



Efek suhu sintering dan komposisi bahan terhadap karakteristik mekanik komposit berbahan limbah aluminium dan kaca menggunakan metode metalurgi serbuk

Effect of sintering temperature and material composition on the mechanics characteristic of waste aluminum and glass composites using powder metallurgy method

A.A.Alit. Triadi*, K.G.K. Wangi, P.D. Setyawan

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mataram, Jl. Majapahit no. 62, Mataram, NTB, 83125, Indonesia. HP. 081339547169

*E-mail: alittriadi68@unram.ac.id

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article History:

Received 04 January 2022

Accepted 01 February 2022

Available online 01 April 2022

Keywords:

Aluminium

Composite

Glass

Powder metallurgy

Waste



The waste has been a big problem for human and environment and has become a hot issue until recently. One of the wastes that we often encounter is aluminum waste. Aluminum waste can indeed be re-melted, but the results of the smelting will produce even more dangerous waste, namely Toxic Hazardous Material) waste. In addition to aluminum waste, there is also a lot of waste that we encounter in our daily lives, namely glass waste. This study aims to maximize the potential of aluminum waste and glass waste by examining the effect of variations in sintering temperature and material composition on the hardness and compressive strength of the composite. This research is started by crushing the solid material into the mesh of 100, the next stage is mixing the powder and then print it with 7 tons pressure load. The last step is sintering the specimens at temperatures of 390°C, 490°C, and 590°C with 60 minutes holding time. The results show that the highest hardness value is 60 HRF and the highest compressive strength value is 235.59 MPa. Macrostructure observation shows that there is greater porosity in the specimen with lower mechanical properties. Variation of sintering temperature has a directly proportional effect on the hardness and compressive strength values. Variation in the composition of material gives an inversely proportional effect on the two tests of mechanical properties when viewed from the percent addition of glass powder.

1. PENDAHULUAN

Material yang dimanfaatkan untuk membuat sebuah produk dapat menyisakan sisa atau limbah. Salah satu limbah yang sering kita jumpai adalah limbah aluminium yang biasanya dihasilkan dari botol minuman kaleng dan sisa-sisa pemotongan pembuatan etalase. Limbah aluminium memang dapat dilebur kembali, namun hasil

peleburannya akan menghasilkan limbah yang lebih berbahaya lagi yaitu limbah Bahan Berbahaya Beracun (B3). Menurut Saraswati dan Razif (2020), industri peleburan aluminium menghasilkan kembali limbah berupa abu slag aluminium yang dibuang ke sekitar pemukiman warga. Slag sendiri merupakan abu sekunder hasil dari peleburan padatan aluminium yang tidak mencapai titik didih aluminium kemudian diproses kembali pada tungku pembakaran. Limbah slag aluminium ini tergolong limbah B3 dalam PP 101 tahun 2014, memiliki kode B313-2 dari kegiatan industri peleburan aluminium dengan kategori bahaya 2. Melihat bahaya yang ditimbulkan dari slag aluminium tersebut, maka perlu adanya pengolahan limbah aluminium dengan cara yang lebih tepat agar tidak menghasilkan limbah kembali. Selain limbah aluminium, terdapat pula limbah kaca yang berasal dari botol minuman bekas, sisa kaca pembuatan furnitur, peralatan dapur yang pecah, dan sisa kaca bangunan. Limbah kaca memakan waktu yang sangat lama agar dapat terurai, dibutuhkan waktu hingga 1 juta tahun agar dapat terurai sepenuhnya, Sylvia dan Mahmudah (2018). Tentu saja jika limbah tersebut tidak didaur ulang atau dimanfaatkan kembali, akan mengakibatkan pencemaran pada lingkungan. Meskipun telah ada pabrik-pabrik yang mendaur ulang serta UMKM-UMKM yang membuat kreasi dari limbah kaca, pada kenyataannya limbah kaca masih bertebaran di mana-mana dan tidak semua bisa diolah sekaligus. Oleh karena itu perlu adanya metode pengolahan lain agar limbah kaca tidak semakin menggunung dan keasrian lingkungan tetap terjaga.

