



MEKANIKA - JURNAL TEKNIK MESIN

Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

Volume 9 No. 2 (2026)

ISSN: 2460-3384 (p); 2686-3693 (e)

ANALISIS KARAKTERISASI STRUKTURMIKRO DAN FASA CORAN *REMelting* ALUMINIUM AA 6061 AKIBAT VARIASI TEMPERATUR DAN WAKTU AGING PERLAKUAN PANAS T6

Muhammad Luqman Hakim¹, Harjo Seputro²

¹ Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya
Jalan Semolowaru No. 45 Surabaya 60118, Tel. 031-5931800, Indonesia
email: mluqmanhakim0825@gmail.com

ABSTRAK

Paduan aluminium AA 6061 merupakan salah satu material yang banyak digunakan pada bidang industri karena memiliki sifat ringan, ketahanan korosi yang baik, serta mampu meningkatkan sifat mekaniknya melalui perlakuan panas. Perlakuan panas T6 merupakan salah satu metode untuk meningkatkan kekuatan material melalui mekanisme penguatan presipitasi dengan pembentukan fasa penguat berupa Mg_2Si . Namun, pada material hasil *remelting* terjadi perubahan karakteristik strukturmikro akibat adanya segregasi unsur, perubahan distribusi presipitat, serta kemungkinan terbentuknya fasa intermetalik yang dapat mempengaruhi sifat mekanik material. Oleh karena itu, pengaturan temperatur dan waktu *aging* menjadi faktor penting dalam menentukan evolusi fasa yang terbentuk pada coran *remelting* AA 6061. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi temperatur dan waktu *aging* perlakuan panas T6 terhadap fasa yang terbentuk pada coran *remelting* AA 6061 serta mengetahui pengaruhnya terhadap nilai kekerasan material. Metode penelitian dilakukan dengan proses *remelting* aluminium AA 6061 menggunakan tungku krusibel, kemudian dilakukan perlakuan panas T6 dengan tahapan *solution treatment*, *quenching*, dan *artificial aging* dengan variasi temperatur 165°C, 185°C, dan 205°C serta variasi waktu penahanan 1,5 jam, 2,5 jam, dan 3,5 jam. Pengamatan strukturmikro dan Fasa yang terbentuk menggunakan SEM-EDX (Scanning Elektron Microscope – Energy Dispersive X-ray Spectroscopy), sedangkan sifat mekanik material dianalisis menggunakan pengujian kekerasan Brinell. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan panas T6 memberikan pengaruh terhadap perubahan struktur mikro dan pembentukan fasa pada material AA 6061 hasil *remelting*. Berdasarkan hasil SEM-EDX, fasa utama yang terbentuk berupa matriks $\alpha-Al$ dengan adanya presipitat yang mengandung unsur Mg dan Si yang menunjukkan terbentuknya fasa Mg_2Si sebagai fasa penguat. Selain itu ditemukan unsur Fe dan Si yang berpotensi membentuk fasa intermetalik $AlFeSi$ akibat pengaruh proses *remelting*. Variasi temperatur dan waktu *aging* menyebabkan perubahan perkembangan presipitat, dimana peningkatan temperatur dan waktu *aging*

mempercepat proses difusi Mg dan Si sehingga meningkatkan pembentukan presipitat hingga mencapai kondisi optimum sebelum mengalami *overaging*. Hasil pengujian kekerasan Brinell menunjukkan bahwa perlakuan *aging* memberikan peningkatan nilai kekerasan dibandingkan spesimen tanpa perlakuan panas. Nilai kekerasan tertinggi diperoleh pada spesimen M2 dengan temperatur aging 185°C selama 2,5 jam yaitu sebesar 67,91 HB, yang menunjukkan kondisi pembentukan presipitat paling optimal dalam meningkatkan kekerasan material. Setelah melewati kondisi optimum, peningkatan waktu *aging* menyebabkan kecenderungan penurunan kekerasan akibat pertumbuhan presipitat yang menyebabkan efek *overaging*. Berdasarkan penelitian ini dapat disimpulkan bahwa variasi temperatur dan waktu *aging* pada perlakuan panas T6 berpengaruh terhadap pembentukan fasa dan sifat mekanik coran *remelting* AA 6061. Pembentukan presipitat Mg_2Si yang optimal mampu meningkatkan kekerasan material melalui mekanisme penguatan presipitasi, sedangkan perlakuan *aging* berlebih dapat menyebabkan penurunan efektivitas penguatan akibat perubahan ukuran dan distribusi presipitat.

