

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 *Stir Casting*

Pada pembuatan komposit ini diawali dengan metode *stir casting*, dimana pada metode ini Al 6061 dilebur pada tungku pembakaran sekitar 45 menit pada temperatur 850°C dan dilakukan pengadukan serta pemberian SiC dan Mg ketika sudah melebur dengan alat pengaduk (modifikasi bor tangan) dengan kecepatan 1500 rpm selama 3×5 menit dengan jeda waktu 5 menit pada setiap pengadukannya. Pada komposit ini memiliki komposisi Al 6061 sebanyak 90%, SiC sebanyak 5%, dan Mg sebanyak 5%. Pada komposit ini Al 6061 memiliki peran sebagai matrik dan SiC memiliki peran sebagai *reinforcement* atau penguat. Karena SiC memiliki kemampuan kebasahan atau *wetability* yang rendah, maka digunakan Mg yang memiliki peran sebagai *wetting agent* pada komposit ini serta dapat meningkatkan sifat mekanik dari komposit.

Leburan Al6061 yang sudah bercampur dengan SiC dan Mg selanjutnya dituang ke dalam cetakan yang telah dipanaskan sebelumnya agar tidak mengalami penurunan temperatur yang terlalu jauh yang dapat menyebabkan keretakan pada hasil pengecoran. Leburan komposit tersebut dituang hingga mendapatkan ketinggian sampel yang lebih tinggi dari cetakannya untuk membantu proses selanjutnya. Jika temperatur sudah mendekati temperatur ruangan, maka dikeluarkan sampel tersebut dan dilakukan sedikit perapihan pada sampel. Jika bentuk dari sampel sesuai dengan cetakan tanpa adanya patahan atau retak yang terjadi, maka proses *stir casting* bisa dikatakan berhasil.

4.2 *Thixoforming*

Al6061 yang telah dicampur dengan SiC dan Mg tersebut serta telah memadat selanjutnya dilakukan pemotongan pada bagian yang terlalu berlebihan seperti pada bagian sisi sampel yang melebihi ukuran dari

cetakannya. Selanjutnya sampel tersebut dimasukan kembali pada cetakan dan cetakan tersebut dimasukan ke dalam *maffle furnace* yang diatur dengan temperatur 750°C. Dari temperatur awal *maffle furnace* seperti temperatur ruangan menuju ke temperatur ruang bakar *maffle furnace* sebesar 750°C membutuhkan waktu sekitar 45 menit, pada temperatur tersebut dapat dilihat bahwasanya wujud dari komposit masih berbentuk *semi solid* atau belum sepenuhnya melebur yang dapat dilihat dari hasil penekanan.

Ketika ruangan pembakaran telah menyentuh temperatur 750°C, selanjutnya cetakan berisi komposit tersebut segera dikeluarkan dari *maffle furnace* dan diletakan pada mesin *press* berkekuatan 4 ton lalu diberikan penekanan serta penahanan dalam kondisi tersebut selama 5 menit. Setelah waktu tercapai, tekanan tersebut bisa dilepaskan dan cetakan beserta sampel dapat didinginkan pada suhu ruangan. Jika dilihat hasil dari penekanannya, terdapat cairan komposit yang meluber yang berbentuk menyerupai lingkaran serta berkurangnya ketebalan dari sampel yang membuktikan bahwasanya sampel tersebut telah menerima tekanan yang diberikan oleh mesin *press* dengan harapan porositas hasil dari pengecoran akan menghilang karena adanya pemberian tekanan.

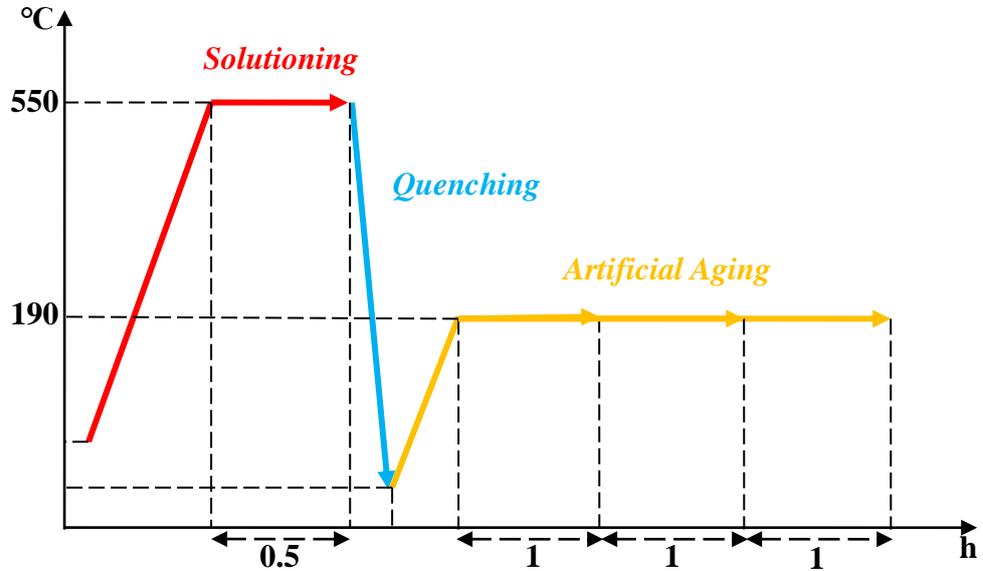
Tabel 4.1 Reduksi Ketebalan Sampel *Thixoforming*

Sampel <i>Thixoforming</i>	Ketebalan (mm)		Total Reduksi (mm)	Rata-rata Reduksi (mm)
	Sebelum	Sesudah		
1	16,3	13,7	2,6	3,12
2	17,0	12,4	4,6	
3	16,3	13,9	2,4	
4	16,4	13,5	2,9	

4.3 *Precipitation Hardening*

Pada *precipitation hardening process* terdapat tiga perlakuan panas yang dilakukan, yaitu *solutioning*, *quenching*, dan *artificial aging*. Akan tetapi, sebelum dilakukannya *precipitation hardening process* seluruh sampel harus melewati tahap *machining* yang bertujuan untuk membentuk

sampel sesuai dengan dimensi pada standar pengujian yang akan dilakukan. Berikut merupakan gambar diagram yang menjelaskan dari ketiga perlakuan panas tersebut.