Pada zaman yang kian modern ini kita telah mencapai revolusi industri 4.0, banyak teknologi telah berkembang dan salah satunya adalah metalurgi serbuk. Salah satu kelebihan dari teknik metalurgi serbuk adalah mampu mencampur material yang berbeda seperti logam dan non-logam sehingga menjadi sebuah material baru yang disebut komposit. Aluminium memiliki potensi yang sangat besar untuk diolah menjadi komposit. Di samping memiliki beberapa kelebihan seperti sifat mekanik dan ketahanan korosi serta hantaran listrik yang baik, aluminium juga dapat digunakan di berbagai bidang kehidupan seperti peralatan rumah tangga, keperluan material aircraft, perkapalan, otomotif dan lainnya, Tawan dkk (2019). Selain aluminium, kaca juga merupakan salah satu bahan penguat yang baik karena bahan penyusunnya didominasi oleh silika (SiO₂) dan memiliki titik lebur yang tinggi serta sifat mekanik yang sangat kuat, Anggria dkk. (2016).

Penelitian tentang pengaruh waktu *mixing* terhadap kekerasan dan keausan pernah dilakukan oleh Nawangsari dan Anuar (2016) menggunakan bahan dasar serbuk *sodalime glass* dan serbuk piston bekas sebagai material alternatif pengganti kampas rem non asbestos. Pada penelitian tersebut didapatkan hasil bahwa waktu *mixing* yang paling optimal adalah 30 menit dengan nilai kekerasan dan keausan mendekati produk kampas rem komersial yaitu 41,296 HVN dan $8,279 \times 10^{-12} \text{ m}^3/\text{m}$. penelitian lainnya dilakukan oleh Triadi dkk. (2019) yang meneliti tentang pengaruh suhu *sintering* terhadap nilai kekerasan dan kekuatan tekan komposit Al-Cu-SiC melalui proses metalurgi serbuk. Dilakukan pemanasan pada suhu 320°C, 420°C, dan 520°C selama 40 menit. Didapatkan hasil bahwa spesimen memiliki tingkat kekerasan dan kekuatan tekan yang tinggi pada suhu 320-420°C. Dibutuhkan penelitian lebih lanjut terhadap suhu yang lebih tinggi di atas 520°C dengan durasi *sintering* yang lebih lama untuk mengetahui apakah sifat mekaniknya dapat ditingkatkan lagi.

Anugraha dan Widyastuti, (2014) melakukan penelitian tentang pengaruh komposisi Sn dan variasi kompaksi pada komposit Cu-Sn terhadap kekerasan dan densitasnya. Penelitian tersebut menggunakan metode metalurgi serbuk untuk aplikasi proyektil peluru *frangible*. Didapatkan hasil bahwa nilai densitas tertinggi dihasilkan pada komposisi Cu-5 wt% Sn dengan tekanan kompaksi 500 Mpa sebesar $7,446 \text{ g/cm}^3$. Semakin bertambahnya komposisi Sn dan kompaksi yang diberikan, maka sifat mekanik dari komposit tersebut juga semakin meningkat.

Melihat permasalahan yang terjadi pada limbah aluminium dan kaca tersebut serta potensi yang besar pada dunia metalurgi serbuk juga komposit, maka penulis memberikan sebuah terobosan untuk meneliti lebih lanjut tentang potensi dari limbah aluminium dan limbah kaca untuk dijadikan komposit. Melalui penelitian ini penulis akan menguji pengaruh temperatur *sintering* dan komposisi bahan terhadap beberapa sifat mekaniknya yaitu kekerasan dan kekuatan tekannya.

2. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini digunakan bahan berupa limbah aluminium dan limbah kaca yang diambil dari salah satu tempat pengrajin perabot rumah tangga dan etalase di daerah Mataram. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi set peralatan penghancur bahan menjadi serbuk, set peralatan pembuat spesimen, dan peralatan pengujian spesimen. Peralatan pengujian spesimen meliputi alat uji kekerasan berupa *universal hardness tester* dengan beban uji 3-187,5 kgf, alat uji kekuatan tekan dengan ketelitian 1 kN, dan alat pengamatan struktur makro berupa set mikroskop optik cahaya. Penelitian ini menggunakan variasi suhu *sintering* yaitu 390°C, 490°C, dan 590°C serta variasi komposisi bahan antara aluminium dengan kaca yaitu 70:30, 80:20, dan 90:10 persen berat yang merupakan variabel bebas. Beberapa variabel yang dikontrol yaitu ukuran serbuk mesh 100, durasi *mixing* selama 15 menit, beban kompaksi sebesar 7 ton, dan durasi *sintering* selama 60 menit. Pengulangan pengujian dilakukan sebanyak 3 kali untuk setiap spesimen. Dilakukan pula analisis Anova untuk mengetahui signifikansi pengaruh dari masing-masing variasi perlakuan terhadap nilai kekuatan tekan