Kata kunci: AA 6061, *Remelting*, Perlakuan Panas T6, Aging, SEM-EDX, Kekerasan Brinell.

PENDAHULUAN

Paduan aluminium AA 6061 banyak digunakan karena ringan, berkekuatan tinggi, dan tahan korosi. Sifat mekaniknya dapat ditingkatkan melalui perlakuan panas T6 yang membentuk presipitat penguat hasil proses *aging*. Namun, pada material hasil *remelting*, strukturmikro menjadi lebih kompleks akibat segregasi, porositas, dan fasa intermetalik. Oleh karena itu, variasi temperatur dan waktu *aging* menjadi faktor penting yang memengaruhi pembentukan fasa dan karakteristik strukturmikro coran AA 6061.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui dan menganalisis pengaruh variasi temperatur serta waktu penuaan pada perlakuan panas T6 terhadap fasa yang terbentuk pada material coran *remelting* AA 6061. Penelitian ini diarahkan untuk memahami bagaimana perubahan parameter *aging* dapat memodifikasi fasa yang muncul, baik dalam hal jumlah, ukuran, maupun distribusinya. Dengan mengetahui fasa yang muncul pada setiap kombinasi temperatur dan waktu *aging*, maka dapat ditentukan kondisi perlakuan panas yang paling optimal dalam menghasilkan strukturmikro yang berpotensi meningkatkan sifat mekanik produk akhir.

Metode penelitian meliputi proses *remelting* bahan baku AA 6061, kemudian dilakukan perlakuan panas T6 dengan variasi temperatur dan waktu *aging* yang telah ditentukan. Sampel selanjutnya dianalisis menggunakan SEM dan untuk mengidentifikasi jenis fasa. Untuk mengetahui sifat mekaniknya juga dilakukan pengujian kekerasan brinell sebagai kekuatan material hasil rekayasa variasi temperatur dan suhu penuaan *aging* T6. Hipotesis penelitian ini adalah bahwa semakin tinggi temperatur atau semakin lama waktu *aging*, fasa metastabil seperti GP zone dan β'' akan mulai berevolusi menuju fasa β' atau bahkan fasa stabil β - Mg_2Si , sehingga menyebabkan kenaikan ukuran presipitat dan kemungkinan penurunan kekuatan akhir akibat *overaging*.

Kebaruhan penelitian ini terletak pada fokusnya terhadap material hasil *remelting*, yang secara mikrostruktural berbeda dari bahan ekstrusi atau paduan logam yang biasa digunakan

pada penelitian sebelumnya. Sebagian besar studi terdahulu hanya menganalisis pengaruh parameter T6 pada AA 6061 murni, tanpa mempertimbangkan pengaruh proses peleburan ulang yang dapat menimbulkan perubahan komposisi, segregasi unsur, dan presipitat awal. Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi baru dalam memahami perilaku presipitat dan fasa yang terbentuk pada material coran *remelting* AA 6061, sehingga hasilnya dapat menjadi acuan dalam optimasi coran *remelting* AA 6061.

PROSEDUR EKSPERIMEN

Proses Remelting AA 6061 dengan Tungku Induksi

Proses *remelting* diawali dengan pemanasan cetakan untuk mencegah cacat coran. Selanjutnya, AA 6061 dilebur pada temperatur 650–750°C dan dituangkan ke dalam cetakan. Setelah penuangan, coran didinginkan pada suhu ruang hingga membeku, kemudian dikeluarkan dari cetakan secara hati-hati untuk memperoleh spesimen yang utuh.

Proses Pembuatan Spesimen Uji Kekerasan Brinell

Pembuatan spesimen diawali dengan pembubutan untuk meratakan permukaan coran, dilanjutkan pemotongan menggunakan gerinda, pengamplasan, serta proses *grinding* dan *polishing* menggunakan mesin MP-2B metalografi. Selanjutnya, spesimen diukur menggunakan jangka sorong hingga berukuran 25 × 20 × 10 mm sesuai standar ASTM E10 untuk pengujian kekerasan Brinell.

Proses Perlakuan Panas T6

Perlakuan panas merupakan proses pemanasan dan pendinginan logam untuk mengubah strukturmikro sehingga meningkatkan sifat mekanik material. Pada perlakuan panas T6, spesimen AA 6061 mengalami *solution treatment* pada 540°C selama 1 jam, dilanjutkan *quenching* menggunakan air untuk menghasilkan *supersaturated solid solution*, kemudian proses *aging* pada variasi temperatur 165°C, 185°C, dan 205°C. Variasi temperatur dan proses pendinginan berperan penting dalam pembentukan strukturmikro dan sifat mekanik akhir material.

