

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

Fany Rahmansah Abadidan Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si
 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
 Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
 Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111
 E-mail: wiwid@mat-eng.its.ac.id

Projektil adalah bagian dari peluru yang dioptimalkan agar projektil mempunyai kemampuan untuk menembus yang tinggi dan jangkauan yang luas. Material yang biasa digunakan dalam pembuatan peluru adalah timbal. Namun timbal merupakan material beracun yang dapat membahayakan tubuh. Oleh karena itu pada penelitian ini digunakan material alternatif dari komposit tungsten dan tembaga (WCu) sebagai material alternatif dalam pembuatan projektil peluru. Pembuatan dilakukan dengan proses metalurgi serbuk dengan berat Cu 20% dari berat total komposisi. Variabel yang digunakan adalah ukuran partikel Cu 20-25, 25-30 dan 30-35 μm dan temperatur sintering 1100, 1200 dan 1300 $^{\circ}\text{C}$. Proses ini dilakukan dengan tekanan kompaksi 600 Mpa dan waktu tahan selama 3 jam. Setelah itu secara berturut-turut dilakukan pengujian densitas, 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/cm³ dan porositas terkecil sebesar 20,46% pada saat ukuran partikel Cu 20-25 μm dengan temperatur sintering 1300 $^{\circ}\text{C}$. Kekuatan tekan tertinggi sebesar 261,82 Mpa pada 20-25 μm , 1300 $^{\circ}\text{C}$, modulus elastisitas tertinggi sebesar 58,31 Gpa pada 20-25 μm , 1300 $^{\circ}\text{C}$

Kata kunci : core projektil, komposit WCu, metalurgi serbuk

I. PENDAHULUAN

Dewasa ini perkembangan teknologi di dunia sangatlah pesat. Teknologi berkembang diberbagai bidang, begitu pula dibidang pertahanan. Seluruh negara di dunia berlomba-lomba untuk meningkatkan teknologi pertahanannya, tidak terkecuali di Indonesia. Indonesia mempunyai 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 projektil peluru. yang merupakan alat persenjataan yang paling banyak digunakan. Dalam pembuatannya. Pada produksicore projektil peluru, PT Pindad menggunakan proses Casting dengan bahan utama berupa Timbal. Perlu diketahui, poses Casting mempunyai beberapa kelemahan diantaranya sergregasi, machining dan toleransi prodak akhir

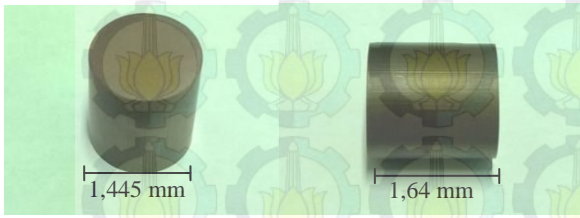
yang buruk. Hal tersebut dapat dihindari dengan menggunakan proses metalurgi serbuk [1]

Penelitian yang menggunakan WCu sebagai komposit telah dilakukan oleh banyak orang. [2] 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 pernah dilakukan ukuran partikel W yang semakin kecil akan meningkatkan densitas dari komposit WCu. Semakin tinggi temperatur maka komposit akan mendekati fase *full density* [3]

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

II. METODE PENELITIAN

Serbuk Cu (Merk, Jerman) di *sieving* hingga mendapatkan tiga variasi ukuran serbuk yang berbeda, 20-25, 25-30 dan 30-35 μm . Proses karakterisasi awal dilakukan untuk serbuk tungsten dan tembaga menggunakan pengujian SEM dan XRD. Setelah itu dilakukan proses mixing antara serbuk tungsten (W) dan tembaga (Cu). Serbuk W (Buffallo Tungsten, USA) mempunyai ukuran partikel rata-rata 3-4 μm . Komposisinya serbuk tembaga 20% dari berat total komposit yakni 6.75 gr sementara tungsten 80% dari berat total yakni 27.014 gr. Proses mixing menggunakan teknik wet mixing dengan alkohol yang nantinya akan di campur dan diuapkan menggunakan magnetic stirer. Setelah itu dilanjutkan dengan proses kompaksi. Proses kompaksi menggunakan tekanan 600 Mpa. Pada proses ini juga ditambahkan zinc stearat yang berfungsi untuk memudahkan dalam pengambilan sampel setelah proses kompaksi berlangsung. Ukuran diameter sampel adalah 1.445 cm seperti pada gambar 1.