2.1. Pengujian kekerasan

Pengujian kekerasan pada penelitian ini menggunakan metode Rockwell dengan skala kekerasan *Rockwell F*. Alat uji Universal hardness tester ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Alat uji kekerasan

2.2. Pengujian kekuatan tekan

Pengujian kekuatan tekan pada penelitian ini dilakukan dengan meletakkan spesimen pada alat uji, yang kemudian akan ditekan hingga hancur dan hasil penekanan akan muncul pada panel analog dalam bentuk kilo Newton (kN). Alat uji kekuatan tekan ditunjukkan pada Gambar 2. Untuk mendapatkan nilai kekuatan tekan (P) maka perlu dilakukan kalkulasi menggunakan rumus di bawah ini.

$$P = \frac{F}{A} \quad (1)$$

P adalah tekanan (Pa), F menyatakan gaya (N) dan A menunjukkan luasan permukaan (m^2). Sementara untuk mencari luas permukaan spesimen yang berbentuk silinder digunakan rumus luas lingkaran yaitu:

$$A = \frac{\pi d^2}{4} \quad (2)$$

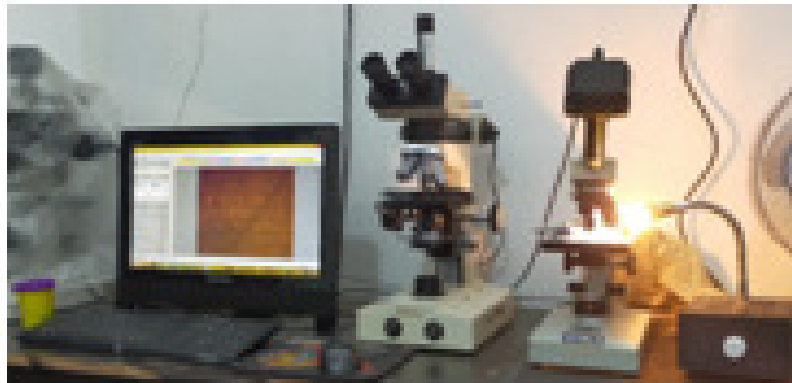
d menyatakan diameter lingkaran Diameter lingkaran (m).



Gambar 2. Alat uji kekuatan tekan

2.3. Pengamatan Struktur Makro

Pengamatan struktur makro dilakukan untuk melihat tampilan permukaan dalam skala makro. Digunakan mikroskop optik cahaya untuk melakukan pengamatan yang dilengkapi dengan kamera pada mikroskop. Hasil dari pengamatan spesimen ditampilkan pada monitor yang terkoneksi pada kamera mikroskop. Alat untuk pengamatan struktur makro ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Alat pengamatan struktur makro

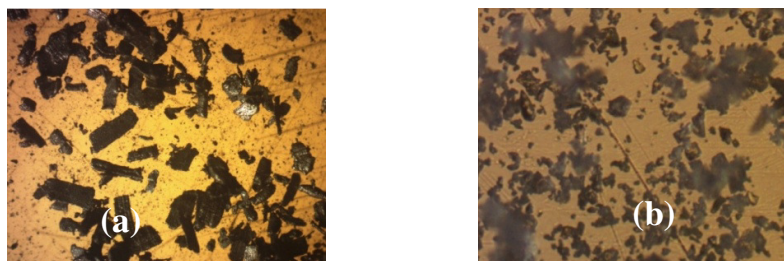
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah melakukan pengujian, didapatkan hasil nilai kekerasan dan kekuatan tekan masing-masing spesimen seperti tertera dalam Tabel 1.

