRD komposit Wcu pasca dilakukannya proses sintering. Identifikasi fasa hasil XRD yang terjadi pada komposit WCu pasca sintering dilakukan menggunakan pencocokan manual dengan kartu PDF dari sofware ICDD PDF. Sebelumnya dilakukan identifikasi puncak-puncak menggunakan *search match*.

Setelah membandingkan kurva hasil XRD seperti pada Gambar 4.14 dengan ICDPDF didapatkan peak tertinggi untuk Tungsten terjadi pada 2θ antara $40{,}2715^O$ – $40{,}3136^O$ sedangkan nilai 2θ mendekati puncak kurva tertinggi ICDDPDF 01-075-6118 dan 00-050-1451 untuk tungsten, sedangkan untuk Cu nilai 2θ yang berkisar antara 43.3136^O – 43.4537^O yang nilainya mendekati ICDDPDF 01-074-5761 dan 00-001-1241

4.1.4 Hasil Hasil Analisa Morfologi SEM

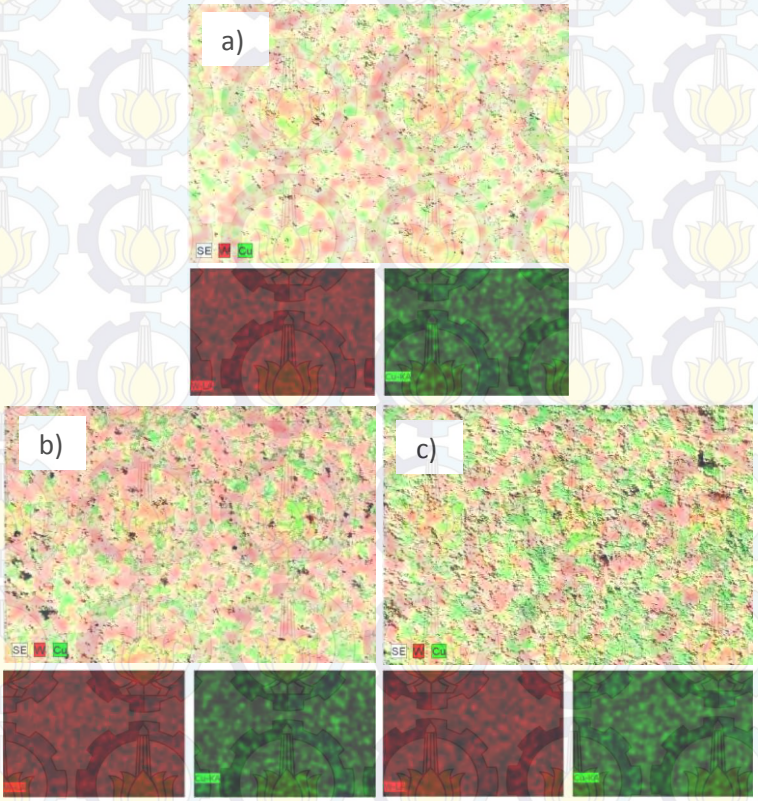
Gambar 4.16 Struktur mikro komposit WCu perbesaran 200x a) pasca kompaksi b)pasca sintering

Pada Gambar 4.16 menunjukkan perbedaan struktur mikro antara komposit WCu pasca kompaksi dan pasca sintering. tungsten ditunjukkan oleh area yang berwarna putih, sedangkan tembaga ditunjukkan oleh area yang berwarna gelap. Sementara area yang berlubang merupakan porositas.



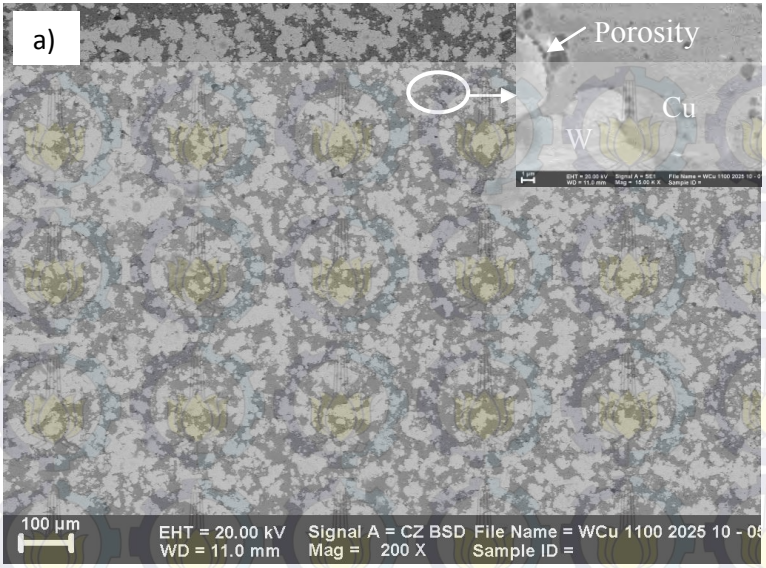
Gambar 4.17 Distribusi ukuran partikel Komposit WCu pada ukuran Cu 20-25µm a) 1100°C. b) 1200°C.c) 1300°C

Pada Gambar 4.17 memperlihatkan efek temperatur sintering terhadap distribusi persebaran partikel W dan Cu pada komposit WCu. Pada gambar tersebut area hijau menunjukkan tembaga dan merah adalah tungsten

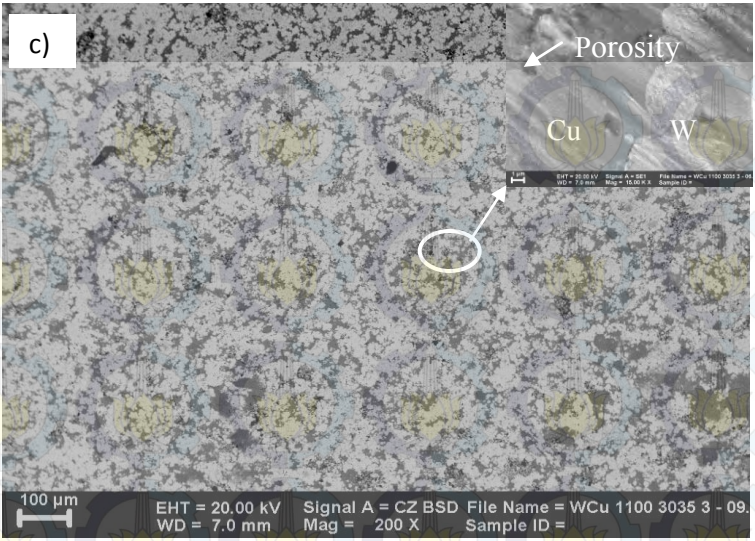


Gambar 4.18 Distribusi ukuran partikel Komposit WCu pada temperatur 1200^{o}C a)20-25µm b) 25-30µm. c) 30-35

Pada Gambar 4.18 memperlihatkan efek ukuran partikel Cu terhadap distribusi persebaran partikel W dan Cu pada komposit WCu. Pada gambar tersebut area hijau menunjukkan tembaga dan merah adalah tungsten

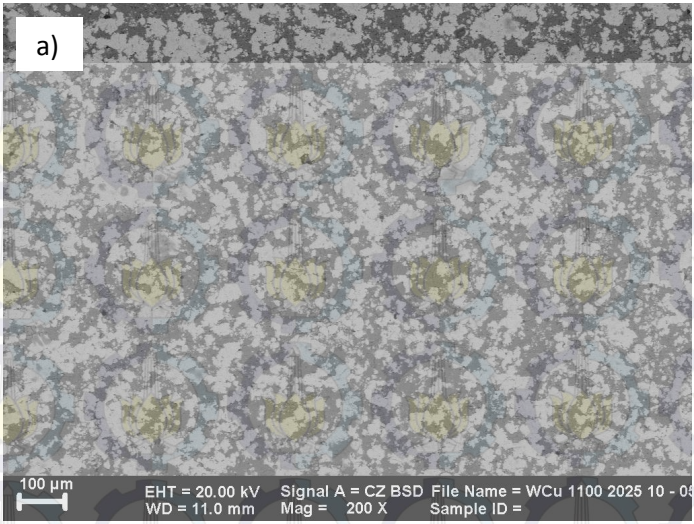

a)
Porosity
Cu
W
100 µm
EHT = 20.00 kV
WD = 11.0 mm
Signal A = CZ BSD
Mag = 200 X
File Name = WCu 1100 2025 10 - 05
Sample ID =

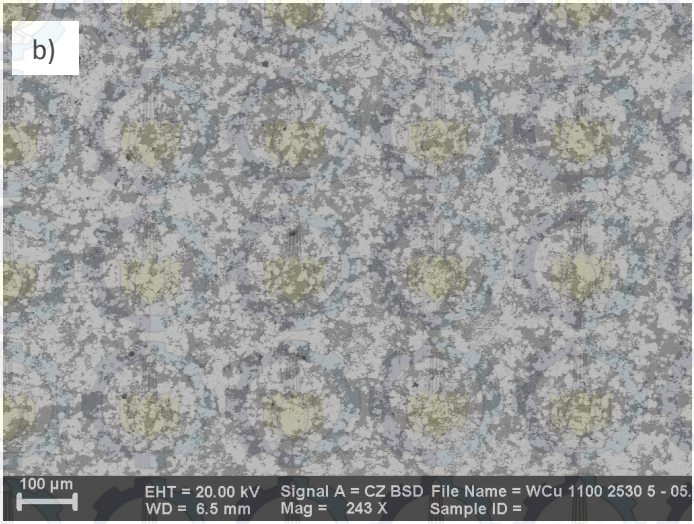
b)
Porosity
Cu
W
100 µm
EHT = 20.00 kV
WD = 6.5 mm
Signal A = CZ BSD
Mag = 243 X
File Name = WCu 1100 2530 5 - 05.
Sample ID =

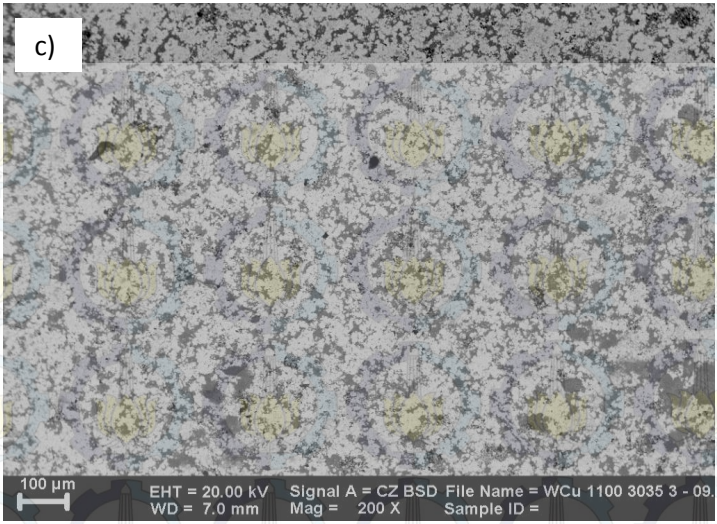


Gambar 4.19 BSE SEM komposi WCu (a) partikel Cu 20-25µm (b) partikel Cu 25-30µm (c) partikel Cu 30-35µm dengan temperatur 1100^{o}C pada perbesaran 200x

Pada Gambar 4.19 menunjukkan pengaruh ukuran partikel Cu terhadap porositas yang terjadi pada komposit. Dari Gambar tersebut dapat dilihat bahwa porositas yang ditandai dengan area warna hitam, akan semakin banyak dengan semakin besarnya ukuran partikel Cu. Namun semakin besar ukuran partikel Cu juga akan meningkatkan distribusi partikel dari tungsten. Pada Gambar tersebut terlihat bahwa, semakin besar ukuran partikel maka tungsten yang ditunjukkan oleh area berwatna putih juga semakin banyak.

