

BAB IV

HASIL PENELITIAN

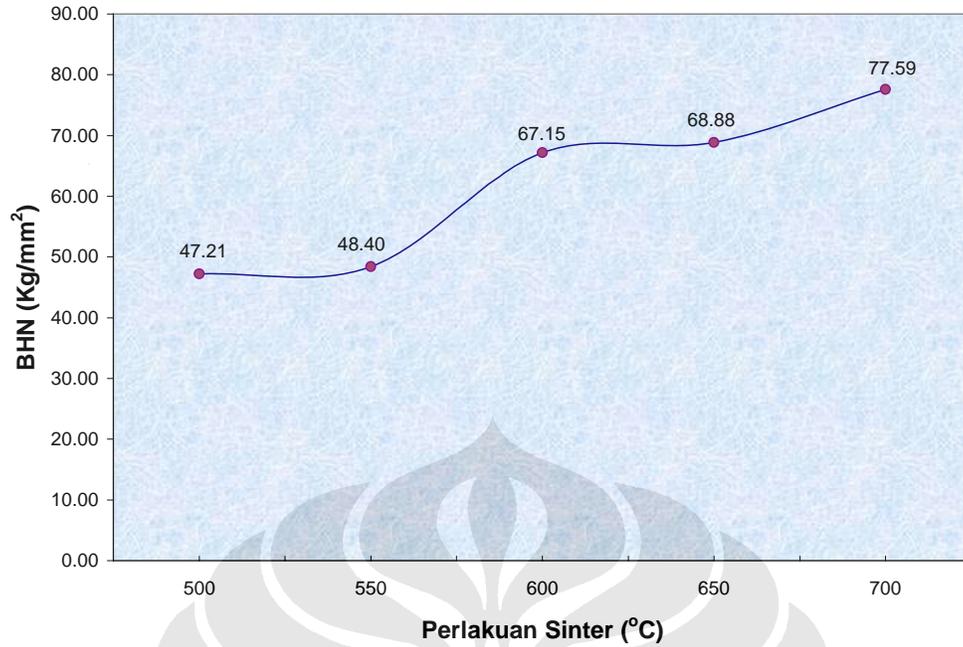
IV.1 PENGUJIAN KEKERASAN

Pengujian kekerasan dilakukan untuk sampel dengan perlakuan tanpa sinter dan sampel dengan perlakuan sinter. Sedangkan untuk membandingkan nilai kekerasan dengan material *unreinforced non sinter*, digunakan data hasil dari penelitian sebelumnya[18]. Untuk setiap variabel temperatur sinter dilakukan pengujian kekerasan dengan dua buah sampel, dimana masing-masing sampel dilakukan tiga kali penjejakan pada salah satu bagian permukaannya. Sebelumnya dilakukan penjejakan, sampel terlebih dahulu dilakukan preparasi dengan cara diampas untuk menghilangkan lapisan oksida yang terdapat di permukaan sampel.

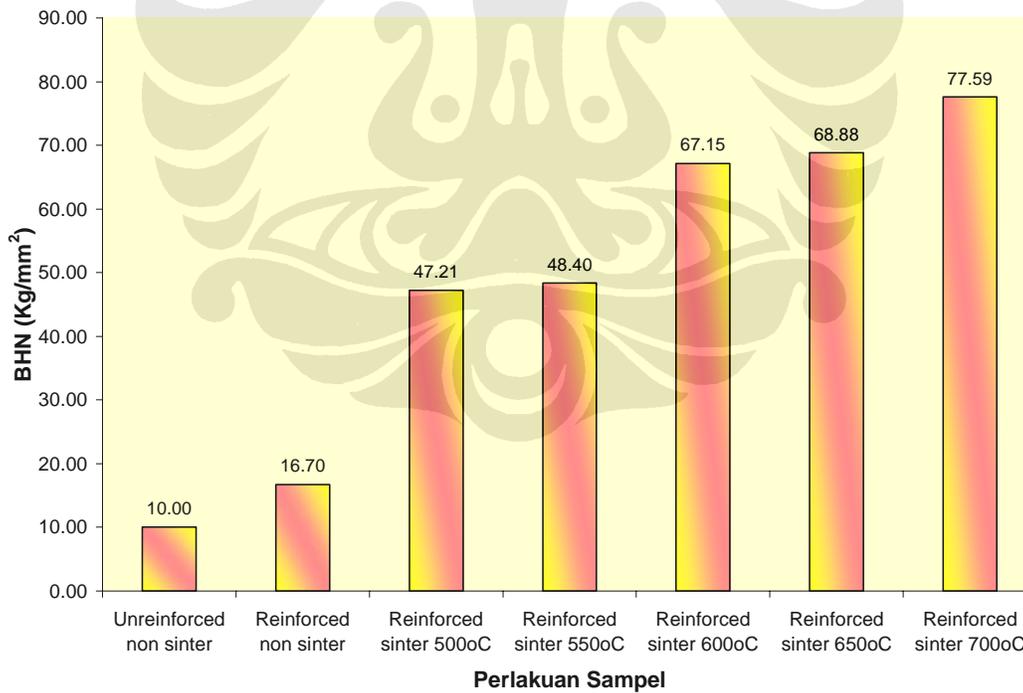
Nilai kekerasan untuk beberapa perlakuan sampel dapat dilihat pada tabel 4.1. Grafik yang menyatakan hubungan antara temperatur sinter terhadap nilai kekerasan dapat dilihat pada gambar 4.1, sedangkan grafik yang menyatakan hubungan antara beberapa perlakuan sampel terhadap nilai kekerasan dapat dilihat pada gambar 4.2.

Tabel 4.1. Nilai Pengujian Kekerasan

Perlakuan Sampel	Nilai Kekerasan BHN (Kg/mm²)
<i>Unreinforced non sinter</i>	10
<i>Reinforced non sinter</i>	16,703
<i>Reinforced sinter 500°C</i>	47,214
<i>Reinforced sinter 550°C</i>	48,397
<i>Reinforced sinter 600°C</i>	67,149
<i>Reinforced sinter 650°C</i>	68,882
<i>Reinforced sinter 700°C</i>	77,592



Gambar 4.1. Hubungan antara Temperatur Sinter terhadap Nilai Kekerasan



Gambar 4.2. Hubungan antara Beberapa Perlakuan Sampel terhadap Nilai Kekerasan

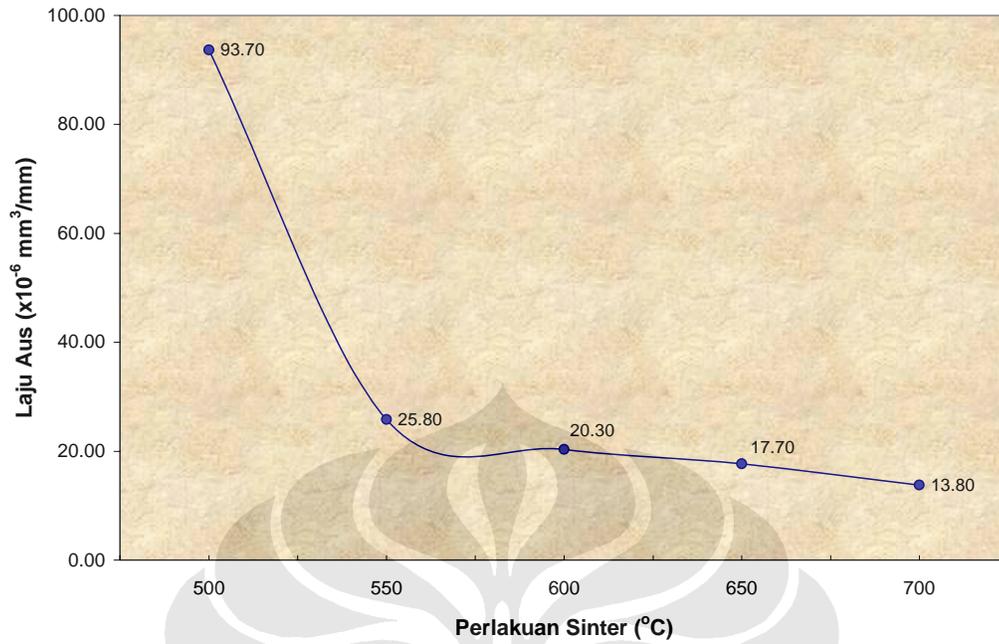
IV.2 PENGUJIAN LAJU AUS

Pengujian laju aus dilakukan untuk sampel dengan perlakuan tanpa sinter dan sampel dengan perlakuan sinter. Sedangkan untuk membandingkan nilai kekerasan dengan material *unreinforced non sinter*, digunakan data hasil dari penelitian sebelumnya[18]. Untuk setiap variabel temperatur sinter dilakukan pengujian laju aus dengan dua buah sampel, dimana masing-masing sampel dilakukan pengujian aus dengan metode *Ogoshi* pada salah satu bagian permukaannya. Sebelumnya dilakukan pengujian, sampel terlebih dahulu dilakukan preparasi dengan cara diampelas untuk menghilangkan lapisan oksida yang terdapat di permukaan sampel.

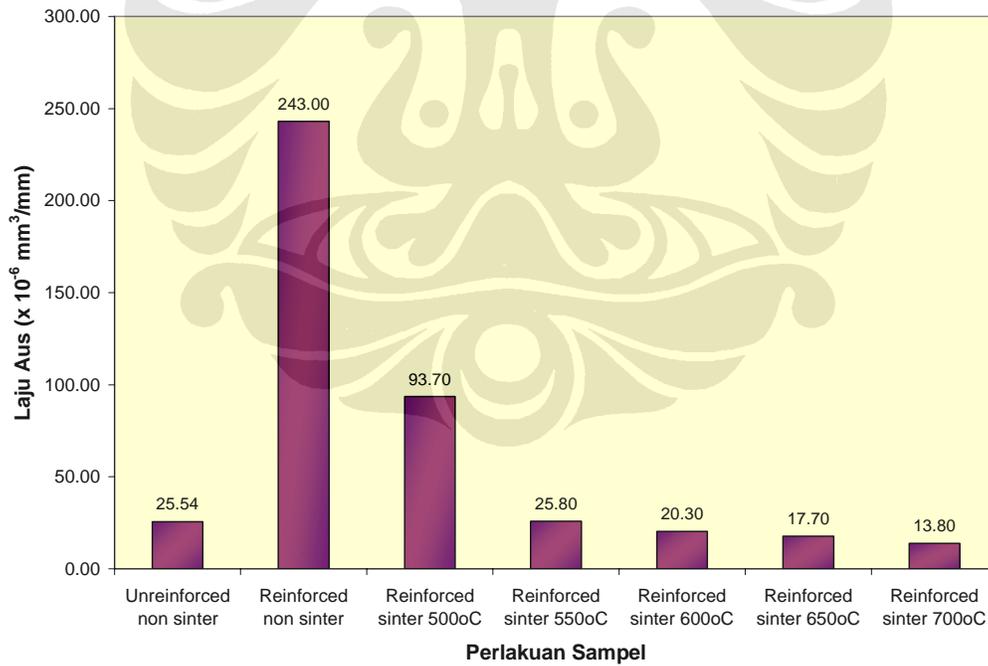
Nilai laju aus dan volume terabrasi untuk beberapa perlakuan sampel dapat dilihat pada tabel 4.2. Grafik yang menyatakan hubungan antara temperatur sinter terhadap nilai laju aus dapat dilihat pada gambar 4.3, sedangkan grafik yang menyatakan hubungan antara beberapa perlakuan sampel terhadap nilai laju aus dapat dilihat pada gambar 4.4.

