

Pengaruh *Artificial Aging* Terhadap Sifat Mekanik Hasil Lasan Tig Aluminium Seri 6013 T4

Martijanti

Jurusan Teknik Mesin – UNJANI

e-mail : martijanti@yahoo.co.id

Abstrak. Hasil pengelasan yang diterapkan pada paduan aluminium seri 6xxx tidak selalu menghasilkan sambungan dengan kualitas yang baik, hal ini disebabkan oleh adanya penurunan sifat mekanis selama proses pengelasan. Salah satu cara yang digunakan untuk meningkatkan sifat mekanis adalah proses *artificial aging* (penuaan buatan) yang dilakukan pada temperatur 180 °C sedangkan waktu agingnya divariasikan 2 jam, 3 jam, 4 jam, dan 5 jam. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh waktu penahanan pada saat aging terhadap hasil lasan paduan aluminium, sehingga diperoleh kualitas hasil lasan yang menunjukkan sifat mekanis yang optimal. Paduan aluminium yang digunakan adalah Aluminium seri 6013 T4.

Data penelitian yang diperoleh adalah kekuatan luluh, kekuatan tarik, perpanjangan, distribusi kekerasan, kekasaran permukaan dan struktur mikro terhadap sample uji tanpa proses *artificial aging* dan setelah proses *artificial aging*. Dari hasil penelitian diperoleh peningkatan dari nilai kekuatan tarik (20 –90)% maupun kekerasan (30 – 95) % pada paduan aluminium seri 6013 setelah proses *artificial aging*. Dari hasil pengujian kekasaran permukaan bahwa nilai Ra, Rz dan Rmax jika dibandingkan dengan nilai material awal, maka nilai optimal terjadi pada kondisi waktu *aging* yang 3 jam, sedangkan pengaruh *artificial aging* setelah pengelasan terhadap struktur mikro akan menghasilkan penghalusan terhadap presipitat.

Kata Kunci : Aluminium seri 6013 T4, pengelasan, waktu *aging*, sifat mekanis

1 Pendahuluan

Aluminium termasuk logam ringan yang mempunyai kekuatan tinggi, tahan terhadap korosi, dan merupakan konduktor listrik yang cukup baik. Logam ini selain banyak digunakan untuk material struktur pesawat terbang juga dipakai secara luas dalam bidang kimia, listrik, bangunan, transportasi dan alat-alat penyimpanan. Kemajuan teknologi akhir-akhir ini terutama dalam teknik pengelasan busur listrik dengan gas mulia menyebabkan pengelasan Aluminium dan paduannya di dalam berbagai bidang telah berkembang (Harsono,2000). Untuk struktur pesawat terbang yang terdiri dari banyak komponen akan membutuhkan proses-proses sambungan logam yang tidak dapat dihindarkan

Jenis sambungan yang umum digunakan di Industri pesawat terbang adalah metoda penyambungan material secara mekanik yang menggunakan baut atau paku keling, tetapi pada struktur komponen pesawat terbang ada bagian - bagian tertentu yang membutuhkan sambungan dengan pengelasan, seperti pada interior pesawat terbang yang biasanya terdapat pada rangka kursi, rangka pada panel-panel instrumen atau komputer serta rangka tempat penyimpanan barang-barang.

Paduan Aluminium yang umum digunakan untuk pesawat terbang adalah paduan Al Cu seri 2xxx, Al Mg Si seri 6xxx, dan Al Mg Zn seri 7xxx, dari ke 3 jenis paduan Aluminium tersebut,

paduan Al Mg Si seri 6xxx mempunyai sifat yang kurang baik yaitu terjadinya pelunakan pada daerah las sebagai akibat dari panas pengelasan yang timbul, sehingga akan berpengaruh terhadap kualitas sambungannya (Harsono,2000). Untuk mengatasi masalah tersebut pada proses pengelasan paduan Al Mg Si seri 6xxx perlu diadakan suatu penelitian untuk mencari suatu metode yang sesuai untuk mendapatkan sifat mekanik yang optimal khususnya pada daerah lasan (*Fusion zone*).

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah Aluminium seri 6013 T4 yang merupakan material yang sedang dikaji sifat-sifat dan *abilitynya* di PT. Dirgantara Indonesia sebagai material alternatif untuk menggantikan material yang telah digunakan sebelumnya seperti Aluminium seri 6061. Paduan aluminium seri 6013 T4 merupakan paduan baru dari aluminium seri 6xxx yang mampu untuk dilaku panas dan mampu dilas.