Gambar 4.1 *Precipitation Hardening Process*

Pada *solutioning treatment*, temperatur dinaikan hingga 550°C dan ditahan pada temperatur tersebut selama 30 menit. Hal ini bertujuan untuk mengurangi ukuran butir atau fase yang tidak diinginkan dalam material, meningkatkan homogenitas yang dapat mendistribusikan penguat menjadi lebih merata, membantu mengurangi tegangan internal yang timbul akibat proses pembuatan material, dan sebagai proses awal dalam *heat treatment* selanjutnya.

Pada *solutioning treatment* ini juga terdapat proses oksidasi terbesar, hal ini dapat dibuktikan dari perubahan warna pada sampel yang digunakan. Terdapat beberapa jenis oksida yang terbentuk, yaitu Al_2O_3 (Aluminium Oksida) dan MgO (Magnesium Oksida), serta SiC juga dapat bereaksi dengan oksigen, terutama dalam temperatur tinggi yang dapat menghasilkan lapisan oksida pada permukaan butir SiC . Oksidasi tersebut dapat terjadi karena terpaparnya sampel dengan oksigen pada temperatur tinggi, hal tersebut dapat dicegah dengan menggunakan lingkungan yang bersifat inert ketika temperatur tinggi seperti argon atau nitrogen.

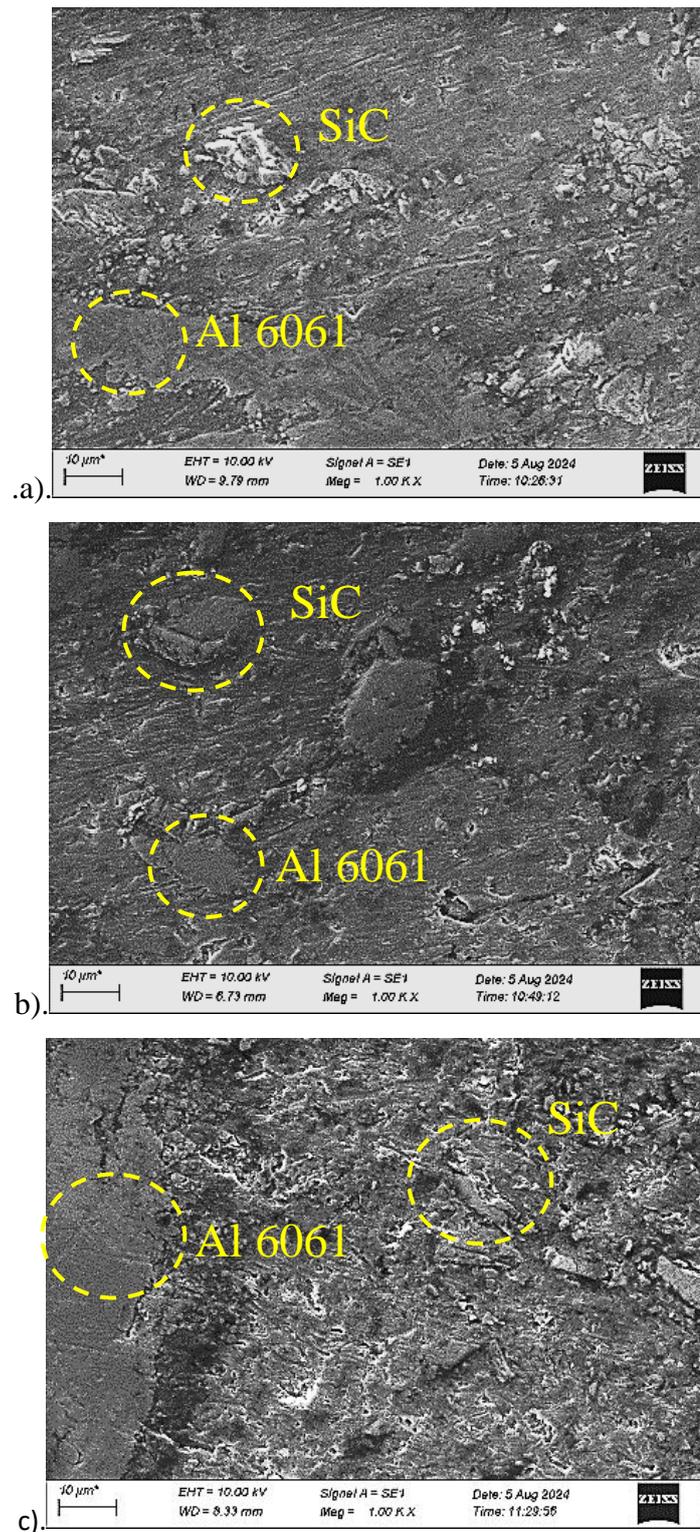
Proses *heat treatment* selanjutnya berupa *quenching* yang dimana material dengan temperatur 550°C bahkan lebih didinginkan secara cepat menggunakan media air dingin. Hal ini bertujuan untuk mempercepat pembekuan logam yang menghasilkan struktur mikro yang lebih keras serta meningkatkan kekerasan material, dapat menghasilkan serta mencegah pembentukan fase pada pendinginan lambat, dan dapat membantu dalam mempertahankan dimensi dari material yang telah melewati tahap *machining*.

Proses *heat treatment* yang terakhir ialah *artificial aging*. *Artificial aging* ini menggunakan temperatur sebesar 190°C dengan waktu penahanan pada temperatur tersebut selama 1 jam, 2 jam, dan 3 jam. Dimana dari ketiga variabel tersebut akan dicari hasil terbaiknya dari ketiga pengujian yang dilakukan yaitu pengamatan struktur mikro, uji impak, dan uji kekerasan. *Artificial aging* ini bertujuan untuk meningkatkan sifat mekanik pada material dengan cara mempercepat pembentukan serta pengendapan fase penguat pada material dan juga dapat mengoptimalkan distribusi penguat yang merata pada material. Variasi temperatur dan waktu aging dapat mempengaruhi perkembangan fase pada material tersebut. Jika temperatur dan waktu penahanan kurang, maka pembentukan fase penguat yang terjadi menjadi kurang optimal. Begitu pun dengan temperatur dan waktu penahanan berlebih dapat menyebabkan penurunan kekerasan yang disebabkan oleh pertumbuhan butiran yang berlebih atau pembentukan fase yang tidak diharapkan.