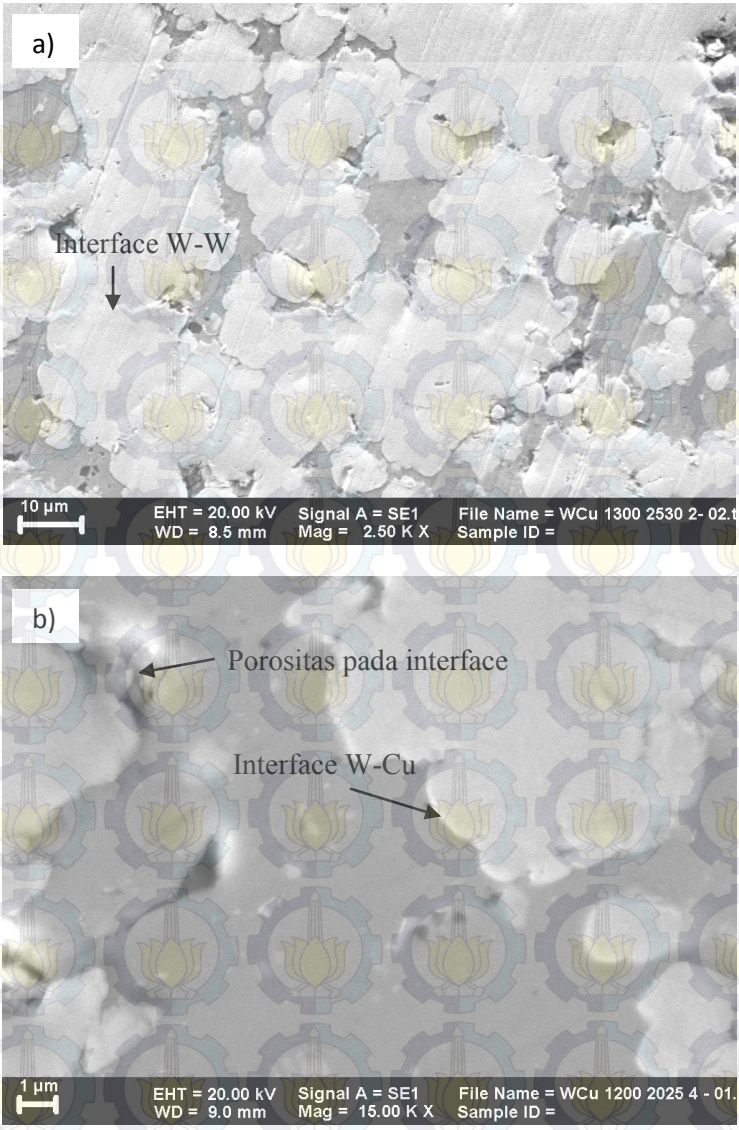

a)
100 µm
EHT = 20.00 kV
WD = 11.0 mm
Signal A = CZ BSD
Mag = 200 X
File Name = WCu 1100 2025 10 - 05
Sample ID =


b)
100 µm
EHT = 20.00 kV
WD = 6.5 mm
Signal A = CZ BSD
Mag = 243 X
File Name = WCu 1100 2530 5 - 05.
Sample ID =



Gambar 4.20 BSE SEM komposi WCu (a) temperatur 1100^{o}C (b) temperatur 1200^{o}C (c) temperatur 1300^{o}C dengan partikel Cu 20-25µm pada perbesaran 200x

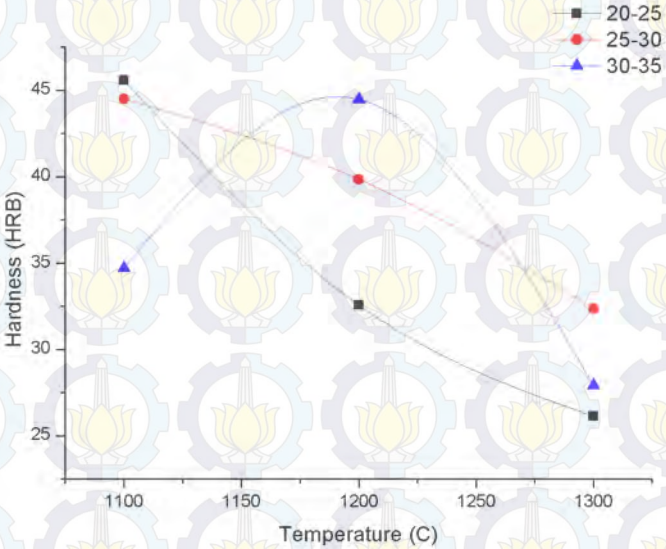
Pada Gambar 4.20 menunjukkan pengaruh temperatur terhadap porositas yang terjadi pada komposit. Dari Gambar tersebut dapat dilihat bahwa porositas yang ditandai dengan area warna hitam, akan semakin berkurang dengan semakin tingginya temperatur. Namun pada temperatur 1300^{o}C terlihat bahwa porositas yang terjadi semakin banyak.



Gambar 4.21 Daerah interface pasca sintering a) antar serbuk W b) serbuk W dan Cu

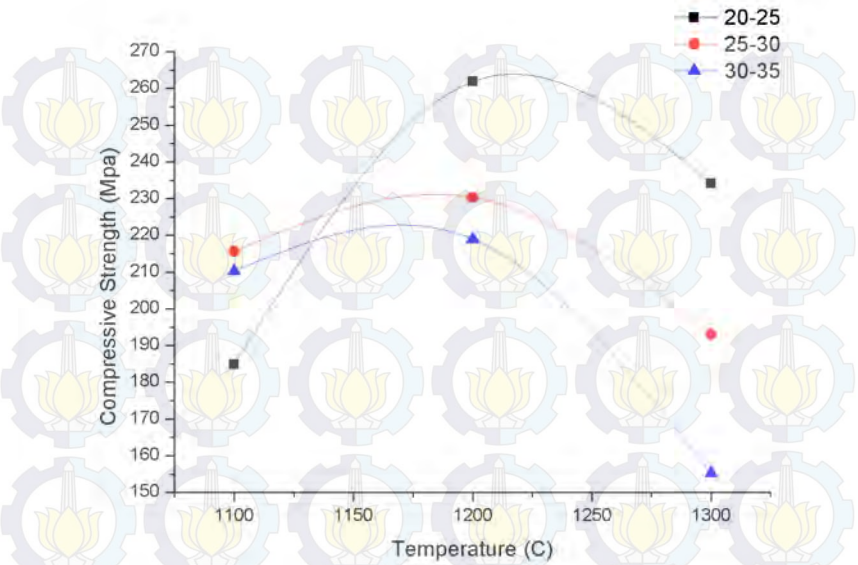
Dari Gambar 4.21. dapat dilihat interface antar partikel penyusun komposit WCu. Gambar 4.21.b merupakan interface antar partikel W dan Cu. Disana juga terapat porositas pada interface yang menandakan difusi yang tidak sempurna antara kedua partikel

4.1.5. Hasil Analisa Sifat Mekanik Komposit WCu



Gambar 4.22 Grafik Pengaruh Temperatur Terhadap Kekerasan (HRb)

Dari Gambar 4.22 terlihat bahwa kenaikan kekerasan hanya terjadi pada temperatur 1100^{0}C dengan ukuran ukuran partikel Cu 20-25 µm sebesar 45.58 HRb. Sementara nilai terendah diperoleh pada temperatur 1300^{0}C dengan ukuran partikel 20-25µm sebesar 26.13HRb. Dari Gambar tersebut juga terlihat penurunan kekerasaan yang selaras dengan naiknya temperatur. Kenaikan kekerasan hanya terjadi pada temperatur 1200^{0}C dengan ukuran partikel 30-35µm yakni sebesar 44,47µm.



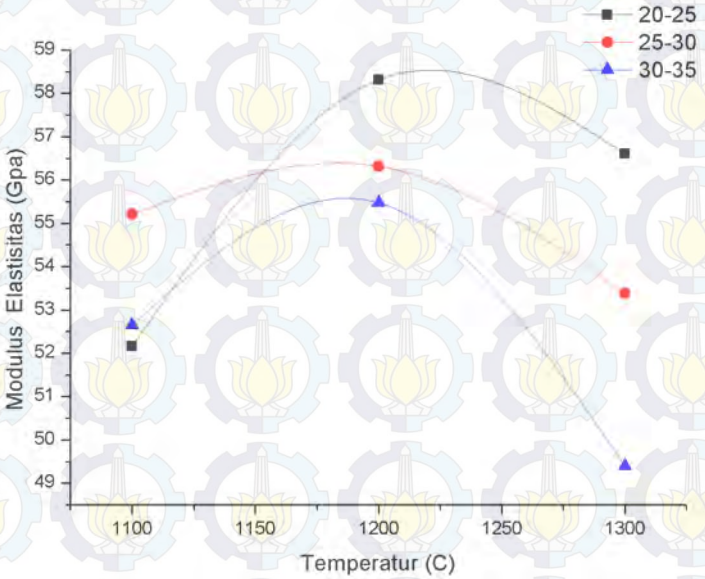
Gambar 4.23 Grafik Pengaruh Temperatur Sintering dan Ukuran Partikel Cu Terhadap *Compressive Strength* pada Komposit W-Cu (MPa)

Dari Gambar 4.23 dapat dilihat bahwa nilai kekuatan tekan berbanding lurus dengan kenaikan temperatur sintering dan berbanding terbalik dengan ukuran partikel Cu. Para temperatur 1200^0C kekuatan tekan tertinggi didapatkan pada ukuran ukuran partikel Cu 20-25µm dengan nilai 261.82 Mpa kemudian berturut – turut didapatkan nilai kekuatan tekan denganukuran partikel Cu 25-30µm dan 30-35µm dengan nilai 230.32 Mpa dan 218.95 Mpa

Pada temperatur 1300^0C menunjukkan pula bahwa semakin kecil ukuran partikel Cu maka semakin besar pula kekuatan tekan dari komposit. Nilai tertinggi didapatkan pada ukuran partikel Cu 20-25µm dengan nilai 218.95 Mpa. Nilai tersebut lebih tinggi dari komposit dengan ukuran partikel Cu 25-30 µm yang nilainya

193.06. Sementara nilai terendah didapatkan oleh ukuran partikel Cu yang terbesar 30-35µm dengan kekuatan tekan 155.21 Mpa.

Setelah didapatkan nilai kekuatan tekan, dapat pula dicari nilai modulus elastisitas dari kompossit W-Cu. Nilai modulus elastisitas dapat dicari dengan perhitungan menggunakan rumus. Modulus elastisitas merupakan salah satu sifat material yang menunjukkan kekakuan dari sebuah material, dimana kekakuan adalah kemampuan suatu material dalam menerima tegangan atau beban tanpa terjadinya deformasi/ perubahan bentuk material.



Gambar 4.24 Grafik Pengaruh Temperatur Sintering dan ukuran partikel Cu Terhadap Modulus Elastisitas pada Komposit W-Cu (GPa)

Dengan perhitungan nilai modulus elastisitas menggunakan rumus. didapatkan nilai modulus elastisitas seperti pada Gambar 4.24. Adapun nilai modulus elastisitas akan berbanding lurus dengan kekuatan tekan. Nilai modulus elastisitas tertinggi

diperoleh pada temperatur 1200^0 C dengan ukuran partikel Cu 20-25μm yaitu 58.31 Gpa

4.2. Pembahasan

Dari penelitian ini, akhirnya didapatkan temperatur sintering dan variasi ukurang partikel Cu yang tepat agar densitas dan sifat mekanik dari dari komposit WCu berada pada titik maksimum sesuai dengan tujuan awalnya.