Proses Pengujian Kekerasan Brinell

Pengujian kekerasan Brinell dilakukan untuk mengetahui kekerasan aluminium AA 6061 hasil *remelting* setelah perlakuan panas T6. Spesimen dipersiapkan sesuai standar ASTM E10, kemudian diuji menggunakan indentor bola baja berdiameter 5 mm dengan beban 62,5 kgf selama 10–15 detik. Diameter jejak indentasi diukur untuk menghitung nilai kekerasan Brinell (HB), dengan pengujian dilakukan pada tiga titik dan diambil nilai rata-ratanya. Hasil pengujian selanjutnya dianalisis untuk mengetahui pengaruh variasi temperatur dan waktu *aging* serta dikorelasikan dengan hasil pengamatan SEM-EDX.

Proses Pengujian Fasa yang terbentuk dengan SEM-EDX

Pengamatan SEM-EDX dilakukan dengan memindai permukaan spesimen menggunakan berkas elektron untuk menghasilkan citra strukturmikro beresolusi tinggi serta mengidentifikasi komposisi unsur penyusunnya. Pengujian dilakukan sesuai standar ASTM E3.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian hasil pengujian dan analisis pengaruh variasi temperatur dan waktu *aging* pada perlakuan panas T6 terhadap pembentukan fasa pada coran *remelting* AA 6061. Analisis dilakukan berdasarkan hasil pengujian SEM-EDX dan uji kekerasan Brinell untuk mengevaluasi perubahan strukturmikro serta pengaruhnya terhadap sifat mekanik material sebelum dan sesudah perlakuan panas. Adapun kodefikasi spesimen yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

Tabel 1. Kodefikasi Spesimen

Kode	Keterangan
K1	RAW Material
K2	Spesimen tanpa perlakuan panas
L1	Temperatur 165°C , 1.5 jam
L2	Temperatur 165°C , 2.5 jam
L3	Temperatur 165°C , 3.5 jam
M1	Temperatur 185°C , 1.5 jam
M2	Temperatur 185°C , 2.5 jam
M3	Temperatur 185°C , 3.5 jam
N1	Temperatur 205°C , 1.5 jam
N2	Temperatur 205°C , 2.5 jam
N3	Temperatur 205°C , 3.5 jam

Keterangan :

- Kode Temperatur
 - L=165°C
 - M=185°C
 - N=205°C
- Kode waktu
 - 1=1,5 jam
 - 2=2,5 jam
 - 3=3,5 jam
- K1 = Raw Material
- K2 = Spesimen tanpa Perlakuan Panas T6

Hasil Uji Kekerasan Brinell

Contoh Perhitungan nilai kekerasan spesimen uji (Menggunakan spesimen K2)

$$BHN = \frac{2F}{\pi D(D\sqrt{D^2 - d^2})}$$

Diketahui:

F: 125 kgf

D: 5 mm

d: 1,777 mm

 π : 3.14

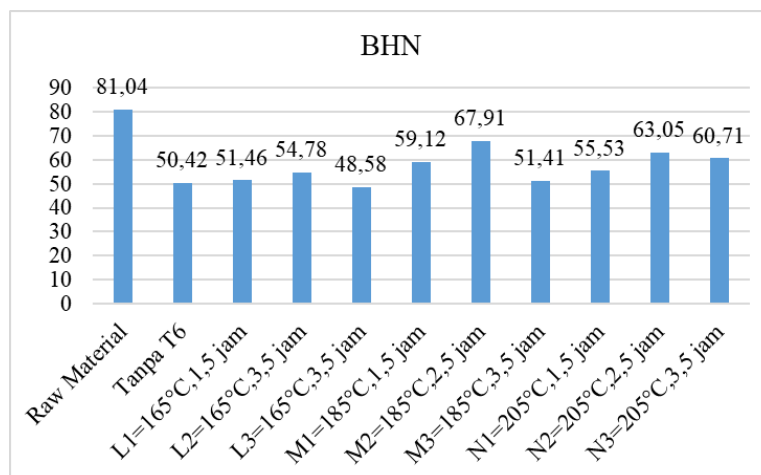
$$BHN = \frac{2 \times 125}{3,14 \times 5 (5\sqrt{5^2 - 1,777^2})} = 48,82 \text{ BHN}$$

Adapun hasil rekapitulasi nilai rata-rata Kekerasan Brinell sesuai dengan kodifikasi spesimen yang disajikan pada tabel berikut ini :