Gambar 1. Dimensi spesimen komposit WCu

Setelah dilakukan proses kompaksi, selanjutnya akan dilakukan sintering. Sintering dilakukan dengan tiga variasi temperatur yakni 1100, 1200 dan 1300 °C. Proses sintering dilakukan pada kondisi vacum dengan menggunakan gas argon. Pada proses sintering ini waktu tahan yang digunakan adalah 3 jam.

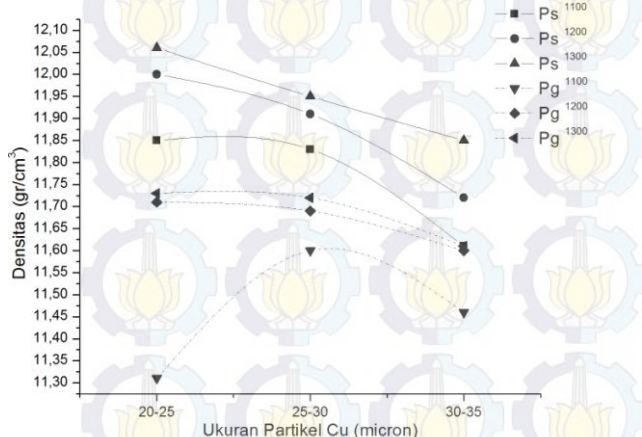
Setelah proses sintering dilakukan barulah dilakukan pengujian yang diinginkan. Ada lima pengujian yang dilakukan pada penelitian ini yang pertama pengujian densitas dengan menggunakan konsep archimedes, uji tekan untuk mencari kekuatan tekan, uji hardness untuk mencari kekerasan komposit kemudian uji XRD (*X-Ray Diffraction*) dan SEM (*Scanning Electron Microscope*) untuk mengetahui fasa yang terjadi pada komposit dan struktur mikro dari komposit WCu

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

III.1 Analisa Data

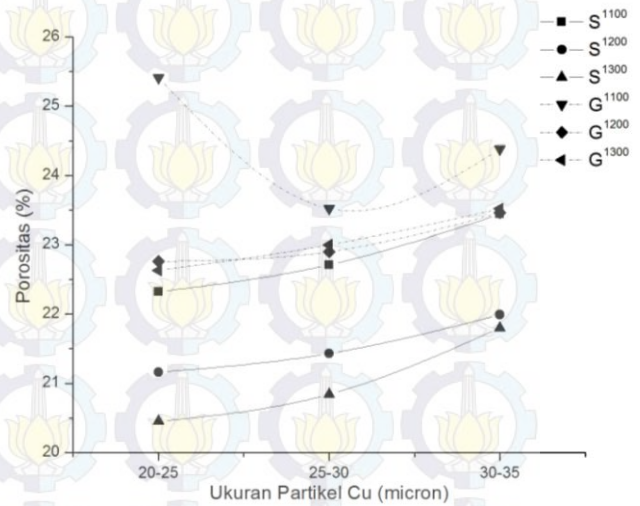
III.1.1 Hasil Analisa Densitas dan Porositas

Pada Gambar 2 terlihat hubungan antara temperatur dengan sinter dan green density. *Green Density* merupakan besarnya densitas komposit setelah dilakukannya sintering dilambangkan dengan ρ_G . Sementara Sinter Density merupakan densitas komposit setelah dilakukannya proses sintering dilambangkan dengan ρ_S . 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 30-35 μm yaitu 11,61 gr/cm^3 . Dari gambar diatas juga terlihat bahwa *green density* lebih kecil daripada densitas *sinter density*.



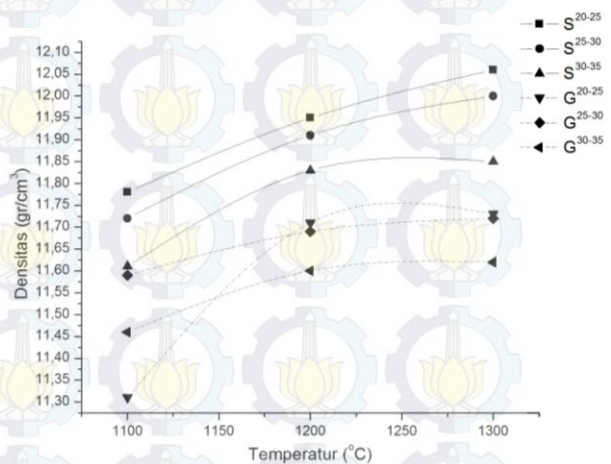
Gambar 2. Pengaruh ukuran partikel Cu terhadap green dan sinter density