Tabel 4.2. Nilai Pengujian Laju Aus

Perlakuan Sampel	Volume Terabrasi (mm³)	Laju Aus (x 10⁻⁶ mm³/mm)
<i>Unreinforced non sinter</i>	2,554	25,5
<i>Reinforced non sinter</i>	24,339	243,0
<i>Reinforced sinter 500°C</i>	9,366	93,7
<i>Reinforced sinter 550°C</i>	2,579	25,8
<i>Reinforced sinter 600°C</i>	2,035	20,3
<i>Reinforced sinter 650°C</i>	1,772	17,7
<i>Reinforced sinter 700°C</i>	1,382	13,8



Gambar 4.3. Hubungan antara Temperatur Sinter terhadap Nilai Laju Aus



Gambar 4.4. Hubungan antara Beberapa Perlakuan Sampel terhadap Nilai Laju Aus

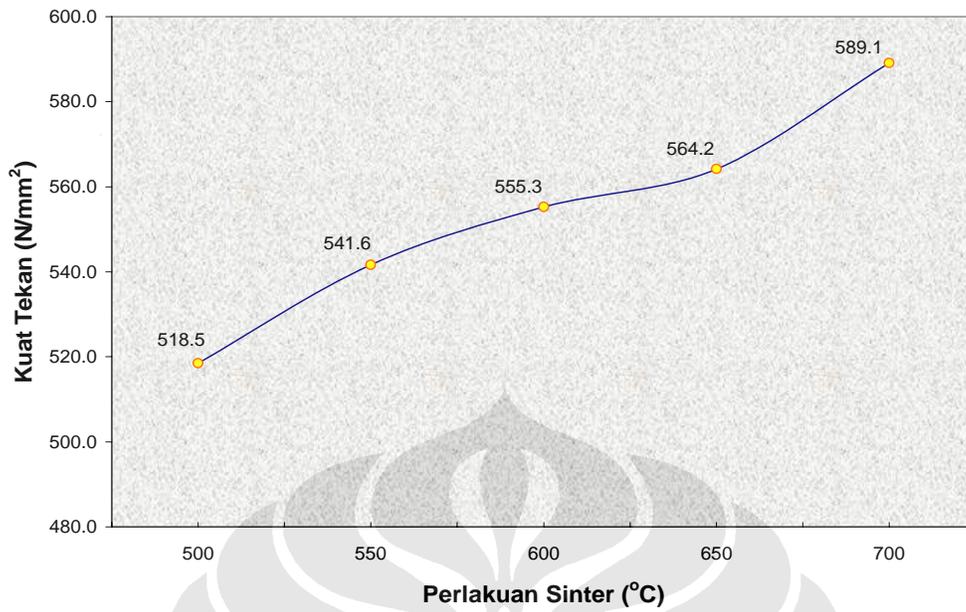
IV.3 PENGUJIAN KUAT TEKAN

Pengujian kuat tekan dilakukan untuk sampel dengan perlakuan tanpa sinter dan sampel dengan perlakuan sinter. Sedangkan untuk membandingkan nilai kekerasan dengan material *unreinforced non sinter*, digunakan data hasil dari penelitian sebelumnya[18]. Untuk setiap variabel temperatur sinter dilakukan pengujian kuat tekan dengan dua buah sampel, dimana masing-masing sampel dilakukan pengujian kuat tekan yang diperoleh dengan melakukan penekanan sampel hingga tingginya berkurang 25% dari tinggi awalnya (deformasi 25%).

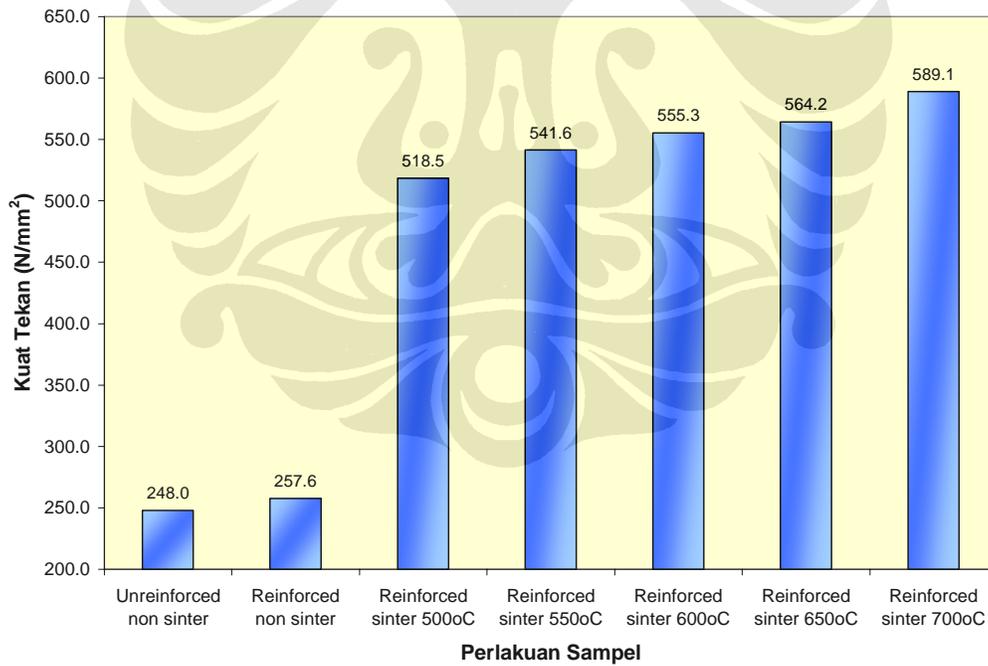
Nilai kuat tekan untuk beberapa perlakuan sampel dapat dilihat pada tabel 4.3. Grafik yang menyatakan hubungan antara temperatur sinter terhadap nilai kuat tekan dapat dilihat pada gambar 4.5, sedangkan grafik yang menyatakan hubungan antara beberapa perlakuan sampel terhadap nilai kuat tekan dapat dilihat pada gambar 4.6.

Tabel 4.3. Nilai Pengujian Kuat Tekan

Perlakuan Sampel	Kuat Tekan (N/mm²)
<i>Unreinforced non sinter</i>	248
<i>Reinforced non sinter</i>	257,6
<i>Reinforced sinter 500°C</i>	518,5
<i>Reinforced sinter 550°C</i>	541,6
<i>Reinforced sinter 600°C</i>	555,3
<i>Reinforced sinter 650°C</i>	564,2
<i>Reinforced sinter 700°C</i>	589,1



Gambar 4.5. Hubungan antara Temperatur Sinter terhadap Nilai Kuat Tekan



Gambar 4.6. Hubungan antara Beberapa Perlakuan Sampel terhadap Nilai Kuat Tekan

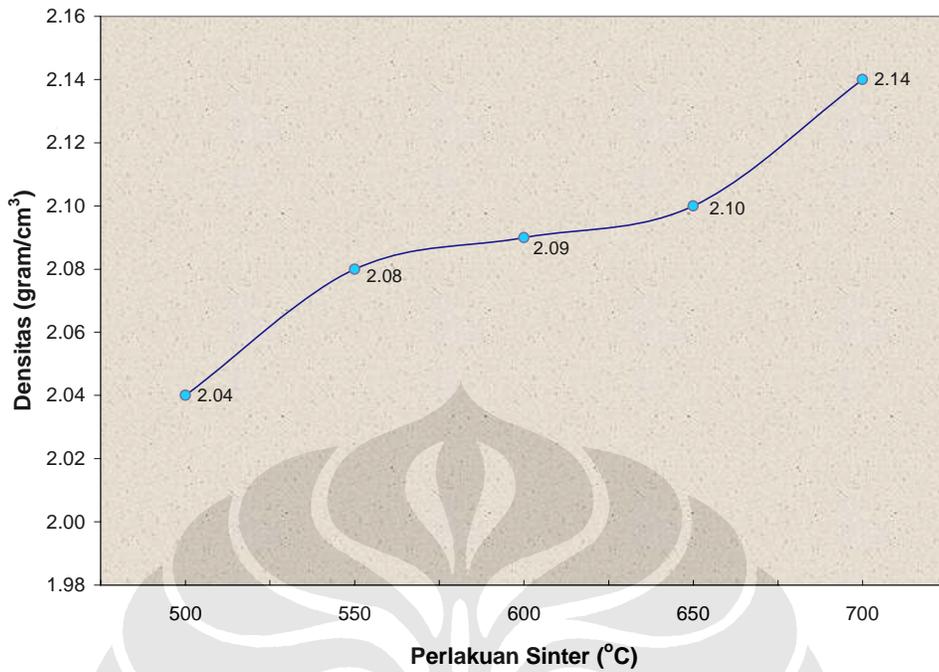
IV.4 PENGUJIAN DENSITAS DAN POROSITAS

Pengujian densitas dan porositas dilakukan untuk sampel dengan perlakuan tanpa sinter dan sampel dengan perlakuan sinter. Sedangkan untuk membandingkan nilai kekerasan dengan material *unreinforced non sinter*, digunakan data hasil dari penelitian sebelumnya[18]. Untuk setiap variabel temperatur sinter dilakukan pengujian densitas dan porositas dengan tiga buah sampel. Pengujian densitas dan porositas dilakukan secara bersamaan. Data pengujian yang didapatkan yaitu berat kering sampel, berat sampel dalam air, dan volume sampel sehingga didapatkan nilai densitas percobaan dari berat kering dibagi volume sampel. Nilai porositas didapatkan dari perbandingan selisih nilai densitas percobaan dan densitas teoritis dibagi nilai densitas teoritisnya.

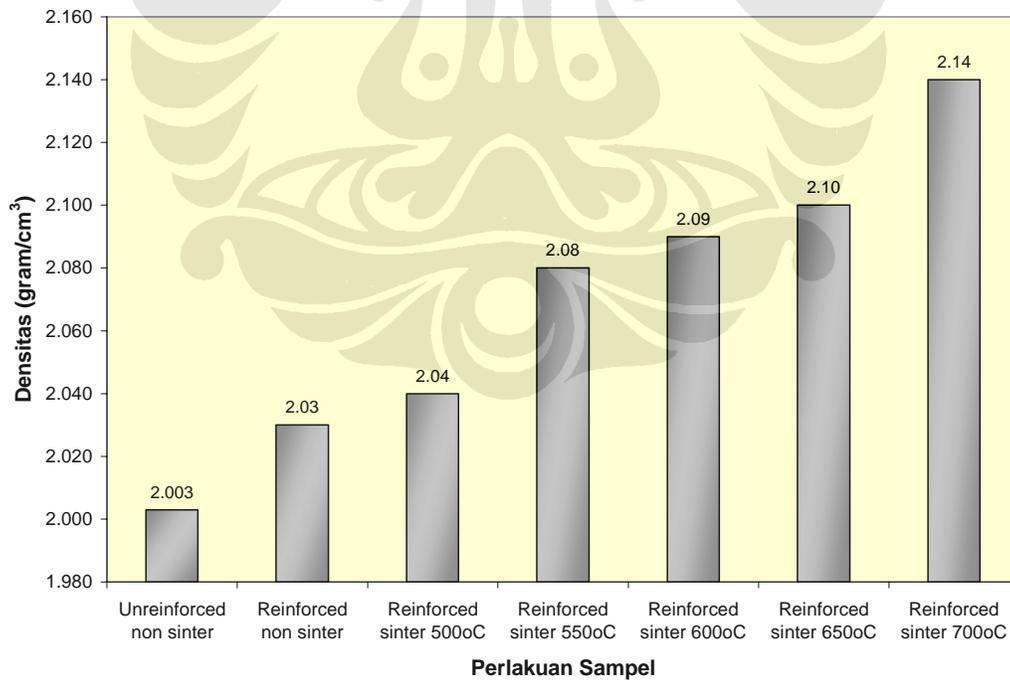
Nilai densitas dan porositas beberapa perlakuan sampel dapat dilihat pada tabel 4.4. Grafik yang menyatakan hubungan antara temperatur sinter terhadap nilai densitas dapat dilihat pada gambar 4.7, sedangkan grafik yang menyatakan hubungan antara beberapa perlakuan sampel terhadap nilai densitas dapat dilihat pada gambar 4.8. Grafik yang menyatakan hubungan antara temperatur sinter terhadap nilai porositas dapat dilihat pada gambar 4.9, sedangkan grafik yang menyatakan hubungan antara beberapa perlakuan sampel terhadap nilai porositas dapat dilihat pada gambar 4.10.