Pada proses pengelasan paduan Aluminium yang bertujuan untuk memperbaiki sifat mekanik pada daerah sambungan las perlu dilakukan proses heat treatment, sehingga mampu meningkatkan kekuatan pada aluminium khususnya pada daerah lasan (VA Fedoseev, Viryazantev,1999). Penelitian yang pernah dilakukan adalah bervariasi proses aging sebelum dan sesudah pengelasan tanpa melakukan variasi temperatur dan waktu agingnya. Dari hasil penelitian tersebut diperoleh hasil bahwa peningkatan kekerasan serta kekuatan tarik terbesar terjadi pada material yang mengalami proses lasan dilanjutkan perlakuan panas pelarutan serta artificial aging dan material yang digunakan adalah aluminium seri 6063 T6 (Slamet Wahyudi dan Ahmad Efan Nurilmaulidi,2000), sehingga penulis berusaha untuk mengembangkan penelitian tersebut dengan melakukan variasi waktu penahanan selama proses aging (waktu aging) terhadap hasil lasan paduan aluminium khususnya Aluminium seri 6013 T4 , karena variabel tersebut akan mempengaruhi terhadap pembentukan presipitat yang terjadi selama proses aging yang memberikan kontribusi terhadap sifat mekanik pada Aluminium.

Pada penelitian ini penulis hanya menfokuskan untuk mendapatkan waktu aging yang optimal untuk paduan Aluminium seri 6013 T4 yang mengalami proses pelunakan akibat dari proses pengelasan, sehingga memperoleh kembali kekuatan yang optimal dari paduan Aluminium seri 6013 T4 yang telah dilakukan proses aging setelah dilas.

II Metoda Penelitian

Bahan yang diteliti adalah Aluminium seri 6013 T4. Pengelasan dilakukan di Welding Departement PT. Dirgantara Indonesia. Pengelasan dilakukan pada tegangan 10 – 20 Volt (AC), arus : 60 – 70 ampere, kecepatan lasan : 11.32 cm/menit, diameter filler : 2,5 mm. Logam pengisi adalah ER 5754. Komposisi logam dasar dan logam pengisi ditunjukkan pada tabel 1 dan tabel 2. Spesimen uji tarik berdasarkan ASTM E-8M (lihat pada gambar 1). Setelah proses pengelasan kemudian dilakukan proses solution treatment pada temperatur 570 ° selama 60 menit dan artificial aging pada temperatur 180 ° dengan variasi waktu aging 2,3,4,dan 5 jam.

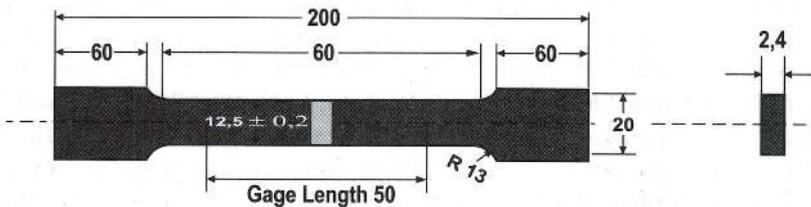
Distribusi kekerasan pada material dasar, material yang mengalami pengelasan dan material yang mengalami pengelasan maupun perlakuan panas dengan kondisi waktu aging yang berbeda- beda (2 jam,3jam,4jam dan 5 jam) dilakukan pengujian kekerasan mikro (Uji Vikress). Indentor yang digunakan dalam pengujian ini adalah indentor berbentuk pyramid dengan sudut 136⁰. Beban yang digunakan 0.20 kgf , waktu 30 detik dan mesin uji yang digunakan adalah Mitutoyo MVK-H2.

