



**Analisa Strukturmikro pada Proses Penekanan Panas (*Hot Forging Press*)
dengan Variasi Reduksi Ketebalan dan Temperatur pada Material
Aluminium Komposit Berpenguat Abu Dasar Batubara setelah Proses
Perlakuan Panas T6**

Ardi Ega Ardena, Harjo Seputro

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

Jalan Semolowaru No. 45 Surabaya 60118, Telp. 031-5931800, Indonesia

email: ardiega.ardena@gmail.com

ABSTRAK

Faktor massa jenis yang ringan telah mengharuskan penggunaan komposit berbasis aluminium paduan pada aplikasi otomotif, *aerospace*, dan industri pertahanan. Dimana dalam pengaplikasiannya pada komponen, harus memiliki *mechanical properties* yang bagus pada contohnya seperti kekerasan tinggi, supaya komponen tidak mudah rusak dan tahan lama. Sifat mekanis seperti kekerasan dipengaruhi oleh strukturmikro dalam bahan. Sedangkan strukturmikro dipengaruhi oleh proses pembentukan dan proses perlakuan panas.

Bahan matrik Aluminium Alloy 6061 dengan komposisi Al 96,85% ; Si 0,7% ; Fe 0,6% ; Cu 0,30% ; Zn 0,20%, partikel *bottom ash* yang terayak ukuran 200 mesh dan sudah dilakukan *electroless plating*. Proses pengecoran komposit menggunakan metode *stir casting*, kemudian dilanjutkan proses *homogenizing*. Pada proses *hot forging press* dilakukan dengan variasi temperature (400 °C; 425 °C; 450 °C) dan reduksi ketebalan benda kerja dengan variasi (5%; 10%; 15%). Proses perlakuan panas T6 dengan parameter *solution heat treatment* 530 °C waktu tahan 1 jam, media *quenching* air dan temperatur *ageing* 175 °C waktu tahan 8 jam. Pengamatan strukturmikro dan karakterisasi unsur menggunakan SEM-EDX.

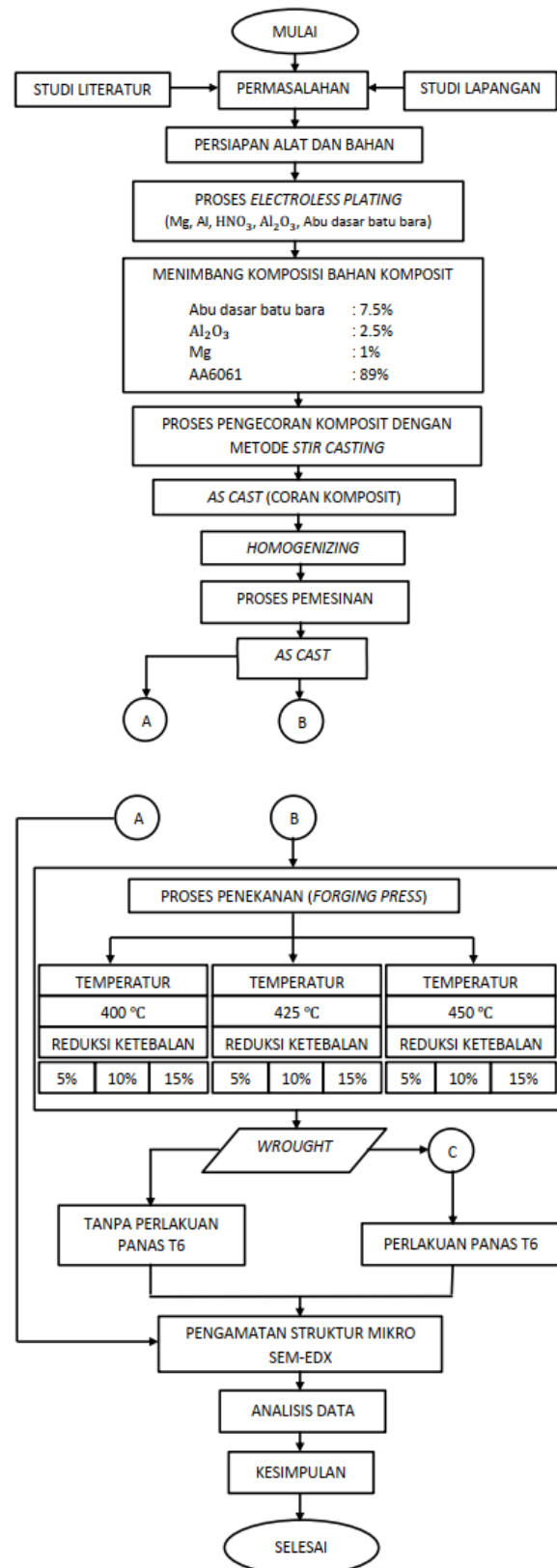
Dari hasil pengamatan strukturmikro dengan variasi temperatur dan reduksi ketebalan pada proses pembentukan *hot pressing* serta proses T6 *heat treatment* menunjukkan perubahan ukuran butir, dengan semakin besar deformasi maka semakin kecil ukuran butirnya. Ukuran butir terbesar didapat pada kombinasi variasi reduksi 5% dan temperature 450°C sebesar 144,3 µm. Sedangkan ukuran butir terkecil didapat pada kombinasi variasi reduksi 15% dan temperature 400°C sebesar 110,8 µm. Pada temperatur, semakin besar temperatur pemanasan pada proses penekanan berpengaruh pada ukuran butir yang semakin besar. Ukuran butir terbesar didapat pada kombinasi variasi temperatur 450°C dan reduksi 5%. Sedangkan ukuran butir terkecil didapat pada kombinasi variasi temperatur 400°C dan reduksi 15. Hal ini disebabkan karena semakin besar temperatur pemanasan pada proses pembentukan, maka akan terjadi proses rekristalisasi dinamis yang berefek pada membesarnya ukuran butir pada komposit.