Pada Gambar 4.9 memperlihatkan perbedaan densitas antara green density dan sinter density. Sinter density memiliki densitas yang lebih besar dibandingkan dengan green density yang merupakan densitas pasca kompaksi. hal tersebut disebabkan penyatuan serbuk yang dilakukan pada saat kompaksi hanyalah sebatas penyatuan secara mekanik yang menyebabkan banyaknya porositas dalam komposit WCu. berbeda dengan densitas pasca sintering, temperatur tinggi pada komposit menyebabkan difusi antar. Difusi terjadi karena partikel berpindah secara acak dari area yang memiliki konsentrasi tinggi ke konsentrasi yang lebih rendah. Perpindahan massa ini terjadi saat proses sintering di mana terjadi perpindahan atom dari serbuk Cu menuju serbuk W. Besarnya laju difusi atom ini dipengaruhi oleh besarnya energi bebas yang dimiliki oleh suatu material **(Emmanuel, 2004).** Hingga menyebabkan porositas yang terbentuk semakin sedikit yang menyebabkan densitasnya naik. Ukuran partikel Cu yang semakin besar akan menyebabkan *contact* area munurun, hal itu akan mengakibatkan distribusi partikel yang kurang homogen sehingga akan menyebabkan kenaikan pada porositas. Kenaikan sinter density ketika ukuran partikel Cu juga disebabkan ketika *sinter density*, nilai tertinggi akan didapatkan ketika ukuran partikel seluruhnya berukuran kecil. Sedangkan nilai terendah didapatkan ketika seluruh partikel berukuran besar. **(German, 1984)**. Naiknya nilai densitas juga karena semakin kecilnya ukuran butir partikel serbuk maka luas surface area yang akan menjadi interface antar partikel akan semakin besar, hal tersebut akan menaikkan sinter density suatu material. Begitupun

sebaliknya, ukuran partikel yang besar akan membuat surface area yang akan menjadi interface akan semakin kecil yang membuat densitas menurun. Menurut **(German, 1984)** dengan ukuran partikel yang kecil dan homogen akan menyebabkan tegangan yang terjadi di sekitar partikel tersebut akan seragam. Hal tersebut berbanding terbalik dengan adanya porositas pada komposit yang dapat dilihat pada gambr 4.10

Efek kenaikan temperatur pada densitas dapat dilihat pada Gambar 4.11. Kenaikan temperatur selaran dengan kenaikan densitas, semakin tinggi temperatur sintering, maka densitas dari komposit WCu akan semakin meningkat. Kenaikan densitas bersifat linier dengan kenaikan temperatur sintering (**John, 2005).** Kenaikan densitas juga menyebabkan menurunnya porositas seperti terlihat pada Gambar 4.12. hal tersebut disebabkan oleh, semakin tingginya temperatur sintering maka akan semakin tinggi pula cepat pula pergerakan atom yang terjadi pada komposit sehingga akan lebih cepat mencapai densifikasi. Semakin tinggi temparatur maka membuat tembaga lebih mempunyai tingkat viskositas yang tinggi yang memudahkan Cu bergerak untuk mengisi porositas-porositas yang ada pada komposit WCu yang menyebabkan berkurangnya porositas.

Berbeda dengan penelitian Gita, 2013 dan yafi 2013, pada penelitian ini digunakan temperatur 1100 hingga 1300^{o}C. Pemilihan temperatur tersebut didasarkan pada titik melting Cu yang mencapai 1080^{o}C. Dengan mengambil temperatur sintering diatas *melting point* tembaga diharapkan akan memiliki pengaruh besar terhadap hasil sifat mekanik dari komposit ini. Tembaga yang *melting* memiliki pengaruh yang besar terhadap *compactibility* dari komposit WCu. Densifikasi selama *liquid phase sintering* akan terjadi melalu kombinasi partikel yang tersusun kembali karena gaya kapiler. Bentuk butir terakomodasi oleh pengendapan ulang larutan hasil sintering oleh tungsten yang dalam kondisi solid **(Ardestani, 2009).** *Liquid phase sintering* akan mengakibatkan percepatan penyusutan yang akan meningkatkan densitas dari komposit. Hal itu terjadi karena

peningkatan signifikan densitas terjadi pada saat Cu *melting*.pada penelitian **(John, 2005)** densifikasi akan cepat ketika temperatur Cu *melting*, namun pada temperatur 1150^{o}C penyusutan akan berhenti. Penyusutan komposit tersebut akan mengakibatkan kenaikan pada densitas.

Dari analisa XRD yang dilakukan pada 9 sampel komposit WCu, semua peak yang terjadi pada XRD menunjukkan adanya kecocokan dengan unsur W dan Cu pada kartu ICDDPDF. Hal tersebut berarti komposit yang terbentuk dari hasil sintering merupakan komposit WCu. Hasil analisa XRD dapat dilihat pada Gambar 4.13,4.14 dan 4.15. Dari gambar tersebut juga mengindikasikan bahwa tidak ada perubahan struktur kristal baik pada W maupun Cu seiring bertambahnya temperatur sintering. Hal itu dapat dilihat dari tidak adanya pergeseran pada peak hasil uji XRD.

Dari analisa morfologi SEM, pada Gambar 4.16 dapat dibedakan struktur mikro komposit WCu sebelum proses sintering dan sesudah dilakukannya proses sintering. sebelum proses sintering, penyatuan antara serbuk Cu dan W hanya sebatas secara mekanik saja. Dapat dilihat pada Gambar 4.17.a, terlihat bahwa serbuk Cu masih berupa green. Hal tersebut dapat membuat komposit masih dalam keadaan rapuh. Berbeda halnya dengan Gambar 4.17.b setelah dilakukannnya proses sintering, terlihat bahwa kedua serbuk sudah mulai menyatu. Hal tersebut dikarenakan atom Cu yang mempunyai konsentrasi lebih tinggi akan berdifusi ke atom W yang mempunyai konsentrasi rendah dengan naiknya temperatur. Itulah yang menyebabkan *sinter density* mepunyai densitas lebih tinggi daripada *green density*.

Pada Gambar 4.18 terlihat bahwa semakin tinggi temperatur sintering maka persebaran W dan Cu akan semakin merata. Pengumpalan yang terjadi pada komposit akan semakin berkurang dengan semakin tingginya temperatur seintering yang dilakukan. Tersebarnya partikel W dan Cu secara homogen akan membantu proses densifikasi dari komposit WCu **(Ardestani, 2009).** Efek ukuran partikel Cu terhadap persebaran distribusi W

dan Cu dapat dilihat dari Gambar 4.19. terlihat bahwa penggumpalan pada komposit akan semakin berkurang dengan semakin kecilnya ukuran partikel Cu. Distribusi W dan Cu juga semakin homogen ketika ukuran partikel Cu semakin kecil.

Berdasarkan Gambar 4.19 terlihat bahwa ukuran partikel Cu berpengaruh pada porositas yang terjadi pada komposit WCu. semakin kecil ukuran partikel Cu maka porositas (yang ditujukkan oleh area berwarna hitam) akan semakin kecil pula. Ukuran yang kecil pada partikel Cu akan mempermudah Cu untuk berdifusi menuju serbuk W. hal tersebut mengakibatkan porositas pada komposit WCu akan berkurang seiring dengan semakin kecilnya ukuran partikel Cu.

Sementara itu pada gambar 4.20 terlihat bahwa meningkatnya temperatur sintering akan membuat porositas berkurang. Namun pada temperatur 1300^{o}C terjadi peningkatan porositas. Jika dilihat pada hasil perhitungan *compressive strength* ternyata juga terjadi penurunan saat temperatur memasuki 1300^{o}C.

Interface atau ikatan pada komposit WCu dibagi menjadi 3 jenis, ikatan antar matriks W, antar filler atau penguat Cu dan antara matriks dan penguat W-Cu. Interface merupakan daerah pertemuan antar serbuk dalam komposit. Adanya ikatan antar serbuk itulah yang memperkuat sifat mekanik dari komposit tersebut yang juga merupakan syarat terbentuknya suatu kompositl. Gambar 4.21 merupakan interface yang terjadi pada komposit. Pada gambar 4.21.b terdapat porositas yang berada pada interface dari W-Cu. Hal tersebut disebabkan antara partikel W dan Cu hanya mencapai fase *intermediate stage* pada saat terjadi kontak antara keduanya. Dimana akan terdapat poros pada interface keduanya. Kurangnya energi yang diterima menyebabkan kedua partikel yang saling berkontak tidak dapat mencapai fase *final stage* dimana tidak ada porositas yang terjadi didalamnya **(German, 1984)**

Interface berperan sebagai daerah yang memindahkan tegangan dari matrik kepada filler sebagai penguat. Hal tersebut

membuat tegangan yang berasal dari luar dapat diterima secara bersamaam oleh keduanya. Oleh karena itu, semakin banyak interface yang terbentuk pada suatu komposit maka semakin baik pula kekuatan dari komposit tersebut. Dengan mengoptimalkan interface ini, maka mobilitas dari Cu menjadi lebih baik dan difusi antara W dan Cu semakin tinggi, yang membuat komposit semakin kuat **(Chen, 2013).**

Pada Gambar 4.22 terjadi satu kali kenaikan kekerasan, yakni pada temperatur 1200^{o}C dengan ukuran partikel CU sebesar 30-35µm. Kenaikan nilai kekerasan ini berbanding terbalik dengan porositas. Semakin kecil porositas suatu material maka akan menaikkan nilai kekerasan material tersebut. Sifat kekerasan sangat sensitive terhadap poros yang terdapat dalam sampel suatu material **(Abbaszadeh et al, 2012**)

Dari Gambar tersebut juga terlihat penurunan kekerasaan yang selaras dengan naiknya temperatur. Penurunan kekerasan tersebut kemungkinan disebabkan oleh komposisi Cu yang tinggi (20%) yang menyebabkan wilayah mikro dari Tungsten yang habis. Wilayah itu dihasilkan oleh, rotasi, pergerakan, erosi dan penggumpalan partikel W karena kekuatan hidrostatik yang merupakan hasil dari perbedaan aliran thermal saat Cu meleleh. **(Ardestani, 2009)**

Dari Gambar 4.23 dapat dilihat bahwa kekuatan tekan maksimum terjadi saat temperatur 1200^{o}C dengan ukuran partikel Cu 20-25µm. Sementara yang terendah ketika temperatur 1300^{o}C dengan ukuran partikel Cu 30-35µm. Setelah didapatkan nilai kekuatan tekan, dapat pula dicari nilai modulus elastisitas dari kompossit W-Cu. Nilai modulus elastisitas dapat dicari dengan perhitungan menggunakan rumus. Modulus elastisitas merupakan salah satu sifat material yang menunjukkan kekakuan dari sebuah material, dimana kekakuan adalah kemampuan suatu material dalam menerima tegangan atau beban tanpa terjadinya deformasi/ perubahan bentuk material. Pada gambar 4.24 terlihat bahwa nilai modulus elastisitas tertinggi terjadi ketika temperatur sintering 1200^{o}C dengan ukuran partikel 20-25 µm yakni sebesar 58,31

Gpa. Penurunan *compressive strength* maupun modulus elastisitas pada temperatur 1300^{o}C dapat disebabkan oleh banyaknya porositas yang terjadi pada sampel yang terlihat pada gambar 4.20.

Antara sifat mekanik (kekuatan tekan dan modulus elastisitas) dengan densitas mempunyai hubungan yang selaras, dimana dengan densitas yang tinggi akan didapat sifat mekanik yang tinggi pula. **Abbaszadeh et al (2012)** menyatakan dalam penelitiannya bahwa ada hubungan langsung antara densitas relatif dan sifat mekanik; *the higher the density the greater the strength ang hardness.*

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil-hasil dari penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa :

1. Semakin tinggi temperatur sintering maka akan diperoleh nilai *sinter density* yang semakin tinggi, porositas yang semakin kecil, kekerasan yang semakin kecil, kekuatan tekan yang semakin tinggi dan modulus elastisitas yang semakin tinggi. Densitas tertinggi diperoleh ketika temperatur 1300^{o}C sebesar 12,06 gr/cm^{3}. Sedangkan *compresive strenght* dan modulus elastisitas yang optimal pada temperatur 1200 senilai 261,82 MPa dan 58,31 GPa
2. Semakin kecil ukuran partikel Cu maka akan diperoleh nilai *sinter density* yang semakin tinggi, porositas yang semakin kecil, kekerasan yang semakin kecil, kekuatan tekan yang semakin tinggi dan modulus elastisitas yang semakin tinggi. Densitas tertinggi diperoleh ketika ukuran partikel Cu 20-25µm sebesar 12,06 gr/cm^{3}. Sedangkan *compresive strenght* dan modulus elastisitas yang optimal saat partikel Cu berukuran 20-25µm senilai 261,82 MPa dan 58,31 GPa

5.2 Saran

Berdasarkan hasil-hasil yang didapatkan dalam penelitian ini, maka hal-hal yang dapat disarankan adalah sebagai berikut:

1. Proses sintering dapat menggunakan temperatur 1300-1400^{o}C guna memperoleh data yang valid dan optimun mengenai pengaruh temperatur sintering terhadap sifat mekanik.
2. Kombinasi ukuran pertikel dapat dilakukan pula terhadap tungsten, sehingga dapat diperoleh sifat mekanik yang lebih optimum

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

Abbaszadeh H., et al. 2012. Investigation on the characteristics of micro- and nano-struktured W-15wt%Cu composite prepared by power metallurgy route.**Int. J Refract Met Hard Mater.** 30 (2012)145-151

Al-Qureishi, H, a,dkk.2007. "Analysis of The Fundamental Parameter of Cold Die Compaction of Powder Metallurgy". **Journal of Materials Processing Technology** 199 (2008) 417-424

Ardestani, M., Rezaie, H. R., Arabi, H., Razavizadeh, H. 2009. "The effect of sintering temperature on densification of nanoscale dispersed W–20–40%wt Cu composite powders". **Int. Journal of Refractory Metals & Hard Materials** 27: 862-867

A Technical Overview of Ammunition Types, Characteristics and Issues. **Brosur SAAMI.** Mile Hill Road, Newtown

Carlucci dan Donald E. 2012.**Ballistics: Theory and Design of Guns and Ammunition.** New Jersey

Chen, Pingan., Shen, Qiang., Luo, G., Li, M., Zhang, L. 2013. "The mechanical properties of W–Cu composite by activated sintering". **Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials** 36: 220–224

Emmanuel, S. 2004. "Diffusion in Multicomponent System: a free energy approach".**Chemistry Physics.**302.21-30.