4.4 Pengamatan Struktur Mikro

Pada sampel yang telah dilakukan *artificial aging* dengan variasi waktu penahanan selama 1 jam, 2 jam, dan 3 jam, sampel tersebut dilakukan pengamatan struktur mikro menggunakan alat bernama Zeiss EVO 10 *Scanning Electron Microscope* (SEM). Hasil yang didapat pada pengujian tersebut berupa gambar *Scanning Electron Microscope* (SEM) serta gambar *Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy* (EDS) pada bagian *cross section*, berikut merupakan gambar hasil pengujian SEM dengan perbesaran

1000× pada sampel dengan waktu penahanan *artificial aging* selama 1 jam, 2 jam, dan 3 jam yang dapat dilihat di bawah ini.

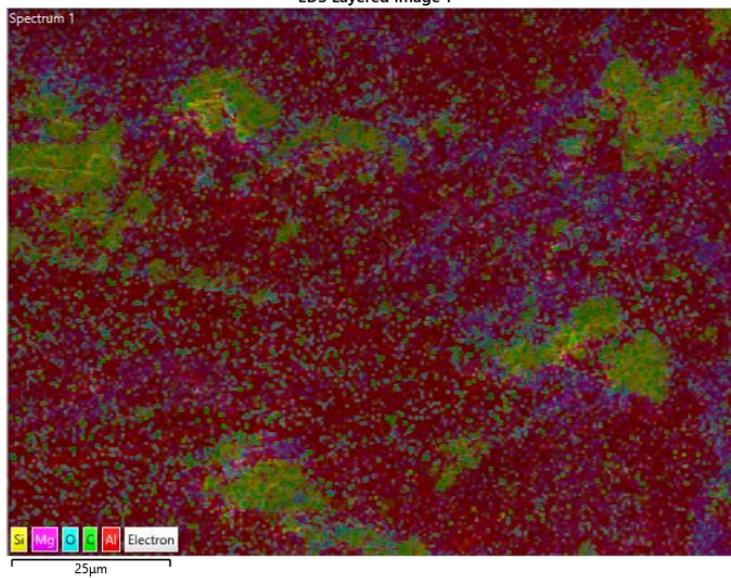


Gambar 4.2 SEM 1000× *Artificial Aging* a).1 Jam ; b).2 Jam ; c). 3 Jam

Pada hasil pengujian SEM dengan ketiga waktu penahanan pada *artificial aging* tersebut, dapat dilihat bahwa Al 6061 menjadi latar belakang dari gambar hasil pengujian. Hal ini membuktikan bahwa Al 6061 merupakan komponen utama atau matriks (memiliki kandungan tertinggi) pada komposit yang diuji. Sedangkan untuk penguat Mg dapat menjadi presipitat dengan Si yang membentuk Mg_2Si (*Magnesium Silicide*) yang diduga dapat dilihat pada gambar berupa partikel-partikel kecil yang tersebar pada matriks Al 6061. Serta pada ketiga gambar tersebut tidak ditemukannya indikasi porositas pada sampel yang biasanya ditandai dengan warna yang cenderung kehitaman, hal ini membuktikan bahwa tujuan dari *thixoforming* bisa dikatakan tercapai karena porositas akibat dari proses pengecoran tidak terlihat pada gambar hasil SEM tersebut.

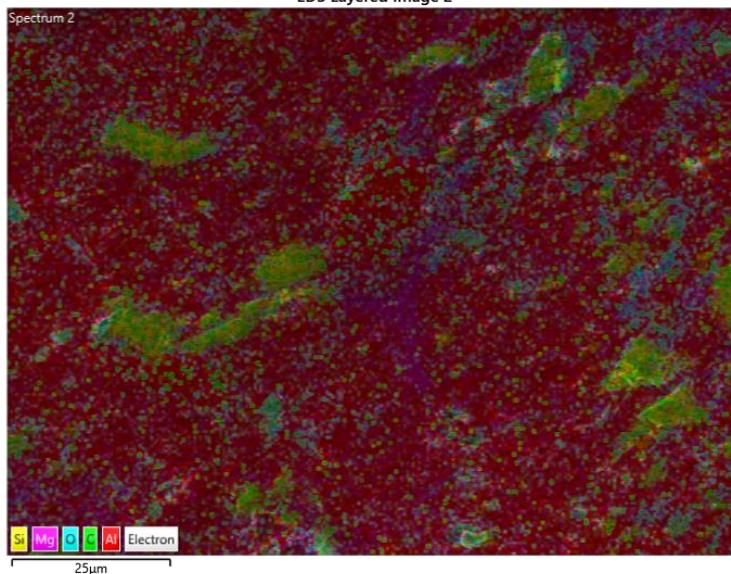
Jika dibandingkan dari ketiga gambar hasil SEM tersebut, dapat dilihat bahwa seiring bertambahnya waktu penahanan pada *artificial aging*, maka butir-butir partikel semakin mengecil atau dengan kata lain partikel tersebut berpecah menjadi beberapa bagian yang kemudian bergerak menjauhi induknya dengan tujuan pendistribusian penguat yang merata pada matriks Al 6061. Hal ini sesuai dengan fungsi dari *precipitation hardening process* yaitu mengoptimalkan pendistribusian dari penguat yang ada, serta dapat membentuk fasa baru dari kedua penguat yaitu SiC dan Mg yang menjadi Mg_2Si . Presipitat ini lah yang memiliki peran penting untuk meningkatkan kekuatan dan kekerasan dari sampel yang akan diuji. Untuk penggambaran lebih jelas dari partikel-partikel yang tersebar tersebut dapat dilihat pada gambar hasil *mapping* EDS serta spektrum dengan waktu penahanan 1 jam, 2 jam, dan 3 jam yang dapat dilihat di bawah ini.