Tabel 4.4. Nilai Densitas dan Porositas

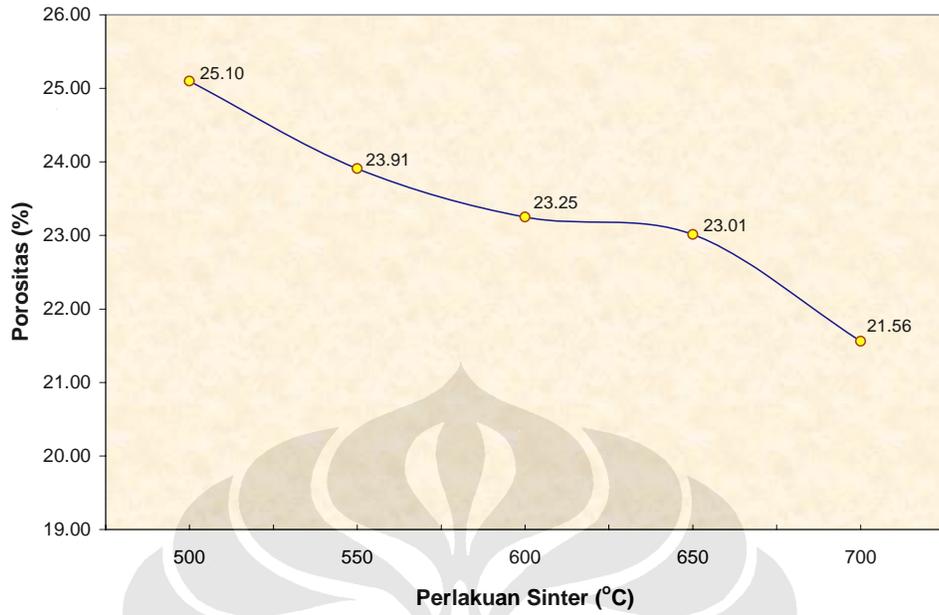
Perlakuan Sampel	Densitas (gram/cm³)	Porositas (%)
<i>Unreinforced non sinter</i>	2,003	25,81
<i>Reinforced non sinter</i>	2,03	25,45
<i>Reinforced sinter 500°C</i>	2,04	25,10
<i>Reinforced sinter 550°C</i>	2,08	23,91
<i>Reinforced sinter 600°C</i>	2,09	23,25
<i>Reinforced sinter 650°C</i>	2,10	23,01
<i>Reinforced sinter 700°C</i>	2,14	21,56



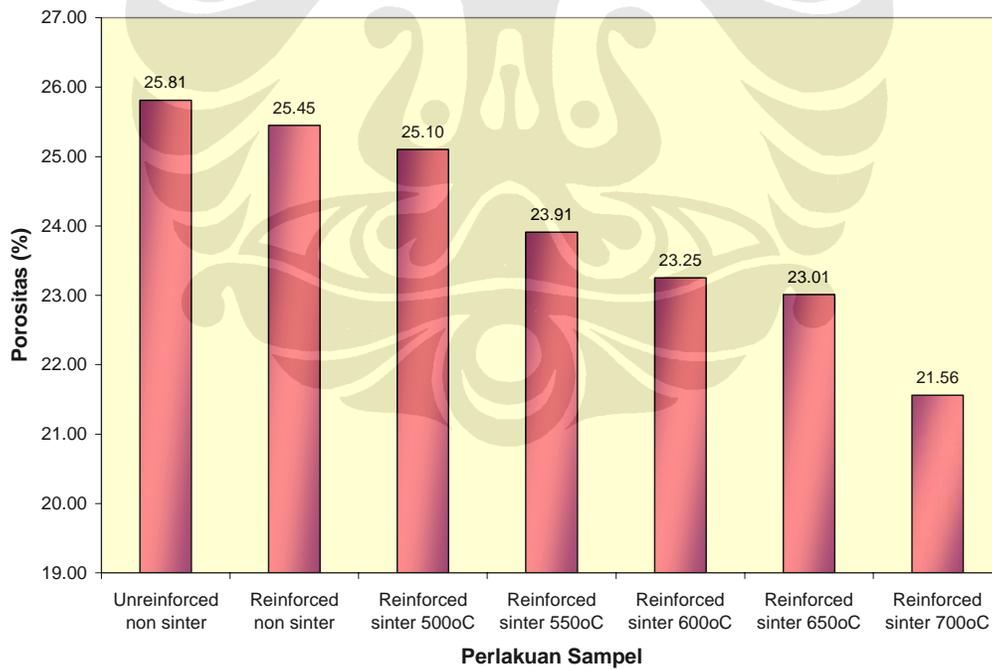
Gambar 4.7. Hubungan antara Temperatur Sinter terhadap Nilai Densitas



Gambar 4.8. Hubungan antara Beberapa Perlakuan Sampel terhadap Nilai Densitas



Gambar 4.9. Hubungan antara Temperatur Sinter terhadap Nilai Porositas

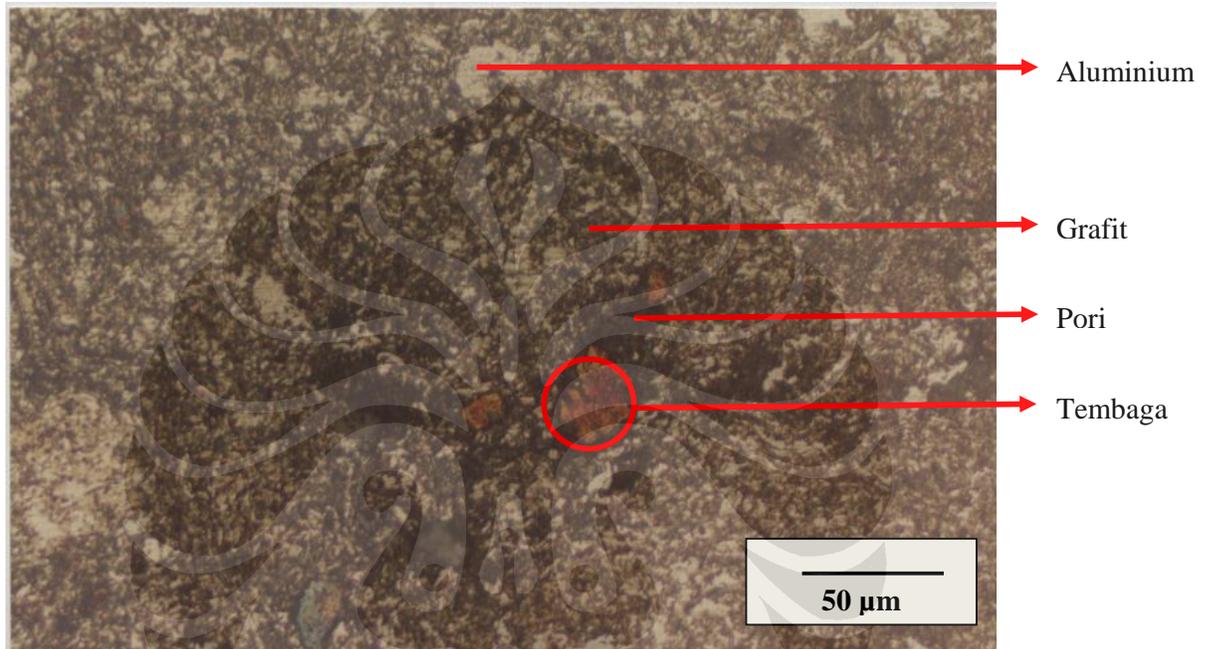


Gambar 4.10. Hubungan antara Beberapa Perlakuan Sampel terhadap Nilai Porositas

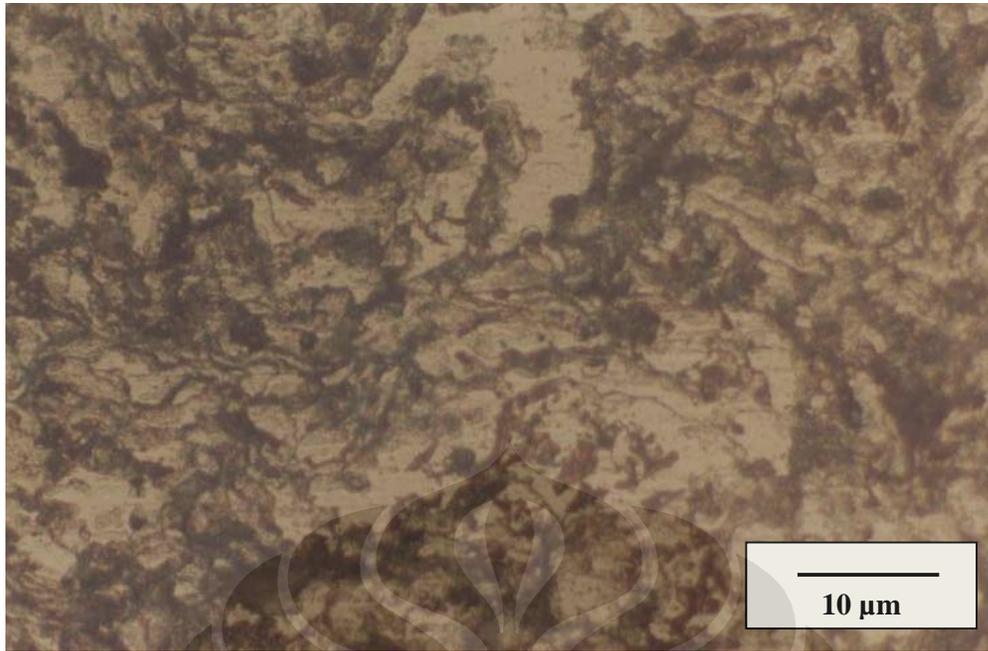
IV.5 PENGAMATAN STRUKTUR MIKRO DAN KOMPOSISI KOMPOSIT

IV.5.1 Hasil foto struktur mikro menggunakan mikroskop optik

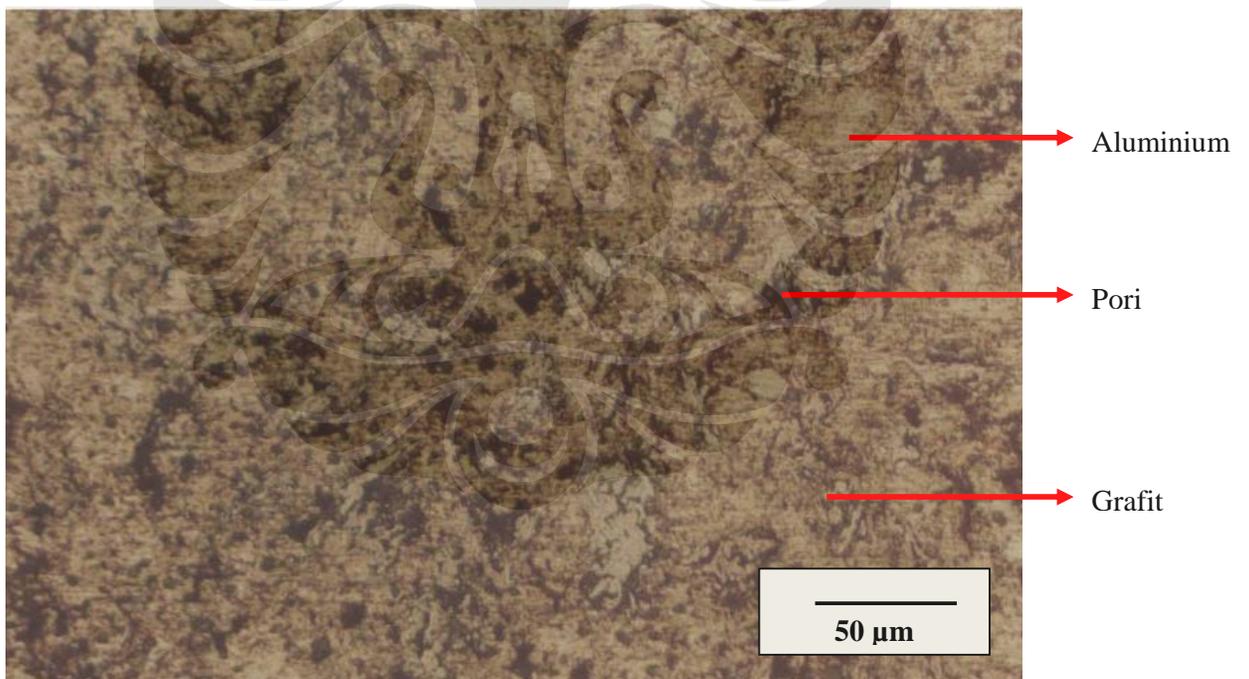
Pengamatan struktur mikro menggunakan mikroskop optik dilakukan pada sampel dengan perlakuan tanpa sinter dan sampel dengan perlakuan sinter. Perbesaran yang digunakan pada mikroskop optik ialah 100 dan 500 kali. Hasil pengamatan struktur mikro tersebut diperlihatkan pada gambar 4.11-4.22.