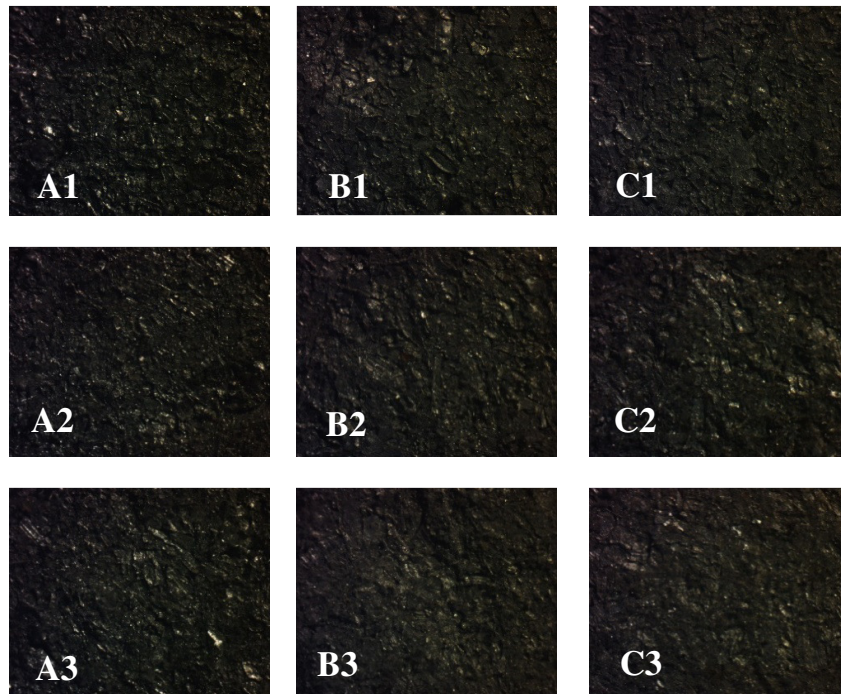
Tabel 1. Data hasil pengujian

Temperatur	Komposisi (Aluminium :Kaca) (%)	Kekerasan (Hardness) (HRF)	Kekuatan Tekan (Compressive Strength) (MPa)
390°C	90 : 10	37,33	150,38
	80 : 20	34,33	97,74
	70 : 30	31,5	45,11
490°C	90 : 10	42,33	192,98
	80 : 20	36,33	130,33
	70 : 30	33,67	57,64
590°C	90 : 10	60	235,59
	80 : 20	55,67	177,94
	70 : 30	41,67	70,18

V isualisasi distribusi butir ditampilkan pada gambar 4. Struktur makro dari spesimen uji yang ditangkap dengan mikroskop optik dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 4. Distribusi butir serbuk aluminium (a) dan serbuk kaca (b)

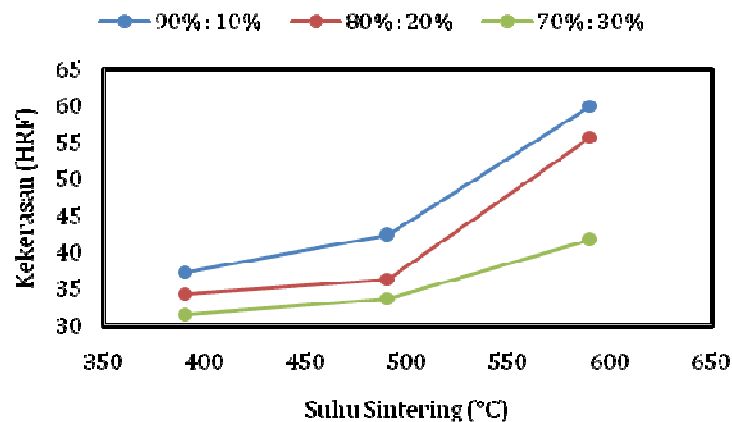


Gambar 5. Struktur makro spesimen uji

Pada gambar 5, A1 adalah spesimen komposisi 90:10, suhu sintering 390°C, B1 merupakan spesimen komposisi 90:10, suhu sintering 490°C, C1 adalah spesimen komposisi 90:10, suhu sintering 590°C, A2 adalah spesimen komposisi 80:20, suhu sintering 390°C, B2 menyatakan spesimen komposisi 80:20, suhu sintering 490°C, C2 menunjukkan spesimen komposisi 80:20, suhu sintering 590°C, A3 adalah spesimen komposisi 70:30, suhu sintering 390°C, B3 adalah spesimen komposisi 70:30, suhu sintering 490°C, dan C3 menyatakan spesimen komposisi 70:30, suhu sintering 590°C.

3.1 Nilai kekerasan

Berdasarkan Tabel 1. di atas, hasil pengujian kekerasan menunjukkan bahwa nilai kekerasan tertinggi diperoleh pada spesimen dengan komposisi 90 : 10 dan suhu sintering 590°C yaitu 60 HRF, diikuti oleh suhu 490°C dan 390°C. Hal yang sama berlaku pada komposisi bahan lainnya yaitu nilai kekerasan terbesar terdapat pada suhu sintering paling tinggi. Nilai kekerasan terkecil dari semua spesimen terdapat pada spesimen dengan komposisi 70 : 30 dan suhu sintering 390°C yaitu 31,5 HRF. Lebih jelasnya terkait hubungan antara suhu sintering dan komposisi bahan dengan nilai kekerasan dapat dilihat pada Gambar 6.