Tabel 1. Komposisi kimia Aluminium seri 6013 dan 6061

Paduan Al	Komposisi (% berat)					
	Cu	Si	Mn	Mg	Fe	lainnya
6061	0.15 – 0.40	0.4 – 0.8	0.15	0.8 – 1.2	0.70	0.20
6013	0.6 – 1.1	0.6 – 1.0	0.20- 0.8	0.8 – 1.2	0.50	0.20

Tabel 2. Hasil Spektrometri Filler Material ER 5754

Komposisi Filler material ER 5754 (%)						
Si	Mn	Cu	Ni	Ti	Zn	Mg
0.21	0.12	0.46	0.061	0.0096	0.21	1.45



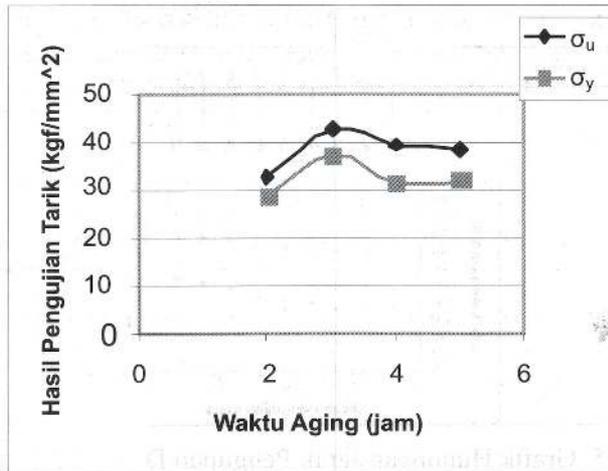
Gambar 1 Dimensi Spesimen Uji Tarik Hasil Pengelasan

III Hasil Penelitian

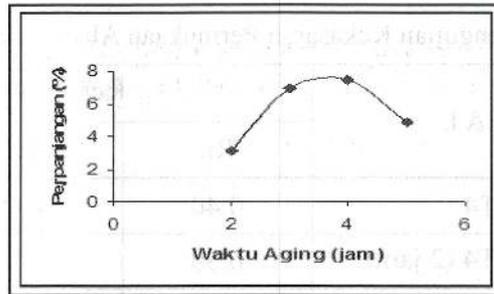
Pengujian tarik terhadap Aluminium seri 6013 T4 dilakukan terhadap material awal, material yang dilakukan proses pengelasan, dan material yang dilakukan proses pengelasan maupun pemanasan dengan bervariasi waktu aging yaitu 2, 3, 4, dan 5 jam. Hasil pengujian tarik yang terdiri dari nilai kekuatan tarik, kekuatan luluh, dan perpanjangan dalam perhitungan rata-rata untuk paduan Aluminium ini dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Nilai rata-rata ϵ_u , ϵ_y , ϵ Paduan Aluminium Seri 6013

Spesimen	σ_u (kgf/mm ²)	σ_y (kgf/mm ²)	ϵ (%)
Awal	35,3	22,4	20,5
Setelah Dilas	23,5	37,3	3,8
Setelah Proses Dilas dan <i>Artificial Aging</i> (waktu <i>aging</i> 2 jam)	32,6	28,6	3,1
Setelah Proses Dilas dan <i>Artificial Aging</i> (waktu <i>aging</i> 3 jam)	42,9	37,3	6,9
Setelah Proses Dilas dan <i>Artificial Aging</i> (waktu <i>aging</i> 4 jam)	39,6	31,8	7,5
Setelah Proses Dilas dan <i>Artificial Aging</i> (waktu <i>aging</i> 5 jam)	38,6	32	4,9



Gambar 3. Grafik Hubungan Waktu Aging dengan Tegangan Maximum dan Tegangan Luluh

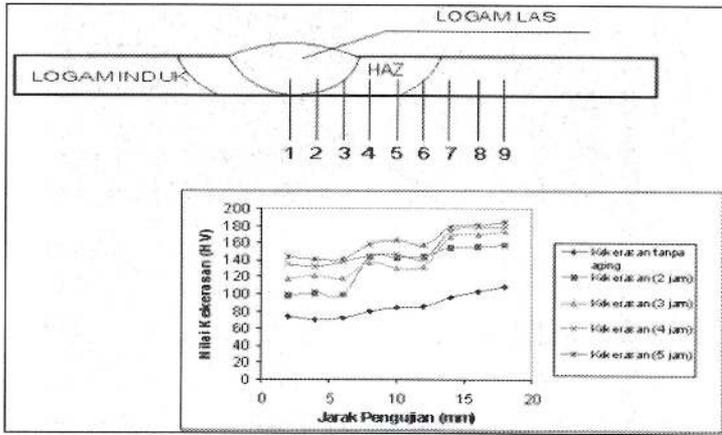


Gambar 4. Grafik Hubungan Waktu Aging dan (Perpanjangan)

Pengujian kekerasan pada bahan aluminium paduan seri 6013 T4 dapat dilihat pada tabel 4 dan hubungan antara jarak pengujian dengan nilai kekerasan dapat dilihat pada gambar 5 Nilai kekerasan pada bahan awal sebelum dilakukan pengelasan mempunyai nilai rata-rata kekerasan sebesar 103.25 HV.

