

PENGARUH VARIASI WAKTU AGING TERHADAP SIFAT MEKANIS PADUAN ALUMINIUM COR A356 SEBAGAI BAHAN PROPELER KAPAL

Suyanto*, Sri Pramono dan Riyanto Wibowo

Jurusan Teknik Bangunan Kapal, ATP Veteran Semarang

Jl. Pawiyatan Luhur IV No. 18 Bendan Dhuwur Semarang 50235.

*Email: suyantoe@ yahoo.com

Salah satu cara untuk meningkatkan sifat mekanis bahan aluminium paduan adalah dengan perlakuan panas T6. Perlakuan panas yang dilakukan meliputi langkah: 1) solutioning yaitu menahan material pada suhu 540 °C selama 1 jam, 2) quenching yaitu melakukan pendinginan cepat dengan mencelupkan material ke dalam air pada suhu kamar, dan 3) aging yaitu menahan material pada suhu aging 180 °C selama 1, 2, 3, dan 4 jam. Hasil dari uji tarik dan kekerasan menunjukkan bahwa nilai kekuatan tarik dan kekerasan tertinggi dicapai pada waktu aging 3 jam, dengan nilai berturut-turut 181,8 MPa dan 97,7 HRB. Waktu aging melebihi 4 jam akan berpengaruh pada penurunan kekuatan tarik dan kekerasan material.

Kata kunci: aluminium, kekerasan, kekuatan, T6

PENDAHULUAN

Aluminium murni adalah jenis logam yang masih mempunyai sifat lunak jika dijadikan bahan suatu komponen. Untuk meningkatkan kekuatan aluminium biasanya dipakai dua cara yaitu memadu dengan unsur lain, dan cara perlakuan panas. Menurut Meier (2004), cara optimum untuk penguatan aluminium adalah memadunya dengan unsur lain, dan dengan perlakuan panas. Tujuannya adalah untuk membentuk butir yang halus dan pembentukan precipitat untuk menghambat gerakan dislokasi. Aluminium murni tidak bisa dikeraskan dengan perlakuan panas, karena tidak mempunyai unsur pemanfaat yang cukup untuk membentuk precipitat. Maka disaratkan adanya unsur pemanfaat semisal Cu, Zn, dan Mg dengan prosentase yang cukup sebagai pembentuk precipitat.

Salah satu jenis paduan aluminium yang sering digunakan pada industri kapal, khususnya untuk pembuatan propeler adalah aluminium jenis A356. Jenis paduan ini juga banyak digunakan pada industri otomotif. Hal tersebut dikarenakan paduan aluminium A356 mempunyai sifat mampu tuang yang baik, serta kekuatan yang tinggi. Penggunaan A356 sebagai bahan propeler kapal tradisional dengan proses pengecoran menghasilkan produk dengan sifat mekanis seperti kekuatan tarik dan kekerasan yang masih rendah. Suyanto dan Syafaat (2018) melakukan penelitian tentang sifat mekanis propeler cor yang dibuat dengan bahan A356. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa kekuatan tarik bahan propeler sebesar 139,2 MPa. Nilai tersebut lebih rendah jika dibandingkan dengan kekuatan tarik

material A356 standar yaitu sebesar 172 MPa – 234 MPa (ASM Handbook, 1992). Kekuatan tarik yang dimiliki bahan propeler lebih rendah 18% dibanding harga standarnya. Hasil pengujian juga menunjukkan sifat material propeler yang getas, dengan nilai regangan sebesar 2,48%.

Salah satu cara untuk meningkatkan sifat mekanik bahan aluminium paduan adalah dengan perlakuan panas. T6 adalah salah satu perlakuan panas yang sering digunakan pada aluminium paduan. Proses T6 meliputi langkah *solutioning* yaitu menahan material pada kondisi temperatur sedikit di bawah temperatur *eutectic*, dengan tujuan melarutkan precipitat yang ada sehingga terbentuk *solid solution* yang homogen dalam bentuk fase α . Langkah berikutnya adalah *quenching* yaitu melakukan pendinginan cepat dengan mencelupkan material ke dalam cairan pendingin berupa minyak atau air. Langkah ini bertujuan membentuk *super saturated solid solution*. Langkah terakhir adalah *aging* yaitu menahan material pada suhu *aging* konstan dalam jangka waktu tertentu. Langkah ini bertujuan untuk mencapai terbentuknya precipitat baru dengan ukuran dan sebaran yang lebih homogen. Terbentuknya precipitat baru ini akan berpengaruh pada peningkatan sifat mekanik bahan seperti kekuatan tarik dan kekerasan.