EDS Layered Image 1

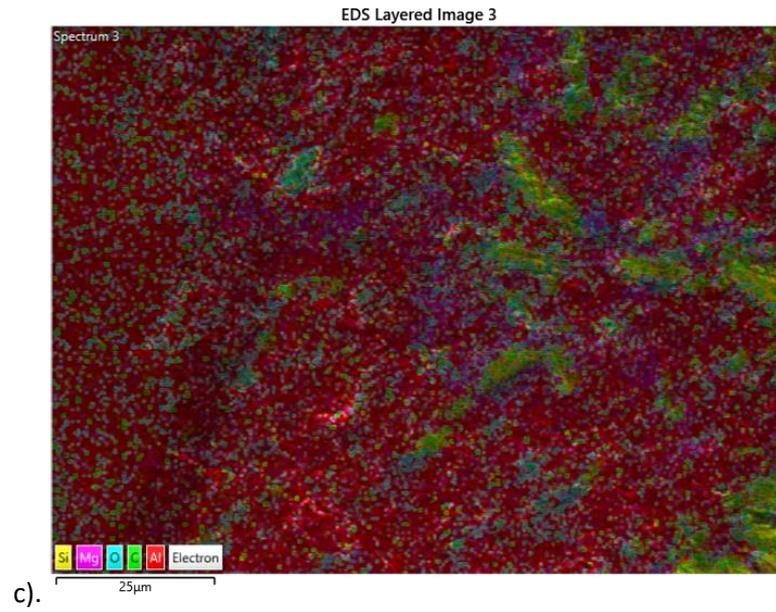


a).

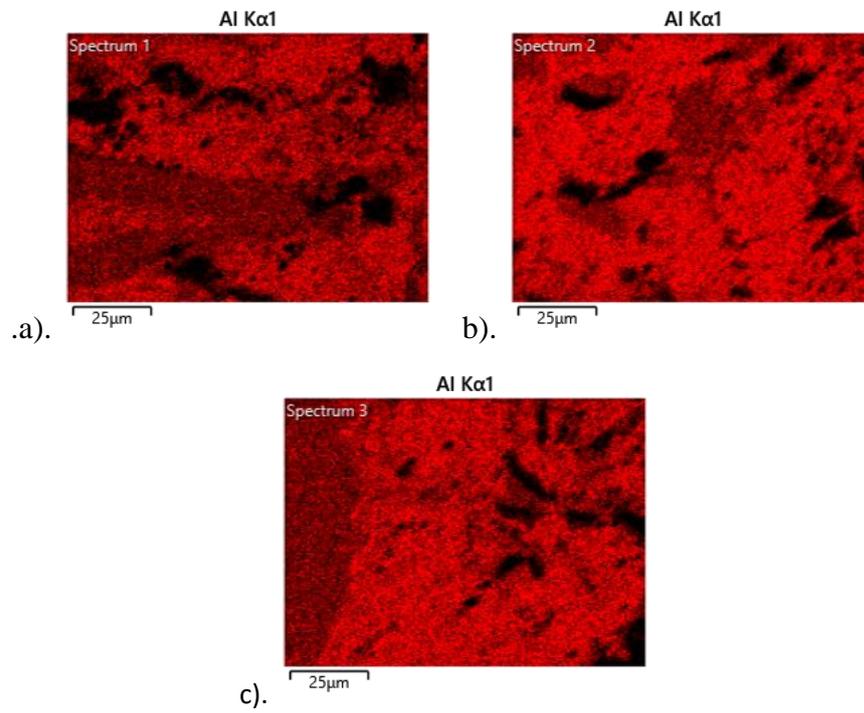
EDS Layered Image 2



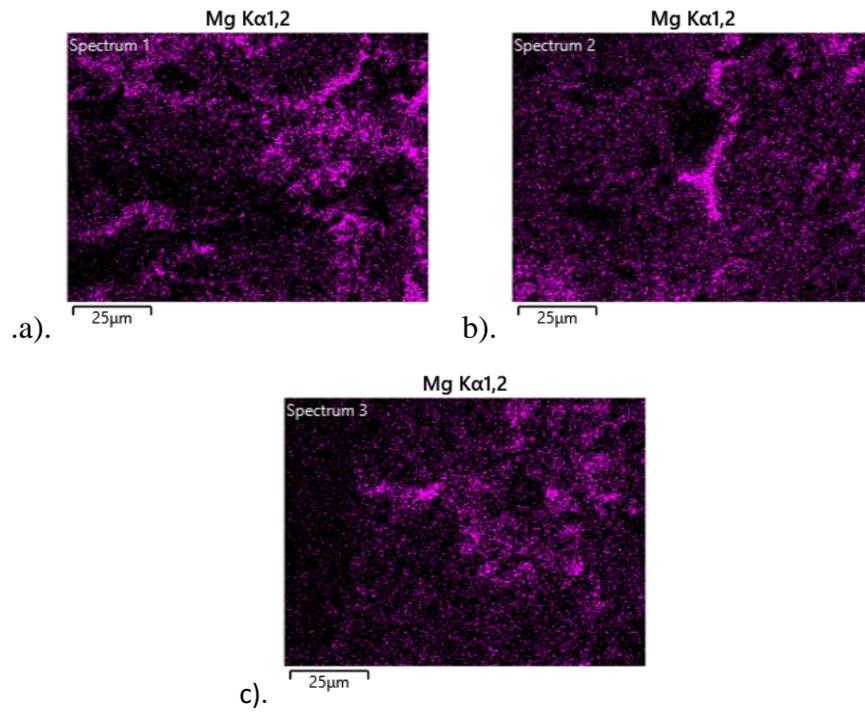
b).