Pada Gambar 4.3 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 20-25 μm sebesar 20,46%. Sementara porositas pasca sintering yang tertinggi terjadi pada saat ukuran partikel Cu 30-35 sebesar 23,25%



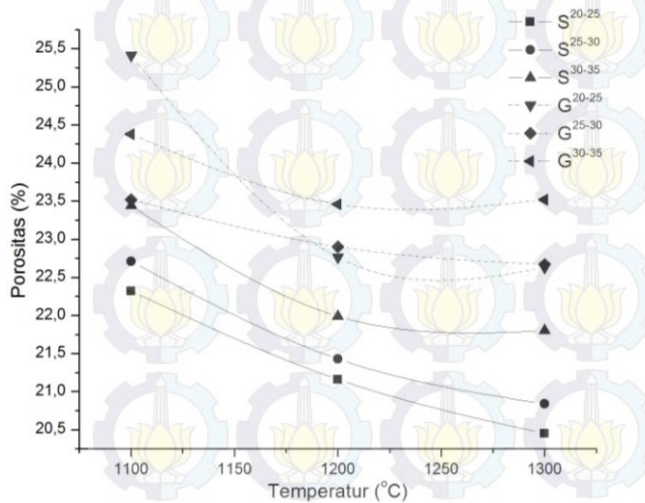
Gambar 3. Pengaruh ukuran partikel Cu terhadap porositas pre sintering dan pasca sintering

Pada Gambar 3. 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 20-25 μm sebesar 20,46%. Sementara porositas pasca sintering yang tertinggi terjadi pada saat ukuran partikel Cu 30-35 sebesar 23,25%.



Gambar 4. Pengaruh temperatur terhadap densitas pre sintering dan pasca sintering

Pada Gambar 4.1 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°C senilai 12.06 g/cm³. Sementara itu densitas terendah terjadi pada temperatur 1100°C dengan ukuran 11.61 gr/cm³

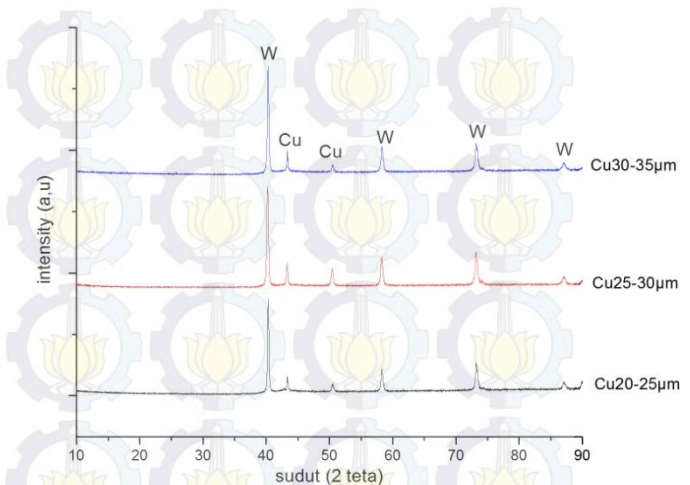


Gambar 4.5 Pengaruh temperatur terhadap porositas pre sintering dan pasca sintering

Pada Gambar 4.5 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°C sintering sebesar 20,46%. Sementara porositas pasca sintering yang tertinggi terjadi pada saat temperatur sintering 1100°C sebesar 23,25%.

III.1.2 Hasil Analisa X-Ray Diffraction (XRD)

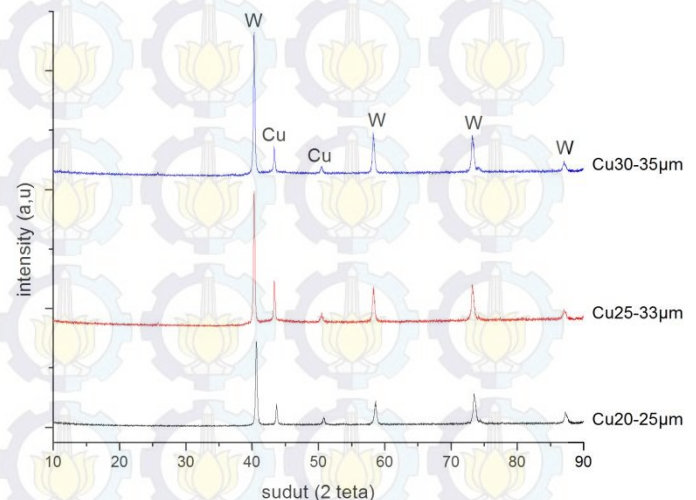
XRD (X-Ray Diffraction) digunakan untuk mengetahui fasa yang ada pada suatu material dalam penelitian ini adalah fasa akhir yang terbentuk dari komposit W-Cu. Pengujian dilakukan menggunakan sudut 2θ dengan range 10⁰-90⁰. Hasil pengujian XRD untuk temperatur 1100⁰ C dengan ukuran partikel Cu 20-25μm, 25-30μm dan 30-35μm dapat dilihat pada Gambar 4.6



Gambar 4.6 Grafik XRD pada temperatur 1100⁰ 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 software ICDD PDF. Sebelumnya dilakukan identifikasi puncak-puncak menggunakan *search match*.