Tabel 4. Data Hasil Kekerasan Aluminium Seri 6013

Jarak (mm)	Kekerasan (kgf/mm ²) / HV				
	Tanpa aging	Aging Time (2 jam)	Aging Time (3 jam)	Aging Time (4 jam)	Aging Time (5 jam)
2	74	98	118	135	144
4	70	101	121	132	140
6	72	99	119	138	141
8	80	143	137	145	158
10	84	143	131	147	163
12	85	144	132	141	157
14	96	157	167	174	179
16	103	155	170	179	181
18	109	157	173	179	185

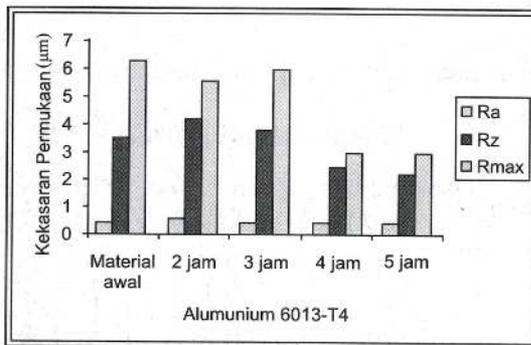


Gambar 5. Grafik Hubungan Jarak Pengujian Dan Nilai Kekerasan

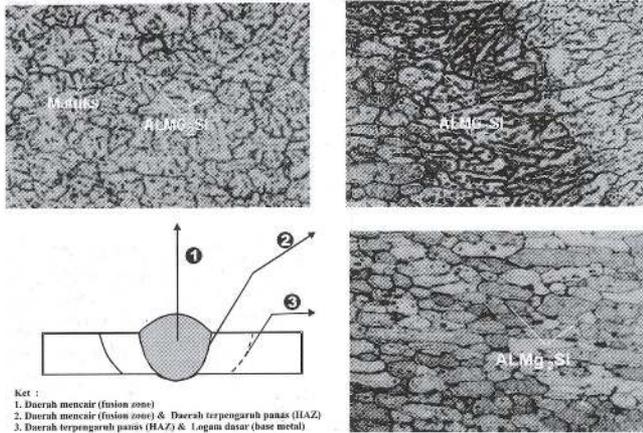
Pengujian kekasaran permukaan paduan Aluminium 6013-T4 dapat dilihat pada tabel 5 dan hasil struktur mikro dapat dilihat pada gambar 7 sampai dengan gambar 11..

Tabel 5. Hasil Pengujian Kekasaran Permukaan Aluminium seri 6013-T4

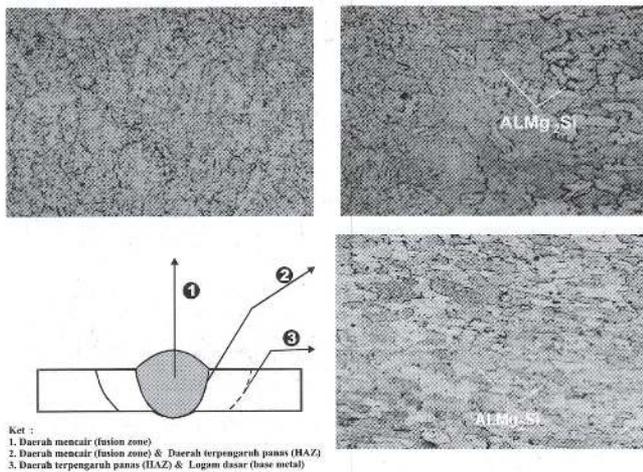
MATERIAL	Kekasaran (μm)		
	Ra	Rz	Rmax
Aluminium 6013-T4	0.40	3.52	6.27
Aluminium 6013-T4 (2 jam)	0.59	4.21	5.59
Aluminium 6013-T4 (3 jam)	0.47	3.75	5.97
Aluminium 6013-T4 (4 jam)	0.42	2.46	2.96
Aluminium 6013-T4 (5 jam)	0.35	2.24	2.93