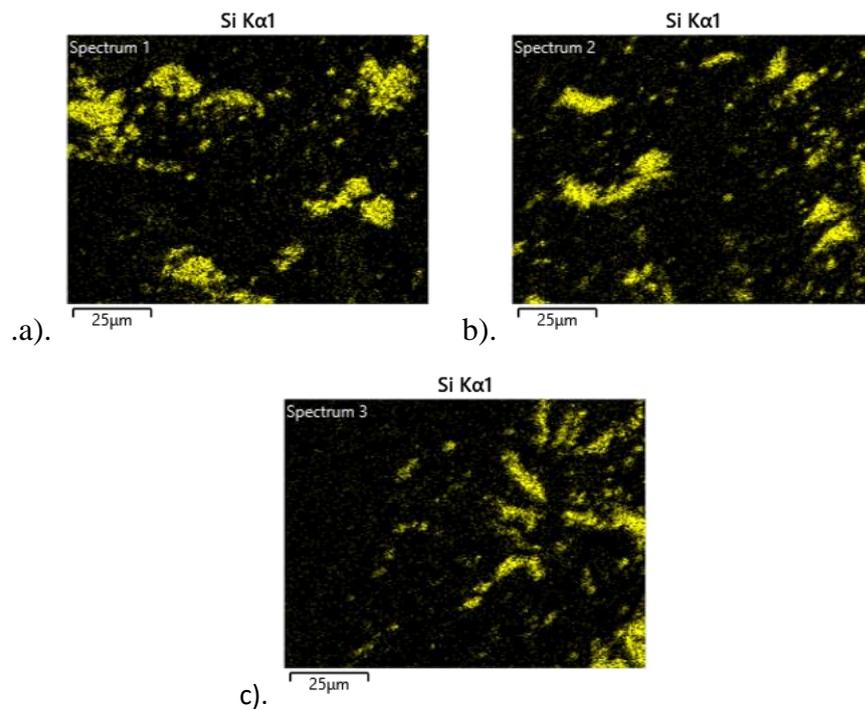
Gambar 4.3 EDS Mapping Artificial Aging a).1 Jam ; b).2 Jam ; c). 3 Jam



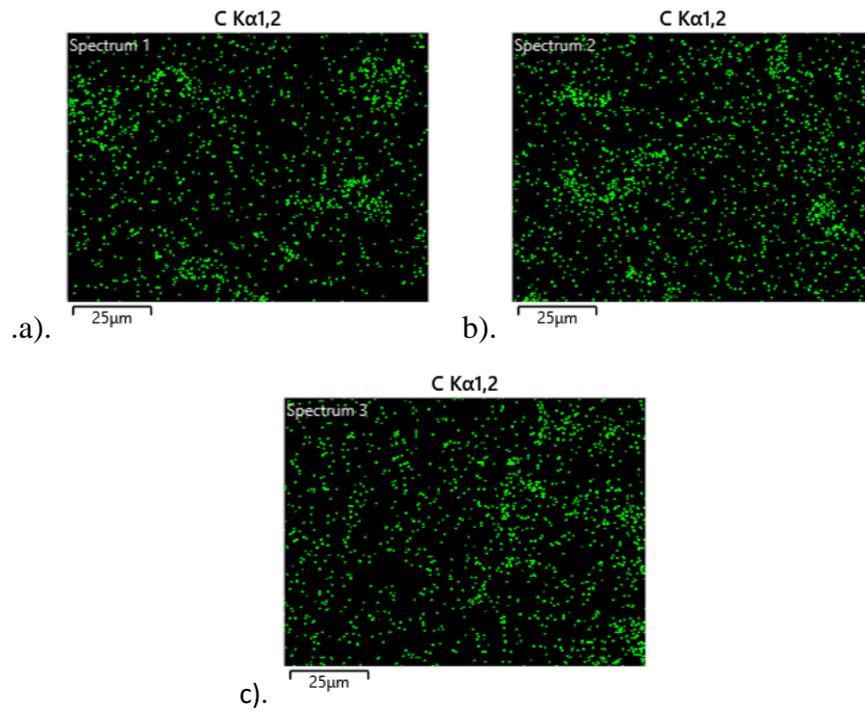
Gambar 4.4 Unsur Al Artificial Aging a).1 Jam ; b).2 Jam ; c). 3 Jam



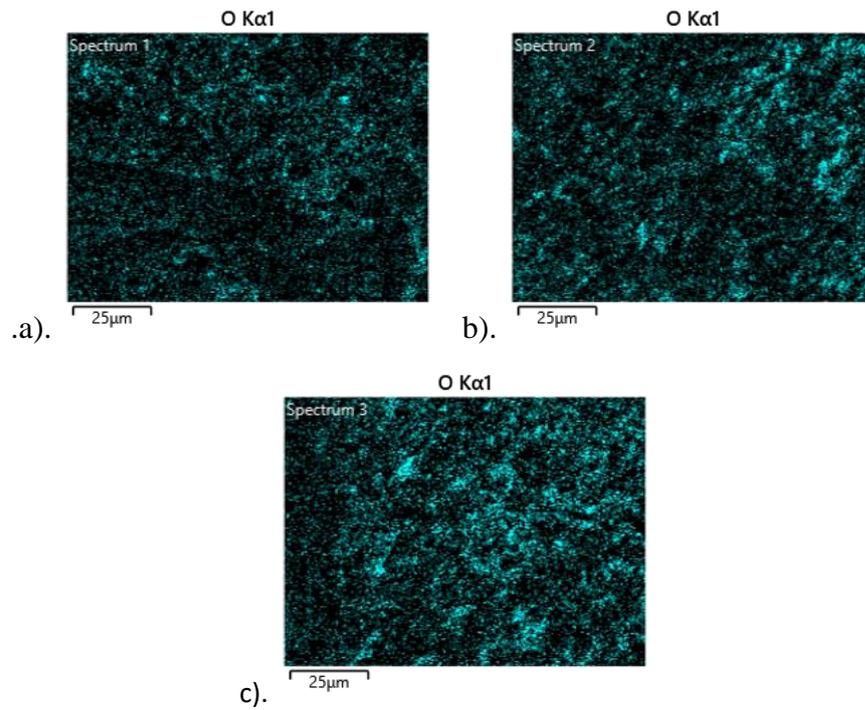
Gambar 4.5 Unsur Mg *Artificial Aging* a).1 Jam ; b).2 Jam ; c). 3 Jam



