

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis terhadap material *aluminium alloy* 6063 setelah diberi perlakuan *precipitation hardening* pada berbagai variasi temperatur dan durasi waktu tahan selama proses *artificial aging*, dapat disimpulkan hal-hal berikut:

1. Proses *artificial aging* dengan variasi temperatur dan durasi waktu tahan berpengaruh signifikan terhadap perubahan struktur mikro *aluminium alloy* 6063. Hasil analisa dari hasil citra *Scanning Electron Microscopy* menunjukkan bahwa peningkatan waktu aging menyebabkan perubahan mikrostruktur mulai dari jumlah partikel yang terdapat matriks aluminium, ukuran rata-rata *particle*, persentase fraksi presipitat pada matriks aluminium dan juga ukuran presipitat berdasarkan R1 ($< 0,2 \mu\text{m}$), R2 ($0,2-1,5 \mu\text{m}$), dan R3 ($> 1,5 \mu\text{m}$) yang semakin tinggi temperatur dan durasi waktu tahan semakin bertambah tinggi juga nilainya. Pada temperatur 210°C selama 190 menit, Penurunan jumlah presipitat yang disertai dengan peningkatan ukuran rata-rata ini mengindikasikan terjadinya *coarsening* presipitat, di mana presipitat berukuran kecil cenderung larut dan menyuplai atom terlarut bagi pertumbuhan presipitat yang lebih besar, lalu meningkatnya presipitat R3 berukuran ($> 1,5 \mu\text{m}$) sehingga menunjukkan bahwa material mulai memasuki tahap *over-aging*.
2. Peningkatan temperatur dan durasi *holding time* secara signifikan mempengaruhi mekanisme penguatan material. Secara keseluruhan, nilai kekerasan akan meningkat seiring dengan bertambahnya temperatur dan waktu hingga mencapai titik optimal yang disebut *peak aging*. Pada penelitian ini, nilai kekerasan tertinggi atau *peak aging* sebesar 73,82 HV berhasil dicapai pada kondisi temperatur 210°C dengan durasi *holding time* 160 menit. Pada temperatur 210°C selama 190 menit nilai kekerasan justru mengalami penurunan menjadi 66,59 HV. Penurunan ini disebabkan oleh terjadinya pengasaran presipitat (*coarsening*), di mana partikel-partikel kecil menyatu menjadi partikel yang lebih besar (fasa β), sehingga jarak antar partikel menjadi lebih renggang dan kekuatannya dalam menahan deformasi berkurang.

3. Peningkatan kekerasan *aluminium alloy 6063* selama *proses artificial aging* dipengaruhi secara signifikan oleh distribusi dan ukuran presipitat. Persentase presipitat berukuran kecil ($< 1,5 \mu\text{m}$) menunjukkan korelasi kuat terhadap kenaikan kekerasan Vickers. Pada tahap awal, pengerasan didominasi oleh mekanisme shearing akibat tingginya fraksi presipitat sangat halus (R1), sedangkan pada tahap lanjut mekanisme pengerasan bergeser menuju *bowing & bypassing* (R2) seiring pertumbuhan presipitat. Kombinasi optimal antara presipitat kecil dan menengah inilah yang menghasilkan kekerasan maksimum pada kondisi aging tertentu.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan keterbatasan yang ditemukan selama proses pengujian dan analisis, berikut adalah saran untuk penelitian di masa depan:

1. Untuk penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan pengujian sifat mekanik lainnya antara lain *tensile test*, *impact test* atau *fatigue test*. Sehingga karakterisasi performa material dapat diperoleh secara lebih menyeluruh. Penambahan jenis pengujian ini juga memungkinkan evaluasi yang lebih komprehensif terhadap pengaruh *heat treatment* terhadap kekuatan, ketangguhan, dan ketahanan material terhadap beban dinamis maupun kondisi yang lebih kompleks.
2. Untuk penelitian selanjutnya disarankan untuk menambahkan variasi pada temperatur maupun durasi *holding time*, sehingga dapat diketahui lebih lanjut proses pelarutan unsur terhadap homogenitas mikrostruktur, kelarutan presipitat, serta respons aging dapat dianalisis dengan lebih komprehensif.
3. Untuk penelitian selanjutnya disarankan untuk penggunaan *Transmission Electron Microscopy* (TEM) karena mampu mengungkap jenis fasa presipitat β'' , yaitu fasa penguat utama pada aluminium seri 6xxx, yang tidak dapat diamati secara jelas menggunakan SEM konvensional. Karakterisasi presipitat halus dapat dilakukan lebih akurat dengan TEM sehingga mekanisme penguatan akibat perlakuan panas dapat dianalisis secara lebih mendalam.