Gambar 4.11. Struktur Mikro Perlakuan Sampel *Reinforced Sinter* 500°C (perbesaran 100x)



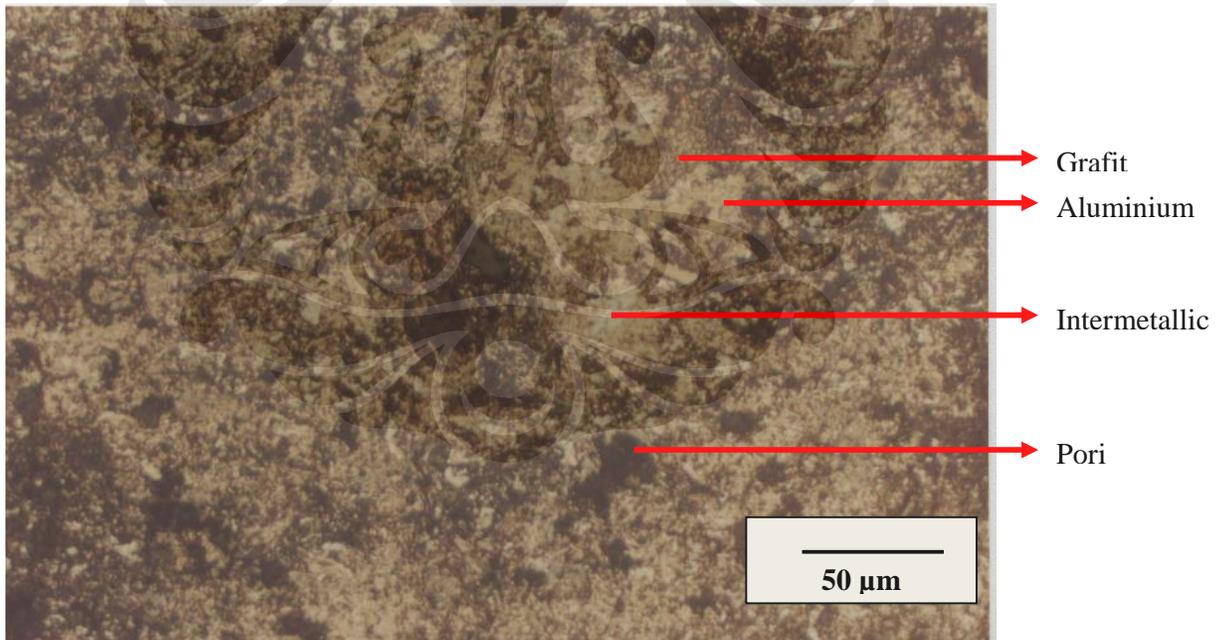
Gambar 4.12. Struktur Mikro Perlakuan Sampel *Reinforced Sinter* 500°C
(perbesaran 500x)



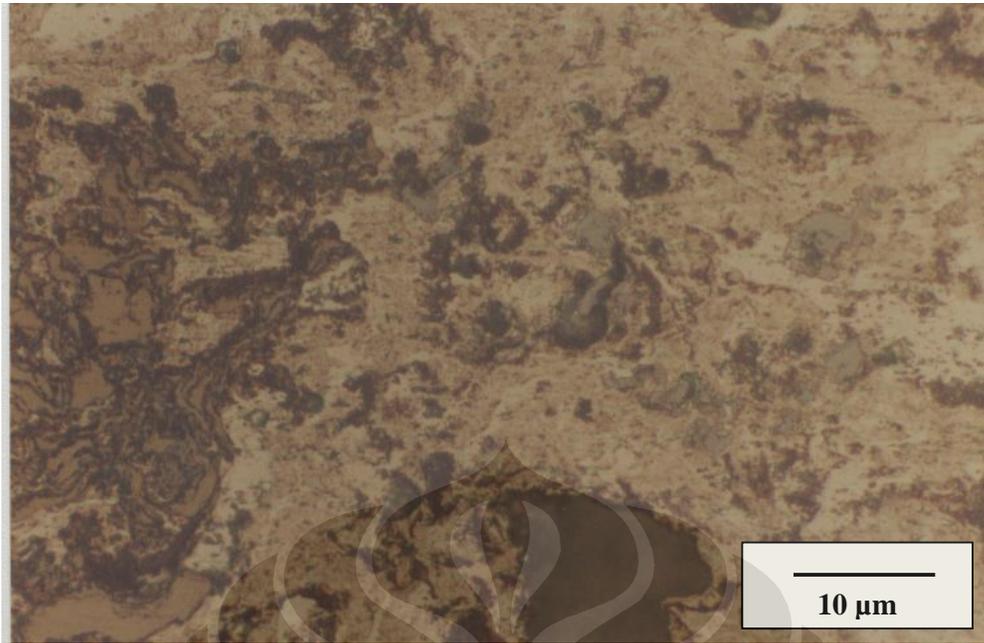
Gambar 4.13. Struktur Mikro Perlakuan Sampel *Reinforced Sinter* 550°C
(perbesaran 100x)



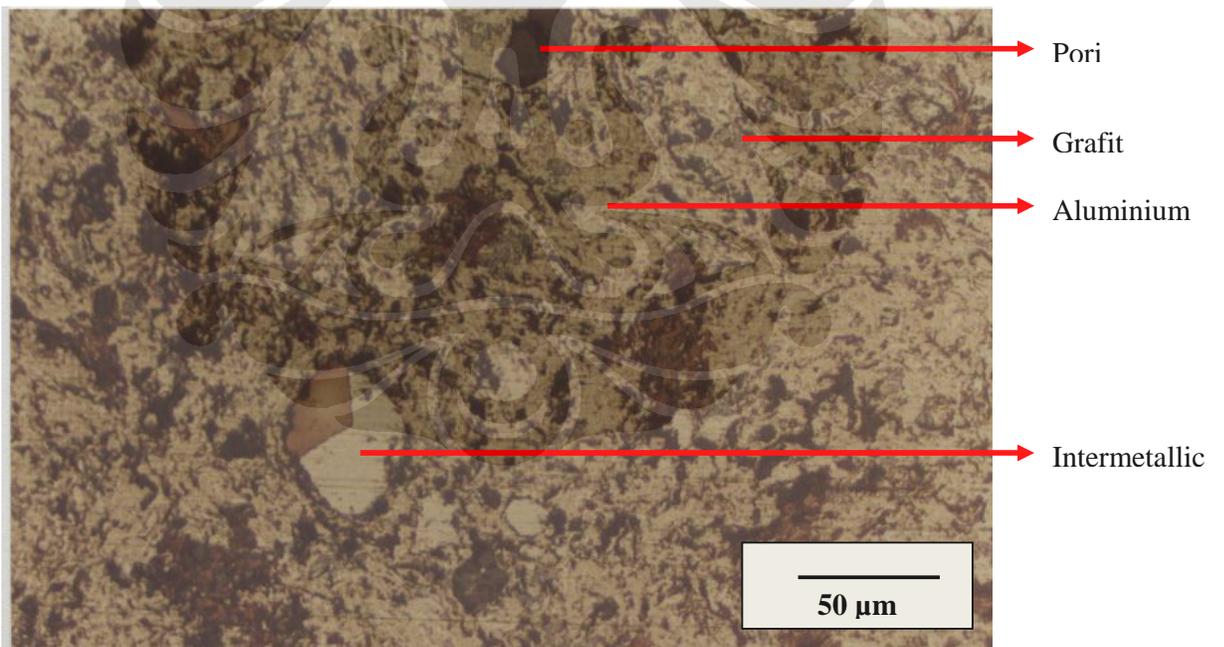
Gambar 4.14. Struktur Mikro Perlakuan Sampel *Reinforced Sinter* 550°C (perbesaran 500x)



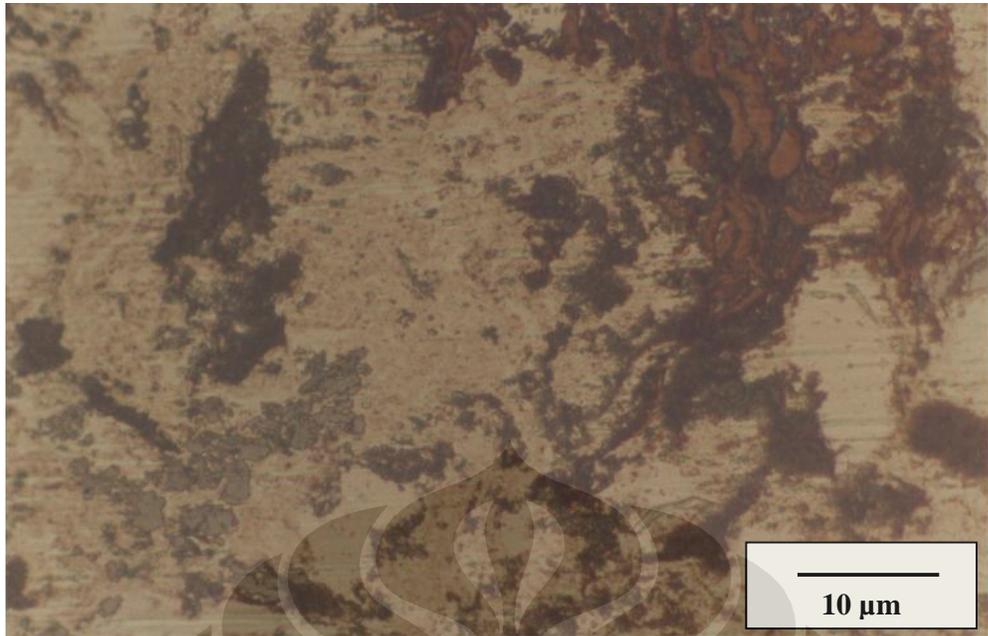
Gambar 4.15. Struktur Mikro Perlakuan Sampel *Reinforced Sinter* 600°C (perbesaran 100x)



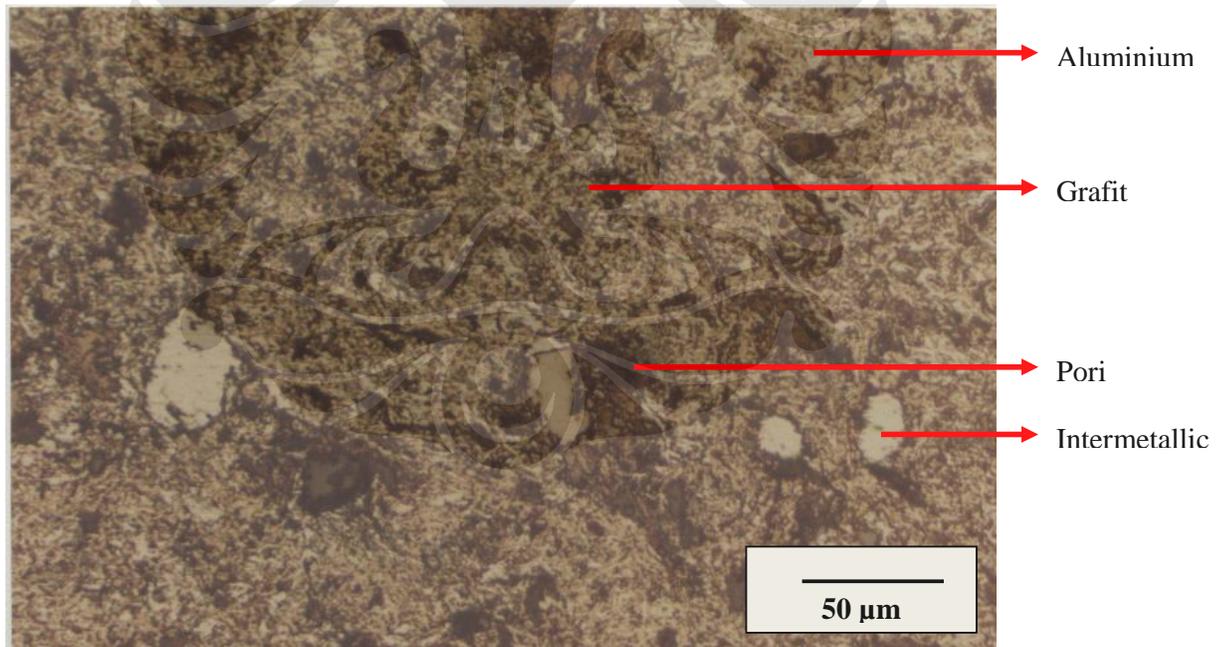
Gambar 4.16. Struktur Mikro Perlakuan Sampel *Reinforced Sinter* 600°C (perbesaran 500x)



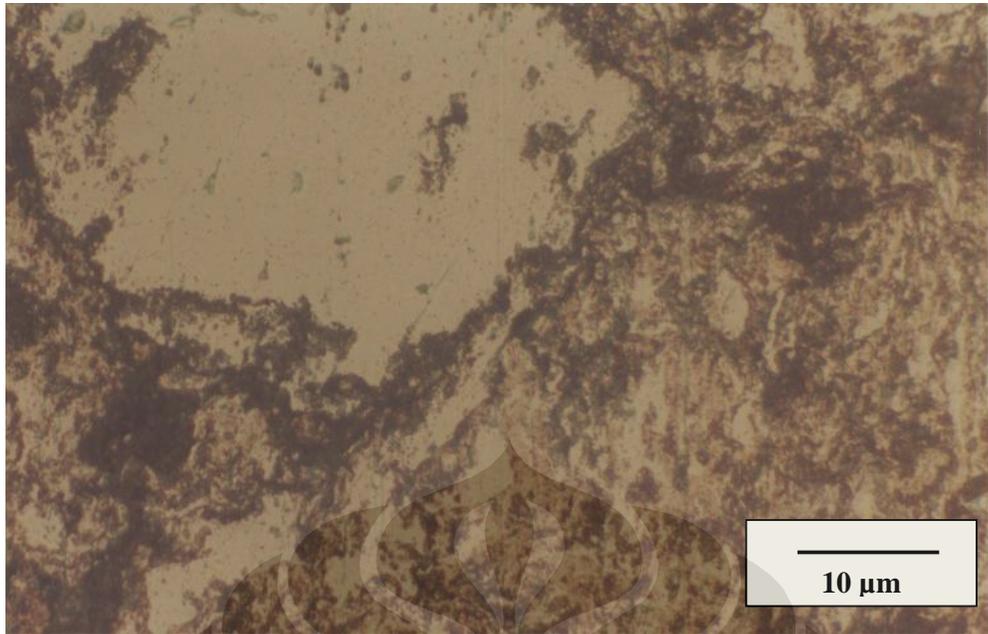
Gambar 4.17. Struktur Mikro Perlakuan Sampel *Reinforced Sinter* 650°C (perbesaran 100x)