Penelitian tentang perlakuan panas pada aluminium paduan yang pernah dilakukan diantaranya oleh Zulfia dkk., (2010), yang meneliti tentang proses aging pada paduan aluminium AA333 hasil proses *sand casting*. Penelitian tersebut dilatarbelakangi oleh banyaknya pemakaian aluminium AA333 untuk

bahanan industri otomotif. Namun AA333 pada *kondisi as cast* masih memiliki sifat mekanik yang rendah. Perlakuan panas yang dipilih adalah T6, diawali dengan solution treatmen pada suhu 525 °C selama 8 jam, kemudian dilanjutkan proses *quenching*. Proses *aging* dengan suhu 180 °C divariasikan waktunya 25 menit, 1, 5, 8, dan 16 jam. Sedangkan untuk *aging* dengan waktu 5 jam divariasikan suhunya 110 °C, 150 °C, 180 °C, 200 °C, dan 250 °C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan optimum dicapai pada suhu *aging* 180 °C selama 5 dan 8 jam.

Kai Wu (2012), dalam tulisannya tentang prediksi respon aluminium cor terhadap perlakuan panas menyebutkan bahwa aluminium hasil pengecoran tidak dapat dikeraskan dengan proses *work hardening*, melainkan harus dikuatkan dengan precipitat fasa kedua dalam matrik paduan dengan cara *heat treatmen*. Secara umum *heat treatmen* terdiri dari *solutionizing*, *quenching*, dan *aging*. Material yang dipakai dalam penelitiannya adalah A356, dengan penambahan AlTiB 0,2%. *Solutionizing* dilakukan pada suhu 546 °C selama 12 jam, kemudian *quenching* dilakukan dengan mencelupkan bahan dalam air bersuhu 80 °C, dilanjutkan dengan *aging* pada suhu 155 °C selama 4 jam.

Pezda (2014), dalam jurnalnya menyebutkan bahwa perlakuan panas T6 dengan parameter tertentu biasa dilakukan untuk melakukan perubahan sifat mekanik material khususnya aluminium dan paduannya. Perlakuan panas T6 akan menghasilkan material yang mempunyai precipitat berupa partikel Mg₂Si atau Al₂Cu dalam butiran yang terbentuk selama proses aging. Aging adalah faktor yang sangat penting dalam *heat treatmen*, karena temperatur dan waktu yang dipilih akan sangat menentukan perubahan kekuatan tarik dan *elongation* material. Pilihan temperatur aging rendah (misalkan 165 °C) akan memberikan efek yang signifikan pada kekuatan tarik, namun cenderung menurunkan *elongation* material. Sedangkan aging dengan pilihan suhu tinggi (misalkan 325 °C) atau diatasnya berpengaruh pada peningkatan *elongation* material, namun menurunkan kekuatan tarik.

Pertimbangan temperatur *aging* tersebut menjadi dasar bagi Pezda (2014), untuk melakukan penelitian tentang pengaruh perlakuan panas terhadap sifat mekanik paduan Al-Si-Mg *hipoeutektoid* yaitu aluminium

paduan A356. Material tersebut dipilih dengan pertimbangan banyak dipakai pada bidang otomotif khususnya untuk bahan veleg, cilinder blok, dan pompa part pada pesawat. Kelebihan AA356 yang lain adalah memiliki kekuatan tinggi dengan bobot yang ringan, mempunyai mampu tuang yang baik, tahan korosi, dan harganya murah. Perlakuan panas yang dipilih adalah T6 dengan temperatur *solid solubility* 465-550 °C selama 0,5 – 3 jam, dilanjutkan dengan *aging* pada temperatur 165 °C - 325 °C selama 2-8 jam. Dari penelitian ini disimpulkan bahwa kekuatan tarik tertinggi dicapai pada proses *solid solubility* 520-530 °C dengan waktu 0,5 – 3 jam, dilanjutkan dengan aging pada temperatur 165 °C selama 5-8 jam.