Kata kunci: komposit aluminium, *hot forging press*, T6 *heat treatment*, abu dasar batubara, strukturmikro, SEM

PENDAHULUAN

Faktor massa jenis yang ringan telah mengharuskan penggunaan material komposit berbasis aluminium paduan pada aplikasi di bidang otomotif, *aerospace*, dan industri pertahanan. Dimana dalam pengaplikasiannya pada komponen, harus memiliki *mechanical properties* yang bagus pada contohnya seperti kekerasan tinggi, supaya komponen tidak mudah rusak dan tahan lama. Sifat mekanik seperti kekerasan dipengaruhi oleh strukturmikro dalam bahan. Sedangkan strukturmikro dipengaruhi oleh proses pembentukan seperti *forging press*. Menurut (Bharathesh, 2015) pada proses penekanan panas (*hot forging press*) partikel penguat terdistribusi lebih homogen pada matrik aluminium. Dimana juga mempengaruhi sifat mekanik material seperti meningkatnya kekerasan dan kekuatan tarik dari material. Pada proses pembentukan *forging press*, ada beberapa parameter yang mempengaruhi, diantaranya adalah temperature dan ketebalan reduksi benda kerja. Strukturmikro juga dipengaruhi oleh proses T6 *heat treatment*. Menurut (Saurabh Tiwari, 2019) dengan proses perlakuan panas T6, bentuk butir awal pelat lancip berubah menjadi hampir bulat. Perubahan butir ini meningkatkan kekerasan, dan *young modulus* dari paduan komposit. Tujuan pada Penelitian ini guna mengetahui pengaruh variasi pada temperatur dan variasi pada deformasi reduksi ketebalan benda kerja pada proses penekanan panas (*hot forging press*) terhadap strukturmikro material *aluminium matrix composite* berpenguat *bottom ash* setelah diberikan proses perlakuan panas T6.

PROSEDUR EKSPERIMEN



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Bahan aluminium paduan 6061 dengan komposisi sebagai berikut :

Tabel 1. Komposisi kimia Al6061

Si	Fe	Cu	Zn	Al
0,7%	0,6%	0,3%	0,20%	96,85%

Serbuk *bottom ash* ukuran 200 mesh yang sudah ter-*electroless plating*, serbuk Aluminium Oksida, serta serbuk Magnesium sebagai *wetting agent*. Metode *stirrer casting* digunakan pada pengecoran komposit. Dilanjutkan dengan proses *homogenizing* dengan parameter temperature 125 °C *holding time* 2 jam, yang bertujuan untuk menyeragamkan strukturmikro pada *as-cast*.

Proses Pembentukan Penekanan Panas (Hot Forging Press)

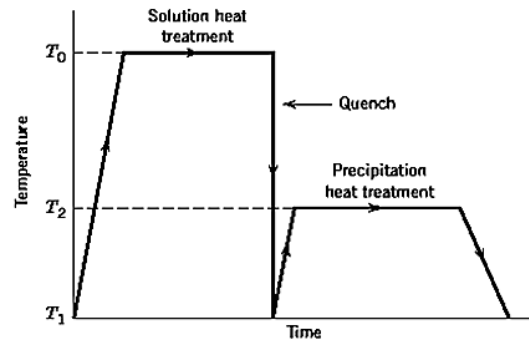
Mempersiapkan dimensi benda kerja sebesar (P) 40mm x (L) 35mm x (T) 30mm setelah itu spesimen di proses pembentukan penekanan panas (*hot forging press*) dengan variasi sebagai berikut :

1. Variasi temperatur *pressing* 400°C, 425°C, 450°C.
2. Variasi reduksi ketebalan benda kerja 5%, 10%, 15%.

Proses Perlakuan Panas T6

Setelah proses *pressing* selesai barulah dilakukan proses perlakuan panas T6. Berikut parameter dan tahapan pada proses perlakuan panas T6 :

1. *Solution treatment* benda kerja dengan suhu 530°C *holding time* 1 jam.
2. Proses pendinginan cepat (*quenching*) menggunakan media air.
3. Selanjutnya dilakukan pemanasan kembali (*artificial ageing*) dengan temperatur 175°C waktu penahanan selama 8 jam.
4. Setelah itu dilakukan pendinginnan dengan temperatur ruang.



Gambar 2. Proses T6 heat treatment

Pengujian Mikrostruktur

Pengujian mikrostruktur yang dilakukan yaitu uji SEM-EDX. Pengujian *Scanning Electron Microscopy* dilakukan untuk mengetahui mikrostruktur seperti ukuran butir komposit. Pengujian *Energy Dispersive X-Ray* dilakukan untuk mengkarakterisasi kandungan/komposisi unsur kimia ada pada AMC berpenguat abu dasar batubara.

Perhitungan Ukuran Butir (Metode Planimetri Jeffries)

Menurut ASTM E112 metode planimetri untuk menghitung ukuran butir dengan menggunakan bantuan lingkaran atau persegi dengan ukuran 5000 mm² dengan setidaknya perbesaran yang digunakan menghasilkan 50 butir dalam bidang yang dihitung.