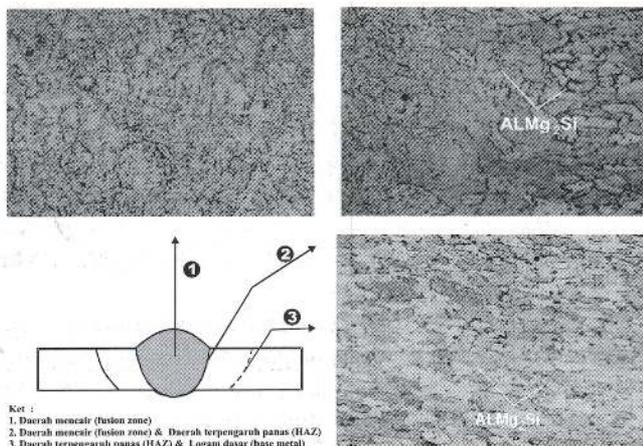
Gambar 6. Grafik Kekasaran permukaan Aluminium 6013-T4



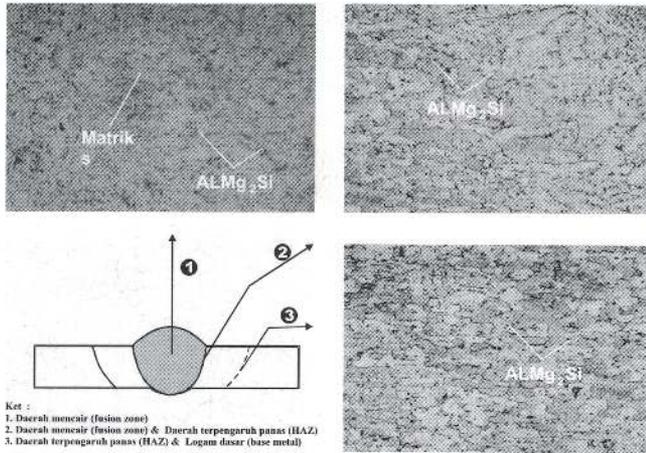
Gambar 7. Hasil pengelasan Aluminium seri 6013-T4 tanpa proses perlakuan panas



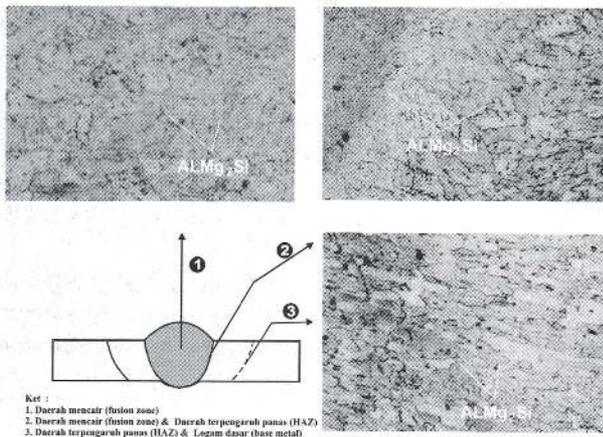
Gambar 8. Gambar struktur mikro hasil pengelasan yang diikuti proses laku panas dengan waktu 2 jam



Gambar 9. Gambar struktur mikro hasil pengelasan yang diikuti proses laku panas dengan waktu 3 jam



Gambar 10 Gambar struktur mikro hasil pengelasan yang diikuti proses laku panas dengan waktu 4 jam



Gambar 11 Gambar struktur mikro hasil pengelasan yang diikuti proses laku panas dengan waktu 5 jam

III Pembahasan

Pengujian tarik dilakukan pada Aluminium seri 6013 T4 awal tanpa proses pengelasan, Aluminium seri 6013 T4 hasil pengelasan dengan bahan pengisi ER 5754, dan Aluminium seri 6013 T4 yang mengalami proses pengelasan serta pemanasan (perlakuan panas) dengan bervariasi waktu aging. Dari pengujian ini didapat kurva tegangan (kgf/mm^2) dan perpanjangan (%), nilai tegangan maksimum (u), nilai perpanjangan (ϵ) dan tegangan luluh (y) didapat dengan menarik garis offset sebesar 0,2% sejajar dengan garis elastis.