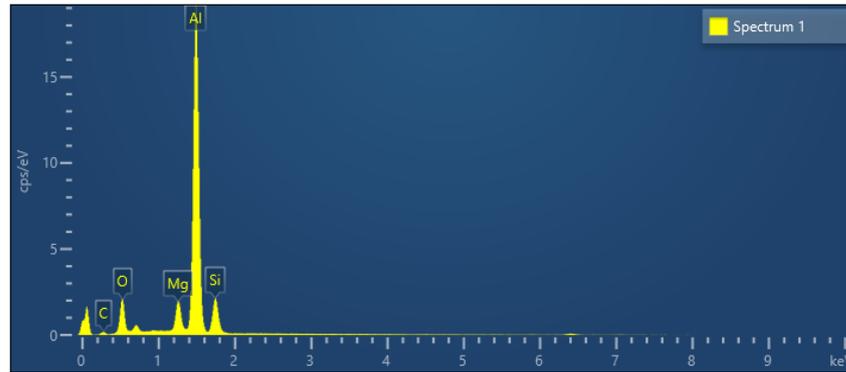
Gambar 4.6 Unsur Si *Artificial Aging* a).1 Jam ; b).2 Jam ; c). 3 Jam



Gambar 4.7 Unsur C Artificial Aging a).1 Jam ; b).2 Jam ; c). 3 Jam



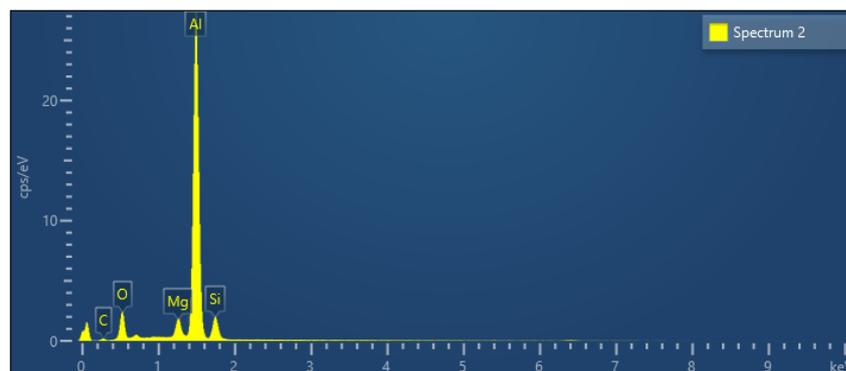
Gambar 4.8 Unsur O Artificial Aging a).1 Jam ; b).2 Jam ; c). 3 Jam



Gambar 4.9 Spektrum EDS *Artificial Aging* 1 Jam

Tabel 4.2 Tabel Komposisi Hasil EDS *Artificial Aging* 1 Jam

Spectrum 1				
Element	Line Type	Weight %	Weight % Sigma	Atomic %
C	K series	5.98	0.35	11.58
O	K series	12.31	0.15	17.89
Mg	K series	5.08	0.07	4.86
Al	K series	65.95	0.29	56.83
Si	K series	10.68	0.12	8.85
Total		100.00		100.00



Gambar 4.10 Spektrum EDS *Artificial Aging* 2 Jam

Tabel 4.3 Tabel Komposisi Hasil EDS *Artificial Aging* 2 Jam

Spectrum 2				
Element	Line Type	Weight %	Weight % Sigma	Atomic %
C	K series	4.87	0.30	9.62
O	K series	11.09	0.12	16.44
Mg	K series	3.47	0.06	3.39
Al	K series	72.66	0.26	63.87
Si	K series	7.90	0.10	6.68
Total		100.00		100.00

**Gambar 4.11** Spektrum EDS *Artificial Aging* 3 Jam**Tabel 4.4** Tabel Komposisi Hasil EDS *Artificial Aging* 3 Jam

Spectrum 3				
Element	Line Type	Weight %	Weight % Sigma	Atomic %
C	K series	5.48	0.42	10.70
O	K series	11.99	0.18	17.57
Mg	K series	2.65	0.07	2.55
Al	K series	72.34	0.37	62.88
Si	K series	7.54	0.13	6.30
Total		100.00		100.00

Gambar hasil dari *mapping* EDS ini sama seperti gambar hasil SEM dengan perbesaran 1000 \times , namun pada EDS ini terdeteksi dari setiap unsur-unsur penyusun pada sampel uji. Sesuai dengan hasil analisa pada gambar SEM, penguat Mg dan SiC yang terdapat pada sampel semakin menyebar dan berpecah menjadi butir-butir yang lebih kecil. Jika dilihat pada ketiga gambar EDS *mapping*, indikasi presipitat dengan jumlah terbanyak terdapat pada sampel dengan waktu penahanan *artificial aging* selama 3 jam. Indikasi ini dapat terjadi karena pada sampel tersebut besaran butir-butir

dengan ukuran yang kecil dari unsur penyusun presipitat Mg_2Si yaitu Mg dan Si sudah semakin banyak dan menyebar serta terkesan menyatu jika dilihat pada gambar hasil *mapping* EDS, hal tersebut menjadi alasan bahwa sudah terbentuknya fasa baru dari kedua unsur tersebut.

Pada awal terbentuknya presipitat, presipitat memiliki ukuran butir yang sangat halus dan terdistribusi secara merata pada Al 6061. Seiring dengan lamanya waktu *artificial aging*, presipitat tersebut semakin berkembang menjadi butir yang lebih besar. Oleh karena itu pada sampel dengan penahanan waktu *artificial aging* selama 3 jam memiliki butir-butir partikel penguat seperti Mg dan Si yang dapat dilihat dengan baik lebih menyebar pada matriks Al 6061. Dalam perannya untuk meningkatkan nilai dari kekuatan dan kekerasan pada sampel, presipitat bekerja dengan cara menghambat pergerakan dislokasi pada matriks Al 6061.