Setelah membandingkan kurva hasil XRD seperti pada Gambar 4.13 dengan ICDDPDF didapatkan peak tertinggi untuk Tungsten terjadi pada 2θ antara 40,2664⁰ – 40,3688⁰ 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 43.3406⁰ – 43.4686⁰ yang nilainya mendekati ICDDPDF 03-065-9026 dan 00-002-1225.

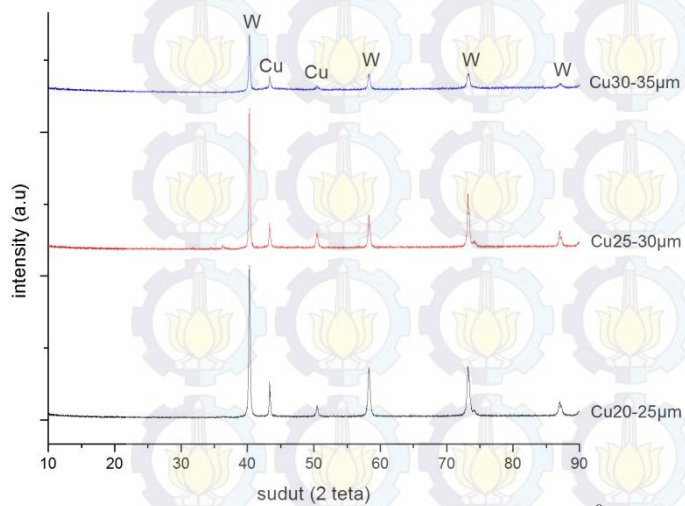


Gambar 4.7 Grafik XRD pada temperatur 1200⁰ C

Pada Gambar 7 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 software ICDD PDF. Sebelumnya dilakukan identifikasi puncak-puncak menggunakan *search match*.

Setelah membandingkan kurva hasil XRD seperti pada Gambar 4.14 dengan ICDDPDF didapatkan peak tertinggi untuk Tungsten terjadi pada 2θ antara 40,2762⁰ - 40,2841⁰ sedangkan

nilai 2θ mendekati puncak kurva tertinggi ICDDPDF00-050-1451 untuk tungsten, sedangkan untuk Cu nilai 2θ yang berkisar antara $43.3293^\circ - 43.3405^\circ$ yang nilainya mendekati ICDDPDF 03-065-9026

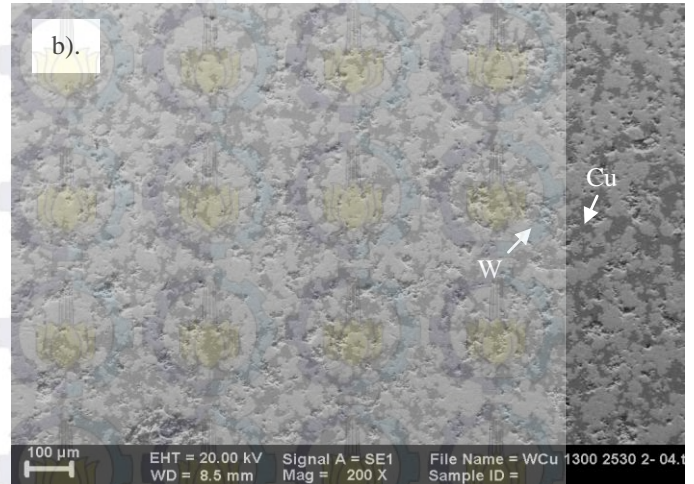
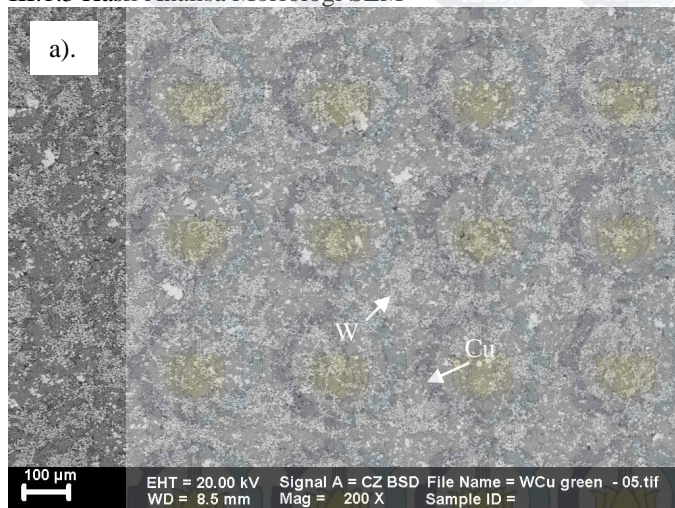