Penelitian laku panas T6 terhadap paduan Aluminium dilakukan dengan tahapan *solutioning*, *quenching*, dan *aging*. Dari ketiga tahapan tersebut, beberapa peneliti mengambil variabel suhu *solutioning* dan *aging* yang hampir sama. Namun variabel waktu *solutioning* dan *aging* yang diambil oleh beberapa peneliti sangat bervariasi. Moller dkk., (2008), Abdulwahab dkk., (2012), Yulfitra dan Iswanto (2012), menggunakan suhu *solutioning* 540 °C. Sementara itu Anzip dan Suharyanto (2006), Abdillah (2012), dan Ridvan dkk., (2018), menggunakan suhu *solutioning* berturut-turut 538 °C, 535 °C, dan 520 °C. Terkait dengan waktu penahanan pada proses *solutioning*, Yulfitra dan Iswanto (2012), menggunakan waktu 30 dan 60 menit, Abdulwahab dkk., (2012) menggunakan waktu 1 jam, Moller dkk., (2008) menggunakan waktu 1 jam dan 6 jam, Ridvan dkk., (2018), menggunakan waktu 4 jam, dan Anzip dan Suharyanto (2006) menggunakan waktu 6 jam. Variasi suhu proses aging pada beberapa penelitian bervariasi, dan rata-rata mengambil suhu aging 150 °C hingga 200 °C. Waktu penahanan aging bervariasi antara 1 hingga 7 jam.

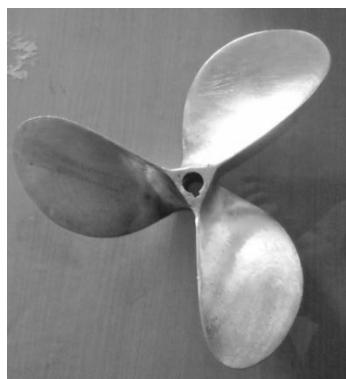
Perlakuan panas yang dikenakan pada aluminium paduan bertujuan untuk meningkatkan sifat mekanis, terutama kekerasan kan kekuatan tarik material. Dari beberapa penelitian yang di lakukan, kekerasan dan kekuatan tertinggi dicapai setelah proses aging yang bervariasi. Penelitian Ridvan dkk., (2018) mencapai nilai kekuatan dan kekerasan tertinggi dengan suhu *aging* 180 °C dalam waktu 20 menit. Moller dkk., (2008) mencapai kekuatan dan kekerasan tertinggi dengan suhu *aging* 180 °C selama 1 jam. Yulfitra dan

Iswanto (2012), mencapai kekuatan dan kekerasan tertinggi dengan suhu *aging* 200 °C selama 2 jam. Abdulwahab dkk., (2012) mencapai kekuatan dan kekerasan tertinggi dengan suhu *aging* 200 °C selama 3 jam. Setelah mencapai nilai kekerasan dan kekuatan optimum, jika waktu penahanan pada proses *aging* ditambah, maka kekuatan tarik dan kekerasan akan cenderung menurun. Hal itu terjadi karena penambahan waktu aging akan memberikan kesempatan terjadinya pertumbuhan butir. Dan ini akan berpengaruh pada penurunan kekerasan dan kekuatan (Ridvan dkk., 2018).

METODOLOGI

Pengecoran Propeler

Pengecoran propeler aluminium dilakukan di UMKM industri pengecoran logam Juwana Pati. Pengecoran menggunakan bahan aluminium ingot yang siap pakai. Setelah produk propeler jadi, kemudian dibuat spesimen uji tarik, uji kekerasan, dan uji komposisi dengan memotong daun propeler.



Gambar 1. Propeler aluminium as cast

Perlakuan Panas

Perlakuan panas yang dikenakan pada bahan propeler aluminium adalah T6. Proses T6 dilakukan di Laboratorium Material Teknik Universitas Wahid Hasyim (Unwahas), dengan tahapan sebagai berikut:

- 1) *Solutioning*, yaitu menahan material pada suhu sedikit di bawah suhu *eutectic* yaitu 540°C selama 1 jam, dengan tujuan melarutkan precipitat yang ada sehingga terbentuk *solid solution* yang homogen dalam bentuk fase α .
- 2) *Quenching*, yaitu melakukan pendinginan cepat dengan mencelupkan material ke dalam air pada suhu kamar. Langkah ini

bertujuan membentuk *super saturated solid solution*.