Untuk komposisi unsur yang terdapat pada komposit tersebut dapat dilihat pada gambar grafik atau pun tabel di atas, dapat dilihat bahwa setiap sampel uji memiliki kandungan yang beragam walau bersumber dari hasil pengecoran yang sama. Hal tersebut merupakan dampak dari pengadukan pada proses *stir casting* yang kurang merata. Dengan adanya data tersebut, dugaan terdapat presipitat semakin kuat karena terdapat unsur penyusun dari presipitat Mg_2Si . Untuk jenis unsur yang memiliki komposisi lebih besar jika dibandingkan dengan proses penimbangan pada saat *stir casting*, hal ini dapat terjadi karena Al 6061 terdiri dari beberapa unsur penyusun lain selain dari aluminium itu sendiri. Dan terdapat nilai dari oksigen yang lebih besar dari nilai penguat, hal itu membuktikan bahwa terjadinya oksidasi selama proses perlakuan berlangsung yang didukung oleh menghitamnya warna dari permukaan sampel yang sudah melewati seluruh perlakuan.

4.5 Uji Kekerasan

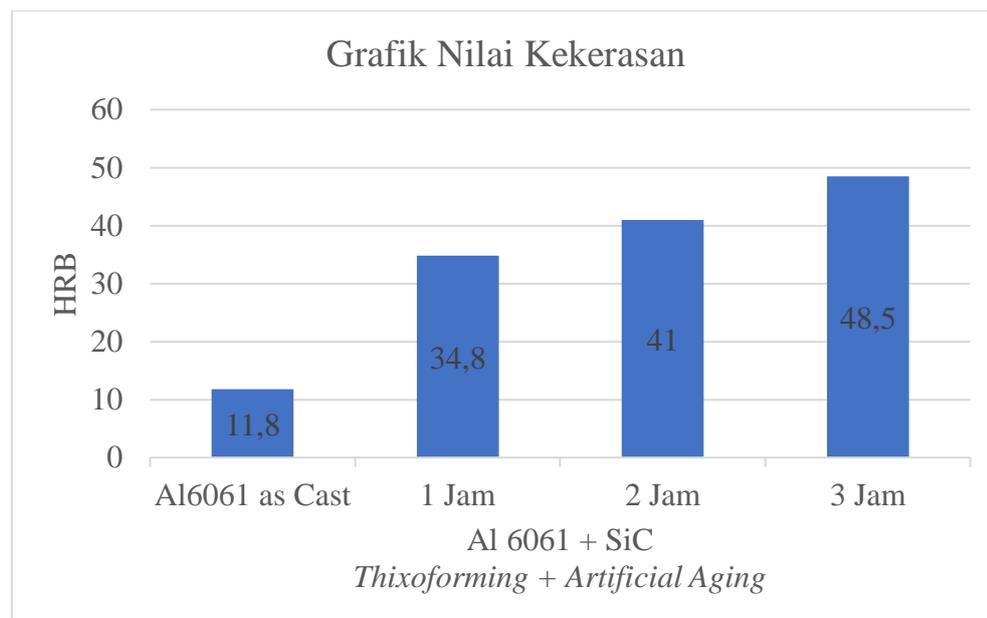
Setelah dilakukannya pengamatan dari struktur mikro yang terbentuk pada sampel, selanjutnya dilakukan uji kekerasan untuk mengetahui nilai kekerasan maksimum yang dapat diterima oleh sampel. Pada uji kekerasan ini menggunakan standar ASTM E18 dengan alat yang bernama *Rockwell*

Type Hardness Tester FR-X Series yang menggunakan *indentor* bola baja dengan pembebanan 100 kgf. Untuk satuan yang dihasilkan dari pengujian ini yaitu HRB. Pada uji kekerasan ini terdapat 3 sampel dengan variabel yang berbeda, serta 1 sampel berupa Al6061 hasil dari pengecoran dengan 3 titik pengujian pada tiap sampel. Berikut merupakan tabel hasil dari pengujian kekerasan yang dapat dilihat di bawah ini.

Tabel 4.5 Tabel Hasil Uji Kekerasan

	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Rata-rata
Al6061 as Cast	12,7	9,3	13,3	11,8
1 Jam	35,9	39,6	28,9	34,8
2 Jam	40,2	36,8	45,9	41
3 Jam	42,7	53,3	49,6	48,5

Dari tabel tersebut dapat digambarkan menjadi suatu grafik garis yang dapat digunakan dalam mempermudah untuk pembuatan analisis hasil pengujian kekerasan dari setiap variabel sampel yang dapat dilihat di bawah ini.



Gambar 4.12 Grafik Nilai Kekerasan

Dapat dilihat pada data hasil uji kekerasan di atas, terdapat kenaikan pada setiap variabel sampel. Hal tersebut membuktikan bahwa *artificial*

aging dapat membentuk fasa baru yaitu presipitat Mg_2Si yang dimana sesuai dengan pengamatan struktur mikro, semakin lama waktu penahanan pada *artificial aging* maka semakin banyak pula presipitat yang terbentuk. Hal ini berbanding lurus dengan nilai kekerasan yang dihasilkan oleh setiap variabel karena meningkatkan kekuatan dan kekerasan dari sampel merupakan dampak dari adanya presipitat. Sedangkan terdapatnya perbedaan nilai dari setiap titik pengujian pada sampel dengan variabel yang sama dapat terjadi karena persebaran penguat yang kurang sempurna. Selain presipitat, oksidasi juga dapat menjadi salah satu faktor dari peningkatan kekerasan pada sampel uji.

4.6 Uji Impak

Setelah dilakukannya pengujian kekerasan, selanjutnya dilakukan uji impak untuk mengetahui nilai energi yang dapat diserap oleh sampel. Pada uji impak ini menggunakan metode *charpy* dengan standar ASTM E23. Dimensi dari sampel uji impak sebesar $10 \times 10 \times 5.5$ mm dengan energi yang diberikan sebesar 300 joule.