Erhard Klar. 1983 **"Powder Metallurgy" : Aplication, Advantages, and Limitation"**, Ohio : American Society for Metals

German,R.M.1984. **Powder Metallurgy Science**. USA : Metal powder Industries Federation

Ibrahim, A., Abdallah, M., Mostafa, S.F., dan Hegazy, A.A. 2009. "An experimental investigation on the W–Cu composites". **Materials and Design** 30: 1398–1403

Johnson L 2005. Effect og Tungsten Particle Size and Cooper Content on Densification of Liquid-Phase-Sintered W-Cu. Mettallurgical and Materials Transactions

Novian, Gita. 2013. Pengaruh Komposisi Cu dan Variasi Tekanan Kompaksi Terhadap Densitas dan Kekerasan Pada Komposit W-Cu untuk Proyektil Peluru dengan Proses Metalurgi Serbuk. **Tugas Akhir**. Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

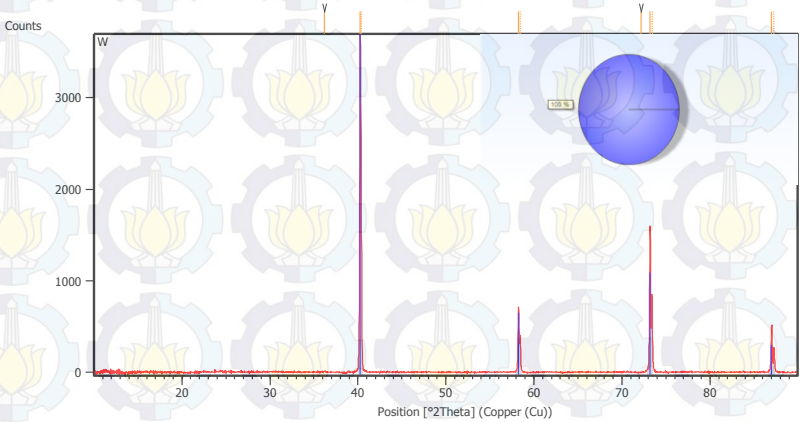
Sulistijono.2012. **Mekanika Material Komposit.**Surabaya : its press

Xi Xiaoli, et al. 2010. Preparation Of W-Cu Nano-composite Powder using a Freeze-drying Technique. **Int. J Refract Met Hard Mater.** (28): 301-4.

…….2001. **ASM Handbook Mechanical Testing and Evaluation Volume 2**. ASM International

LAMPIRAN A
HASIL PENGUJIAN XRD

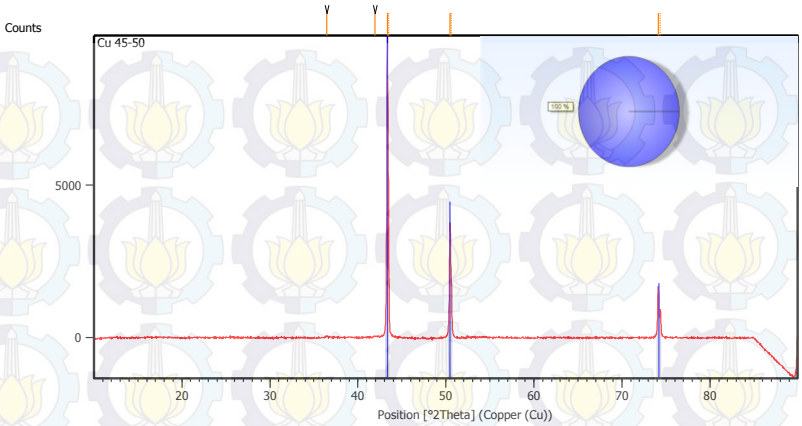
HasilUji XRD Serbuk Tungsten (W)



Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
36.1650	7.67	0.4015	2.48380	0.21
40.2571	3698.46	0.1836	2.23841	100.00
40.4062	1546.62	0.0612	2.23604	41.82
58.2492	684.31	0.1224	1.58266	18.50
58.4303	388.69	0.1020	1.58211	10.51
72.1465	5.18	0.1632	1.30821	0.14
73.2016	1573.50	0.1224	1.29194	42.54
73.4283	821.12	0.1020	1.29171	22.20
87.0150	519.30	0.1224	1.11889	14.04
87.2773	271.36	0.1224	1.11897	7.34

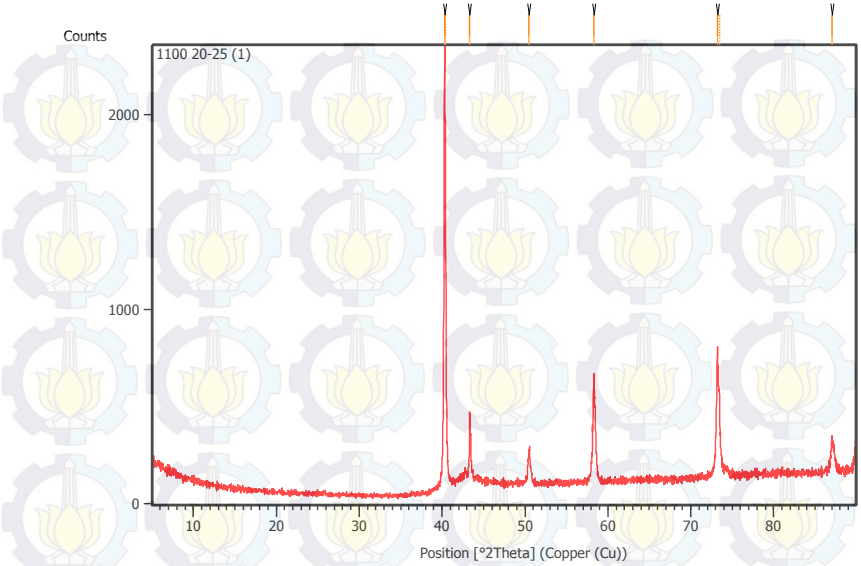
HasilUji XRD SerbukTembaga (Cu)



Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
36.4361	56.83	0.2007	2.46594	0.57
41.9239	43.73	0.2007	2.15497	0.44
43.3428	9898.40	0.1224	2.08593	100.00
43.4770	4623.10	0.0612	2.08497	46.71
50.4690	3706.76	0.1428	1.80684	37.45
50.6231	1972.68	0.0816	1.80618	19.93
74.1447	1681.99	0.1224	1.27782	16.99
74.3577	870.79	0.1020	1.27785	8.80

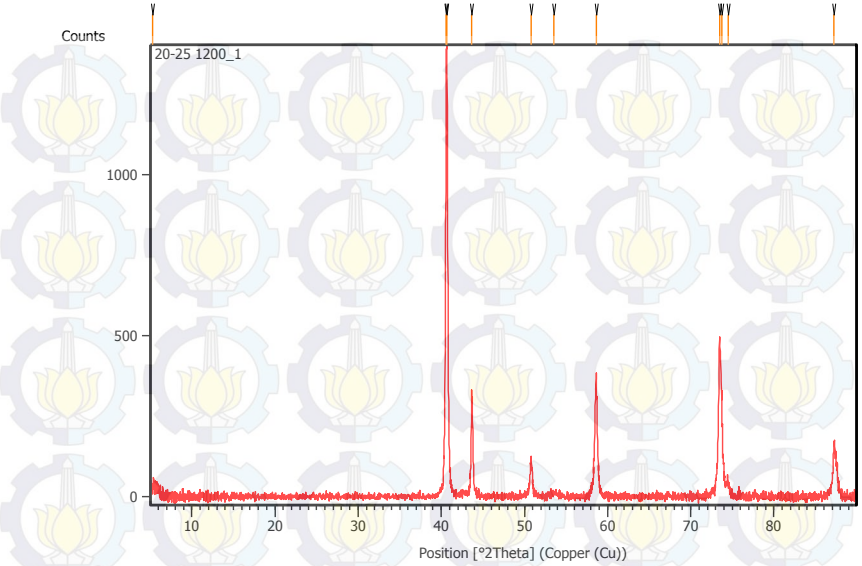
hasil Uji XRD Pascasintering 1100°C-20-25µm



Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
40.2965	2200.09	0.1224	2.23631	100.00
40.4089	1566.47	0.0816	2.23589	71.20
43.3405	360.34	0.0816	2.08604	16.38
50.5095	171.63	0.3264	1.80549	7.80
58.2964	562.90	0.0816	1.58150	25.59
73.2154	663.09	0.1020	1.29173	30.14
73.4519	410.39	0.1020	1.29135	18.65
87.0372	173.33	0.1632	1.11866	7.88

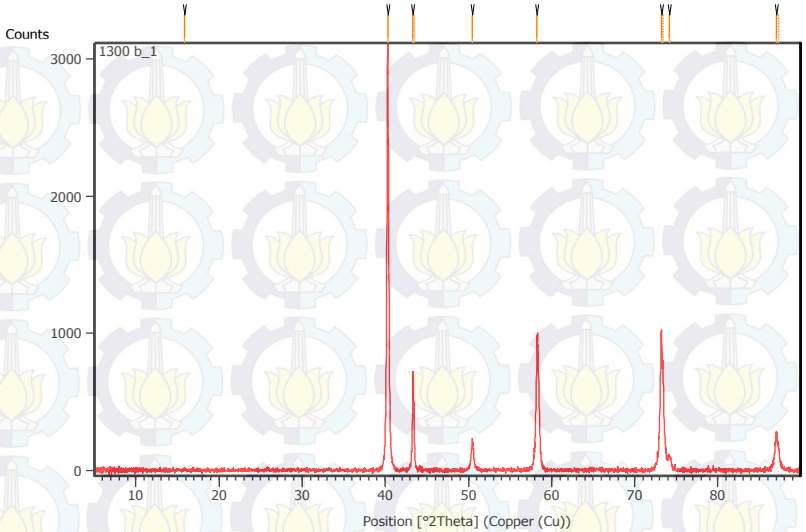
Hasil Uji XRD Pascasintering 1200°C-20-25µm



Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
40.5992	1378.87	0.1020	2.22034	100.00
40.6760	1357.01	0.0836	2.21816	98.41
43.6509	332.54	0.0836	2.07364	24.12
50.8052	111.43	0.1338	1.79716	8.08
58.6252	362.15	0.3011	1.57471	26.26
73.4559	489.60	0.1224	1.28809	35.51
73.7114	321.28	0.1673	1.28532	23.30
74.4782	40.75	0.2007	1.27398	2.96
87.2127	170.91	0.1673	1.11779	12.39