Magnification Used, M	Jeffries' Multiplier, f, to Obtain Grains/mm ²
1	0.0002
10	0.02
25	0.125
50	0.5
75 ^A	1.125
100	2.0
150	4.5
200	8.0
250	12.5
300	18.0
500	50.0
750	112.5
1000	200.0

Gambar 3. Faktor pengali Jeffries

Pada perhitungan ukuran butir dengan mengalikan dengan faktor pengali pada Gambar 3. Rumus yang digunakan sebagai berikut :

$$G = [3,321928 \log_{10}(N_a)] - 2,954$$

dan

$$N_a = f(N_1 + \frac{N_2}{2})$$

Keterangan :

- G = Diameter rata-rata butir yang dirujuk dengan tabel ASTM E112
- N_a = Total butir
- N_1 = Total butir dalam bidang lingkaran
- N_2 = Total butir yang bersinggungan dengan bidang tepi lingkaran.
- f = Pengali *jeffries* (Gambar 3)

Grain Size No. G	N_a Grains/Unit Area		\bar{A} Average Grain Area		\bar{D} Average Diameter	
	No./in. ² at 100X	No./mm ² at 1X	mm ²	μ m ²	mm	μ m
00	0.25	3.98	0.2581	258064	0.5080	508.0
0	0.50	7.75	0.1290	129032	0.3592	359.2
0.5	0.71	10.96	0.0912	91239	0.3021	302.1
1.0	1.00	15.50	0.0645	64516	0.2540	254.0
1.5	1.41	21.92	0.0456	45620	0.2136	213.6
2.0	2.00	31.00	0.0323	32258	0.1796	179.6
2.5	2.83	43.84	0.0228	22810	0.1510	151.0
3.0	4.00	62.00	0.0161	16129	0.1270	127.0
3.5	5.66	87.68	0.0114	11405	0.1068	106.8
4.0	8.00	124.00	0.00806	8065	0.0898	89.8
4.5	11.31	175.36	0.00570	5703	0.0755	75.5
5.0	16.00	248.00	0.00403	4032	0.0635	63.5
5.5	22.63	350.73	0.00285	2851	0.0534	53.4
6.0	32.00	496.00	0.00202	2016	0.0449	44.9
6.5	45.25	701.45	0.00143	1426	0.0378	37.8
7.0	64.00	992.00	0.00101	1008	0.0318	31.8
7.5	90.51	1402.9	0.00071	713	0.0267	26.7
8.0	128.00	1984.0	0.00050	504	0.0225	22.5
8.5	181.02	2805.8	0.00036	356	0.0189	18.9
9.0	256.00	3968.0	0.00025	252	0.0159	15.9
9.5	362.04	5611.6	0.00018	178	0.0133	13.3
10.0	512.00	7936.0	0.00013	126	0.0112	11.2
10.5	724.08	11223.2	0.000089	89.1	0.0094	9.4
11.0	1024.00	15872.0	0.000063	63.0	0.0079	7.9
11.5	1448.15	22446.4	0.000045	44.6	0.0067	6.7
12.0	2048.00	31744.1	0.000032	31.5	0.0056	5.6
12.5	2896.31	44892.9	0.000022	22.3	0.0047	4.7
13.0	4096.00	63488.1	0.000016	15.8	0.0040	4.0
13.5	5792.62	89785.8	0.000011	11.1	0.0033	3.3
14.0	8192.00	126976.3	0.000008	7.9	0.0028	2.8

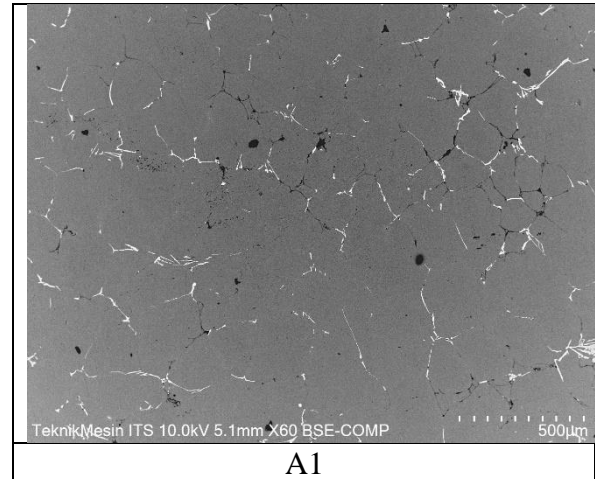
Gambar 4. Hubungan ukuran butir yang dihitung untuk butir seragam, acak dan *equiaxed*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1. Kodefikasi spesimen