Paduan Aluminium seri 6013 yang telah dilakukan pengelasan akan mengalami penurunan sifat mekanik, ini ditandai oleh adanya penurunan nilai dari pengujian tarik yaitu pada material awal mempunyai nilai tegangan maksimum rata-rata $35,3 \text{ kgf/mm}^2$ sedangkan material yang mengalami proses pengelasan tanpa perlakuan panas yaitu nilai tegangan maksimum rata-rata $23,5 \text{ kgf/mm}^2$, sehingga mengalami penurunan tegangan maksimum rata-rata sebesar 40 % dibandingkan material awalnya.

Hasil pengujian tarik pada material pengelasan yang telah mengalami pemanasan (perlakuan panas) akan mengalami kenaikan yaitu sekitar 20 % - 90 % atau nilai tegangan maksimum antara (27,9 – 44,3) kgf/mm² dibandingkan material pengelasan yang tidak mengalami pemanasan (perlakuan panas) mempunyai nilai tegangan maksimum antara (23,4 – 23,6) kgf/mm², yaitu pada proses perlakuan panas dengan waktu aging 2 jam mempunyai nilai tegangan maksimum antara (27,9 – 38,6) kgf/mm², pada waktu aging 3 jam mempunyai nilai tegangan maksimum (41,5 - 44,3) kgf/mm², pada waktu aging 4 jam nilai tegangan maksimumnya (35,7 – 42,6) kgf/mm² dan waktu aging 5 jam nilai tegangan maksimumnya (37,2 – 39,3) kgf/mm².

Hasil pengujian tarik tersebut telah memperlihatkan bahwa paduan Aluminium seri 6013 yang mengalami penurunan sifat mekanis akibat proses pengelasan akan ditingkatkan kembali sifat mekanisnya melalui proses perlakuan panas (*artificial aging*), efek dari waktu aging yang digunakan pada proses perlakuan panas terhadap peningkatan sifat mekanis Paduan Aluminium Seri 6013 adalah variasi dari waktu aging yang digunakan akan memberikan nilai yang berbeda-beda terhadap peningkatan sifat mekanis dari paduan Aluminium seri 6013 T4 yang dilas, hal ini terlihat jika kita ambil nilai rata-rata dari tegangan maksimum masing-masing untuk setiap waktu aging yang digunakan pada proses *artificial aging* (dapat dilihat pada tabel 3.1.), maka pada saat 2 jam nilai tegangan maksimum rata-rata 32,6 kgf/mm², pada saat 3 jam tegangan maksimum rata-rata 42,9, pada saat 4 jam tegangan maksimum rata-rata 39,6 kgf/mm² dan pada saat 5 jam tegangan maksimum rata-rata 38,6 kgf/mm². Peningkatan sifat mekanis optimum rata-rata dicapai pada saat waktu aging 3 jam yaitu kenaikannya mencapai 90 % dari 23,4 kgf/mm² menjadi 42,9 kgf/mm² dan pada saat waktu aging mencapai lebih dari 3 jam akan mengalami penurunan sifat mekanis (dilihat pada gambar 3.1.).

Pengujian kekerasan pada paduan Aluminium seri 6013 T4 yang dilas akan mengalami peningkatan kekerasan pada daerah logam dasar, daerah lasan dan daerah yang terpengaruh panas (HAZ), setelah paduan tersebut dilakukan proses *artificial aging*. Peningkatan nilai kekerasan rata-rata terkecil pada daerah lasan, HAZ dan logam dasar dicapai pada saat waktu aging 2 jam yaitu 99 HV pada daerah lasan, 143 HV daerah HAZ serta 156 HV pada daerah logam dasar, sedangkan peningkatan nilai kekerasan rata-rata tertinggi dicapai pada saat aging 5 jam yaitu 142 HV di daerah lasan, 159 HV HAZ serta 182 HV di daerah logam dasar.

Peningkatan kekerasan paduan aluminium seri 6013 T4 yang mengalami proses perlakuan panas (*artificial aging*) pada daerah logam dasar mencapai (50 – 80) % atau 155 HV – 185 HV, daerah HAZ mencapai 95 % atau 131 HV – 163 HV dan daerah lasan mencapai (30 – 95) % atau 98 HV – 144 HV jika dibandingkan dengan paduan aluminium sebelum dilakukan perlakuan panas (*artificial aging*) pada daerah logam dasar (96 – 109) HV, daerah HAZ (80 – 85) HV dan daerah lasan (70 – 74) HV.