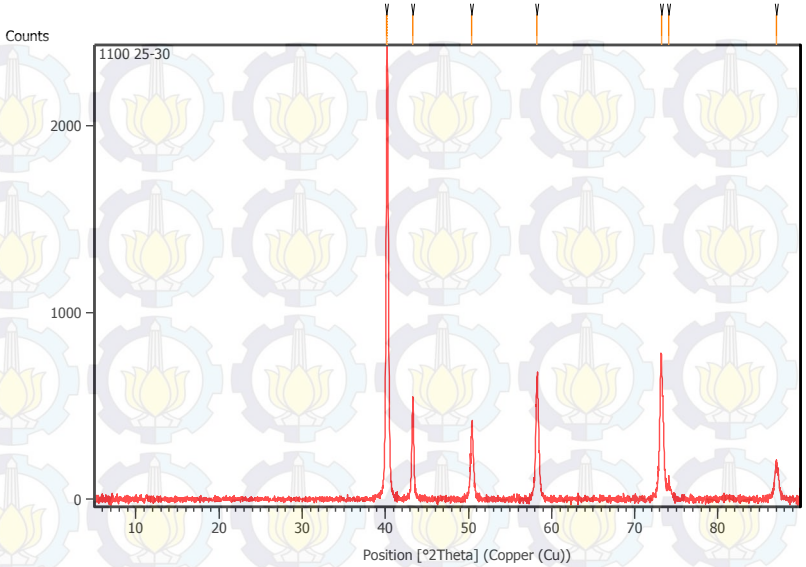
Hasil Uji XRD Pascasintering 1300°C-20-25µm



Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
40.2802	3111.75	0.1506	2.23903	100.00
43.3330	730.79	0.0816	2.08638	23.48
43.4537	454.58	0.0612	2.08603	14.61
50.4631	223.30	0.0816	1.80704	7.18
58.2657	945.40	0.1632	1.58225	30.38
73.1971	1026.25	0.2244	1.29200	32.98
73.3841	728.57	0.1224	1.29238	23.41
87.0743	277.87	0.2244	1.11828	8.93
87.2833	184.46	0.2040	1.11891	5.93

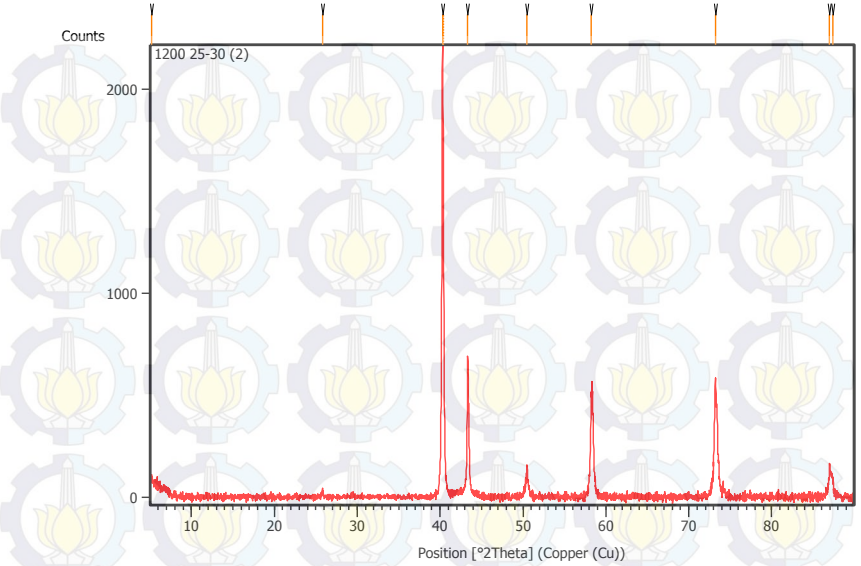
Hasil Uji XRD Pascasintering 1100°C-25-30µm



Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
40.1639	2172.80	0.1224	2.24339	92.60
40.2664	2346.40	0.0816	2.24348	100.00
43.3287	546.85	0.1224	2.08658	23.31
50.4095	392.96	0.3264	1.80883	16.75
58.2503	654.73	0.3672	1.58264	27.90
73.1974	775.25	0.2040	1.29200	33.04
74.0699	125.92	0.1020	1.27892	5.37
87.0127	202.11	0.2856	1.11891	8.61

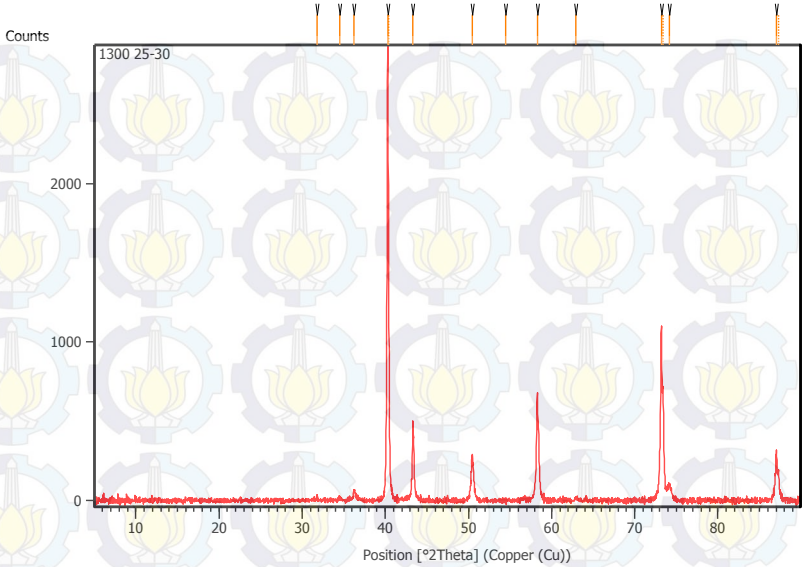
hasil Uji XRD Pascasintering 1200°C-25-30µm



Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
5.2047	53.03	0.2007	16.97946	2.40
25.8292	36.95	0.1004	3.44941	1.68
40.2841	2205.31	0.1428	2.23698	100.00
40.4033	1527.20	0.0816	2.23619	69.25
43.3384	680.09	0.1428	2.08614	30.84
50.4901	151.18	0.3264	1.80613	6.86
58.2601	503.04	0.1428	1.58239	22.81
73.2285	569.49	0.1836	1.29153	25.82
86.9983	159.39	0.1224	1.11906	7.23
87.3782	94.82	0.2448	1.11517	4.30

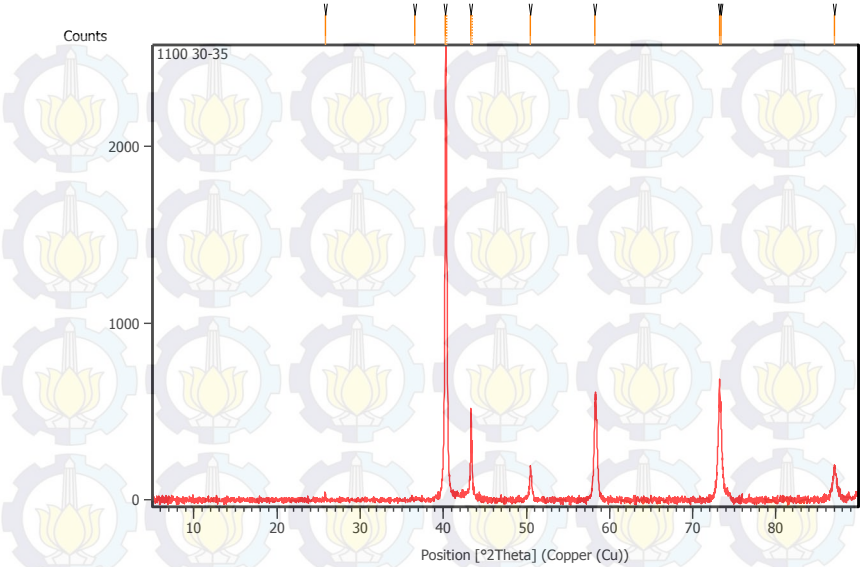
Hasil Uji XRD Pascasintering 1300°C-25-30µm



Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
36.2271	59.37	0.1673	2.47968	2.05
40.2866	2889.63	0.1428	2.23684	100.00
40.3924	1773.27	0.0612	2.23677	61.37
43.3136	472.66	0.1020	2.08727	16.36
50.4698	260.71	0.1224	1.80681	9.02
58.2715	678.96	0.1632	1.58211	23.50
73.1953	1091.50	0.1428	1.29203	37.77
73.4313	623.46	0.1224	1.29166	21.58
74.1419	104.96	0.4896	1.27786	3.63
87.0391	308.18	0.1632	1.11864	10.66
87.2961	184.21	0.1224	1.11878	6.37

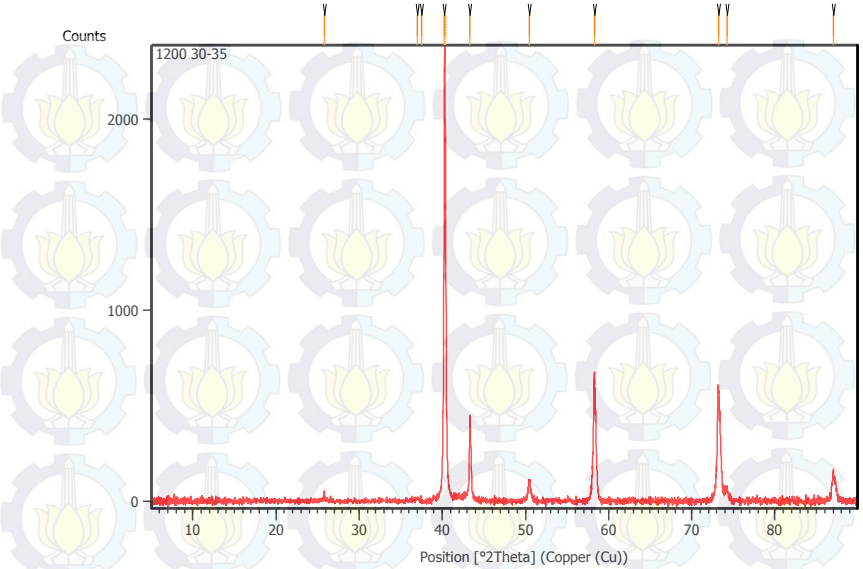
Hasil Uji XRD Pascasintering 1100°C 30-35µm



Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
25.8166	33.42	0.1004	3.45107	1.37
36.5951	6.57	0.8029	2.45559	0.27
40.2710	2443.31	0.1428	2.23767	100.00
40.3688	2133.47	0.1224	2.23802	87.32
43.3419	520.65	0.0816	2.08597	21.31
43.4685	329.45	0.0612	2.08536	13.48
50.4670	162.93	0.2448	1.80691	6.67
58.2514	542.88	0.1632	1.58261	22.22
73.2132	681.82	0.0612	1.29176	27.91
73.4105	470.82	0.1224	1.28878	19.27
87.0136	179.79	0.2448	1.11890	7.36

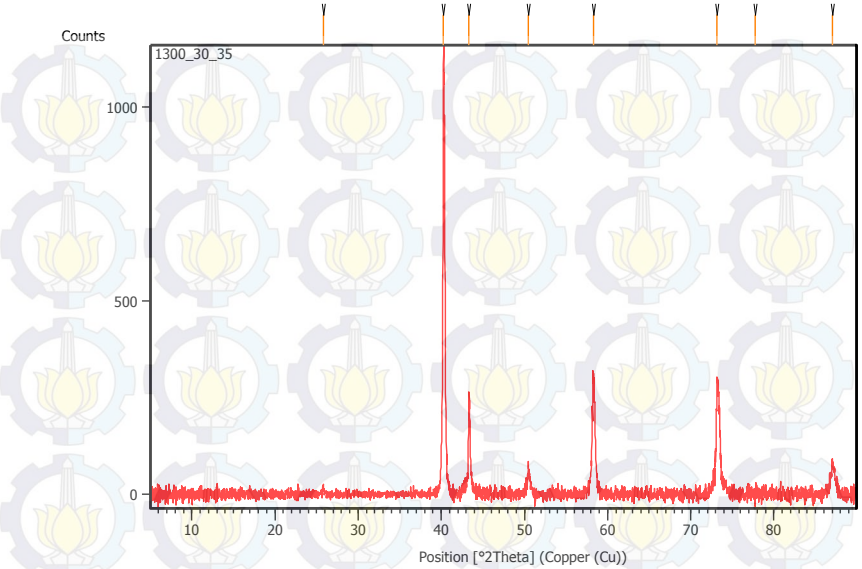
Hasil Uji XRD Pascasintering 1200°C 30-35µm



Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
25.8117	46.38	0.1004	3.45171	1.98
36.9658	14.61	0.5353	2.43181	0.62
37.4801	25.89	0.0502	2.39962	1.11
40.2762	2338.66	0.1428	2.23739	100.00
40.3742	1882.38	0.0816	2.23774	80.49
43.3293	447.69	0.1224	2.08655	19.14
50.4897	108.40	0.2856	1.80615	4.64
58.2694	675.43	0.1224	1.58216	28.88
73.1887	599.50	0.1632	1.29213	25.63
74.2415	60.38	0.2448	1.27639	2.58
87.0182	144.96	0.1632	1.11886	6.20

Hasil Uji XRD Pascasintering 1300°C 30-35µm

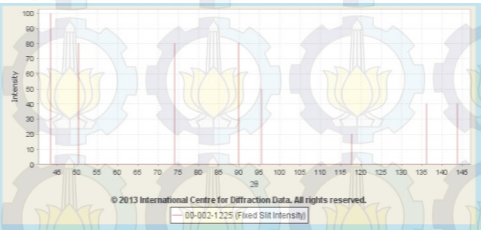


Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
25.8643	14.71	0.4015	3.44480	1.30
40.2715	1133.85	0.1171	2.23950	100.00
43.3278	267.33	0.1338	2.08835	23.58
50.4848	73.92	0.1338	1.80781	6.52
58.2710	300.20	0.1673	1.58343	26.48
73.1553	272.73	0.1673	1.29371	24.05
77.7076	8.81	0.1171	1.22891	0.78
87.0338	77.71	0.3346	1.11962	6.85

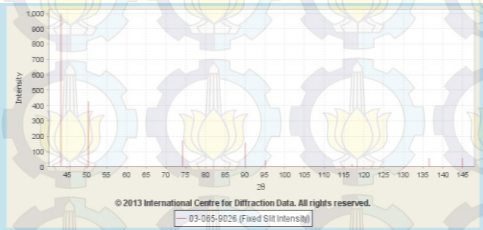
LAMPIRAN B
KARTU PDF (ICDD) SEBAGAI PEDOMAN UNTUK ANALISA DATA XRD

Kartu PDF untuk Fasa Cu



00-002-1225 (Fixed Slit Intensity)

2θ	d(Å)	Intensity	h	k	l	M1	M2	M3	*
43.4716	2.080000	100	1	1	1				
50.3734	1.810000	80	2	0	0				
73.9952	1.280000	80	2	2	0				
89.9307	1.090000	80	3	1	1				
95.5743	1.040000	50	2	2	2				
117.7112	0.900000	20	4	0	0				
136.2652	0.830000	40	3	3	1				
143.9653	0.810000	40	4	2	0				

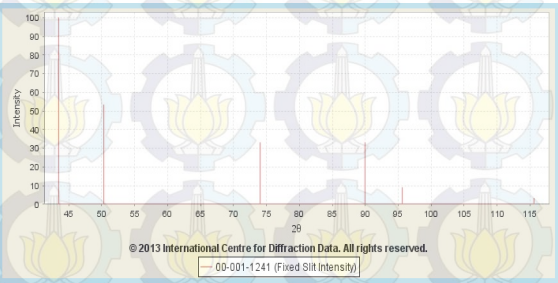


03-065-9026 (Fixed Slit Intensity)

2θ	d(Å)	Intensity	h	k	l	M1	M2	M3	*
43.3408	2.085970	999	1	1	1				
50.4778	1.806500	427	2	0	0				
74.1717	1.277390	171	2	2	0				
89.9979	1.089360	157	3	1	1				
95.2140	1.042980	42	2	2	2				
117.0322	0.903250	18	4	0	0				
136.6529	0.828879	57	3	3	1				
144.8967	0.807891	54	4	2	0				

03-065-9026 (Fixed Slit Intensity)

2θ	d(Å)	Intensity	h	k	l	M1	M2	M3	*
43.3408	2.085970	999	1	1	1				
50.4778	1.806500	427	2	0	0				
74.1717	1.277390	171	2	2	0				
89.9979	1.089360	157	3	1	1				
95.2140	1.042980	42	2	2	2				
117.0322	0.903250	18	4	0	0				
136.6529	0.828879	57	3	3	1				
144.8967	0.807891	54	4	2	0				



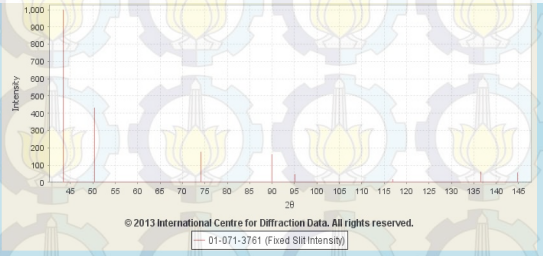
00-001-1241 (Fixed Slit Intensity)

2θ	d(Å)	Intensity	h	k	l	M1	M2	M3	*
43.4716	2.080000	100	1	1	1				
50.3734	1.810000	53	2	0	0				
73.9952	1.280000	33	2	2	0				
89.9307	1.090000	33	3	1	1				
95.5743	1.040000	9	2	2	2				
115.6577	0.910000	3	4	0	0				

01-074-5761 (Fixed Slit Intensity)

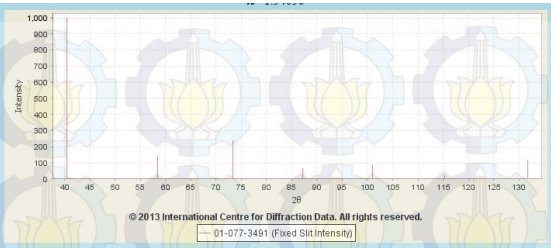
2θ	d(Å)	Intensity	h	k	l	M1	M2	M3	*
43.3121	2.087290	999	1	1	1				
50.4434	1.807650	427	2	0	0				
74.1168	1.278200	177	2	2	0				
89.9254	1.090050	162	3	1	1				
95.1334	1.043650	44	2	2	2				
116.9133	0.903825	19	4	0	0				
136.4698	0.829407	59	3	3	1				
144.6666	0.808406	57	4	2	0				

Kartu PDF untuk Fasa W



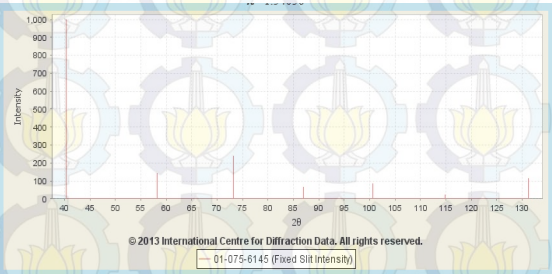
01-071-3761 (Fixed Slit Intensity)

2θ	d(Å)	Intensity	h	k	l	M1	M2	M3	*
43.3158	2.087120	999	1	1	1				
50.4479	1.807500	432	2	0	0				
74.1236	1.278100	176	2	2	0				
89.9349	1.089960	161	3	1	1				
95.1442	1.043560	44	2	2	2				
116.9288	0.903750	19	4	0	0				
136.4936	0.829338	59	3	3	1				
144.6964	0.808339	56	4	2	0				



01-077-3491 (Fixed Slit Intensity)

2θ	d(Å)	Intensity	h	k	l	M1	M2	M3	*
40.3503	2.233400	999	1	1	0				
58.3857	1.579250	142	2	0	0				
73.3637	1.289450	240	2	1	1				
87.2258	1.116700	65	2	2	0				
100.9238	0.998805	86	3	1	0				
115.3030	0.911780	22	2	2	2				
131.7055	0.844145	112	3	2	1				

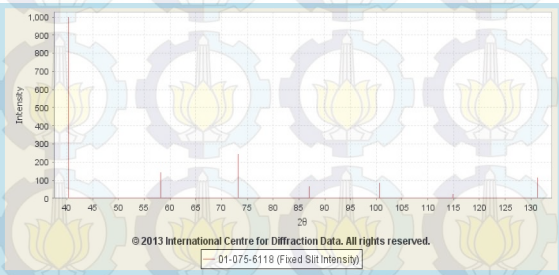


01-075-6145 (Fixed Slit Intensity)

2θ	d(Å)	Intensity	h	k	l	M1	M2	M3	*
40.2662	2.237870	999	1	1	0				
58.2579	1.582410	143	2	0	0				
73.1933	1.292030	240	2	1	1				
87.0084	1.118930	65	2	2	0				
100.6475	1.000800	86	3	1	0				
114.9424	0.913605	22	2	2	2				
131.1976	0.845834	112	3	2	1				

00-050-1451 (Fixed Slit Intensity)

2θ	d(Å)	Intensity	h	k	l	M1	M2	M3	*
40.2833	2.236960	100	1	1	0				
58.2906	1.581600	17	2	0	0				
73.2672	1.290910	27	2	1	1				
87.0882	1.118110	8	2	2	0				
100.7415	1.000120	11	3	1	0				
131.3515	0.845320	16	3	2	1				



01-075-6118 (Fixed Slit Intensity)

2θ	d(Å)	Intensity	h	k	l	M1	M2	M3	*
40.2672	2.237820	999	1	1	0				
58.2591	1.582380	143	2	0	0				
73.1953	1.292000	241	2	1	1				
87.0103	1.118910	65	2	2	0				
100.6503	1.000780	86	3	1	0				
114.9464	0.913585	22	2	2	2				
131.2033	0.845815	112	3	2	1				

LAMPIRAN C
Perhitungan Densitas dan Porositas

Tabel C.1 Densitas dan Porositas komposit WCu temperatur 1100°C dan ukuran partikel Cu 20-25µm

Nomor	Massa (gr)	Tinggi (cm)	Volume (cm^3)	Green density (gr/cm^3)	Massa basah (gr)	Massa kering (gr)	Massa dalamair (gr)	Sinter density (gr/cm^3)
9	29,10	1,61	2,64	11,03	31,10	30,83	30,69	11,63
10	29,10	1,61	2,64	11,03	31,71	31,36	31,27	11,70
11	30,47	1,63	2,67	11,40	29,66	29,65	29,38	11,77
12	32,03	1,66	2,72	11,77	31,60	31,56	31,21	12,00
Rata-rata	30,18	1,63	2,67	11,31	31,02	30,85	30,64	11,78
Porositas				25,41%				22,33%

Tabel C.2 Densitas dan Porositas komposit WCu temperatur 1200°C dan ukuran partikel Cu 20-25µm

Nomor	Massa (gr)	Tinggi (cm)	Volume (cm^3)	Green densitas (gr/cm^3)	Massa basah (gr)	Massa kering (gr)	Massa dalamair (gr)	Sinter density (gr/cm^3)
1	31,93	1,66	2,72	11,74	32,48	32,08	32,04	11,97
2	32,15	1,72	2,82	11,40	32,61	32,22	32,13	11,85
3	31,23	1,63	2,67	11,69	31,77	31,33	31,34	11,73
4	31,69	1,61	2,64	12,01	32,22	31,86	31,86	12,25
Rata-rata	31,75	1,66	2,71	11,71	32,27	31,87	31,84	11,95
porositas				22,76%				21,17%

Tabel C.3 Densitas dan Porositas komposit WCu temperatur 1300^{o}C dan ukuran partikel Cu 20-25µm

Nomor	Massa (gr)	Tinggi (cm)	Volume (cm^3)	Green density (gr/cm^3)	Massa basah (gr)	Massa kering (gr)	Massa dalam air (gr)	Sinter density (gr/cm^3)
5	31,83	1,66	2,72	11,70	32,23	31,79	31,82	12,00
6	23,90	1,27	2,08	11,48	24,24	23,87	24,47	11,88
7	30,68	1,58	2,59	11,85	31,11	30,74	30,83	12,20
8	29,82	1,53	2,51	11,89	30,18	29,80	29,97	12,16
Rata-rata	29,06	1,51	2,48	11,73	29,44	29,05	29,27	12,06
Porositas				22,63%				20,46%

Tabel C.4 Densitas dan Porositas komposit WCu temperatur 1100^{o}C dan ukuran partikel Cu 25-30µm