- 3) *Aging*, yaitu menahan material pada suhu *aging* 180°C selama 1 jam, 2 jam, 3 jam, dan 4 jam. Langkah ini bertujuan untuk mencapai terbentuknya precipitat baru dengan ukuran dan sebaran yang lebih homogen.

Uji Komposisi

Uji Komposisi dilakukan guna mendapatkan nilai komposisi kimia dari unsur-unsur yang terkandung dalam material aluminium paduan bahan propeler. Pengujian dilakukan dengan menggunakan spectrometer bertempat di Laboratorium Metalurgi Politeknik Manufaktur Ceper, Klaten. Spesimen uji komposisi disiapkan dengan potongan material dengan ketebalan 2 cm. Spesimen uji komposisi dibuat dengan ketebalan cukup agar tidak terjadi efek terbakar pada saat pengujian.

Uji Tarik

Uji tarik yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui sifat mekanis material seperti kekuatan tarik, keuletan, kekakuan, serta ketangguhan material. Pelaksanaan uji tarik berdasarkan standar ASTM E-8M. Ukuran utama spesimen uji tarik adalah panjang ukur 25 mm, lebar 6 mm dan tebal 3 mm.

Uji Kekerasan

Uji kekerasan dilakukan dengan menggunakan alat uji Brinell berdasarkan standar ASTM E-10. Daun propeler dipotong kemudian dilakukan mounting untuk mempermudah pengaturan posisi spesimen ketika pengujian. Pengamplasan dilakukan untuk mendapatkan permukaan yang rata dan halus. Identor dikenakan pada permukaan penampang potongan dengan arah melintang dari daun propeler. Pengujian dilakukan di Laboratorium Material Teknik Unwahas.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji Komposisi

Hasil uji komposisi menunjukkan unsur-unsur yang terkandung dalam bahan aluminium paduan seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi bahan propeler

Unsur	Si	Fe	Cu	Mg	Zn
A356 as cast	7,48	0,78	0,12	0,42	0,46
A356 Standar	6,5-7,5	0,6	-	0,25- 0,45	0,35
ASM					

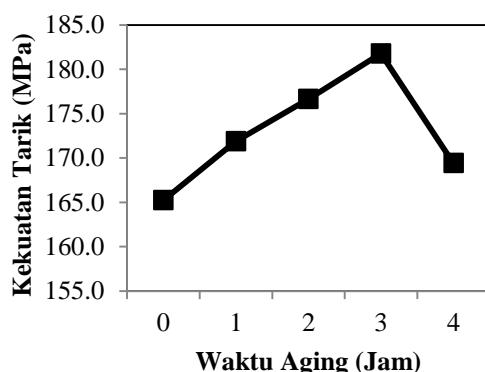
Tabel 1 menunjukkan bahwa unsur paduan dominan yang terdapat pada bahan propeler adalah Si sebesar 7,48%, disusul Fe 0,78%, dan Zn 0,46%. Jika kita bandingkan dengan komposisi Aluminium paduan A356 standar ASM yang mempunyai unsur paduan Si 6,5%-7,5%, Fe 0,6%, Mg 0,25% - 0,45%, dan Zn 0,35%, maka didapatkan perbedaan antara dua aluminium paduan di tersebut, yaitu pada unsur Fe dan Zn. Material A356 standar hanya mengandung Fe dan Zn sekitar 0,6% dan 0,35%, sedangkan hasil uji komposisi material propeler menunjukkan kandungan Fe dan Zn sebesar 0,78% dan 0,4%. Unsur Cu pada material propeler terkandung sebesar 0,12%. Kehadiran Fe, Cu, dengan prosentase cukup besar ini tentunya akan berpengaruh pada sifat mekanis material.