Pada pengujian ini didapatkan nilai dari energi yang diserap oleh sampel yang kemudian dilakukan perhitungan untuk mencari nilai impak yang dihasilkan pada setiap sampel. Berikut merupakan rumus yang digunakan untuk mencari nilai impak yang dapat dilihat di bawah ini.

$$\text{Luas Penampang} = P \text{ (mm)} \times L \text{ (mm)} \dots \dots \dots (4.1)$$

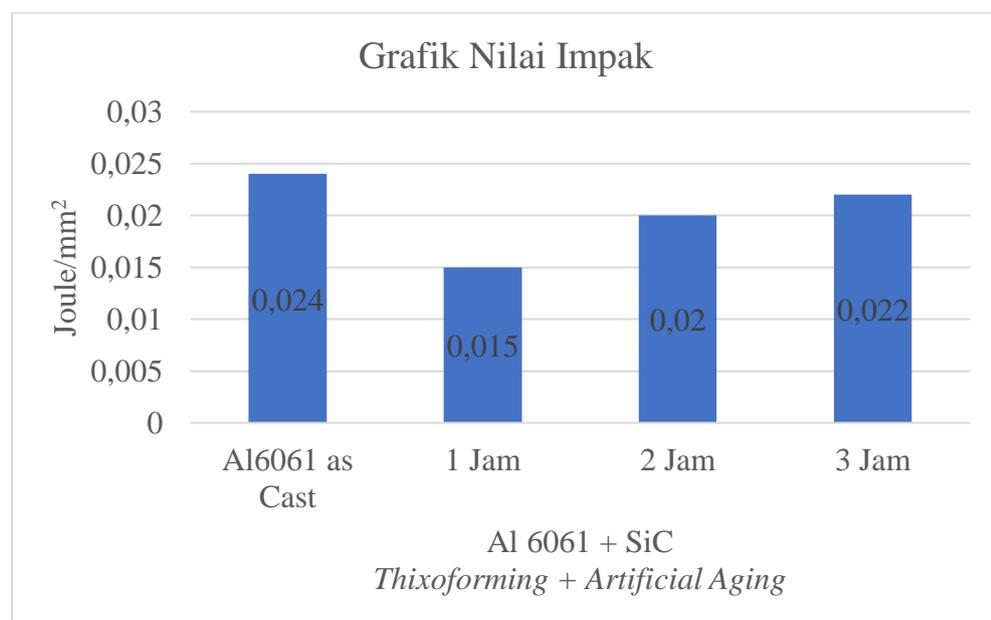
$$\text{Nilai Impak} = \frac{\text{Energi Diserap (Joule)}}{\text{Luas Penampang (mm}^2\text{)}} \dots \dots \dots (4.2)$$

Setelah seluruh hasil pengujian impak dihitung menggunakan kedua rumus di atas, selanjutnya nilai impak yang didapatkan dari seluruh pengujian dirangkum dalam bentuk suatu tabel yang dapat dilihat di bawah ini.

Tabel 4.6 Tabel Hasil Uji Impak

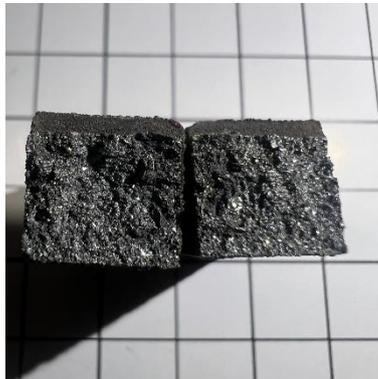
Variabel Sampel	Sampel Ke-	Luas Penampang	Energi Diserap	Nilai Impak	Rata-rata
Al6061 as Cast	Sampel 1	100	2,7	0,027	0,024
	Sampel 2	100	2,1	0,021	
	Sampel 3	100	2,3	0,023	
1 Jam	Sampel 1	100	1,8	0,018	0,015
	Sampel 2	100	1,5	0,015	
	Sampel 3	100	1,2	0,012	
2 Jam	Sampel 1	100	1,9	0,019	0,02
	Sampel 2	100	2	0,02	
	Sampel 3	100	2,1	0,021	
3 Jam	Sampel 1	100	2,2	0,022	0,022
	Sampel 2	100	2,1	0,021	
	Sampel 3	100	2,3	0,023	

Dari data hasil perhitungan nilai impak tersebut, digambarkan dalam bentuk gambar grafik untuk mempermudah melakukan analisis data. Berikut merupakan grafik dari nilai impak yang dapat dilihat di bawah ini.

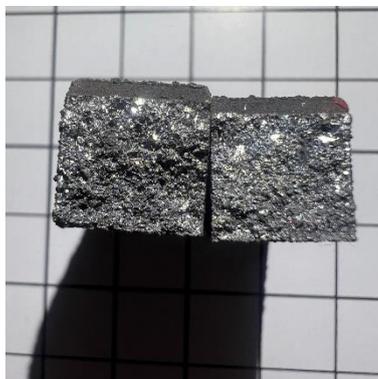


Gambar 4.13 Grafik Nilai Impak

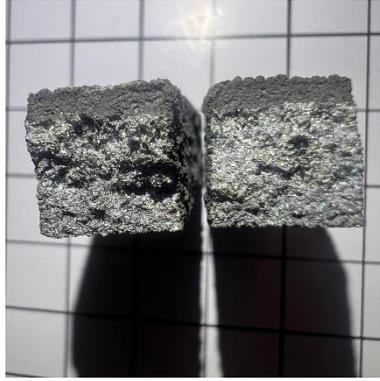
Dapat dilihat pada gambar grafik nilai impak di atas, nilai impak pada sampel Al6061 hasil pengecoran mendapatkan nilai yang lebih tinggi dari pada ketiga variabel sampel hasil dari *artificial aging*. Hal tersebut dapat terjadi karena adanya *heat treatment* yang dilakukan pada sampel, *heat treatment* tersebut membuat nilai kekerasan sampel menjadi tinggi akan tetapi mengorbankan nilai dari energi yang dapat diserapnya. Namun jika dibandingkan dengan sesama hasil dari *artificial aging*, nilai impak mengalami kenaikan seiring dengan penambahan penahanan waktu. Jika dibandingkan dengan kenaikan pada nilai kekerasan, kenaikan pada nilai impak ini cenderung kecil. Hasil dari patahan uji yang didapatkan merupakan patahan getas, berikut merupakan gambar patahan sampel hasil dari pengujian yang dapat dilihat di bawah ini.



Gambar 4.14 Patahan *Artificial Aging* 1 Jam



Gambar 4.15 Patahan *Artificial Aging* 2 Jam



Gambar 4.16 Patahan *Artificial Aging* 3 Jam