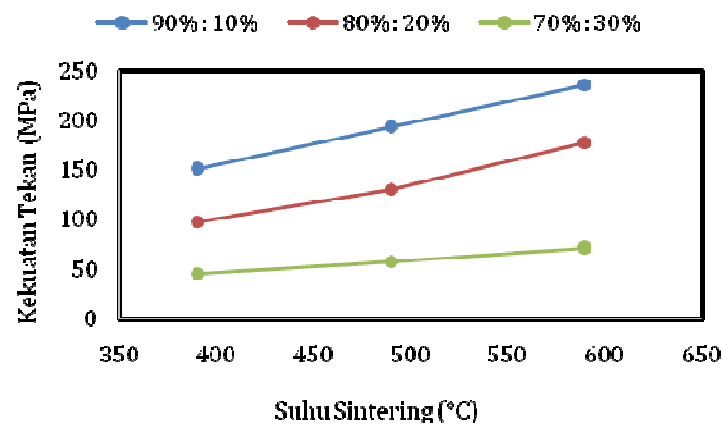
Gambar 6. Hubungan antara suhu sintering dan komposisi bahan dengan nilai kekerasan

Berdasarkan gambar 6 terlihat bahwa suhu sintering berbanding lurus dengan nilai kekerasan spesimen. Suhu sintering yang semakin tinggi memberikan nilai kekerasan yang lebih besar terhadap spesimen uji. Hasil ini sesuai dengan penelitian Tawan dkk. (2019) yang mendapatkan nilai kekerasan semakin meningkat seiring bertambahnya suhu sintering pada komposit aluminium. Peristiwa tersebut terjadi karena dengan menaikkan suhu sintering akan membuat butir-butir serbuk semakin melunak dan berikatan dengan serbuk lain dengan luas permukaan yang lebih besar. Naiknya temperatur sintering tersebut sekaligus menaikkan densitas spesimen dan menurunkan porositasnya sehingga spesimen menjadi lebih keras. Menurut Dahliana dkk. (2013), peningkatan suhu sintering berkaitan dengan naiknya densitas dan turunnya persentase porositas dikarenakan semakin rapatnya partikel-partikel dalam sampel sehingga terjadi ikatan kuat antara butir satu dan lainnya.

Komposisi bahan memiliki pengaruh yang berbanding terbalik jika dilihat dari persentase penambahan serbuk kaca. Semakin sedikit persentase kaca yang digunakan semakin besar nilai kekerasan dari komposit. Hasil pada penelitian ini memiliki kesamaan dengan penelitian yang dilakukan oleh Anderson dkk. (2018) yang mendapatkan penurunan nilai kekerasan seiring dengan penambahan unsur Cu terhadap paduan Al-Si. Anderson mengatakan bahwa material tersebut bersifat menurunkan keuletan dari paduan aluminium. Namun pada penelitian ini digunakan rentang penambahan serbuk kaca yang besar yaitu dari 10 %, 20 %, dan 30 % sehingga masih ada peluang untuk penelitian lebih lanjut pada persentase di bawah dan di atas rentang tersebut.

3.2. Nilai kekuatan tekan

Setelah melakukan pengujian diketahui bahwa spesimen dengan nilai kekuatan tekan tertinggi terdapat pada perlakuan suhu sintering 590°C dan komposisi 90:10 yaitu sebesar 235,59 MPa. Sementara nilai kekuatan terendah yaitu 45,11 MPa pada suhu sintering 390°C dan komposisi 70 :30. Lebih lanjut mengenai hubungan antara suhu sintering dan komposisi bahan dapat dilihat pada gambar 7.