Gambar 8 Grafik XRD pada temperatur 1300°C

Pada Gambar 8 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 software ICDD PDF. Sebelumnya dilakukan identifikasi puncak-puncak menggunakan *search match*.

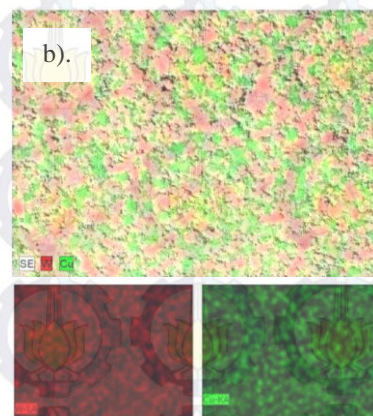
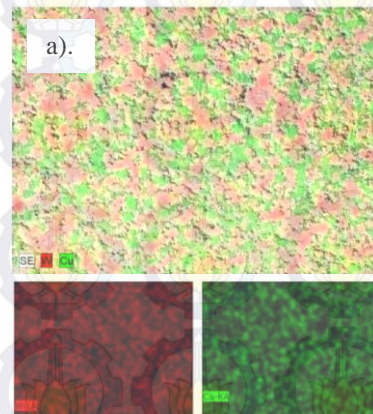
Setelah membandingkan kurva hasil XRD seperti pada Gambar 4.14 dengan ICDDPDF didapatkan peak tertinggi untuk Tungsten terjadi pada 2θ antara $40,2715^\circ - 40,3136^\circ$ sedangkan nilai 2θ mendekati puncak kurva tertinggi ICDDPDF01-075-6118 dan 00-050-1451 untuk tungsten, sedangkan untuk Cu nilai 2θ yang berkisar antara $43.3136^\circ - 43.4537^\circ$ yang nilainya mendekati ICDDPDF 01-074-5761 dan 00-001-1241

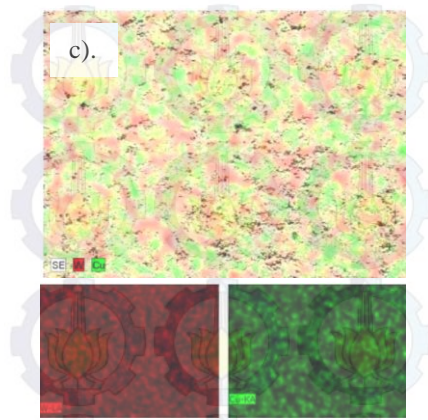
III.1.3 Hasil Analisa Morfologi SEM



Gambar 9 Struktur mikro komposit WCu perbesaran 200x a) pasca kompaksi b) pasca sintering

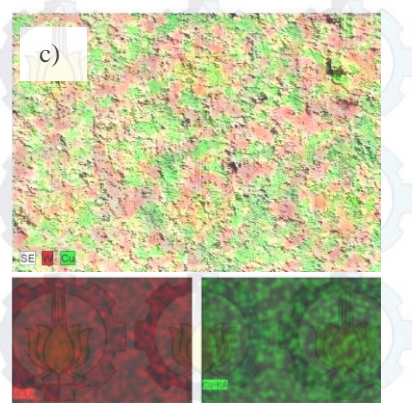
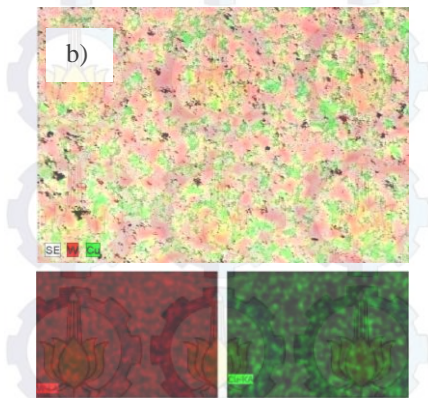
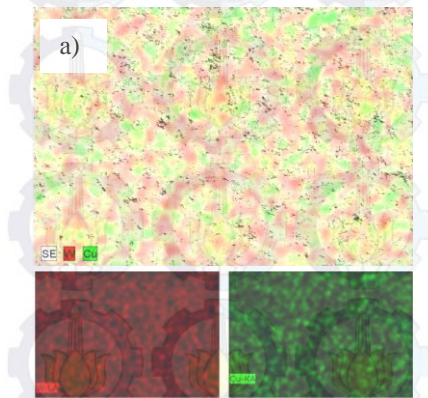
Pada Gambar 4.16 menunjukkan perbedaan struktur mikro antara komposit WCu pasca kompaksi dan pasca sintering. tungsten ditunjukkan oleh area yang berwarna putih, sedangkan tembaga ditunjukkan oleh area yang berwarna gelap. Sementara area yang berlubang merupakan porositas.