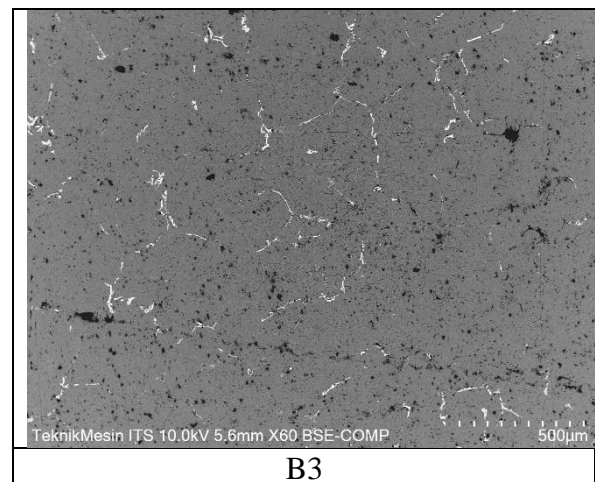
No.	Kode Spesimen	Keterangan
1.	A1	Setelah Homogenizing ; Tanpa Proses Penekanan Panas
2.	B1	Temperatur 400 °C ; Reduksi 5%
3.	B2	Temperatur 400 °C ; Reduksi 10%
4.	B3	Temperatur 400 °C ; Reduksi 15%
5.	B4	Temperatur 425 °C ; Reduksi 5%
6.	B5	Temperatur 425 °C ; Reduksi 10%
7.	B6	Temperatur 425 °C ; Reduksi 15%
8.	B7	Temperatur 450 °C ; Reduksi 5%
9.	B8	Temperatur 450 °C ; Reduksi 10%
10.	B9	Temperatur 450 °C ; Reduksi 15%
11.	C1	Temperatur 400 °C ; Reduksi 5% ; Dengan Perlakuan Panas T6
12.	C2	Temperatur 400 °C Reduksi 10% ; Dengan Perlakuan Panas T6
13.	C3	Temperatur 400 °C Reduksi 15% ; Dengan Perlakuan Panas T6
14.	C4	Temperatur 425 °C Reduksi 5% ; Dengan Perlakuan Panas T6
15.	C5	Temperatur 425 °C Reduksi 10% ; Dengan Perlakuan Panas T6
16.	C6	Temperatur 425 °C Reduksi 15% ; Dengan Perlakuan Panas T6
17.	C7	Temperatur 450 °C Reduksi 5% ; Dengan Perlakuan Panas T6
18.	C8	Temperatur 450 °C Reduksi 10% ; Dengan Perlakuan Panas T6
19.	C9	Temperatur 450 °C Reduksi 15% ; Dengan Perlakuan Panas T6

Hasil Perhitungan Ukuran Butir



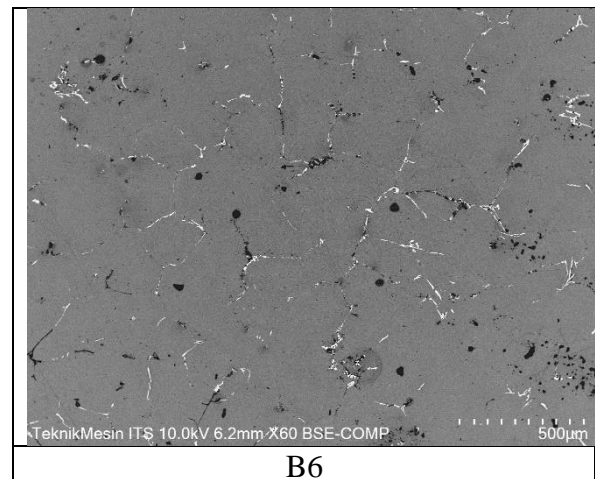
A1

Gambar 5. Mikrostruktur specimen A1 (*as-cast*)



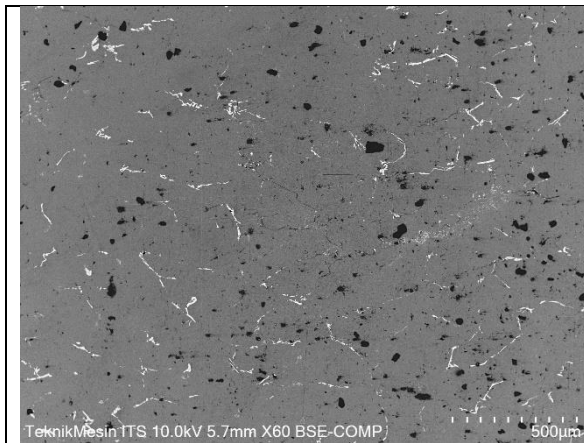
B3

Gambar 6. Mikrostruktur specimen B3 (reduksi 15%, temperatur 400°C)



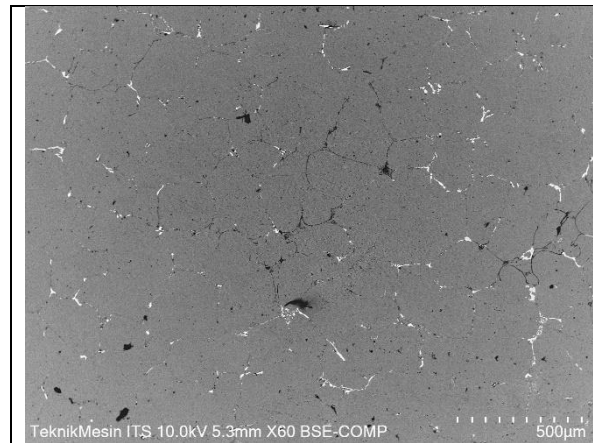
B6

Gambar 7. Mikrostruktur specimen B6 (reduksi 15%, temperatur 425°C)



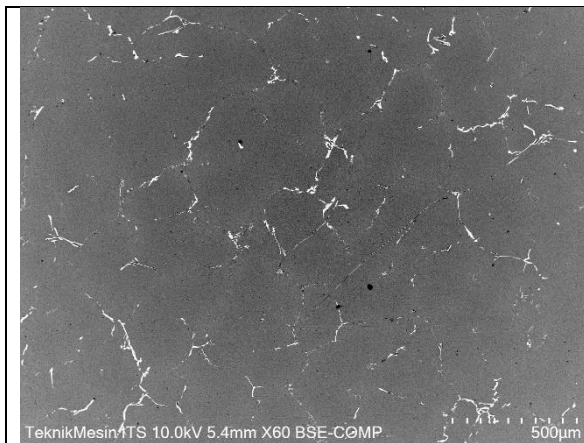
B9

Gambar 8. Mikrostruktur specimen B9 (reduksi 15%, temperatur 450°C)