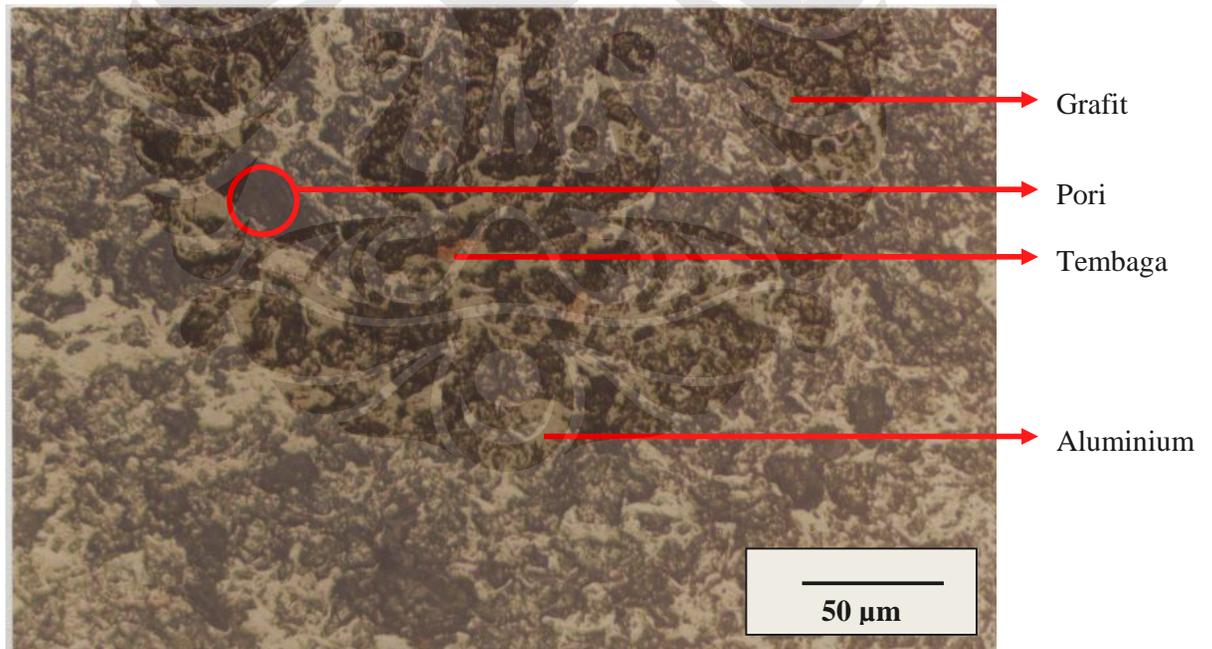
Gambar 4.18. Struktur Mikro Perlakuan Sampel *Reinforced Sinter* 650°C (perbesaran 500x)



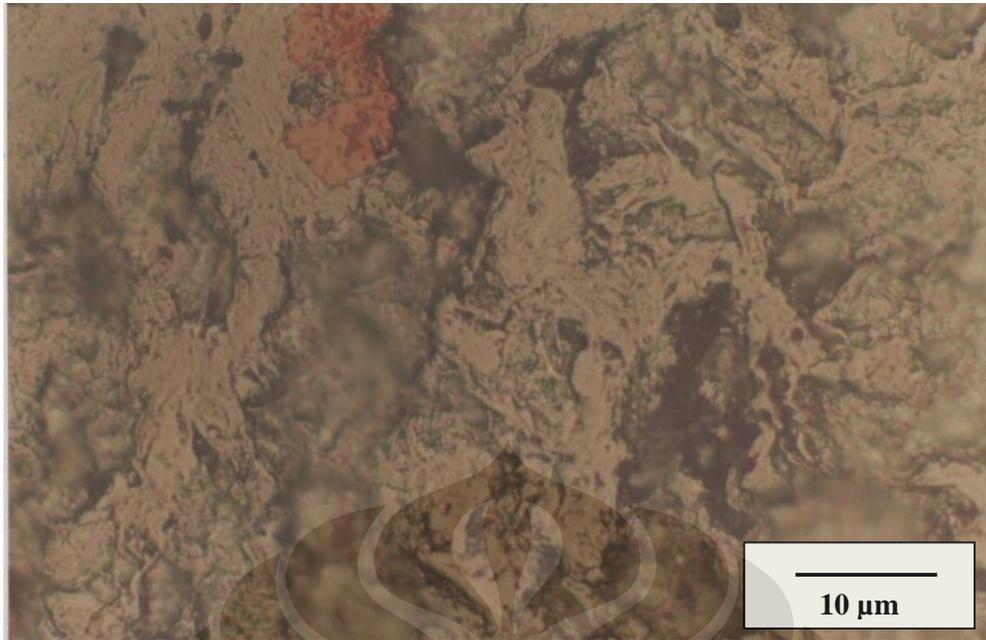
Gambar 4.19. Struktur Mikro Perlakuan Sampel *Reinforced Sinter* 700°C (perbesaran 100x)



Gambar 4.20. Struktur Mikro Perlakuan Sampel *Reinforced Sinter 700°C* (perbesaran 500x)

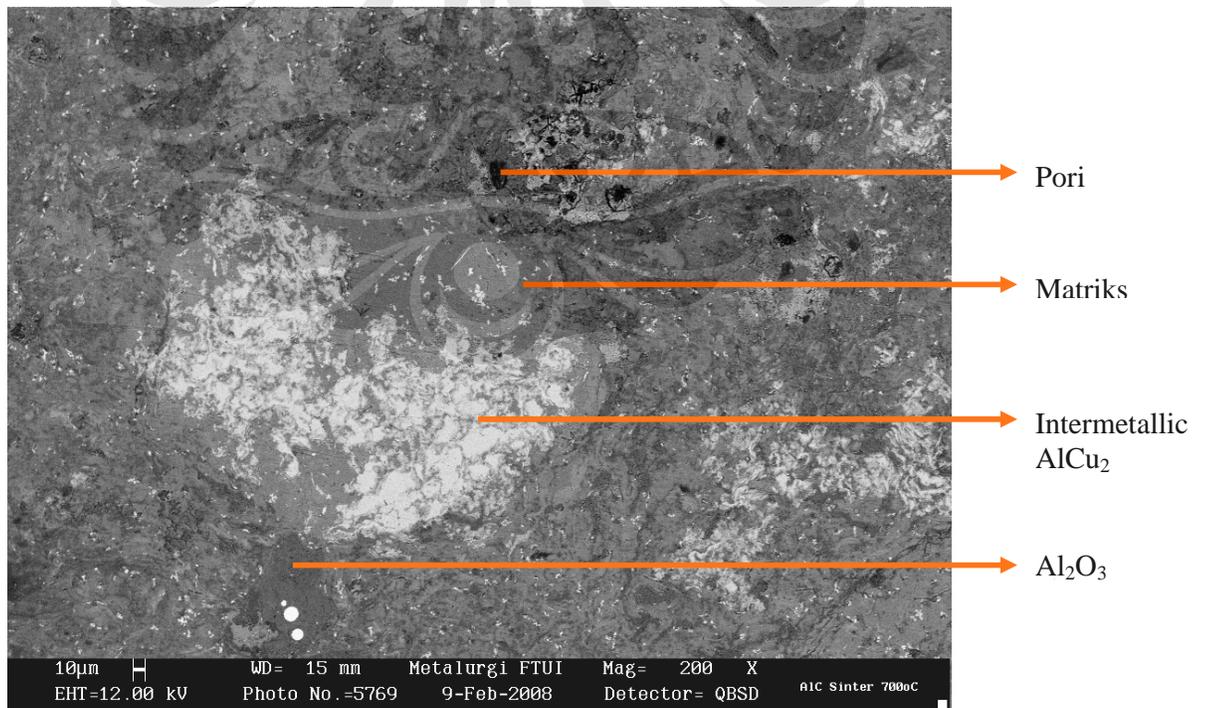


Gambar 4.21. Struktur Mikro Perlakuan Sampel *Reinforced Non Sinter* (perbesaran 100x)

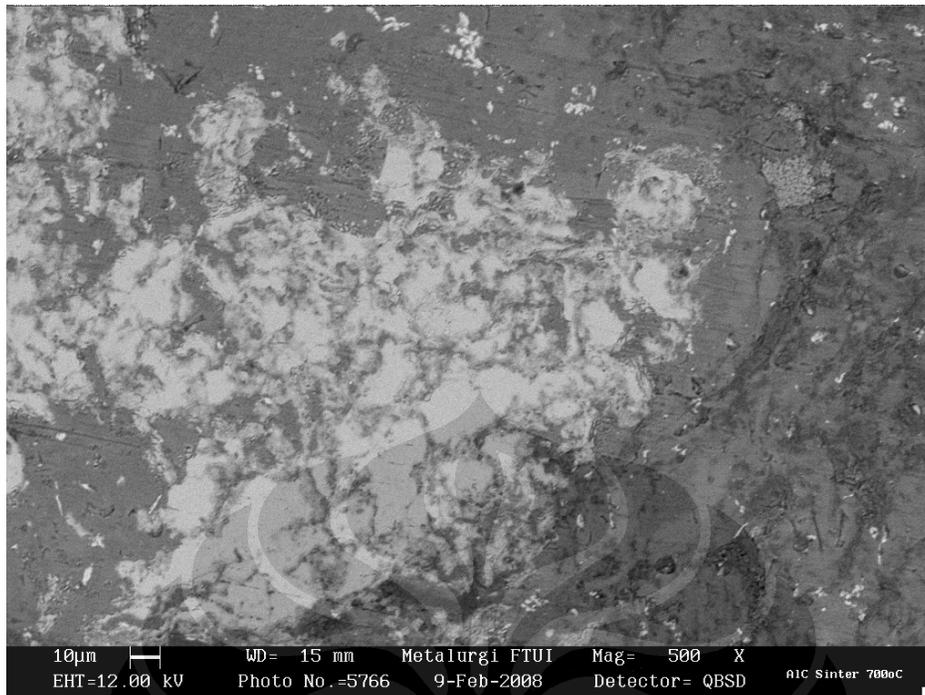


Gambar 4.22. Struktur Mikro Perlakuan Sampel *Reinforced Non Sinter* (perbesaran 500x)

IV.5.2 Hasil foto struktur mikro menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscope*) pada sampel komposit *reinforced sinter 700°C*



Gambar 4.23. Struktur Mikro Perlakuan Sampel *Reinforced Sinter 700°C* (perbesaran 200x)



Gambar 4.24. Struktur Mikro Perlakuan Sampel *Reinforced Sinter 700°C* (perbesaran 500x)



Gambar 4.25. Struktur Mikro Perlakuan Sampel *Reinforced Sinter 700°C* (perbesaran 10.000x)

**IV.5.3 Hasil uji komposisi menggunakan EDS (*Energy Disperse Spectroscopy*)
pada sampel komposit *reinforced sinter 700°C***

Tabel 4.5. Hasil Pengujian Komposisi dengan Menggunakan EDS

Komposisi (% unsur)	Warna Putih	Warna Abu-abu	Warna Hitam
Al	49,43	87,07	51,44
C	1,18	1,48	2,10
Cu	15,82	-	-
O	2,99	11,11	39,74
Fe	17,98	-	1,27
Si	5,04	0,35	0,73
Cr	0,75	-	-
Mn	6,81	-	-
Na	-	-	2,01
K	-	-	1,36
Mg	-	-	1,34
Total	100	100	100

BAB V

PEMBAHASAN

V.1 UMUM

Penelitian yang dilakukan kali ini merupakan penelitian mengenai pembuatan material komposit matriks aluminium dengan penguat grafit menggunakan metode metalurgi serbuk. Jenis penguat grafit yang diberikan pada matriks aluminium ini berupa partikel (*particulate*). Material komposit akan diuji untuk mendapatkan karakteristik yang diinginkan, terutama sifat kekerasan dan sifat ketahanan aus. Hal ini dikarenakan material komposit yang dibuat kali ini merupakan salah satu material yang dapat diaplikasikan sebagai material *bearing* pada industri otomotif.

Proses pembuatan material komposit aluminium grafit dengan menggunakan metode metalurgi serbuk mencakup beberapa tahapan, seperti: persiapan sampel, pencampuran serbuk, proses kompaksi, dan proses sinter. Setelah itu, sampel yang telah siap (*green* dan *burn compact*) dilakukan pengujian, seperti: pengujian kekerasan, pengujian laju aus, pengujian kuat tekan, pengujian densitas dan porositas, pengamatan struktur mikro, serta pengujian komposisi komposit.

Beberapa penelitian sebelumnya telah membahas mengenai karakteristik material *bronze bearing*, pengaruh temperatur sinter terhadap material komposit aluminium grafit, dan tribologi material komposit aluminium grafit. Bab ini akan membahas mengenai hubungan antara hasil dari penelitian-penelitian sebelumnya dengan hasil dari penelitian kali ini sehingga dapat ditarik kesimpulan mengenai karakteristik material komposit aluminium grafit sebagai material *bearing*.