Pengujian kekasaran permukaan (*surface roughness*) terhadap Aluminium seri 6013 T4 dilakukan terhadap material awal yang tidak dilakukan proses laku panas maupun material yang mengalami proses laku panas dengan memvariasikan waktu aging yaitu, 2, 3, 4 dan 5 jam. Hasil pengujian kekasaran permukaan untuk paduan Aluminium ini dapat dilihat pada tabel 3.3. sedangkan grafik hasil pengujian kekasaran permukaan dapat dilihat pada gambar 3.4. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui sejauh mana pengaruh dari proses perlakuan panas terhadap sifat mampu mesin dari paduan aluminium seri 6013-T4.

Pada hasil pengujian dapat kita lihat bahwa paduan aluminium yang mengalami proses perlakuan panas akan mengalami peningkatan nilai kekasaran permukaan yang selanjutnya-

mengalami penurunan nilai kekasaran permukaan seiring dengan penambahan waktu aging yang digunakan pada proses artificial aging pada paduan aluminium seri 6013-T4.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Alcoal bahwa paduan Aluminium seri 6013 ini mempunyai sifat mampu mesin dengan nilai C, sehingga hasil pengujian yang diperoleh akan dibandingkan dengan material awal dan dicari nilai yang optimal mendekati nilai dari material awalnya.

Hasil pengujian kekasaran permukaan pada kondisi 2 jam nilai Ra mengalami peningkatan sebesar 47,5 %, nilai Rz mengalami peningkatan sebesar 19,6 %, dan nilai Rmax mengalami penurunan 10,8 % dibandingkan dengan nilai Ra, Rz dan Rmax pada material awal. Pada kondisi 3 jam nilai Ra mengalami peningkatan 17,5 %, nilai Rz mengalami peningkatan 6,5 % dan nilai Rmax mengalami penurunan 4,8 % dibandingkan dengan nilai Ra, Rz dan R max pada material awal. Pada kondisi 4 jam nilai nilai Ra mengalami peningkatan 5 %, nilai Rz mengalami penurunan 30 % dan nilai Rmax mengalami penurunan 53 % dibandingkan dengan nilai Ra, Rz dan R max pada material awal, sedangkan pada kondisi 5 jam Ra mengalami penurunan 12,5 %, nilai Rz mengalami peningkatan 36,4 % dan nilai Rmax mengalami penurunan 53.3 % dibandingkan dengan nilai Ra, Rz dan R max pada material awal. Melihat hasil dari perhitungan prosentase terhadap peningkatan maupun penurunan dari nilai Ra, Rz dan Rmax jika dibandingkan dengan nilai material awal, maka nilai optimal terjadi pada kondisi 3 jam dimana prosentase peningkatan maupun penurunan yang terjadi jika diambil rata-rata secara keseluruhan mempunyai nilai terendah, yaitu $\pm 19,6 \%$, jika dibandingkan pada kondisi 2 jam ($\pm 26 \%$), 4 jam ($\pm 29,3\%$), dan 5 jam ($\pm 34,1\%$).

Hasil pengelasan paduan aluminium seri 6013-T4 dapat dibagi menjadi tiga daerah utama, yakni daerah mencair (*fusion zone*), daerah terpengaruh panas (*heat effected zone*, HAZ) dan logam induk (*base metal*). Ketiga daerah ini dikategorikan yang mengalami perubahan selama proses pengelasan maupun perlakuan panas.

Struktur mikro pada daerah mencair (*fusion zone*) berbentuk struktur dendritik, struktur ini terjadi karena laju pendinginan yang lambat. Proses terbentuk struktur dendritik dimulai dari antarmuka (*interface*) antara logam yang tidak ikut mencair dan logam yang ikut mencair, karena adanya gradient temperature yang cukup besar. Gradien temperature yang cukup besar akan menghasilkan *super cooling* yang besar, akibatnya terjadi pertumbuhan butir kolumnar dendritik berlawanan arah dengan arah aliran panas. Pada garis pusat las gradient temperatur rendah sehingga memberikan waktu yang cukup untuk pengkasaran butir pada jarak lengan dendrite. Pada gambar 7 adalah gambar struktur mikro dari paduan aluminium seri 6013-T4 yang mengalami proses pengelasan dan gambar 8 sampai dengan 11 adalah paduan aluminium seri 6013-T4 yang mengalami proses perlakuan panas dengan variasi waktu yang digunakan mulai dari 2, 3, 4 dan 5 jam. Pada gambar 8 sampai dengan 11 terlihat perubahan struktur mikro yang tadinya struktur tersebut mengalami pengkasaran dari presipitat sampai mengalami penghalusan dari presipitatnya. Perubahan bentuk dari struktur ini akan mempengaruhi terhadap distribusi kekerasan dari paduan aluminium seri 6013-T4.