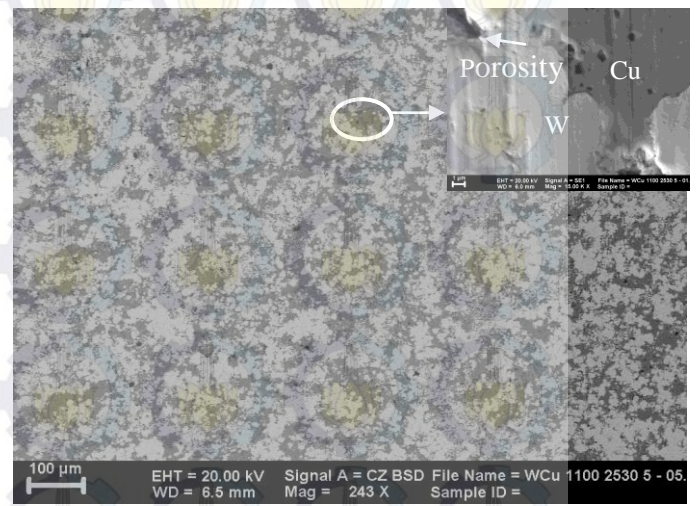
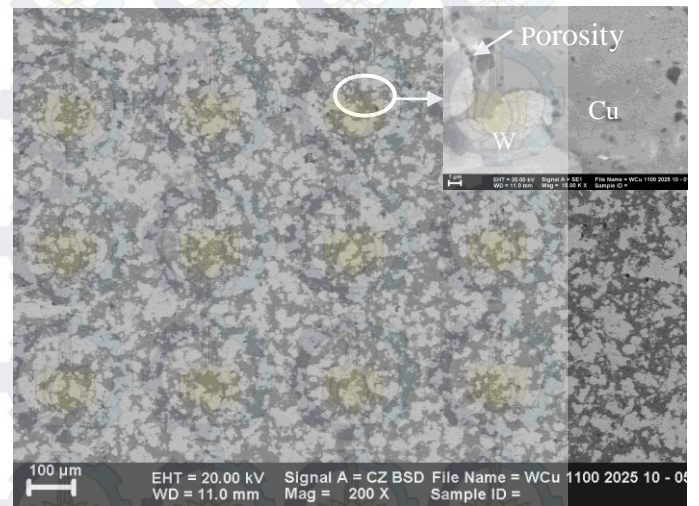
Gambar 10 Distribusi ukuran partikel Komposit WCu pada ukuran Cu 20-25 μm a) 1100°C. b) 1200°C. c) 1300°C

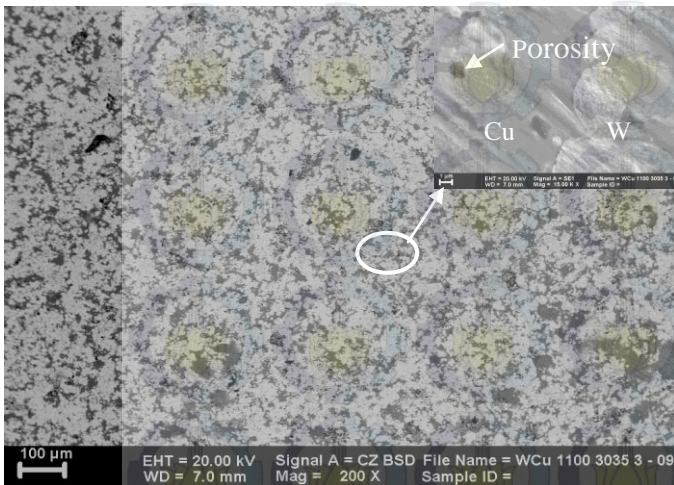
Pada Gambar 10 memperlihatkan efek temperatur sintering terhadap distribusi persebaran partikel W dan Cu pada komposit WCu. Pada gambar tersebut area hijau menunjukkan tembaga dan merah adalah tungsten