V.2 PERSIAPAN DAN PENCAMPURAN SERBUK

Pada tahap persiapan serbuk dilakukan penimbangan untuk masing-masing serbuk sesuai dengan komposisi yang diinginkan dengan menggunakan timbangan digital. Pada penelitian ini, komposisi serbuk yang digunakan adalah 97,6% aluminium, 0,794% grafit, dan 1,612% tembaga (dalam satuan % berat).

Penambahan serbuk tembaga sebanyak 1,612% berat atau 0,5% fraksi volum dari aluminium dimaksudkan sebagai zat pembasah (*wetting agent*) antara matriks logam aluminium dengan penguat grafit[27]. Terjadinya reaksi antarmuka (*interfacial bonding*) pada komposit akan diketahui melalui pengamatan struktur mikro dan uji komposisi dengan menggunakan EDS (*Energy Disperse Spectroscopy*). Melalui uji ini pula dapat diketahui apakah penambahan serbuk tembaga dapat secara efektif memberikan pembasahan yang baik antara matriks logam aluminium dengan penguat grafit sehingga didapat ikatan antarmuka yang kuat.

Mekanisme pencampuran dan pengadukan serbuk yang dilakukan pada penelitian kali ini menggunakan mekanisme geser (*shear*), yakni terjadinya pencampuran karena menggunakan suatu media pengaduk. Media pengaduk yang digunakan, yaitu *blender* dengan lama waktu pengadukan ± 5 menit guna menghasilkan serbuk yang homogen. Lama pengadukan merupakan salah satu variabel yang mempengaruhi homogenitas dari pencampuran serbuk, selain faktor-faktor lain seperti: ukuran partikel, jenis pengaduk, ukuran pengaduk, volum relatif serbuk dalam pengaduk (optimum 20-40% volum serbuk dari kapasitas volum pengaduk), dan kecepatan pengaduk[10].

V.3 PROSES KOMPAKSI

Proses kompaksi dimulai dengan memasukkan serbuk yang telah ditimbang dan dicampur ke dalam cetakan (*dies*). Proses kompaksi ini bertujuan untuk pembentukan bakalan sampel (*green compact*). Cetakan yang digunakan terbuat dari logam dan memiliki bentuk silinder. Sebelum serbuk dimasukkan, cetakan terlebih dahulu dibersihkan agar terbebas dari unsur pengotor lain, mengurangi gesekan antara serbuk dengan dinding cetakan, dan memudahkan pengeluaran bakalan. Pembersihan cetakan menggunakan WD 40 dengan cara menyemprotkannya secara merata ke bagian dalam cetakan, menunggu hingga kering, dan mengelapnya dengan kain.

Saat memasukkan serbuk ke dalam cetakan harus dilakukan dengan perlahan dan kontinyu agar tidak ada massa serbuk yang terbang. Selain itu, proses penuangan serbuk ke dalam cetakan juga perlu diperhatikan agar tidak terjadi

segregasi yang disebabkan karena perbedaan kecepatan penuangan[10]. Setelah seluruh serbuk dipastikan mengisi rongga cetakan, maka proses kompaksi dilakukan. Tekanan yang diberikan untuk setiap sampel ialah sebesar 300 bar. Besarnya nilai tekanan kompaksi ini merupakan nilai optimum yang telah didapat dari penelitian sebelumnya dengan material komposit yang sama, yakni aluminium grafit[26].

Pada tahapan kompaksi, tekanan (*pressure*) merupakan hal yang sangat menentukan hasil bakalan (*green compact*) karena dengan adanya penekanan maka material serbuk akan mengalami deformasi dan peningkatan densitas. Proses kompaksi akan menyebabkan terjadinya kontak permukaan antara partikel satu dengan yang lainnya sehingga terjadi homogenisasi yang ditandai dengan tidak adanya lapisan batas pada dinding sampel. Densitas hasil kompaksi yang homogen juga didapat karena penekanan yang diberikan dilakukan secara bertahap dari yang rendah hingga optimum (300 bar) sehingga memberikan kesempatan kepada partikel-partikel serbuk untuk membentuk susunan yang terpadat dan menghasilkan berat jenis yang homogen[11]. Selain itu, kehomogenan densitas hasil kompaksi juga dipengaruhi oleh perbandingan antara tinggi sampel terhadap diameter sampel (L/D), dimana semakin kecil nilai L/D maka kehomogenan densitas bakalan hasil kompaksi akan semakin mudah tercapai karena distribusi partikel-partikel serbuk semakin merata atau homogen[9].

Pada tahapan kompaksi, partikel-partikel serbuk akan mengalami beberapa tahapan, seperti: perilaku penataulangan dan penyusunan serbuk, deformasi elastis dan plastis, penghancuran dan pemadatan serbuk yang diikuti oleh meningkatnya berat jenis, serta menurunnya porositas dikarenakan rongga yang berkurang. Saat partikel-partikel serbuk dilakukan proses kompaksi, terjadi peristiwa dimana antarbutir saling mengunci (*mechanical interlocking*) sehingga serbuk memiliki kekuatan yang lebih tinggi. Mekanisme pengikatan ini melalui ikatan *cold weld*, yakni ikatan antara dua permukaan butiran logam yang bersih yang ditimbulkan oleh gaya kohesi dari serbuk dimana tidak terjadinya peleburan atau pengaruh panas[9].

V.4 PROSES SINTER

Proses sinter dilakukan pada sampel material serbuk logam aluminium yang diberi penguat berupa serbuk grafit. Temperatur sinter yang diberikan berbeda-beda, dimulai dari 500°C, 550°C, 600°C, 650°C, hingga 700°C dengan waktu tahan sinter konstan, yakni selama 60 menit, dan proses pendinginan dilakukan di dalam dapur. Setelah dilakukan proses sinter, terlihat adanya lapisan oksida pada seluruh permukaan sampel dan membuat permukaan sampel menjadi kasar. Lapisan oksida yang terbentuk disebabkan karena kondisi atmosfer sinter di dalam dapur yang berupa udara (oksigen) sehingga terjadi proses oksidasi pada seluruh permukaan sampel. Untuk melindungi atau mengontrol logam pada saat proses sinter, maka dapat digunakan atmosfer sinter di dalam dapur berupa vakum, nitrogen, maupun gas inert, seperti argon dan helium[10]. Lapisan oksida yang terbentuk pada permukaan sampel dapat dihilangkan dengan cara diampelas dengan menggunakan mesin gerinda atau mesin amplas agar tidak mengganggu dalam proses pengujian.

Proses sinter menyediakan energi *thermal* untuk pembentukan awal ikatan antarpartikel dan memperbaiki sifat dari material[10]. Proses sinter merupakan proses dimana partikel-partikel berikatan pada temperatur dibawah temperatur lebur melalui peristiwa transport atom. Jumlah pori akan berkurang disebabkan terjadinya difusi atom. Selain itu, terjadi pula peristiwa *shrinkage* dan *densification*, dimana apabila temperatur sinter dinaikkan, maka % *shrinkage* dan *densification* juga semakin meningkat.

Di dalam proses metalurgi serbuk, proses sinter memegang peranan yang sangat penting dalam menentukan sifat dari material. Kenaikan temperatur sinter akan mempengaruhi sifat dari material, dimana semakin meningkatnya temperatur sinter, maka kecenderungan umum dari sifat material juga semakin meningkat[10].

Sampel dari hasil proses sinter menunjukkan adanya peningkatan berat. Berat sampel setelah dilakukan proses sinter meningkat sekitar 4-18% dari berat awal sebelum dilakukan proses sinter. Hal ini menandakan terjadinya peristiwa pemadatan (*densification*) pada sampel. Namun, peningkatan berat sampel hasil proses sinter ini bukan semata-mata indikasi terjadinya peristiwa pemadatan karena peningkatan berat tersebut dapat pula diakibatkan oleh terbentuknya

lapisan oksida pada permukaan sampel. Terjadinya proses pepadatan akan dapat terlihat jelas dari hasil pengujian densitas dan porositas yang akan dibahas lebih lanjut pada sub bab V.8.

V.5 PENGUJIAN KEKERASAN

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui pengaruh temperatur sinter terhadap nilai kekerasan material komposit aluminium grafit, serta perbandingan dari beberapa perlakuan sampel terhadap nilai kekerasan yang dihasilkan. Peningkatan temperatur sinter akan meningkatkan sifat mekanik, dalam hal ini adalah nilai kekerasan dari material[10].

Gambar 4.1 hubungan antara temperatur sinter terhadap nilai kekerasan, nilai kekerasan tertinggi sebesar 78 BHN diperoleh dari perlakuan sampel *reinforced sinter 700°C*, sedangkan nilai terendah, yakni 47 BHN diperoleh dari perlakuan sampel *reinforced sinter 500°C*. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi temperatur sinter, maka akan mendorong terjadinya transport atom yang menghasilkan aliran massa melalui proses difusi dengan permukaan, batas butir, atau kisi. Temperatur sinter yang tinggi merupakan *driving force* yang tinggi pula yang dapat meningkatkan pergerakan batas butir dan difusi atom. Hal ini tentunya akan berpengaruh pada pori, karena pada tahapan proses sinter akan terjadi peristiwa pepadatan (*densification*) dimana jumlah pori akan berkurang. Itulah sebabnya nilai kekerasan akan meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur sinter.

Gambar 4.2 hubungan antara beberapa perlakuan sampel terhadap nilai kekerasan, nilai kekerasan tertinggi sebesar 78 BHN diperoleh dari perlakuan sampel *reinforced sinter 700°C*, sedangkan nilai terendah, yakni 10 BHN diperoleh dari perlakuan sampel *unreinforced non sinter*. Tidak adanya penguat membuktikan bahwa nilai kekerasan material monolitik lebih rendah dibandingkan material kompositnya. Sedangkan untuk nilai kekerasan pada sampel *reinforced non sinter* sebesar 17 BHN masih lebih rendah dibandingkan dengan nilai kekerasan pada sampel *reinforced sinter*. Hal ini dikarenakan pada sampel *reinforced non sinter*, ikatan yang terbentuk berupa *mechanical interlocking*, dimana antarpartikel serbuk saling mengunci satu sama lain, dan

tidak terjadi peristiwa transport atom karena tidak adanya energi *thermal* yang cukup. Proses sinter memegang peranan penting dalam memperbaiki sifat mekanik, yakni dengan terjadinya proses pemadatan (*densification*) yang dapat mengurangi jumlah pori sehingga nilai kekerasan untuk sampel yang dilakukan proses sinter akan jauh lebih tinggi.

Hasil penelitian ini sesuai dengan teori[10] dan hasil penelitian sebelumnya[18] sehingga dapat dikatakan bahwa semakin tinggi temperatur sinter maka kecenderungan nilai kekerasan dari material akan semakin meningkat dimana akan mencapai nilai optimum dan akan kembali turun disebabkan karena peristiwa *swelling*[5]. Hal ini akan terjadi apabila temperatur sinter atau waktu tahan sinter terus dinaikkan dimana akan terjadi mekanisme *liquid phase sintering* melalui difusi atom dari fasa cair aluminium ke tembaga atau grafit kemudian meninggalkan pori sehingga nilai kekerasannya akan menurun.

Dalam hal kegunaannya sebagai aplikasi material *bearing*, nilai kekerasan material komposit aluminium grafit bila dibandingkan dengan material komposit *bronze bearing* yang telah dilakukan pada penelitian sebelumnya[28], memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi pada temperatur sinter 700°C, yakni sebesar 78 BHN, sedangkan untuk temperatur sinter yang sama, material komposit *bronze bearing* memiliki nilai kekerasan sebesar 47 BHN. Hal ini dikarenakan perbedaan tekanan kompaksi yang digunakan dan juga waktu tahan sinter. Nilai kekerasan untuk material komposit *bronze bearing* didapat dengan menggunakan tekanan kompaksi sebesar 200 bar dan waktu tahan sinter selama 5 menit, sedangkan untuk material komposit aluminium grafit nilai kekerasan tersebut didapat dengan menggunakan tekanan kompaksi sebesar 300 bar dan waktu tahan sinter selama 60 menit.

Nilai kekerasan untuk aluminium alloy *bearing (cast product)* adalah 85 Rockwell B (setelah mengalami pengerasan)[20] atau sekitar 140 BHN[29]. Apabila dibandingkan dengan nilai kekerasan yang diperoleh dari penelitian ini, maka material komposit aluminium grafit harus dilakukan proses pengerasan lebih lanjut agar nilai kekerasannya dapat meningkat seperti yang dipersyaratkan sebagai material *bearing*.

V.6 PENGUJIAN LAJU AUS

Pengujian laju aus dilakukan untuk mengetahui pengaruh temperatur sinter terhadap ketahanan aus material komposit aluminium grafit, serta perbandingan dari beberapa perlakuan sampel terhadap ketahanan aus yang dihasilkan. Peningkatan temperatur sinter akan meningkatkan sifat mekanik, salah satunya ialah nilai kekerasan dari material yang tentunya akan berpengaruh pada ketahanan aus dari material tersebut[10].