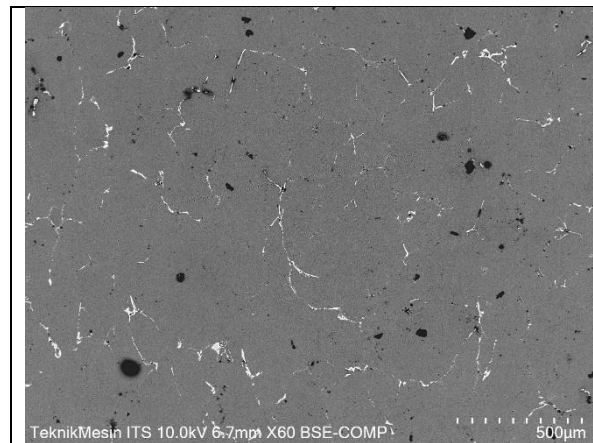
C3

Gambar 11. Mikrostruktur specimen C3 (reduksi 15%, temperatur 400°C + T6))



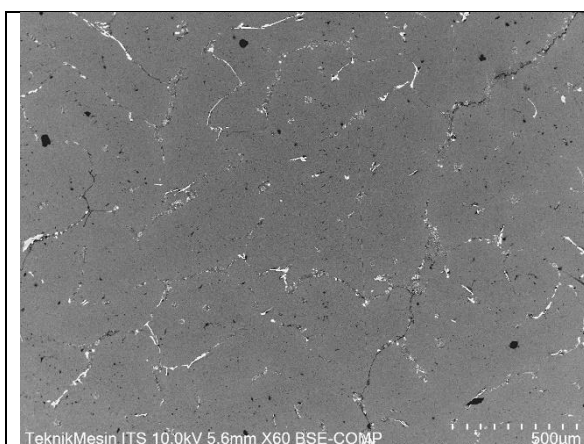
C1

Gambar 9. Mikrostruktur specimen C1 (reduksi 5%, temperatur 400°C + T6)



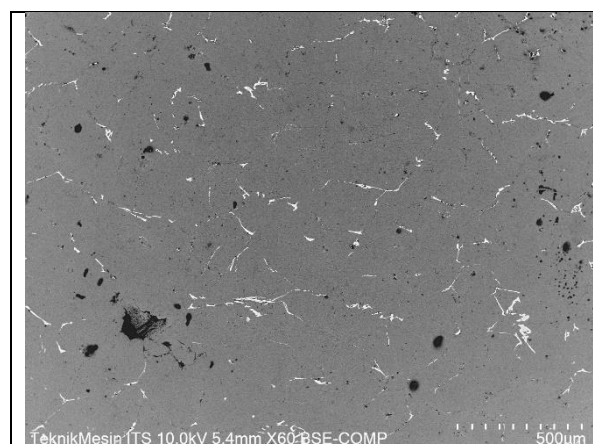
C4

Gambar 12. Mikrostruktur specimen C4 (reduksi 5%, temperatur 425°C + T6)



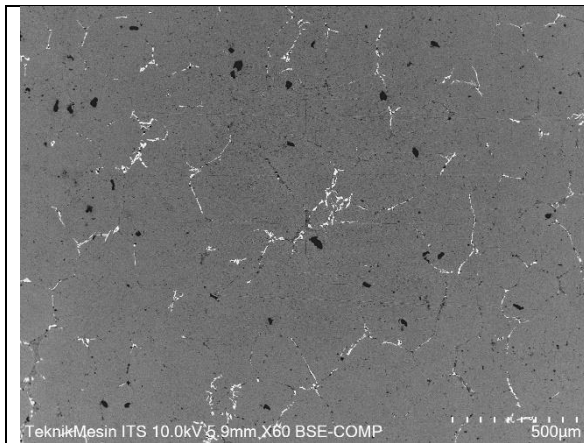
C2

Gambar 10. Mikrostruktur specimen C2 (reduksi 10%, temperatur 400°C + T6)



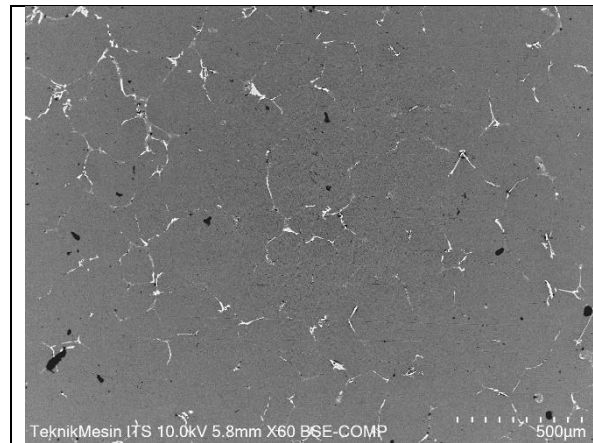
C5

Gambar 13. Mikrostruktur specimen C5 (reduksi 10%, temperatur 425°C + T6)



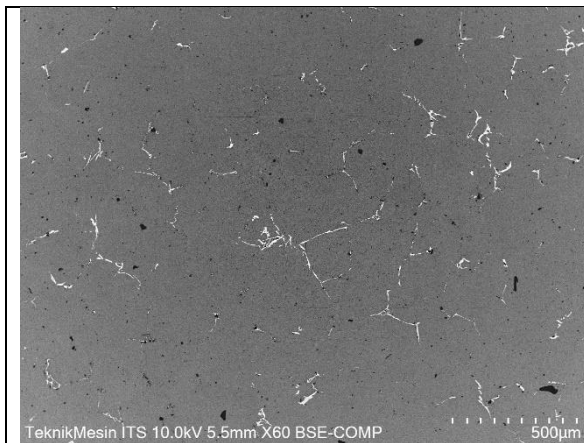
C6

Gambar 14. Mikrostruktur specimen C6 (reduksi 15%, temperatur 425°C + T6)