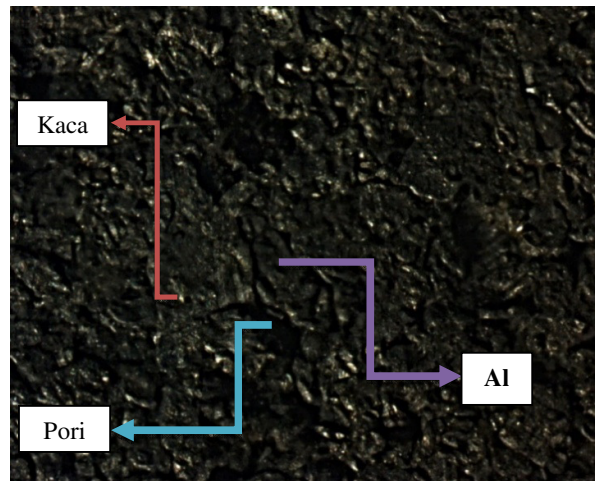
Gambar 7. Hubungan antara suhu sintering dan komposisi bahan terhadap nilai kekuatan tekan

Berdasarkan pada gambar 7 terlihat bahwa suhu sintering memiliki pengaruh yang berbanding lurus terhadap nilai kekuatan tekan spesimen. Semakin tinggi temperatur akan membuat nilai kekerasan semakin tinggi. Hasil ini sesuai dengan penelitian dari Yafie dan Widyastuti (2014) yang mendapatkan peningkatan nilai kekuatan tekan pada komposit yang disinter selama 1 jam. Nilai kekuatan tekan yang semakin besar terjadi karena suhu yang semakin tinggi memengaruhi proses penggabungan partikel menjadi semakin rapat karena struktur partikel atau butir yang semakin melunak. Menurut Subiyanto dan Subowo (2003), suhu sintering yang semakin tinggi membuat porositas berkurang dan luas ikatan antar partikel mejadi semakin besar.

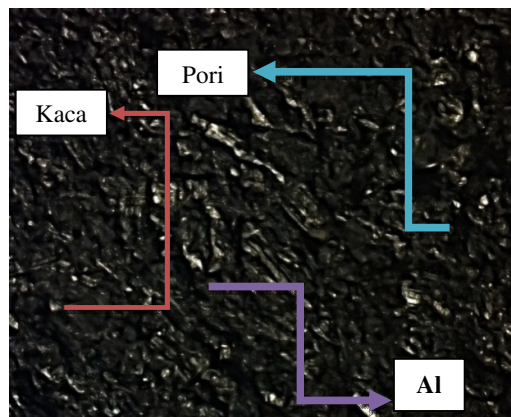
Pada pengaruh komposisi bahan terlihat bahwa komposisi bahan memiliki pengaruh yang berbanding terbalik jika ditinjau dari penambahan jumlah serbuk kaca kaca. Hal serupa juga didapatkan oleh Hermana dan Widyastuti (2014) yang mendapatkan nilai kekuatan tekan berbanding terbalik dengan penambahan unsur Cu. Peristiwa tersebut kemungkinan besar terjadi karena sifat getas dari kaca yang jika ditambahkan terlalu banyak ke dalam aluminium akan mengurangi keuletannya dan membuat kekuatan tekan komposit menjadi menurun.

3.3. Pengamatan struktur makro

Terdapat perbedaan visualisasi antara spesimen dengan nilai kekerasan tinggi dan spesimen yang nilai kekerasannya lebih rendah. Berikut adalah tampilan dari spesimen dengan nilai kekerasan tinggi dan rendah yang terdapat pada spesimen dengan suhu sintering 590°C dan komposisi bahan 90:10 (C1) serta spesimen dengan suhu sintering 390°C dan komposisi bahan 70:30 (A3).



Gambar 8. Struktur makro spesimen C1



Gambar 9. Struktur makro spesimen A3

Menggunakan bantuan dari *software* pengolah grafis didapatkan tampilan yang lebih tajam dari hasil pengamatan struktur makro. Pada Gambar 8 dan Gambar 9 terlihat bahwa spesimen A3 memiliki porositas yang lebih besar dibandingkan spesimen C1. Hal tersebut terjadi karena spesimen C1 memiliki kerapatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan spesimen A3. Kerapatan yang tinggi tersebut dihasilkan dari pemanasan sintering pada suhu yang tinggi sehingga proses pengikatan antar partikel menjadi lebih besar. Menurut Yafie dan Widyastuti (2014), proses sintering dapat memperkuat ikatan permukaan serbuk yang telah dikompaksi sehingga kerapatannya menjadi semakin tinggi.

3.4 Analisis anova

Analisis Anova dua arah telah dilakukan untuk menganalisa apakah variasi suhu sintering dan komposisi bahan pada penelitian ini memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai kekerasan dan kekuatan tekan spesimen limbah aluminium dan limbah kaca.