Gambar 11 Distribusi ukuran partikel Komposit WCu pada temperatur 1200°C a) 20-25 μm b) 25-30 μm . 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

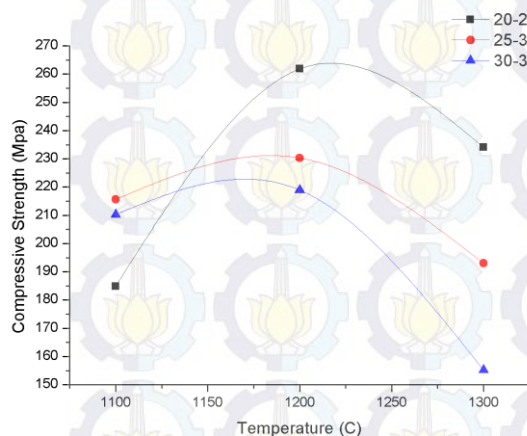




Gambar 4.12 BSE SEM komposisi WCu (a) partikel Cu 20-25 μ m (b) partikel Cu 25-30 μ m (c) partikel Cu 30-35 μ m dengan temperatur 1100 $^{\circ}$ C pada perbesaran 200x

Pada Gambar 4.12 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 berwarna putih juga semakin banyak.

III.1.4 Hasil Analisa Sifat Mekanik Komposit WCu



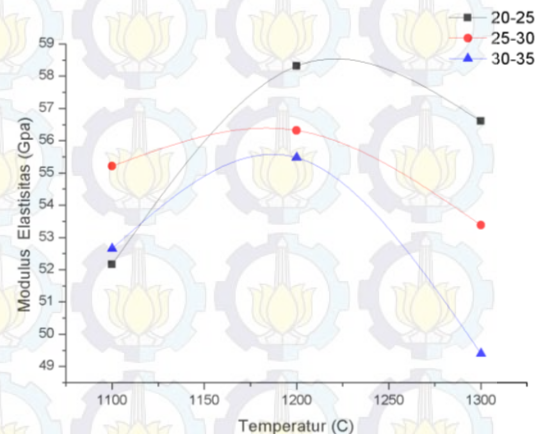
Gambar 4.13 Grafik Pengaruh Temperatur Sintering dan Ukuran Partikel Cu Terhadap *Compressive Strength* pada Komposit W-Cu (MPa)

Dari Gambar 4.22 dapat dilihat bahwa nilai kekuatan tekan berbanding lurus dengan kenaikan temperatur sintering dan berbanding terbalik dengan ukuran partikel Cu. Pada temperatur 1200 $^{\circ}$ C kekuatan tekan tertinggi didapatkan pada ukuran partikel Cu 20-25 μ m dengan nilai 261.82 Mpa kemudian berturut-turut didapatkan nilai kekuatan tekan

dengan ukuran partikel Cu 25-30 μ m dan 30-35 μ m dengan nilai 230.32 Mpa dan 218.95 Mpa

Pada temperatur 1300 $^{\circ}$ C menunjukkan pula bahwa semakin kecil ukuran partikel Cu maka semakin besar pula kekuatan tekan dari komposit. Nilai tertinggi didapatkan pada ukuran partikel Cu 20-25 μ m dengan nilai 218.95 Mpa. Nilai tersebut lebih tinggi dari komposit dengan ukuran partikel Cu 25-30 μ m yang nilainya 193.06. Sementara nilai terendah didapatkan oleh ukuran partikel Cu yang terbesar 30-35 μ m dengan kekuatan tekan 155.21 Mpa.