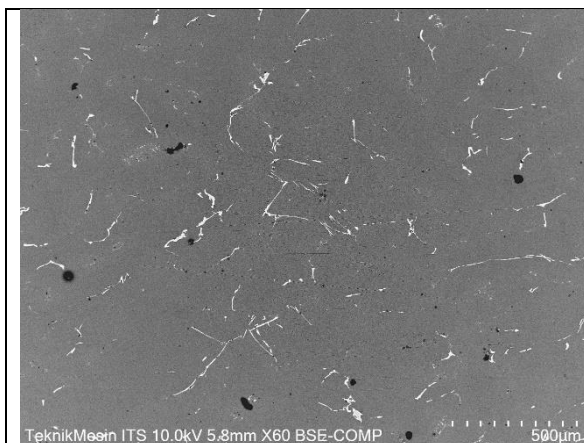
C9

Gambar 17. Mikrostruktur specimen C9 (reduksi 15%, temperatur 450°C + T6)



C7

Gambar 15. Mikrostruktur specimen C7 (reduksi 5%, temperatur 450°C + T6)

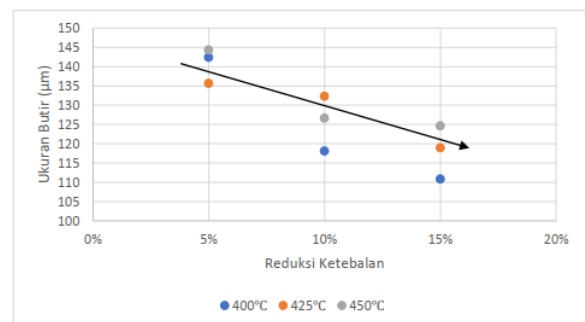


C8

Gambar 16. Mikrostruktur specimen C8 (reduksi 10%, temperatur 450°C + T6)

Tabel 2. Hasil perhitungan ukuran butir metode jeffries

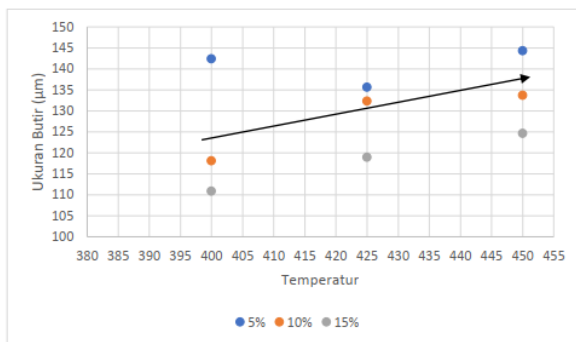
No.	Kode Spesimen	Ukuran Butir (µm)
1	A1 (<i>as-cast</i>)	140
2	B3 (400 °C ; 15%)	100,4
3	B6 (425 °C ; 15%)	136,6
4	B9 (450 °C ; 15%)	112,9
5	C1 (400 °C ; 5% + T6)	142,4
6	C2 (400 °C ; 10% + T6)	118,1
7	C3 (400 °C ; 15% + T6)	110,8
8	C4 (425 °C ; 5% + T6)	135,6
9	C5 (425 °C ; 10% + T6)	132,3
10	C6 (425 °C ; 15% + T6)	118,9
11	C7 (450 °C ; 5% + T6)	144,3
12	C8 (450 °C ; 10% + T6)	133,7
13	C9 (450 °C ; 15% + T6)	124,6



Gambar 18. Grafik pengaruh reduksi ketebalan benda kerja terhadap struktur mikro setelah proses perlakuan panas T6

Dari pengamatan mikrostruktur dihasilkan pengaruh variasi pada rentang reduksi ketebalan pengepressan setelah proses perlakuan panas T6, seperti yang ditunjukkan garis trendline dengan kecenderungan menurun, maka semakin besar

deformasi pada proses penekanan berpengaruh pada ukuran butir yang semakin kecil. Ukuran butir terbesar didapat pada kombinasi variasi reduksi 5% dan temperature 450°C sebesar 144,3 μm . Sedangkan ukuran butir terkecil didapat pada kombinasi variasi reduksi 15% dan temperature 400°C sebesar 110,8 μm . Hal ini disebabkan semakin tinggi deformasi ketebalan benda kerja, sehingga butiran mengecil menjadi pipih dan lebih merata. Mekanisme evolusi struktur butir pada proses pengerjaan panas (*hot working process*) menghasilkan butiran yang semakin halus diyakini disebabkan oleh pereduksian secara terus menerus pada komposit.

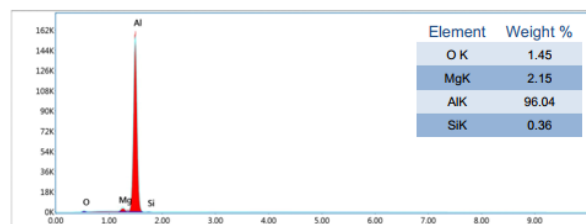


Gambar 19. Grafik pengaruh temperatur terhadap strukturmikro setelah proses perlakuan panas T6