Gambar 4.3 hubungan antara temperatur sinter terhadap nilai laju aus, nilai laju aus tertinggi sebesar $93,7 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{mm}$ diperoleh dari perlakuan sampel *reinforced sinter 500°C*, sedangkan nilai terendah, yakni $13,8 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{mm}$ diperoleh dari perlakuan sampel *reinforced sinter 700°C*. Hal ini sesuai dengan literatur bahwa hubungan antara nilai kekerasan dan nilai laju aus ialah berbanding terbalik. Dari hasil penelitian kali ini telah terbukti bahwa dengan meningkatnya nilai kekerasan maka ketahanan aus dari material cenderung akan semakin meningkat, yang berarti semakin keras maka semakin sedikit volume material yang terabrasi. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi temperatur sinter, maka akan mendorong terjadinya transport atom yang menghasilkan aliran massa melalui proses difusi dengan permukaan, batas butir, atau kisi. Temperatur sinter yang tinggi merupakan *driving force* yang tinggi pula yang dapat meningkatkan pergerakan batas butir dan difusi atom sehingga akan terjadi peristiwa pemadatan yang akan meningkatkan nilai kekerasan. Karena nilai kekerasannya yang semakin meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur sinter, maka nilai laju aus dari material akan semakin menurun.

Gambar 4.4 hubungan antara beberapa perlakuan sampel terhadap nilai laju aus, nilai laju aus tertinggi sebesar $243 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{mm}$ diperoleh dari perlakuan sampel *reinforced non sinter*, sedangkan nilai terendah, yakni $13,8 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{mm}$ diperoleh dari perlakuan sampel *reinforced sinter 700°C*. Hal ini menunjukkan bahwa kekerasan dari perlakuan material *reinforced sinter* lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan material *reinforced non sinter*, dan hal ini terbukti pula pada pengujian kekerasan yang telah dibahas pada sub bab sebelumnya. Hal ini dikarenakan proses sinter memegang peranan penting dalam memperbaiki sifat mekanik, yakni dengan adanya tahapan proses pemadatan (*densification*) yang

dapat mengurangi jumlah pori sehingga nilai kekerasan untuk sampel yang dilakukan proses sinter akan jauh lebih tinggi, yang berarti material akan semakin tahan aus karena semakin sulit mengalami abrasi.

Secara keseluruhan, hasil dari penelitian ini sesuai dengan teori[10] dan hasil penelitian sebelumnya[18] sehingga dapat dikatakan bahwa semakin tinggi temperatur sinter maka kecenderungan nilai laju aus dari material akan semakin menurun dimana akan mencapai nilai optimum dan akan kembali naik disebabkan karena peristiwa *swelling*[5]. Hal ini akan terjadi apabila temperatur sinter atau waktu tahan sinter terus dinaikkan dimana akan terjadi mekanisme *liquid phase sintering* melalui difusi atom dari fasa cair aluminium ke tembaga atau grafit kemudian meninggalkan pori sehingga nilai kekerasannya akan menurun dan mengakibatkan material menjadi mudah terabrasi.

Dalam hal kegunaannya sebagai aplikasi material *bearing*, nilai laju aus material komposit aluminium grafit bila dibandingkan dengan material komposit *bronze bearing* yang telah dilakukan pada penelitian sebelumnya[28], memiliki nilai laju aus yang lebih tinggi pada temperatur sinter 700°C, yakni sebesar $13,8 \times 10^{-6}$ mm³/mm, sedangkan untuk temperatur sinter yang sama, material komposit *bronze bearing* memiliki nilai laju aus sebesar $7,76 \times 10^{-6}$ mm³/mm. Hal ini dikarenakan perbedaan tekanan kompaksi yang digunakan dan juga waktu tahan sinter. Nilai laju aus untuk material komposit *bronze bearing* didapat dengan menggunakan tekanan kompaksi sebesar 200 bar dan waktu tahan sinter selama 5 menit, sedangkan untuk material komposit aluminium grafit nilai laju aus tersebut didapat dengan menggunakan tekanan kompaksi sebesar 300 bar dan waktu tahan sinter selama 60 menit. Selain itu, pada material *bronze bearing* komposisi % grafit yang digunakan lebih tinggi, yakni sebesar 1,5%. Menurut teori, pengaruh unsur grafit sebagai penguat memiliki sifat *self lubricant* sehingga dapat meningkatkan ketahanan aus. Nilai laju aus material komposit aluminium grafit yang telah diuji belum memenuhi persyaratan untuk material *bearing*. Oleh sebab itu perlu dilakukan pengerasan permukaan atau penambahan persen grafit supaya nilai laju aus dapat turun dan memenuhi persyaratan untuk material *bearing*.

V.7 PENGUJIAN KUAT TEKAN

Pengujian kuat tekan dilakukan untuk mengetahui pengaruh temperatur sinter terhadap nilai kuat tekan material komposit aluminium grafit, serta perbandingan dari beberapa perlakuan sampel terhadap nilai kuat tekan yang dihasilkan. Peningkatan temperatur sinter akan meningkatkan sifat mekanik, salah satunya adalah kekuatan dari material[10].

Gambar 4.5 hubungan antara temperatur sinter terhadap nilai kuat tekan, nilai kuat tekan tertinggi sebesar 589 N/mm^2 diperoleh dari perlakuan sampel *reinforced sinter 700°C*, sedangkan nilai terendah, yakni 519 N/mm^2 diperoleh dari perlakuan sampel *reinforced sinter 500°C*. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi temperatur sinter, maka akan mendorong terjadinya transport atom yang menghasilkan aliran massa melalui proses difusi dengan permukaan, batas butir, atau kisi. Temperatur sinter yang tinggi merupakan *driving force* yang tinggi pula yang dapat meningkatkan pergerakan batas butir dan difusi atom. Hal ini tentunya akan berpengaruh pada pori, karena pada tahapan proses sinter akan terjadi peristiwa pemadatan (*densification*) dimana jumlah pori akan berkurang. Pengurangan pori akan mengakibatkan nilai kekuatan material meningkat karena pori merupakan salah satu *stress concentrator*[5], yang dapat menjadi inisiasi retak, terutama pori yang berbentuk *irregular*. Itulah sebabnya nilai kekuatan akan cenderung naik seiring dengan meningkatnya temperatur sinter.

Gambar 4.6 hubungan antara beberapa perlakuan sampel terhadap nilai kuat tekan, nilai kuat tekan tertinggi sebesar 589 N/mm^2 diperoleh dari perlakuan sampel *reinforced sinter 700°C*, sedangkan nilai terendah, yakni 248 N/mm^2 diperoleh dari perlakuan sampel *unreinforced non sinter*. Tidak adanya penguat membuktikan bahwa nilai kuat tekan material monolitik lebih rendah dibandingkan material kompositnya. Sedangkan untuk nilai kuat tekan pada sampel *reinforced non sinter* sebesar 258 N/mm^2 masih lebih rendah dibandingkan dengan nilai kekerasan pada sampel *reinforced sinter*. Hal ini dikarenakan proses sinter memegang peranan penting dalam memperbaiki sifat mekanik, salah satunya adalah kekuatan. Dengan terjadinya proses pemadatan (*densification*) yang dapat mengurangi jumlah pori sehingga nilai kuat tekan untuk sampel yang dilakukan proses sinter akan jauh lebih tinggi.

Hasil dari penelitian ini sesuai dengan teori[10] dan penelitian sebelumnya[18] sehingga dapat dikatakan bahwa semakin tinggi temperatur sinter maka kecenderungan nilai kuat tekan dari material akan semakin meningkat dimana akan mencapai nilai optimum dan akan kembali turun disebabkan karena peristiwa *swelling*[5]. Hal ini akan terjadi apabila temperatur sinter atau waktu tahan sinter terus dinaikkan dimana akan terjadi mekanisme *liquid phase sintering* melalui difusi atom dari fasa cair aluminium ke tembaga atau grafit kemudian meninggalkan pori sehingga nilai kuat tekannya akan menurun.

Dalam hal kegunaannya sebagai aplikasi material *bearing*, nilai kuat tekan material komposit aluminium grafit yang telah diuji memenuhi persyaratan untuk material *bearing*. Apabila dibandingkan dengan material komposit *bronze bearing* yang telah dilakukan pada penelitian sebelumnya[28], nilai kuat tekan material komposit aluminium grafit memiliki nilai kuat tekan yang lebih tinggi pada temperatur sinter 700°C, yakni sebesar 589 N/mm², sedangkan untuk temperatur sinter yang sama, material komposit *bronze bearing* memiliki nilai kuat tekan sebesar 379 N/mm². Hal ini dikarenakan perbedaan tekanan kompaksi yang digunakan dan juga waktu tahan sinter. Nilai kuat tekan untuk material komposit *bronze bearing* didapat dengan menggunakan tekanan kompaksi sebesar 200 bar dan waktu tahan sinter selama 5 menit, sedangkan untuk material komposit aluminium grafit nilai kuat tekan tersebut didapat dengan menggunakan tekanan kompaksi sebesar 300 bar dan waktu tahan sinter selama 60 menit.

V.8 PENGUJIAN DENSITAS DAN POROSITAS

Pengujian densitas dan porositas dilakukan untuk mengetahui pengaruh temperatur sinter terhadap nilai densitas dan porositas material komposit aluminium grafit, serta perbandingan dari beberapa perlakuan sampel terhadap nilai densitas dan porositas. Peningkatan temperatur sinter akan meningkatkan densitas dari material atau dengan kata lain peningkatan temperatur sinter akan menurunkan porositas[10].

Gambar 4.7 hubungan antara temperatur sinter terhadap nilai densitas, nilai densitas tertinggi sebesar 2,14 gram/cm³ diperoleh dari perlakuan sampel *reinforced sinter* 700°C, sedangkan nilai densitas terendah, yakni 2,04 gram/cm³

diperoleh dari perlakuan sampel *reinforced sinter 500°C*. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi temperatur sinter, maka akan mendorong terjadinya transport atom yang menghasilkan aliran massa melalui proses difusi dengan permukaan, batas butir, atau kisi. Temperatur sinter yang tinggi merupakan *driving force* yang tinggi pula yang dapat meningkatkan pergerakan batas butir dan difusi atom sehingga akan terjadi peristiwa pemadatan yang akan mengurangi jumlah pori dalam *burn compact*. Semakin tinggi nilai densitas dari suatu material, maka semakin dekat jarak antaratom pada material tersebut. Itulah sebabnya, proses pemadatan ini dapat mempengaruhi sifat mekanik dari material, seperti kekerasan, ketahanan aus, dan kuat tekan.

Gambar 4.8 hubungan antara beberapa perlakuan sampel terhadap nilai densitas, nilai densitas tertinggi sebesar $2,14 \text{ gram/cm}^3$ diperoleh dari perlakuan sampel *reinforced sinter 700°C*, sedangkan nilai densitas terendah, yakni 2,003 diperoleh dari perlakuan sampel *unreinforced non sinter*. Sedangkan untuk nilai densitas pada sampel *reinforced non sinter* sebesar 2,03 masih lebih rendah dibandingkan dengan nilai densitas pada sampel *reinforced sinter*. Hal ini dikarenakan pada perlakuan sampel *reinforced non sinter* tidak terjadi proses pemadatan. Pada sampel tersebut, serbuk-serbuk antarpartikel hanya mengunci satu sama lain melalui mekanisme *cold weld*, sehingga pori-pori yang terbentuk tidak akan mengalami perubahan (tetap). Sedangkan pada proses sinter, akan terjadi proses difusi atom dan peristiwa *shrinkage*, sehingga jumlah pori akan semakin berkurang.

Gambar 4.9 hubungan antara temperatur sinter terhadap nilai porositas, nilai porositas terkecil, yakni 21,56% diperoleh dari perlakuan sampel *reinforced sinter 700°C*, sedangkan nilai porositas terbesar, yakni 25,10% diperoleh dari perlakuan sampel *reinforced sinter 500°C*. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi temperatur sinter, maka akan mendorong terjadinya transport atom yang menghasilkan aliran massa melalui proses difusi dengan permukaan, batas butir, atau kisi. Temperatur sinter yang tinggi merupakan *driving force* yang tinggi pula yang dapat meningkatkan pergerakan batas butir dan difusi atom sehingga akan terjadi peristiwa pemadatan yang akan mengurangi jumlah pori dalam *burn compact*.