Gambar 7 sampai dengan 11 (gambar pada keterangan 1) memperlihatkan struktur dendritik sedangkan (gambar pada keterangan 2) memperlihatkan batas antara struktur dendritik dan butir *equiakial*. Pada gambar 7 sampai 11 (keterangan gambar 2) terlihat pertumbuhan struktur dendritik kearah pusat pengelasan, sedangkan pada fusion zone terlihat adanya seperti pita hitam yang tersebar merata. Pita hitam yang tersebar merata pada *fusion zone* dan batas butir yang tebal pada daerah antar muka (*interface*) antara logam yang tidak ikut mencair

dan logam yang ikut mencair diperkirakan Al-Mg₂Si (ASMH-9).

III Kesimpulan

Dari data-data hasil pengujian yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan :

1. Hasil pengelasan pada paduan Aluminium seri 6013 T4 akan mengalami proses pelunakan ditandai dengan adanya penurunan nilai kekuatan tarik maupun kekerasannya dibandingkan sebelum paduan Aluminium tersebut mengalami proses pengelasan.
2. Paduan Aluminium seri 6013 T4 yang mengalami proses perlakuan panas setelah dilas, maka nilai kekuatan tarik maupun kekerasannya akan meningkat jika dibandingkan paduan aluminium tersebut tidak mengalami proses perlakuan panas.
3. Proses artificial aging yang optimal adalah pada saat waktu aging 3 jam yang memberikan nilai yang optimal terhadap kekuatan tarik pada hasil lasan TIG paduan Aluminium seri 6013 T4 yaitu sebesar 429 MPa (nilai rata-rata kekuatan tarik) dan lewat dari 3 jam kekuatan paduan Aluminium seri 6013 T4 akan turun pada kondisi temperatur yang tetap yaitu 180°C. Jadi semakin lama waktu aging dengan kondisi temperatur yang tetap maka kekuatan akan naik sampai mencapai suatu nilai optimal maka kekuatannya menurun seiring dengan penambahan waktu aging yang digunakan dalam proses perlakuan panas untuk paduan Aluminium seri 6013 T4.
4. Pengaruh proses perlakuan panas setelah pengelasan terhadap struktur mikro akan menghasilkan penghalusan terhadap presipitat.
5. Hasil pengujian kekasaran permukaan diperoleh harga yang optimum pada proses perlakuan panas dengan waktu 3 jam.

Daftar Pustaka

- ASMH-9 ASM Handbook, "Metallography and Microstructures", Vol 9, 9 Edt, ASM Internasional, Material Park, Ohio.
- AhKa04 Ahmad Kafrawi, 2004, "Pengaruh Variasi Jenis Logam Pengisi dan Masukan Panas Pada Pengelasan Aluminium 6013-T4 dengan Proses GTAW Terhadap Sifat Mekanik", Tesis, ITB, Bandung.
- Har_00 Harsono Wiryosumarto, Toshie Okumura, 2000, "Teknologi Pengelasan Logam", Cetakan kelima, PT Pradnya Paramita, Jakarta.
- SIWa00 Slamet Wahyudi dan Ahmad Efan Nurilmaulidi, "Analisa Pengaruh Variasi Proses Age Hardening Terhadap Sifat Mekanis Hasil Las Paduan Aluminium", Jurnal Teknik, Desember 2000, ISSN 0859-2139.
- VAFv99 VA Fedoseev, Viryasantev, 1999, "Mechanical Properties of Welded Joints in New Deformable Aluminum Alloys", Welding Journal.
- ViZv99 Viryasantev, VA Fedoseev, 1999, "Mechanical Properties of Welded Joints in Aluminum Alloys of The Al-Cu System", Welding Journal,