Tabel 2. Nilai Rata-rata Pengujian Kekerasan Brinell

Kodefikasi spesimen	Rata-rata Keseluruhan
K1	81,04
K2	50,42
L1	51,46
L2	54,78
L3	48,58
M1	59,12
M2	67,91
M3	51,41
N1	55,53
N2	63,05
N3	60,71

Adapun grafik interaksi Temperatur dan Waktu *Aging* yang disajikan pada gambar berikut ini :



Gambar 1. Grafik Interaksi Temperatur dan Waktu *Aging*

Berdasarkan Gambar 1. Dapat dilihat bahwa Interaksi temperatur dan waktu *aging* menunjukkan pengaruh yang jelas terhadap kekerasan material. Nilai kekerasan tertinggi diperoleh pada spesimen M2 (185°C, 2,5 jam) sebesar 67,91 BHN akibat terbentuknya presipitat β'' yang halus dan terdistribusi merata sehingga efektif menghambat

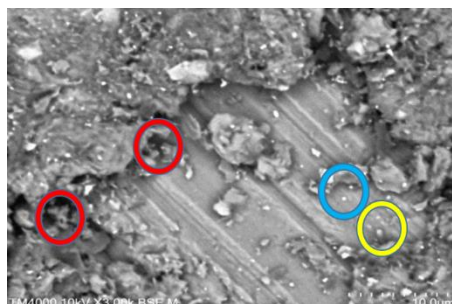
pergerakan dislokasi. Sebaliknya, spesimen L3 (165°C, 3,5 jam) memiliki kekerasan terendah sebesar 48,58 BHN karena waktu *aging* yang lebih lama menyebabkan koarsening (pembesar ukuran) presipitat dan terbentuknya fasa β' atau β (Mg_2Si), yang menandai terjadinya *over-aging*.

Secara keseluruhan, kekerasan AA 6061 hasil *remelting* dipengaruhi oleh pembentukan dan evolusi presipitat selama proses *aging* T6. Kondisi optimum diperoleh pada temperatur 185°C dengan waktu *aging* 2,5 jam, saat mekanisme penguatan presipitasi berlangsung maksimal melalui dominasi presipitat β'' . Pada ketiga temperatur (165°C, 185°C, dan 205°C), waktu *aging* optimum adalah 2,5 jam, dengan nilai kekerasan tertinggi dicapai pada 185°C. Meskipun perlakuan panas T6 meningkatkan kekerasan melalui penguatan presipitasi, nilainya masih lebih rendah dibandingkan raw material akibat porositas hasil coran dan oksidasi unsur paduan, terutama magnesium, selama proses *remelting*.

Hasil uji kekerasan Brinell menunjukkan bahwa variasi temperatur dan waktu *aging* pada perlakuan panas T6 memengaruhi kekerasan AA 6061 hasil *remelting*. Kekerasan optimum diperoleh pada temperatur 185°C selama 2,5 jam sebesar 67,91 BHN akibat terbentuknya presipitat β'' yang efektif menghambat dislokasi. Sementara itu, penurunan kekerasan pada waktu *aging* lebih lama menunjukkan terjadinya *over-aging*, ditandai perubahan presipitat β'' menjadi β' atau β (Mg_2Si) yang menurunkan kemampuan menghambat dislokasi.

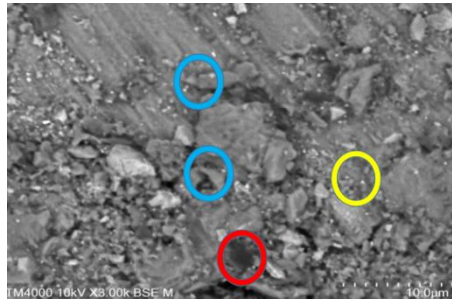
Hasil Pengamatan SEM-EDX

Analisis SEM-EDX dilakukan pada pembesaran 3000x untuk mengidentifikasi fasa yang terbentuk serta komposisi unsur pada area pengamatan guna mendukung identifikasi fasa pada spesimen uji.



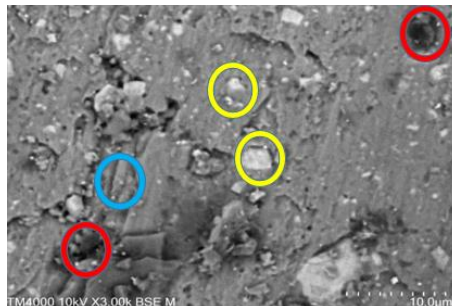
Gambar 2. Analisa Spesimen L1

Pada spesimen L1, fasa yang dominan adalah matriks α -Al berwarna abu-abu homogen dengan kandungan Al tinggi sebagai unsur utama AA 6061. Fasa kedua berupa presipitat β - Mg_2Si muncul sebagai bintang putih/terang kaya Mg yang tersebar di matriks atau daerah interdendritik. Fasa ketiga adalah endapan Si berwarna gelap akibat Si yang tidak larut sempurna atau segregasi. Selain itu, terbentuk fasa intermetalik AlFeSi berbentuk jarum (*chinese script*) berwarna abu-abu terang hingga keputihan akibat kontaminasi Fe selama *remelting*, yang terdeteksi mengandung unsur Al, Fe, dan Si.