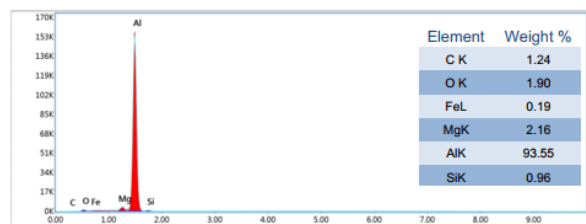
Dari pengamatan mikrostruktur dihasilkan pengaruh variasi pada rentang temperatur pengepressan setelah proses perlakuan panas T6, seperti yang ditunjukkan garis trendline dengan kecenderungan naik, maka semakin besar temperatur pemanasan pada proses penekanan berpengaruh pada ukuran butir yang semakin besar. Ukuran butir terbesar didapat pada kombinasi variasi temperatur 450°C dan reduksi 5% sebesar 144,3 μm . Sedangkan ukuran butir terkecil didapat pada kombinasi variasi temperatur 400°C dan reduksi 15% sebesar 110,8 μm . Hal ini disebabkan karena semakin besar temperature pemanasan pada proses pembentukan terjadinya proses rekristalisasi dinamis yang ber efek pada membesarnya ukuran butir. Pada *hot working process* menyebabkan perubahan mikrostruktur

dimana ukuran butir yang semakin kecil. Menurut (Dongtao Wang, dkk, 2019) pada proses pembentukan panas menunjukkan pengurangan ukuran butir lebih lanjut dan menunjukkan distribusi yang homogen akibat deformasi berturut-turut, material yang diberikan temperatur tinggi tertentu akan memiliki perilaku rekristalisasi dinamis yang merubah jumlah butirnya yang meningkat dan berpengaruh langsung pada sifat mekanik material. Hal ini terjadi disebabkan karena semakin tingginya temperatur pada proses pembentukan panas menyebabkan rekristalisasi dinamis yang menyebabkan seragamnya butiran dan semakin halus.

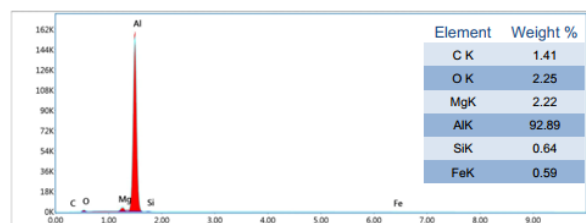
Hasil Karakterisasi SEM-EDX



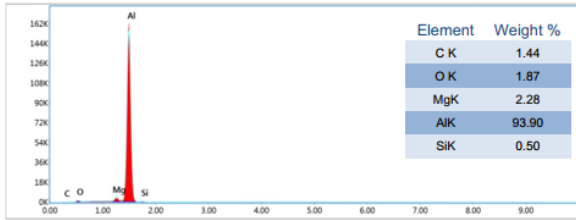
Gambar 20. Grafik hasil karakterisasi EDX spesimen A1



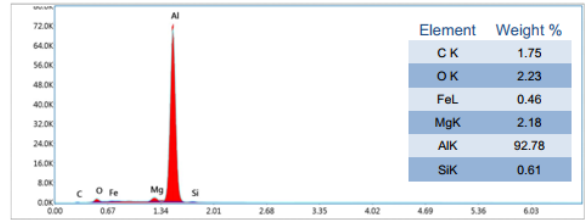
Gambar 21. Grafik hasil karakterisasi EDX spesimen B3



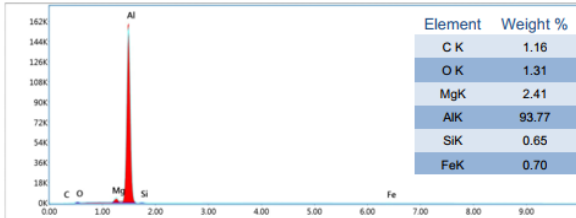
Gambar 22. Grafik hasil karakterisasi EDX spesimen B6



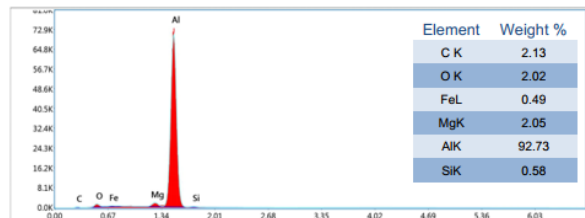
Gambar 23. Grafik hasil karakterisasi EDX spesimen B9



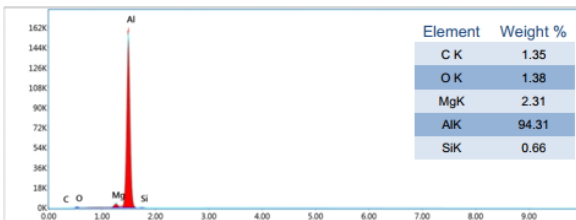
Gambar 28. Grafik hasil karakterisasi EDX spesimen C5



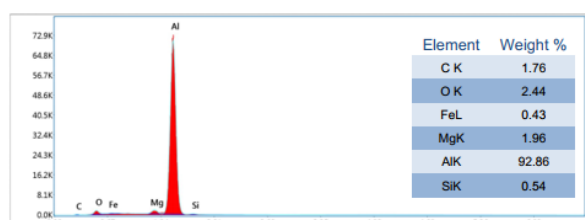
Gambar 24. Grafik hasil karakterisasi EDX spesimen C1



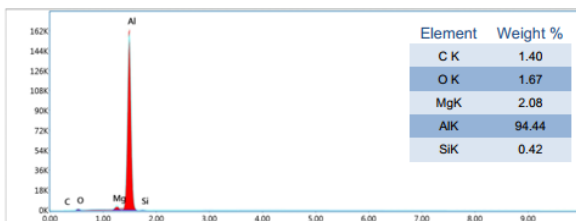
Gambar 29. Grafik hasil karakterisasi EDX spesimen C6