Gambar 4.10 hubungan antara beberapa perlakuan sampel terhadap nilai porositas, nilai porositas terendah, yakni 21,56% diperoleh dari perlakuan sampel *reinforced sinter 700°C*, sedangkan nilai porositas tertinggi, yakni 25,81% diperoleh dari perlakuan sampel *unreinforced non sinter*. Sedangkan untuk nilai porositas pada sampel *reinforced non sinter* sebesar 25,45% masih lebih tinggi dibandingkan dengan nilai porositas pada sampel *reinforced sinter*. Hal ini dikarenakan pada perlakuan sampel *reinforced non sinter* tidak terjadi proses pemadatan. Pada sampel tersebut, serbuk-serbuk antarpartikel hanya mengunci satu sama lain melalui mekanisme *cold weld*, sehingga pori-pori yang terbentuk tidak akan mengalami perubahan (tetap). Sedangkan pada proses sinter, akan terjadi proses difusi atom dan peristiwa *shrinkage*, sehingga jumlah pori akan semakin berkurang. Pori yang terbentuk pada material *bearing* dapat dimanfaatkan untuk proses impregnasi, yaitu mengisi pori tersebut dengan pelumas atau oli yang dapat menurunkan koefisien friksi sehingga material *bearing* akan lebih tahan terhadap gesekan.

Secara keseluruhan, hasil dari penelitian ini sesuai dengan teori[10] dan hasil penelitian sebelumnya[18] sehingga dapat dikatakan bahwa semakin tinggi temperatur sinter maka kecenderungan nilai densitas dari material akan semakin meningkat dimana akan mencapai nilai optimum dan akan kembali turun disebabkan karena peristiwa *swelling*[5]. Hal ini akan terjadi apabila temperatur sinter atau waktu tahan sinter terus dinaikkan dimana akan terjadi mekanisme *liquid phase sintering* melalui difusi atom dari fasa cair aluminium ke tembaga atau grafit kemudian meninggalkan pori sehingga nilai densitas akan menurun yang berarti persentase porositas akan semakin bertambah.

Dalam hal kegunaannya sebagai aplikasi material *bearing*, nilai densitas material komposit aluminium grafit bila dibandingkan dengan material komposit *bronze bearing* tentunya memiliki nilai yang lebih rendah. Hal ini merupakan salah satu keunggulan yang dimiliki oleh material komposit aluminium grafit karena dengan densitas yang jauh lebih kecil maka massa dari komponen yang akan diproduksi pun akan semakin ringan. Hal ini akan membuat kendaraan menjadi ringan dan hemat bahan bakar. Dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya[28], material komposit *bronze bearing* memiliki nilai densitas yang

lebih tinggi pada temperatur sinter 700°C, yakni sebesar 6,94 gram/cm³, sedangkan untuk temperatur sinter dan ukuran sampel yang sama, material komposit aluminium grafit memiliki nilai densitas sebesar 2,14 gram/cm³. Sedangkan untuk nilai porositas, besarnya persentase porositas pada *bearing* yang terbuat dari aluminium mencapai 10% hingga 35% dari total volume[21]. Sehingga untuk material komposit aluminium grafit yang telah diuji, nilai densitas dan porositas yang dihasilkan memenuhi persyaratan untuk material *bearing*.

V.9 PENGAMATAN STRUKTUR MIKRO DAN KOMPOSISI KOMPOSIT

V.9.1 Pengamatan foto struktur mikro menggunakan mikroskop optik

Pengamatan struktur mikro dilakukan pada sampel komposit hasil perlakuan tanpa sinter dan hasil perlakuan sinter untuk mengetahui pengaruh temperatur sinter terhadap mikrostruktur dan persentase pori yang dihasilkan. Dari hasil foto struktur mikro dengan menggunakan mikroskop optik perbesaran 100 dan 500 kali (gambar 4.11-4.20), terlihat adanya perubahan struktur mikro secara bertahap dan juga penurunan jumlah pori yang terbentuk. Sedangkan dari gambar 4.21 dan 4.22 akan terlihat dengan jelas perbedaan struktur mikro pada sampel hasil perlakuan tanpa sinter.

Gambar 4.11 dan 4.12 menunjukkan struktur mikro perlakuan sampel *reinforced sinter* 500°C. Dari gambar 4.11 terlihat adanya fasa matriks, unsur grafit, dan pori (berwarna hitam). Serta masih terlihat pula adanya serbuk tembaga yang berwarna merah bata tidak tercampur secara homogen. Sedangkan dari gambar 4.12 dapat terlihat dengan jelas struktur mikro dari fasa matriks. Pada gambar ini pula dapat terlihat bahwa pori yang terbentuk masih berukuran besar.

Gambar 4.13 dan 4.14 menunjukkan struktur mikro perlakuan sampel *reinforced sinter* 550°C. Dari gambar 4.13 terlihat adanya fasa matriks, unsur grafit, dan pori (berwarna hitam). Sedangkan dari gambar 4.14 dapat terlihat dengan jelas struktur mikro dari fasa matriks. Pada gambar ini pula dapat terlihat bahwa pori yang terbentuk berkurang daripada pori yang terbentuk pada temperatur sinter 500°C.

Gambar 4.15 dan 4.16 menunjukkan struktur mikro perlakuan sampel *reinforced sinter* 600°C. Dari gambar 4.15 terlihat adanya fasa matriks, unsur

grafit, dan pori (berwarna hitam). Selain itu, terlihat pula adanya fasa berwarna putih yang diduga sebagai fasa *intermetallic*. Sedangkan dari gambar 4.16 dapat terlihat dengan jelas pembentukan fasa *intermetallic* (berwarna putih).

Gambar 4.17 dan 4.18 menunjukkan struktur mikro perlakuan sampel *reinforced sinter 650°C*. Dari gambar 4.17 terlihat adanya fasa matriks, unsur grafit, pori (berwarna hitam), dan fasa berwarna putih yang diduga sebagai fasa *intermetallic*. Sedangkan dari gambar 4.18 dapat terlihat dengan jelas pembentukan fasa *intermetallic* (berwarna putih). Pada gambar ini pula dapat terlihat bahwa pembentukan fasa *intermetallic* semakin menyebar dan pori yang terbentuk berkurang daripada pori yang terbentuk pada temperatur sinter 600°C.

Gambar 4.19 dan 4.20 menunjukkan struktur mikro perlakuan sampel *reinforced sinter 700°C*. Dari gambar 4.19 terlihat adanya fasa matriks, unsur grafit, pori (berwarna hitam), dan fasa berwarna putih yang diduga sebagai fasa *intermetallic*. Fasa *intermetallic* sudah terbentuk dengan jelas walaupun belum tersebar secara homogen. Sedangkan dari gambar 4.20 terlihat dengan lebih jelas aliran material dari pembentukan fasa *intermetallic*. Pada gambar ini pula dapat terlihat bahwa jumlah pori yang terbentuk berkurang daripada pori yang terbentuk pada temperatur sinter 650°C.

Gambar 4.21 dan 4.22 menunjukkan struktur mikro perlakuan sampel *reinforced non sinter*. Dari gambar 4.21 dapat terlihat bahwa butir-butir tersusun secara *cluster* dan terlihat serbuk tembaga yang belum tercampur secara homogen. Sedangkan dari gambar 4.22 dapat terlihat dengan jelas bahwa tidak terbentuk fasa *intermetallic*.

Dari perbedaan ini dapat terlihat dengan jelas bahwa pada sampel hasil perlakuan tanpa sinter tidak terbentuk fasa *intermetallic*. Pada foto mikro hanya terlihat struktur matriks aluminium, penguat grafit, serbuk tembaga yang masih berupa *cluster*, dan pori. Hal ini disebabkan karena pada sampel hasil perlakuan tanpa sinter tidak ada energi yang dapat mentransport atom sehingga tidak terjadi difusi aliran massa. Sedangkan pada sampel hasil perlakuan sinter dapat terlihat adanya fasa *intermetallic*. Dengan semakin meningkatnya temperatur sinter maka jumlah pori yang terbentuk semakin sedikit, dan mencapai optimal pada

temperatur sinter 700°C. Hal ini mendukung data yang dihasilkan dari pengujian sebelumnya bahwa nilai kekerasan, laju aus, kuat tekan, densitas, dan porositas dari sampel hasil perlakuan sinter optimum pada temperatur sinter 700°C.

V.9.2 Pengamatan foto struktur mikro menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscope*) pada sampel komposit *reinforced sinter* 700°C

Hasil pengamatan foto struktur mikro dengan menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscope*) dilakukan pada perlakuan sampel *reinforced sinter* 700°C. Hal ini dikarenakan hasil perlakuan sampel tersebut menunjukkan nilai-nilai yang optimum untuk sifat mekanis maupun densitas dan porositasnya sehingga dianggap representatif untuk diteliti lebih lanjut fasa-fasa yang terbentuk di dalamnya.

Gambar 4.23-4.25 menunjukkan struktur mikro hasil pengujian SEM dengan perbesaran 200, 500, dan 10.000 kali. Dari gambar 4.23 dan 4.24 dapat terlihat adanya 3 fasa yang berbeda, yakni fasa yang berwarna putih (mengkilap), fasa yang berwarna abu-abu, dan fasa yang berwarna hitam. Untuk mengetahui komposisi kimia dari masing-masing fasa tersebut maka dilakukan pengujian dengan menggunakan EDS. Dari pengujian EDS dapat diketahui fasa baru yang terbentuk dari material komposit aluminium grafit yang telah dilakukan perlakuan sinter 700°C. Sedangkan gambar 4.25 menunjukkan struktur pori pada material komposit aluminium grafit.

V.9.3 Pengujian komposisi menggunakan EDS (*Energy Disperse Spectroscopy*) pada sampel komposit *reinforced sinter* 700°C

Hasil pengujian komposisi menggunakan EDS dapat dilihat pada tabel 4.5. Melalui hasil pengujian EDS maka diketahui bahwa fasa yang berwarna putih (mengkilap) mengandung unsur dominan, yakni Al-Fe-Cu. Dari data literatur[30], fasa yang berwarna putih (mengkilap) ini merupakan fasa baru yang terbentuk, yaitu fasa *intermetallic*. Dari komposisi kimia tersebut maka fasa *intermetallic* yang mungkin terbentuk pada fasa ini ialah AlCu₂. Fasa *intermetallic* AlCu₂ dapat meningkatkan kekuatan dari material dengan menghalangi pergerakan dislokasi. Sedangkan adanya unsur Fe disebabkan karena serbuk aluminium yang digunakan

pada penelitian ini bukanlah serbuk aluminium murni, melainkan aluminium paduan dengan kemurnian Al sekitar 86% sehingga unsur Fe merupakan unsur pengotor dalam paduan tersebut. Karena dalam pengujian EDS ini menggunakan energi yang berasal dari *backscattered electron*, maka unsur Fe yang memiliki nomor atom 26 (dekat dengan nomor atom Cu, yakni 29) akan terlihat sebagai unsur yang berwarna terang, dalam hal ini putih (mengkilap).

Hasil pengujian EDS pada fasa yang berwarna abu-abu menunjukkan bahwa komposisi kimia unsur yang dominan adalah Al-O-C. Dari *element %* yang diperlihatkan pada tabel 4.5, maka fasa yang berwarna abu-abu ini merupakan fasa matriks. Selain dari unsur Al yang paling dominan, terdapat pula unsur O dan C, dimana unsur tersebut memang sudah sejak awal terdapat pada serbuk aluminium paduan yang digunakan pada penelitian ini.

Hasil pengujian EDS pada fasa yang berwarna hitam menunjukkan terbentuknya senyawa Al_2O_3 . Senyawa tersebut merupakan oksida yang terbentuk akibat pengaruh dari atmosfer dapur pada saat sinter ataupun pada saat pengerjaan sampel. Hal ini dikarenakan pada saat dilakukan proses sinter, tidak digunakan atmosfer yang *inert* sehingga kemungkinan terjadinya oksidasi cukup besar, mengingat logam aluminium memiliki sifat mudah teroksidasi. Terbentuknya Al_2O_3 sebenarnya tidak dikehendaki karena oksida ini bersifat *brittle* sehingga dapat menurunkan sifat mekanis terutama ketahanan ausnya. Hal yang dapat dilakukan untuk menghindari terbentuknya oksida tersebut ialah dengan menggunakan atmosfer dapur yang *inert* pada saat dilakukan proses sinter.

Fuentes dan kawan-kawan dalam penelitiannya mengenai *wear behavior of self lubricating aluminum/graphite composite*[27], mengatakan bahwa unsur Cu dapat efektif sebagai *wetting agent* apabila ditambahkan secara *surface treatment* pada serbuk grafit dengan menggunakan metode elektrolisis. Unsur Cu yang didapat berasal dari elektrolisis larutan $CuSO_4$ sehingga ion Cu yang tereduksi akan mengendap pada permukaan grafit dengan bantuan penambahan serbuk Zn. Hal inilah yang menyebabkan serbuk Cu murni yang digunakan pada penelitian kali ini tidak berfungsi secara efektif sebagai *wetting agent*. Kehadiran unsur Cu pada material komposit aluminium grafit dapat pula dianggap sebagai paduan

(*alloying*) karena terbukti dengan adanya unsur Cu dapat meningkatkan sifat mekanis.