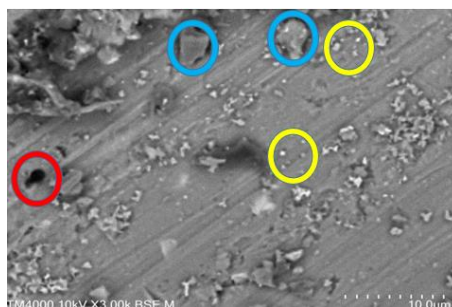
Gambar 3. Analisa Spesimen L2

Pada spesimen L2, fasa dominan adalah matriks α -Al berwarna abu-abu homogen. Fasa kedua berupa presipitat β' -Mg₂Si yang tampak sebagai bintik putih halus tersebar di dalam matriks dan berperan meningkatkan kekerasan melalui mekanisme penguatan presipitasi. Selain itu, terdapat fasa intermetalik AlFeSi berbentuk jarum akibat kontaminasi Fe selama proses *remelting* yang bersifat getas, serta fasa Si bebas (Si-rich) berwarna lebih gelap yang menunjukkan adanya pengendapan silikon berlebih atau Si yang tidak larut sempurna.



Gambar 4. Analisa Spesimen L3

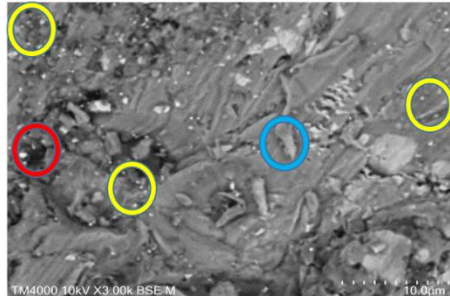
Fasa yang terbentuk pada spesimen L3 adalah fasa matriks α -Al yang dominan pada area pengamatan yang berwarna abu-abu, Fasa kedua yang terbentuk adalah Fasa β Mg₂Si atau fasa presipitat yang mengalami overaging ditandai dengan bintik-bintik putih yang melebar (ditandai dengan lingkaran kuning). Fasa ketiga yang terbentuk adalah fasa intermetalik yang berbentuk memanjang seperti jarum (ditandai dengan lingkaran biru) yang merupakan unsur pada proses *remelting*. Fasa keempat merupakan fasa Si bebas atau yang tidak berinteraksi dengan Mg dan mengelompok sendiri (ditandai dengan lingkaran merah).



Gambar 5. Analisa Spesimen M1

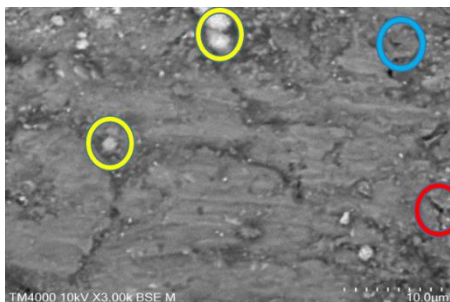
Pada spesimen M1, teridentifikasi fasa Si bebas (*excess Si*) yang tampak gelap akibat sebagian Si tidak berikatan dengan Mg membentuk Mg₂Si. Fasa kedua adalah

presipitat β' - Mg_2Si yang tersebar di dalam matriks α -Al dan berperan sebagai penguat dengan menghambat pergerakan dislokasi. Fasa dominan berupa matriks α -Al berwarna abu-abu, sedangkan fasa keempat adalah intermetalik AlFeSi yang tampak lebih tebal akibat pengelompokan atau segregasi unsur Fe.