Tabel 2. Analisis Anova nilai kekerasan

Anova: Two-Factor With Replication				
SUMMARY	390 derajat	490 derajat	590 derajat	Total
<i>90 banding 10</i>				
Count	3	3	3	9
Sum	112	127	180	419
Average	37,333333	42,333333	60	46,55556
Variance	2,333333	0,333333	1	107,2778

<i>80 banding 20</i>						
Count	3	3	3	9		
Sum	103	109	167	379		
Average	34,333333	36,333333	55,666667	42,11111		
Variance	0,333333	0,333333	0,333333	104,3611		
<i>70 banding 30</i>						
Count	3	3	3	9		
Sum	94,5	101	125	320,5		
Average	31,5	33,666667	41,666667	35,61111		
Variance	0,25	0,333333	2,333333	22,23611		
<i>Total</i>						
Count	9	9	9			
Sum	309,5	337	472			
Average	34,388889	37,444444	52,444444			
Variance	7,111111	15,027778	69,777778			
ANOVA						
<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Sample	545,35185	2	272,67593	323,6154	7,77502E-15	3,554557
Columns	1681,0185	2	840,50926	997,5275	3,65386E-19	3,554557
Interaction	174,81481	4	43,703704	51,86813	1,22244E-09	2,927744
Within	15,166667	18	0,8425926			
Total	2416,3519	26				

Tabel 3. Analisis Anova nilai kekuatan tekan

Anova: Two-Factor With Replication				
SUMMARY	390 derajat	490 derajat	590 derajat	Total
<i>90 banding 10</i>				
Count	3	3	3	9
Sum	451,13	578,95	706,76	1736,84
Average	150,37667	192,983333	235,586667	192,98222
Variance	56,475233	18,8501333	131,950933	1413,2086
<i>80 banding 20</i>				
Count	3	3	3	9
Sum	293,23	390,98	533,83	1218,04
Average	97,743333	130,326667	177,943333	135,33778
Variance	56,475233	75,4005333	131,950933	1286,0892
<i>70 banding 30</i>				
Count	3	3	3	9
Sum	135,33	172,93	210,53	518,79

Average	45,11	57,6433333	70,1766667	57,643333		
Variance	7,573E-29	18,8501333	18,8501333	127,2384		
<i>Total</i>						
Count	9	9	9			
Sum	879,69	1142,86	1451,12			
Average	97,743333	126,984444	161,235556			
Variance	2105,9385	3468,98025	5357,79755			
ANOVA						
<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Sample	83027,771	2	41513,8853	734,32109	5,59235E-18	3,554557146
Columns	18178,33	2	9089,16521	160,7743	3,30625E-12	3,554557146
Interaction	3416,353	4	854,088239	15,107596	1,40156E-05	2,927744173
Within	1017,6065	18	56,5336963			
Total	105640,06	26				

Didapatkan hasil bahwa baik variasi suhu sintering maupun komposisi bahan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai kekerasan dan kekuatan tekan komposit limbah aluminium dan limbah kaca karena nilai *p-value* yang lebih kecil dari α (digunakan α atau persen kegagalan sebesar 0,05). Diketahui pula terdapat interaksi antara variasi suhu sintering dan komposisi bahan, artinya kedua variabel tersebut saling memengaruhi satu sama lain dan memiliki pengaruh yang sama terhadap nilai kekerasan dan kekuatan tekan.

3.5. Perbandingan dengan produk komersial

Pada penelitian Anggria dkk. (2016) diketahui bahwa nilai kekerasan produk kampas rem komersial sebesar 40,06 HVN. Pada penelitian ini nilai kekerasan tertinggi yaitu sebesar 60 HRF. Jika dilakukan konversi menggunakan tabel konversi kekerasan dari Buehler (2020), 60 HRF sama dengan 57,41 HVN. Berdasarkan data tersebut, nilai kekerasan spesimen pada penelitian ini telah mendekati dan melampaui nilai kekerasan produk komersial.

Pada penelitian ini didapatkan nilai kekuatan tertinggi sebesar 235,59 MPa yang diperoleh dari spesimen dengan suhu sintering 590°C dan komposisi bahan 90 : 10 (persen bahan). Berdasarkan penelitian dari Manoharan dkk. (2019), diketahui bahwa nilai kekuatan tekan kampas rem komersial adalah 110 MPa. Melalui data tersebut dapat diketahui bahwa nilai kekuatan tekan spesimen pada penelitian ini telah mampu menyamai dan melebihi nilai kekuatan tekan dari produk komersial.