Nomor	Massa (gr)	Tinggi (cm)	Volume (cm^3)	Green density (gr/cm^3)	Massa basah (gr)	Massa kering (gr)	Massa dalam air (gr)	Sinter density (gr/cm^3)
5	29,36	1,57	2,57	11,41	32,51	32,5	32,1	12,26
6	31,65	1,66	2,72	11,63	31,88	31,46	31,4	11,57
7	31,41	1,66	2,72	11,54	32,13	31,69	31,64	11,61
8	31,88	1,65	2,70	11,79	29,83	29,37	29,5	11,43
Rata-rata	31,08	1,64	2,68	11,59	31,59	31,26	31,16	11,72
Porositas				23,53%				22,71%

Tabel C.5 Densitas dan Porositas komposit WCu temperatur 1200°C dan ukuran partikel Cu 25-30µm

Nomor	Massa (gr)	Tinggi (cm)	Volume (cm^3)	Green density (gr/cm^3)	Massa basah (gr)	Massa kering (gr)	Massa dalamair (gr)	Sinter density (gr/cm^3)
10	31,67	1,63	2,67	11,85	31,57	31,47	31,13	11,74
11	30,26	1,59	2,61	11,61	33,02	32,89	32,58	12,27
12	31,85	1,66	2,72	11,71	31,05	31,01	30,69	11,93
13	30,94	1,63	2,67	11,58	33,01	31	32,6	11,70
Rata-rata	31,18	1,63	2,67	11,69	32,16	31,59	31,75	11,91
Porositas				22,90%				21,44%

Tabel C.6 Densitas dan Porositas komposit WCu temperatur 1300°C dan ukuran partikel Cu 25-30µm

Nomor	Massa (gr)	Tinggi (cm)	Volume (cm^3)	green density (gr/cm^3)	Massa basah (gr)	Massa kering (gr)	Massa dalamair (gr)	Sinter density (gr/cm^3)
1	30,68	1,60	2,62	11,70	31,23	30,76	30,88	11,88
2	31,77	1,64	2,69	11,82	32,23	31,84	31,83	12,06
3	31,27	1,63	2,67	11,70	30,58	30,17	30,31	12,02
4	31,37	1,64	2,69	11,67	32,13	31,68	31,74	12,05
Rata-rata	31,27	1,63	2,67	11,72	31,54	31,11	31,19	12,00
Porositas				22,67%				20,84%

Tabel C.7 Densitas dan Porositas komposit WCu temperatur 1100^{o}C dan ukuran partikel Cu 30-35µm

nomor	Massa (gr)	Tinggi (cm)	Volume (cm^3)	Green density (gr/cm^3)	Massa basah (gr)	Massa kering (gr)	Massa dalam air (gr)	Sinter density (gr/cm^3)
1	31,05	1,62	2,66	11,69	29,67	29,09	29,48	11,97
2	29,16	1,58	2,59	11,26	29,66	29,06	29,3	11,18
3	31,11	1,66	2,72	11,43	31,03	30,58	30,62	11,54
4	30,44	1,62	2,66	11,46	32,50	32,04	32,01	11,74
Rata-rata	30,44	1,62	2,66	11,46	30,72	30,19	30,35	11,61
Porositas				24,39%				23,44%

Tabel C.8 Densitas dan Porositas komposit WCu temperatur 1200^{o}C dan ukuran partikel Cu 30-35µm

Nomor	Massa (gr)	Tinggi (cm)	Volume (cm^3)	Green density (gr/cm^3)	Massa basah (gr)	Massa kering (gr)	Massa dalam air (gr)	Massa (gr)
5	29,11	1,52	2,49	11,68	31,99	31,50	31,56	11,80
6	31,52	1,66	2,72	11,58	29,65	29,25	29,45	11,99
7	31,63	1,7	2,79	11,35	31,55	30,99	31,09	11,48
8	32,09	1,66	2,72	11,79	32,53	32,51	32,07	12,04
Rata-rata	31,09	1,64	2,68	11,60	31,43	31,06	31,04	11,83
Porositas				23,46%				21,99%

Tabel C.9 Densitas dan Porositas komposit WCu temperatur 1300°C dan ukuran partikel Cu 30-35µm

Nomor	Massa (gr)	Tinggi (cm)	Volume (cm^3)	Green density (gr/cm^3)	Massa basah (gr)	Massa kering (gr)	Massa dalam air (gr)	Sinter density (gr/cm^3)
10	32,36	1,65	2,70	11,97	31,71	31,27	31,33	11,94
11	32,67	1,7	2,79	11,72	31,62	31,19	31,22	11,81
12	31,15	1,66	2,72	11,45	32,41	31,98	32	12,07
16	31,41	1,69	2,77	11,34	31,4	30,86	30,98	11,60
Rata-rata	31,90	1,68	2,75	11,62	31,79	31,33	31,38	11,85
Porositas				23,36%				21,80%

Perhitungan densitas teoritik (ρ_t) menggunakan Raw of Mixture (ROM) seperti pada persamaan C.1

$$\rho_c = \rho_m.V_m + \rho_f.V_f$$

Dimana: ρ_c = densitas komposit; ρ_m = densitas matriks; ρ_f = densitas reinforced; V_m = fraksi volume matriks; V_f = fraksi volume reinforced

Sedangkan perhitungan porositas menggunakan persamaan C.2

$$\Phi = 1 - (\rho_s/\rho_t)$$

Dimana: Φ = porositas (%); ρ_s = densitas sinter (g/cm^3); ρ_t = densitas teoritik (g/cm^3)

LAMPIRAN D
Hasil Pengujian Hardness

Tabel D.1 Pengujian Hardness Komposit WCu dengan Partikel Cu 30-35µm dan temperatur sintering 1100^{o}C

Nomor	Sisi 1 (HRb)	Sisi 2 (HRb)	Rata-rata (HRb)
1	45	9	26
	45	2	
	45	10	
2	52,5	14,5	35,08
	47	11	
	50,5	35	
4	36	42,5	43
	43	41	
	43	52,5	
Rata-rata	45,23	24,167	**34,69**

Tabel D.2 Pengujian Hardness Komposit WCu dengan Partikel Cu 30-35µm dan temperatur sintering 1200^{o}C

Nomor	Sisi 1 (HRb)	Sisi 2 (HRb)	Rata-rata (HRb)
5	56	31	42,25
	51,5	25,5	
	54	35,5	
6	63,5	42	52,25
	54,5	44,5	
	60,5	48,5	
8	38,5	43	38,92
	37,5	33,5	
	31	50	
Rata-rata	49,67	39,28	**44,47**

Tabel D.3 Pengujian Hardness Komposit WCu dengan Partikel Cu 30-35µm dan temperatur sintering 1300°C

Nomor	Sisi 1 (HRb)	Sisi 2 (HRb)	Rata-rata (HRb)
10	33,5	17	26,5
	30	22	
	36,5	20	
11	32	10	22,33
	35,5	16,5	
	25	15	
12	33	48,5	34,92
	28,5	36,5	
	21	42	
Rata-rata	30,56	25,28	**27,92**

Tabel D.4 Pengujian Hardness Komposit WCu dengan Partikel Cu 25-30µm dan temperatur sintering 1100°C

Nomor	Sisi 1 (HRb)	Sisi 2 (HRb)	Rata-rata (HRb)
7	34	25	36,5
	28	50	
	33	49	
8	43	56	46,75
	46	47,5	
	41,5	46,5	
6	61	44	50,67
	55	41,5	
	55	47,5	
Rata-rata	44,06	44,94	**44,50**

Tabel D.5 Pengujian Hardness Komposit WCu dengan Partikel Cu 25-30µm dan temperatur sintering 1200^{o}C

Nomor	Sisi 1 (HRb)	Sisi 2 (HRb)	Rata-rata (HRb)
11	34,5	43,5	44,42
	34,5	62,5	
	37,5	54	
13	26,5	39	33,5
	26,5	38	
	31	40	
10	45	38,5	40,25
	45	29,5	
	48,5	35	
Rata-rata	36,56	43,13	**39,84**

Tabel D.6 Pengujian Hardness Komposit WCu dengan Partikel Cu 25-30µm dan temperatur sintering 1300^{o}C

Nomor	Sisi 1 (HRb)	Sisi 2 (HRb)	Rata-rata (HRb)
1	25	26	25
	24,5	22	
	28,5	24	
4	37	28	33,58
	33,5	32	
	37,5	33,5	
3	17	45	38,5
	37,5	44,5	
	39,5	47,5	
Rata-rata	31,11	33,61	**32,36**

Tabel D.7 Pengujian Hardness Komposit WCu dengan Partikel Cu 20-25µm dan temperatur sintering 1100^{o}C

Nomor	Sisi 1 (HRb)	Sisi 2 (HRb)	Rata-rata (HRb)
9	55	32	45,58
	53,5	32,5	
	60,5	40	
12	52,5	50,5	53,75
	61	53,5	
	63	42	
11	41	41,5	37,42
	36	30	
	27	49	
Rata-rata	49,94	41,22	**45,58**

Tabel D.8 Pengujian Hardness Komposit WCu dengan Partikel Cu 20-25µm dan temperatur sintering 1200^{o}C

Nomor	Sisi 1 (HRb)	Sisi 2 (HRb)	Rata-rata (HRb)
3	47	35	34,58
	21,5	34	
	30	40	
1	22	20	23,83
	24,5	23,5	
	24	29	
2	53,5	36	39,25
	37,5	39,5	
	34	35	
Rata-rata	32,67	32,44	**32,56**

Tabel D.9 Pengujian Hardness Komposit WCu dengan Partikel Cu 20-25µm dan temperatur sintering 1300^{o}C

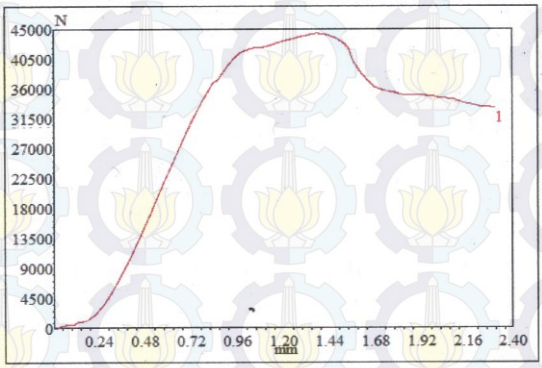
Nomor	Sisi 1 (HRb)	Sisi 2 (HRb)	Rata-rata (HRb)
5	11,5	23	20,67
	16	22	
	20	31,5	
7	17	41	30,25
	23	34	
	26,5	40	
8	19	44,5	27,5
	23	30	
	19	29,5	
Rata-rata	19,44	32,83	26,14

LAMPIRAN E
Hasil Uji Tekan

Temperatur 1100^{o}C Ukuran Partikel Cu 20-25µm

Laboratorium Metalurgi
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Compression Test

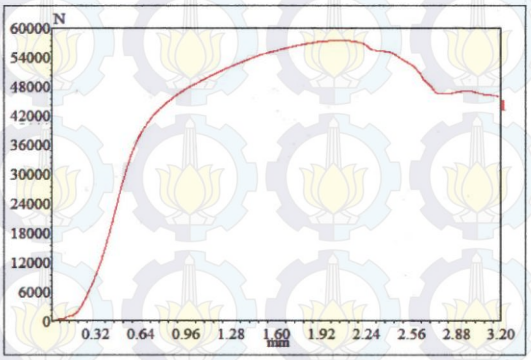


Specimen Code	Diameter mm	Area mm^2	Compressive Strength MPa	Remark
1100-20-25-12	14.70	169.72	261.52	
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---

Temperatur 1200^{o}C Ukuran Partikel Cu 20-25µm

Laboratorium Metalurgi
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Compression Test

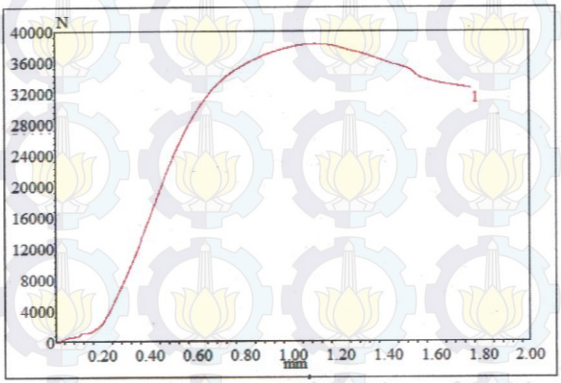


Specimen Code	Diameter mm	Area mm^2	Height mm	Compressive Strength MPa	Remark
1200-20-25-2	14.70	169.72	31.16	339.26	
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---