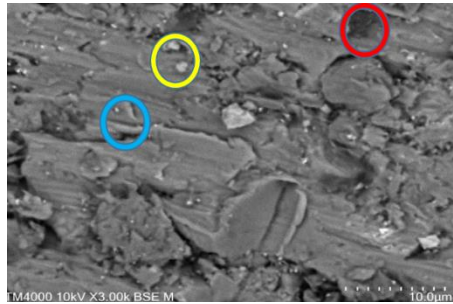
Gambar 6. Analisa Spesimen M2

Fasa yang terbentuk pada spesimen M2 adalah fasa matriks α -Al yang dominan dengan warna abu-abu. Fasa kedua ini adalah fasa intermediat/metastabil dari magnesium silisida $\beta\text{Mg}_2\text{Si}$. Pada suhu dan waktu *aging* yang optimal, atom-atom Mg dan Si mengelompok membentuk zona *Guinier-Preston* (GP-zone) lalu berkembang menjadi presipitat halus $\beta''\text{Mg}_2\text{Si}$ yang koheren dengan matriks aluminium. Pada area matriks abu-abu yang dipenuhi oleh titik-titik putih yang ukurannya sangat kecil (halus), namun jumlahnya sangat padat (kerapatan tinggi) dan tersebar merata secara homogen (ditandai dengan lingkaran kuning). Fasa terbentuk ketiga adalah fasa Si bebas atau fasa Si yang tidak terikat dengan Mg dan mengelompok (ditandai dengan lingkaran merah). Fasa keempat yang terbentuk merupakan fasa intermetalik AlFeSi yang muncul akibat proses *remelting*, berbentuk seperti jarum (ditandai dengan lingkaran biru).



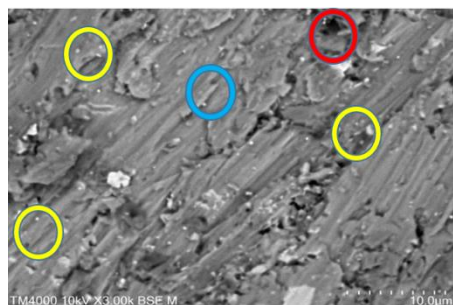
Gambar 7. Analisa Spesimen M3

Fasa yang terbentuk dominan adalah fasa matriks α -Al yang merupakan unsur utama yang berciri warna abu-abu dan mendominasi hasil pengamatan. Fasa kedua yang terbentuk adalah fasa intermetalik Fe tampak lebih tebal yang menandakan fasa Fe mengalami pengelompokan atau segregasi (ditandai dengan lingkaran biru). Fasa ketiga yang terbentuk merupakan fasa segregasi dari unsur Silikon bebas yang tidak berikatan dengan Mg yang tersebar merata dengan ciri-ciri titik hitam pekat (ditandai dengan lingkaran merah). Fasa yang keempat adalah fasa β atau Mg_2Si yang telah berevolusi dengan ciri-ciri titik putih yang menggumpal dan melebar akibat waktu penahanan yang terlalu lama (ditandai dengan lingkaran kuning).



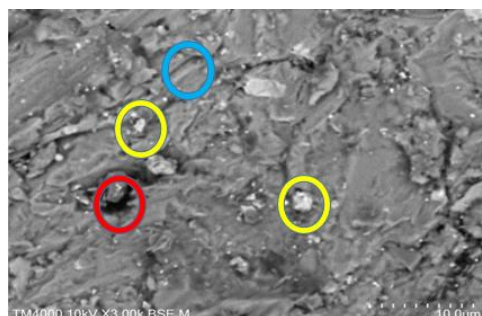
Gambar 8. Analisa Spesimen N1

Pada spesimen N1 fasa yang terbentuk adalah Fasa Presipitat Mg_2Si yang Mengasar Bintik Putih Besar ukurannya tampak lebih besar, tebal, dan menggumpal, tetapi jumlah kerapatannya jarang dan jarak antarbintik menjadi renggang (ditandai dengan lingkaran kuning). Ini adalah indikasi kuat terjadinya fenomena *Over-aging* (penuaan berlebih) atau akibat laju pendinginan yang kurang cepat saat *quenching*. Presipitat Mg_2Si yang seharusnya berukuran sub-mikro halus β'' telah tumbuh dan bergabung menjadi fasa β yang kasar dan kehilangan sifat koherensinya dengan matriks aluminium. Fasa terbentuk kedua adalah fasa intermetalik $AlFeSi$ yang berbentuk jarum Panjang berwarna abu-abu terang (ditandai dengan lingkaran biru). Fasa terbentuk ketiga adalah fasa Si dengan bintik hitam pekat (ditandai dengan lingkaran merah). Fasa terbentuk keempat adalah fasa matriks $\alpha-Al$ yang berwarna abu-abu dan mengelilingi seluruh fasa (dominan).