Gambar 25. Grafik hasil karakterisasi EDX spesimen C2



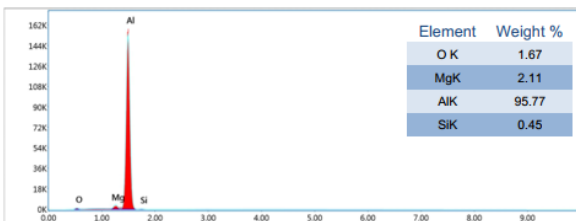
Gambar 30. Grafik hasil karakterisasi EDX spesimen C7



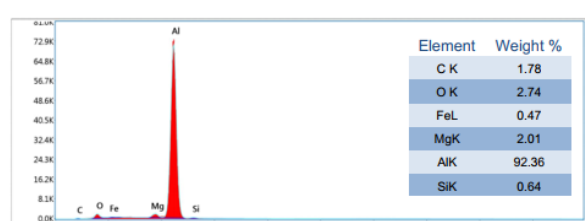
Gambar 26. Grafik hasil karakterisasi EDX spesimen C3



Gambar 31. Grafik hasil karakterisasi EDX spesimen C8



Gambar 27. Grafik hasil karakterisasi EDX spesimen C4



Gambar 32. Grafik hasil karakterisasi EDX spesimen C9

Tabel 3. Hasil karakterisasi SEM-EDX

Sampel	Presentase Unsur (%)						
	Al	Mg	Si	O	C	Fe	Ca
A1	96,04	2,15	0,36	1,45	-	-	-
B3	93,55	2,16	0,96	1,90	1,24	0,19	-
B6	92,89	2,22	0,64	2,25	1,41	0,59	-
B9	93,90	2,28	1,50	1,87	1,44	-	-
C1	93,77	2,41	0,65	1,31	1,16	1,70	-
C2	94,31	2,31	0,66	1,38	1,35	-	-
C3	94,44	2,08	0,42	1,67	1,40	-	-
C4	95,77	2,11	0,45	1,67	-	-	-
C5	92,78	2,18	0,61	2,23	1,75	0,46	-
C6	92,73	2,05	0,58	2,02	2,13	0,49	-
C7	92,86	1,96	0,54	2,44	1,76	0,43	-
C8	91,08	1,96	0,56	2,31	-	0,53	3,56
C9	92,36	2,01	0,64	2,74	1,78	0,47	-

Pengujian karakterisasi EDX waktu yang digunakan 100 detik dan energi sebesar 10.0 kV, untuk energi yang digunakan pada Al 1,487, Mg 1,239 dan Si 1,737 keV. Semakin tinggi dari puncak pada grafik EDX memiliki unsur paling tinggi (ASM Handbook Volume 9, 2004). Kandungan unsur Al mendominasi komposisi dengan hasil diatas 90 % dan diikuti unsur Si, Mg, Fe serta unsur oksida pada setiap specimen spektrum karakterisasi SEM-EDX.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian diperoleh hasil tentang pengaruh variasi temperature dan variasi deformasi ketebalan benda kerja pada proses *hot forging press* terhadap strukturmikro setelah proses perlakuan panas T6 pada AMC berpenguat abu dasar batubara sebagai berikut:

1. Pada variasi reduksi maka semakin besar deformasi pada proses penekanan berpengaruh pada ukuran butir yang semakin kecil. Ukuran butir terbesar didapat pada kombinasi variasi reduksi 5% dan temperature 450°C sebesar 144,3 μm . Sedangkan ukuran butir terkecil didapat pada kombinasi variasi reduksi 15% dan temperature 400°C sebesar 110,8 μm . Hal ini disebabkan semakin tinggi deformasi ketebalan benda kerja, sehingga butiran mengecil dan lebih merata. Mekanisme evolusi struktur butir pada proses pengerjaan panas menghasilkan pembentukan butiran yang halus diyakini disebabkan oleh pereduksian secara terus menerus pada komposit
2. Pada variasi temperature, semakin besar temperature pemanasan pada proses penekanan panaa berpengaruh pada ukuran butir yang semakin besar. Ukuran butir terbesar didapat pada kombinasi variasi temperatur 450°C dan reduksi 5% sebesar 144,3 μm . Sedangkan ukuran butir terkecil didapat pada kombinasi variasi temperatur 400°C dan reduksi 15% sebesar 110,8 μm . Hal ini disebabkan karena semakin besar temperature pemanasan pada proses pembentukan terjadinya proses rekristalisasi dinamis yang ber efek pada membesarnya ukuran butir.

PENGHARGAAN

Penghargaan setinggi-tingginya saya berikan kepada dosen pembimbing Bapak Harjo Seputro karena sudah banyak memberikan ilmu serta waktunya sehingga penelitian ini bisa selesai dengan baik.

REFERENSI

- American Society For Testing And Materials (2004). ASTM E112-96(2004)e2: Standard test methods for determining average grain size. Philadelphia, Pennsylvania, ASTM.
- American Society for Metals. 1985. ASM handbook. Vol. 9, Metallography and Microstructures. Materials Park, Ohio, ASM International.
- Bharathesh, T., Ramesh, C., Keshavamurthy, R., & Verma, S. 2015. Effect of Hot Forging on Mechanical Characteristics of Al6061-TiO₂ Metal Matrix Composite. Materials Today: Proceedings. 2, 2005-2012.
- Saurabh Tiwari, Sourav Das, & Venkat A N CH. 2019. Mechanical properties of Al-Si-SiC composites. 6.

Wang, D., Zhang, H. 2020. Microstructural homogeneity, mechanical properties, & wear behavior of in-situ Mg₂Si particles reinforced Al–matrix composites fabricated by hot rolling. *Journal of Materials Research and Technology*. 9, 1882-1892.