Temperatur 1300^{o}C Ukuran Partikel Cu 20-25µm

Laboratorium Metalurgi
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Compression Test

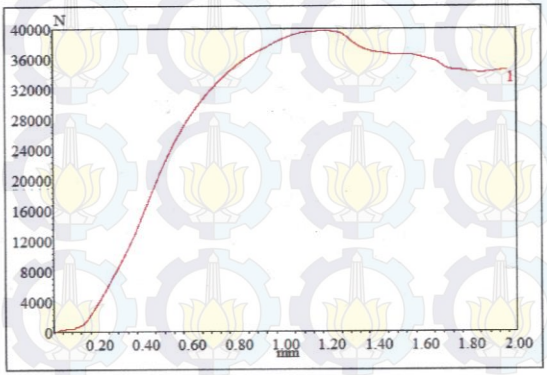


Specimen Code	Diameter mm	Area mm^2	Height mm	Compressive Strength MPa	Remark
1300-20-25-7	14.70	169.72	31.16	226.35	
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---

Temperatur 1100^{o}C Ukuran Partikel Cu 25-30µm

Laboratorium Metalurgi
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Compression Test

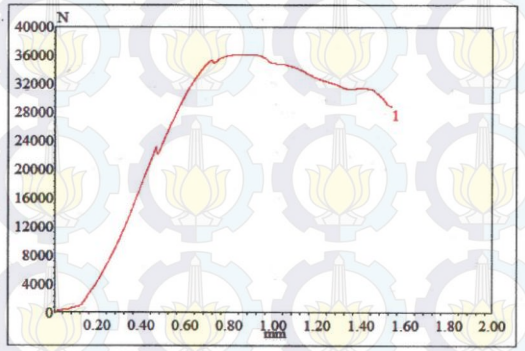


Specimen Code	Diameter mm	Area mm^2	Height mm	Compressive Strength MPa	Remark
1100-25-30-7	14.70	169.72	31.16	234.25	
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---

Temperatur 1200^{o}C Ukuran Partikel Cu 20-25µm

Laboratorium Metalurgi
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Compression Test

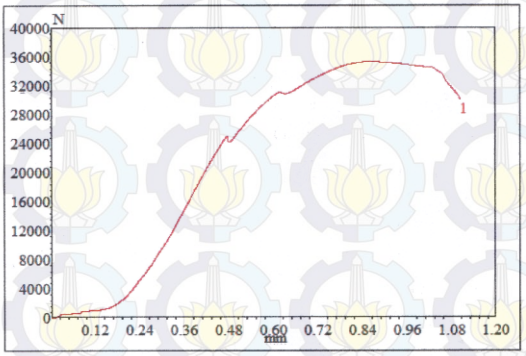


Specimen Code	Diameter mm	Area mm^2	Height mm	Compressive Strength MPa	Remark
1200-25-30-11	14.70	169.72	31.16	213.20	
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---

Temperatur 1300^{o}C Ukuran Partikel Cu 25-30µm

Laboratorium Metalurgi
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Compression Test



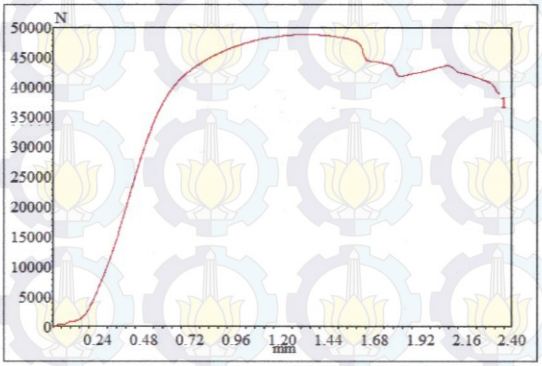
Specimen Code	Diameter mm	Area mm^2	Height mm	Compressive Strength MPa	Remark
1300-25-30-3	14.70	169.72	31.16	208.51	
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---

Temperatur 1100^{o}C Ukuran Partikel Cu 20-25µm

Temperatur 1100^{o}C Ukuran Partikel Cu 30-35µm

Laboratorium Metalurgi
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Compression Test

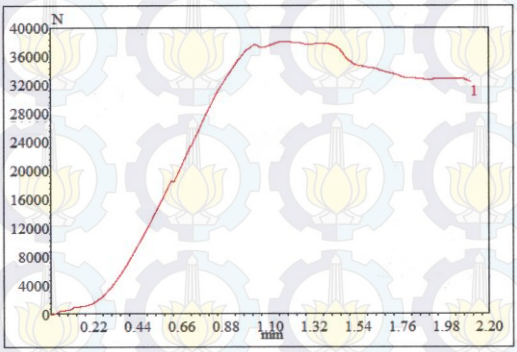


Specimen Code	Diameter mm	Area mm^2	Height mm	Compressive Strength MPa	Remark
1100-30-35-4	14.70	169.72	31.16	288.01	
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---

Temperatur 1200^{o}C Ukuran Partikel Cu 30-35µm

Laboratorium Metalurgi
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Compression Test

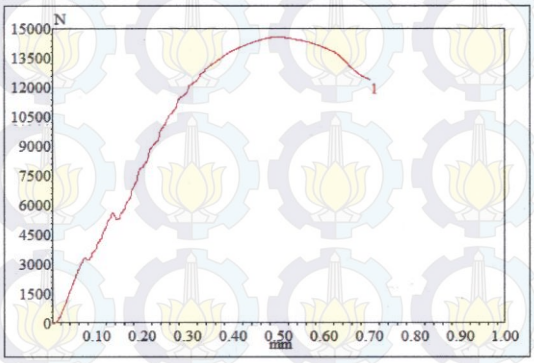


Specimen Code	Diameter mm	Area mm^2	Height mm	Compressive Strength MPa		Remark
1200-30-35-6	14.70	169.72	31.16	224.50		
---	---	---	---	---	---	
---	---	---	---	---	---	
---	---	---	---	---	---	
---	---	---	---	---	---	
---	---	---	---	---	---	
---	---	---	---	---	---	
---	---	---	---	---	---	
---	---	---	---	---	---	
---	---	---	---	---	---	
---	---	---	---	---	---	

Temperatur 1300^{o}C Ukuran Partikel Cu 30-35µm

Laboratorium Metalurgi
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Compression Test



Specimen Code	Diameter mm	Area mm^2	Height mm	Compressive Strength MPa	Remark
1300-30-35-10	14.70	169.72	31.16	85.88	
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---

LAMPIRAN F
Perhitungan Compressive Strenght dan Modulus Elastisitas

Tabel F.1 Compressive Strength dan modulus elastisitas Komposit WCu dengan Partikel Cu 20-25µm dan temperatur sintering 1100^{o}C

Nomor	Compresive strength (Mpa)	Modulus elastisitas (Gpa)
9	176,30	52,03
11	116,78	45,89
12	261,52	58,56
Rata-rata	184,87	52,16

Tabel F.2 Compressive Strength dan modulus elastisitas Komposit WCu dengan Partikel Cu 25-30µm dan temperatur sintering 1100^{o}C

Nomor	Compresive strength (Mpa)	Modulus elastisitas (Gpa)
6	223,81	55,88
8	188,76	53,11
7	234,25	56,65
Rata-rata	215,60	55,21

Tabel F.3 Compressive Strength dan modulus elastisitas Komposit WCu dengan Partikel Cu 30-35µm dan temperatur sintering 1100^{o}C

Nomor	Compresive strength (MPa)	Modulus elastisitas (GPa)
1	184,07	52,71
2	158,75	50,40
4	288,01	54,85
Rata-rata	210,28	52,65

Tabel F.4 Compressive Strength dan modulus elastisitas Komposit WCu dengan Partikel Cu 20-25µm dan temperatur sintering 1200^{o}C

Nomor	Compresive strength (MPa)	Modulus elastisitas (Gpa)
1	236,36	56,80
3	209,86	54,82
2	339,26	63,32
Rata-rata	261,82	58,31

Tabel F.5 Compressive Strength dan modulus elastisitas Komposit WCu dengan Partikel Cu 25-30µm dan temperatur sintering 1200^{o}C

Nomor	Compresive strength (MPa)	Modulus elastisitas (GPa)
10	228,89	56,25
13	248,88	57,62
11	213,20	55,09
Rata-rata	230,32	56,32

Tabel F.6 Compressive Strength dan modulus elastisitas Komposit WCu dengan Partikel Cu 30-35µm dan temperatur sintering 1200^{o}C

Nomor	Compresive strength (MPa)	Modulus elastisitas (GPa)
5	192,73	53,44
8	239,63	57,05
6	224,50	55,95
Rata-rata	218,95	55,48

Tabel F.7 Compressive Strength dan modulus elastisitas Komposit WCu dengan Partikel Cu 20-25µm dan temperatur sintering 1300^{o}C

Nomor	Compresive strength (MPa)	Modulus elastisitas (GPa)
8	261,46	58,56
5	214,48	55,18
7	226,35	56,08
Rata-rata	234,10	56,61

Tabel F.8 Compressive Strength dan modulus elastisitas Komposit WCu dengan Partikel Cu 25-30µm dan temperatur sintering 1300^{o}C

Nomor	compresive strength (MPa)	Modulus elastisitas (GPa)
1	162,85	50,80
4	207,83	54,65
3	208,51	54,71
Rata-rata	193,06	53,39

Tabel F.9 Compressive Strength dan modulus elastisitas Komposit WCu dengan Partikel Cu 30-35µm dan temperatur sintering 1300^{o}C

Nomor	Compresive strength (MPa)	Modulus elastisitas (GPa)
12	210,66	54,89
11	169,10	51,37
10	85,88	41,93
Rata-rata	155,21	49,40

Compressive strength dapat diketahui menggunakan rumus:

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Keterangan :
σ = Compressive strength (MPa)
P = Beban yang diberikan (KN)
A = Luas permukaan bidang (mm^2)

Modulus elastisitas menggunakan persamaan hubungan antara *compressive strength* dan modulus elastisitas

$$E = 22000\left(\frac{fcm}{10}\right)^{0,3}$$

Dimana :
E= Modulus elastisitas Komposit (GPa)
f_{cm}= *Compressive strength* komposit (MPa)

BIODATA PENULIS

Lahir 5 April 1992 di kota kecil di kabupaten malang, tepatnya di kepanjen malang, penulis sudah dianugrahi kemampuan entrepreneur sejak kecil. Sejak sekolah dasar bocah yang diasa dipanggil fany ini sudah mengasah kemampuan enterpreneurnya, dengan berjualan mainan dipasar setiap minggu. Saat ini penulis menjadi seorang mahasiswa semester delapan di Teknik Material dan Metalurgi ITS. Disamping menjadi mahasiswa fany juga menjalankan bisnis bersama keluarganya dibidang travel, kecintaannya terhadap traveling membuaatnya betah dan sungguh – sungguh dalam menjalankan bisnis tersebut.

Hobby traveling itu juga yang mengantar fany menjadi orang yang berprestasi, keinginannya untuk jalan-jalan keliling Indonesia gratis memaksanya untuk trus berprestasi. Sudah beberapa kali dia berhasil menjuruai berbagai event Lombar Karya Tulis Ilmiah atau Business Plan yang dia ikuti, yang terbaru adalah berhasil menjadi juara 3 dalam livestockpreneurship challenge di UNPAD Bandung..

Di kampus penulis pernah menjadi direktur Badan Pelayanan Ummat yang merupakan BSO dari organisasi Lembaga Dakwah Kampus JMMI ITS. Disamping itu penulis juga pernah menjadi Kepala Departemen Kaderisasi di Lembaga Dakwah Jurusan Ash-Habul Kahfi Teknik Material dan Metalurgi ITS

Dalam tugas akhirnya penulis mengambil topik " Pengaruh Kombinasi Ukuran Partikel Serbuk Cu dan Temperatur Sintering Terhadap Kekerasan dan Densitas W-Cu" dan membantu penulis lulus dari ITS dengan gelar Sarjana Teknik (ST).