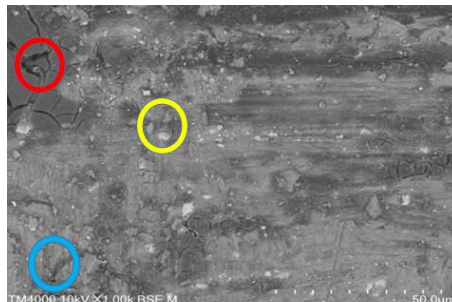
Gambar 9. Analisa Spesimen N2

Fasa yang terbentuk meliputi matriks $\alpha-Al$ sebagai fasa dominan, fasa intermetalik $AlFeSi$ berbentuk jarum atau batang, fasa Si bebas berupa bintik gelap, serta presipitat halus β'' (Mg_2Si) berupa bintik putih yang tersebar merata. Presipitat β'' menjadi fasa penguat utama karena efektif menghambat pergerakan dislokasi sehingga meningkatkan kekuatan mekanik.



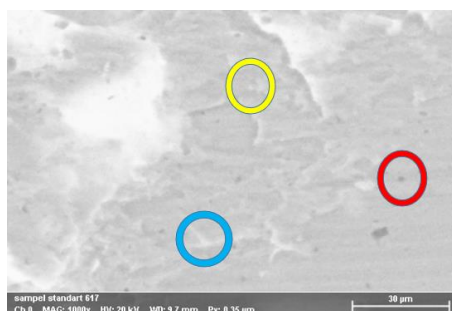
Gambar 10. Analisa Spesimen N3

Pada spesimen N3 fasa yang terbentuk adalah fasa matriks α -Al dengan warna dominan abu abu yang merupakan unsur utama material AA 6061. Fasa yang terbentuk kedua adalah fasa β Mg₂Si Presipitat yang Mulai Mengelompok / Mengasar, ciri cirinya terlihat bintik-bintik putih di atas matriks abu-abu, ukuran bintik putihnya sedikit lebih tebal dan di beberapa area tampak mulai mengelompok atau membesar, sehingga menyisakan area kosong (*precipitate-free zones* lokal) (ditandai dengan lingkaran kuning). Fasa Intermetalik adalah fasa ketiga dengan ciri-ciri struktur abu-abu terang yang berbentuk pecahan balok atau jarum memanjang (ditandai dengan lingkaran biru). Fasa keempat adalah fasa Si bebas dengan bintik hitam pekat yang tersebar di antara matriks yang merupakan segregasi dari unsur Si yang tidak berikatan dengan unsur Mg.



Gambar 11. Analisa Spesimen K2

Fasa yang terbentuk pada hasil *remelting* yang belum diberi perlakuan panas adalah fasa primer α -Al yang ditandai dengan warna abu-abu dan mendominasi. Fasa terbentuk kedua adalah fasa intermetalik AlFeSi yang berciri ciri berbentuk jarum memanjang (ditandai dengan lingkaran biru), Fasa ini terbentuk akibat kontaminasi unsur Besi Fe selama proses *remelting*. Karena spesimen belum diberi perlakuan panas pelarutan (*solution treatment*), fasa Fe pengotor ini mengendap sepenuhnya dalam bentuk jarum kaku yang sangat kasar. Fasa inilah yang menjadi penyebab utama material *as-cast* cenderung getas. Fasa kedua adalah fasa Si bebas yang berbintik hitam pekat berukuran mikro yang tampak mengelompok di beberapa sudut (ditandai dengan lingkaran merah). Ini adalah partikel silikon yang memisah akibat laju pembekuan coran alami. Fasa keempat adalah fasa Mg₂Si kasar memiliki ciri ciri area putih terang yang tidak berupa bintik halus, melainkan berupa gumpalan putih (ditandai dengan lingkaran kuning), Tanpa adanya perlakuan panas T6, atom Magnesium dan Silikon tidak dapat berdifusi masuk ke dalam matriks secara seragam. Akibatnya, mereka memisah (*segregasi*) selama pembekuan coran dan mengendap dalam dimensi yang besar (kasar) di area batas butir. Presipitat kasar ini tidak mampu menjepit gerakan dislokasi secara efektif.



Gambar 12. Analisa Spesimen K1

Pada spesimen K1, fasa dominan adalah matriks α -Al berwarna abu-abu. Fasa kedua berupa presipitat Mg_2Si alami berbentuk bintik putih halus, diikuti fasa intermetalik $AlFeSi$ berbentuk balok atau fragmen pendek, serta fasa Si bebas berupa bintik hitam yang jumlahnya sangat sedikit, menunjukkan komposisi awal material sesuai standar AA 6061. Berdasarkan hasil SEM-EDX, variasi temperatur dan waktu *aging* pada perlakuan panas T6 memengaruhi pembentukan dan perkembangan fasa pada struktur mikro. Seluruh spesimen didominasi matriks α -Al, disertai presipitat Mg_2Si sebagai fasa penguat utama pada paduan aluminium seri 6xxx.