4. KESIMPULAN

Variasi temperatur sintering memiliki pengaruh signifikan terhadap nilai kekerasan dan nilai kekuatan tekan komposit. Variasi komposisi bahan memiliki pengaruh yang berbanding terbalik terhadap nilai kekerasan dan kekuatan tekan komposit jika ditinjau dari persen penambahan serbuk kaca, selain itu variasi tersebut juga berpengaruh signifikan terhadap nilai kekerasan dan kekuatan tekan komposit. Struktur makro yang dihasilkan dari komposit limbah aluminium dan limbah kaca memiliki porositas yang semakin kecil pada spesimen dengan nilai kekerasan yang semakin tinggi.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih kepada pengrajin etalase dan peralatan rumah tangga “Cahaya Agung Aluminium” yang telah mengizinkan penulis menggunakan limbah produksi mereka yaitu limbah aluminium dan limbah kaca untuk digunakan sebagai bahan pada penelitian ini. Terima kasih juga kepada Jurusan Teknik Mesin Universitas Mataram yang telah memfasilitasi penulis dalam penelitian ini. Serta terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, W., Rudianto, H., Haryadi, D., Pengaruh komposisi Cu terhadap sifat mekanik dan stuktur mikro dari pengecoran Al-Si. *Jurnal Ilmiah Teknologi dan Rekayasa*, 23(2), 146-154, 2018
- Anggria, F., Nawangsari, P., Masnur, D., Analisis pengaruh ukuran serbuk kaca pada pembuatan kanvas rem sepeda motor dengan pengisi serbuk piston bekas. *Jurnal Teknik Pomits*, 3(2), 1-5, 2016
- Anugraha, V.G., Widyastuti., Pengaruh komposisi Sn dan variasi tekanan kompaksi terhadap densitas dan kekerasan komposit Cu-Sn untuk aplikasi proyektil peluru frangible dengan metode metalurgi serbuk. *Jurnal Teknik Pomits*, 3(1), 102-107, 2014
- Buehler., *Hardness Conversion Charts*. Illinois: Buehler Ltd, 2020
- Dahlia, D., Sembiring, S., Simanjuntak, W., Pengaruh suhu sintering terhadap karakteristik fisis komposit MgO-SiO₂ berbasis silika sekam padi. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, 49-52, 2013
- Manoharan, S., Shihab, A.I., Alemdar, A.A., Babu, L.G., Vijay, R., Singaravelu, D. L., Influence of recycled basalt-aramid fi bres integration on the mechanical and thermal properties of brake friction composites. *Material Research Express*, 1-11, 2019
- Nawangsari, P., Anuar, K., Pengaruh waktu mixing terhadap kekerasan dan keausan pada campuran serbuk soda lime glass dan serbuk piston bekas sebagai material alternatif kampas rem non asbestos. *Prosiding Seminar Nasional XI "Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi"* (pp. 345-348). Yogyakarta, 2016
- Saraswati, K.A., Razif, M., Potensi pemanfaatan slag aluminium sebagai substitusi semen dalam proses stabilisasi/solidifikasi limbah B3 dengan kajian pustaka. *Jurnal Envirotek*, 12(2), 54, 2020
- Sari, N.H., *Material Teknik*. Sleman: CV Budi Utama, 2018
- Subiyanto, H., Subowo., Pengaruh temperatur sintering terhadap sifat mekanik keramik insulator listrik. *Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS*, 16-19, 2003
- Sylvia, N., Mahmudah, N. L., Tinjauan proses dan teknik flameworking pada limbah kaca. *Narada, Jurnal Desain & Seni, FDSK – UMB*, 5(2), 28, 2018
- Tawan, I.G., Suarsana, I.K., Santiharsa, I.N., Pengaruh waktupenahanan dan temperatur sintering komposit Al matrik dengan penguat Al₂O₃ + SiCw terhadap sifat densitas dan kekerasan. *Jurnal Ilmiah Teknik Desain Mekanika*, 8(2), 512-516, 2019
- Triadi, A., Yudhyadi, I., Suartika, I., Sari, N., Efek suhu sintering terhadap sifat kekerasan dan kekuatan tekan bahan campuran Al/Cu/SiC melalui proses metalurgi serbuk. *Dinamika Teknik Mesin*, 9(2), 80-85, 2019.
- Yafie, M.S., Widyastuti., Pengaruh variasi temperatur sintering dan waktu tahan sintering terhadap densitas dan kekerasan pada Mmc W-Cu melalui proses metalurgi serbuk. *Jurnal Teknik Pomits*, 3(1), 2301-9271, 2014