Setelah didapatkan nilai kekuatan tekan, dapat pula dicari nilai modulus elastisitas dari komposit 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 4.14 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 4.15. Adapun nilai modulus elastisitas akan berbanding lurus dengan kekuatan tekan. Nilai modulus elastisitas tertinggi diperoleh pada temperatur 1200 $^{\circ}$ C dengan ukuran partikel Cu 20-25 μ m yaitu 58.31 Gpa

III.2. Pembahasan

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

Pada Gambar 4.2 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 [4]. Hingga menyebabkan porositas yang terbentuk semakin sedikit yang menyebabkan densitasnya naik. Ukuran partikel Cu yang semakin besar akan menyebabkan *contact area* menurun, 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. [1] 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 [1], 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 gambar 4.3

Efek kenaikan temperatur pada densitas dapat dilihat pada Gambar 4.4. Kenaikan temperatur selaras dengan kenaikan densitas, semakin tinggi temperatur sintering, maka densitas dari komposit WCu akan semakin meningkat. Kenaikan densitas bersifat linier dengan kenaikan temperatur sintering [3]. Kenaikan densitas juga menyebabkan menurunnya porositas seperti terlihat pada Gambar 4.5. 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 temperatur 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°C. Pemilihan temperatur tersebut didasarkan pada titik melting Cu yang mencapai 1080°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 melalui kombinasi partikel yang tersusun kembali karena gaya kapiler. Bentuk butir terakomodasi oleh pengendapan ulang larutan hasil sintering oleh tungsten yang dalam kondisi solid [5]. *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 [3] densifikasi akan cepat ketika temperatur Cu *melting*, namun pada temperatur 1150°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 4.6, 4.7 dan 4.8. Dari gambar tersebut juga dapat dilihat bahwa kenaikan temperatur tidak mengubah struktur kristal dari tungsten dan tembaga. Dalam hal ini kristal W masih berupa Body Center Cubic (BCC) dan Cu masih berupa Face Center Cubic (FCC)

Dari analisa morfologi SEM, pada Gambar 4.9 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 4.9.a, terlihat bahwa serbuk Cu masih berupa green. Hal tersebut dapat membuat komposit masih dalam keadaan rapuh. Berbeda halnya dengan Gambar 4.9.b setelah dilakukannya 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* mempunyai densitas lebih tinggi daripada *green density*.

Pada Gambar 4.10 terlihat bahwa semakin tinggi temperatur sintering maka persebaran W dan Cu akan semakin merata. Pengumpulan yang terjadi pada komposit akan semakin berkurang dengan semakin tingginya temperatur seintering yang dilakukan. Tersebaranya partikel W dan Cu secara homogen akan membantu proses densifikasi dari komposit [5]. Efek ukuran partikel Cu terhadap persebaran distribusi W dan Cu dapat dilihat dari Gambar 4.11. terlihat bahwa pengumpulan 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 4.12 terlihat bahwa ukuran partikel Cu berpengaruh pada porositas yang terjadi pada komposit WCu. semakin kecil ukuran partikel Cu maka porositas (yang ditunjukkan 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.

Dari Gambar 4.14 dapat dilihat bahwa kekuatan tekan maksimum terjadi saat temperatur 1200°C dengan ukuran partikel Cu 20-25µm. Sementara yang terendah ketika temperatur 1300°C dengan ukuran partikel Cu 30-35µm. Setelah didapatkan nilai kekuatan tekan, dapat pula dicari nilai modulus elastisitas dari komposit 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 4.15 terlihat bahwa nilai modulus elastisitas tertinggi terjadi ketika temperatur sintering 1200°C dengan ukuran partikel 20-25µm yakni sebesar 58,31 Gpa.

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[5] menyatakan dalam penelitiannya bahwa ada hubungan langsung antara densitas relatif dan sifat mekanik; *the higher the density the greater the strength and hardness.*

IV. KESIMPULAN

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

1. Semakin tinggi temperatur sintering dan semakin kecil ukuran partikel Cu maka akan diperoleh nilai *sinter density* yang semakin tinggi, porositas yang semakin kecil, kekuatan tekan yang semakin tinggi dan modulus elastisitas yang semakin tinggi.
2. Variasi temperature dan ukuran partikel Cu yang menghasilkan nilai densitas optimal adalah 20-25µm dengan 1300°C dan sedangkan modulus elastisitas dan *compressive strenght* yang optimal ketika ukuran partikel Cu 20-25 dan temperatur sintering 1200°C

DAFTAR PUSTAKA

- [1]German,R.M.1984. **Powder Metallurgy Science**. USA : Metal powder Industries Federation
- [2]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
- [3]Johnson L 2005. Effect og Tungsten Particle Size and Cooper Content on Densification of Liquid-Phase-Sintered W-Cu. *Mettallurgical and Materials Transactions*
- [4]Emmanuel, S. 2004. "Diffusion in Multicomponent System: a free energy approach".**Chemistry Physics**.302.21-30.
- [5]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
- [6]Abbaszadeh H., et al. 2012. Investigation on the characteristics of micro- and nano-structured W-15wt%Cu composite prepared by power metallurgy route.**Int. J Refract Met Hard Mater**. 30 (2012)145-151