Pada kondisi sebelum perlakuan panas, fasa Mg_2Si masih cenderung berukuran lebih kasar dan distribusinya belum merata akibat pengaruh proses *remelting* yang dapat menyebabkan segregasi unsur paduan. Setelah dilakukan perlakuan panas T6, proses *aging* menyebabkan atom Mg dan Si mengalami difusi dan membentuk presipitat secara bertahap melalui urutan pembentukan GP zone $\rightarrow \beta'' \rightarrow \beta' \rightarrow \beta(Mg_2Si)$. Fasa β'' dan β' berperan sebagai presipitat penguat karena mampu menghambat pergerakan dislokasi pada matriks α -Al sehingga meningkatkan sifat mekanik material (Xavior, 2025).

Peningkatan temperatur dan waktu *aging* mempercepat difusi atom Mg dan Si sehingga presipitat Mg_2Si tumbuh dan berubah. Pada temperatur rendah, presipitat masih terbentuk awal, sedangkan pada temperatur dan waktu lebih tinggi terjadi pertumbuhan presipitat yang dapat menyebabkan *over-aging*, sehingga kemampuan menghambat dislokasi menurun. Hasil EDX menunjukkan matriks tetap didominasi Al, sedangkan unsur Mg dan Si mengindikasikan terbentuknya presipitat Mg_2Si . Kehadiran Fe dan Si menunjukkan terbentuknya fasa intermetalik $AlFeSi$ akibat proses *remelting*. Secara keseluruhan, hasil SEM-EDX membuktikan bahwa perlakuan panas T6 mengubah struktur mikro AA 6061 hasil *remelting* melalui pembentukan dan perkembangan presipitat Mg_2Si , yang berpengaruh langsung terhadap perubahan nilai kekerasan Brinell.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa, variasi temperatur dan waktu *aging* pada perlakuan panas T6 berpengaruh terhadap pembentukan fasa, strukturmikro, dan kekerasan coran *remelting* AA 6061. Peningkatan temperatur dan waktu *aging* mendorong terbentuknya presipitat penguat yang meningkatkan kekuatan material, namun perlakuan yang terlalu lama dapat menyebabkan *overaging* sehingga sifat mekanik menurun. Kondisi terbaik diperoleh pada temperatur 185°C dengan waktu *aging* 2,5 jam (spesimen M2) yang menghasilkan kekerasan 67,91 BHN, lebih tinggi dibandingkan spesimen tanpa perlakuan T6 (50,42 BHN). Hasil ini menunjukkan bahwa pengaturan parameter *aging* yang tepat mampu mengoptimalkan pembentukan presipitat penguat dan meningkatkan sifat mekanik AA 6061 hasil *remelting*.

Penelitian selanjutnya disarankan mengoptimalkan variasi temperatur dan waktu *aging* di sekitar 185°C dan 2,5 jam, serta melakukan karakterisasi tambahan menggunakan XRD atau TEM untuk mengidentifikasi fasa presipitat secara lebih akurat.

REFERENSI

- Guzmán-flores, I., Granda-gutiérrez, E. E., Cruz-gonzález, C. E., Hernandez-garcia, H. M., Díaz-guillen, J. C., Flores-gonzález, L., Javier, R., & Dora, P. (2024). *Peningkatan Sifat Mekanik Paduan Aluminium 6061 melalui Perlakuan Panas dari Perspektif Taguchi Desain Eksperimen*.
- Sadanand, R. V., Sharma, S., & Prabhu, P. R. (2023). Experimental analysis of hardness and tensile characteristics of copper reinforced AA6061 stir cast composites subjected to thermal and deformation assisted heat treatments Experimental analysis of hardness and tensile cast composites subjected to thermal and. *Cogent Engineering*, 10(1). <https://doi.org/10.1080/23311916.2023.2205003>
- Saputro, D., & Seputro, H. (2022). ... Terhadap Kestabilan Dimensi Material Aluminium Komposit (Amc) Berpenguat Abu Dasar Batu Bara Setelah Perlakuan Panas T6. *Senakama: Prosiding Seminar ...*, 1(September), 279–293.
- Xavior, A. (2025). *Machine Translated by Google Jurnal Sains : Material dan Perangkat Canggih Paduan eutektik entropi tinggi berbasis FeCoCrNi yang diperkuat dengan MWCNT dan Gr Balaji Va Machine Translated by Google*. 10(November 2024)