3.2 Uji Tarik

Uji tarik dilakukan berdasarkan standar ASTM E-8M. Hasil uji tarik menunjukkan nilai kekuatan tarik dan keuletan ditunjukkan pada Tabel 2

Tabel 2. Nilai kekuatan tarik dan keuletan

WAKTU AGING (Jam)	KEKUATAN TARIK (MPa)	KEULETAN (%)
0	165,2	10,2
1	171,9	10,2
2	176,6	8,3
3	181,8	8,2
4	169,4	9,0

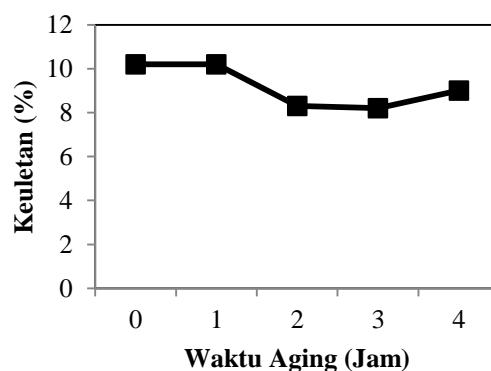


Gambar 2. Nilai Kekuatan tarik material sebagai fungsi dari waktu aging

Kekuatan tarik bahan propeler sebelum laku panas adalah 139,2 MPa. Setelah dilakukan *solutioning* dan *quenching* namun belum mengalami *aging*, kekuatan tariknya

menjadi 165,2 MPa. Setelah dilakukan aging, kekuatan tarik terus meningkat hingga mencapai 181,8 MPa pada waktu aging 3 jam. Namun ketika aging diteruskan melebihi 3 jam, kekuatan tariknya mulai menurun.

Faktor yang mempengaruhi terjadinya peningkatan nilai kekuatan tarik dan kekerasan bahan adalah terbentuknya precipitat Mg_2Si di dalam matrik Al α (Ridvan dkk., 2018). Keberadaan precipitat ini terdispersi secara merata di batas butir dan berfungsi sebagai penghalang dan mempersulit terjadinya dislokasi, sehingga gaya yang diperlukan untuk mendeformasi semakin besar. Akibatnya adalah nilai kekerasan dan kekuatan material akan meningkat, namun keuletan material akan turun.



Gambar 3. Nilai keuletan material sebagai fungsi dari waktu aging

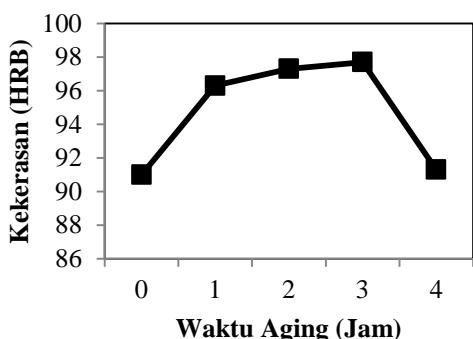
Keuletan bahan propeler sebelum laku panas adalah 5,2%. Setelah mengalami *solutioning* dan *quenching*, dan belum mengalami *aging* keuletannya menjadi 10,2 %. Keuletan bahan makin menurun seiring dengan penambahan waktu aging, dan keuletan terendah adalah 8,2% terjadi saat waktu aging 3 jam. Kemudian keuletan kembali meningkat ketika waktu aging melebihi 3 jam.

Uji Kekerasan

Uji kekerasan material dilakukan berdasarkan standar ASTM E-10 dengan uji kekerasan Brinell. Hasil uji kekerasan material setelah mendapatkan laku panas T6 dengan suhu aging 180 °C dan waktu aging yang divariasikan bisa dilihat pada Tabel 3 dan Gambar 4.

Tabel 3. Nilai uji kekerasan

WAKTU AGING (Jam)	KEKERASAN (BHN)
0	91,0
1	96,3
2	97,3
3	97,7



Gambar 4. Nilai kekerasan material sebagai fungsi dari waktu aging

Hasil uji kekerasan pada material propeler *as cast* menunjukkan nilai 83,6 BHN. Setelah mengalami *solutioning* dan *quenching*, dan belum mengalami *aging*, kekerasannya menjadi 91 BHN. Kekerasan terus meningkat seiring dengan penambahan waktu *aging*. Proses T6 mendapatkan hasil kekerasan tertinggi 97,7 BHN dicapai pada waktu *aging* 3 jam. Kekerasan kemudian menurun seiring penambahan waktu *aging* di atas 3 jam.

Nilai kekuatan tarik dan kekerasan bahan setelah mengalami laku panas T6 dengan waktu *aging* lebih dari 4 jam menyebabkan nilai kekerasan menurun. T6 dengan waktu yang terlalu lama akan memberikan kesempatan terjadinya pertumbuhan butir (Ridvan dkk., 2018). Dengan ukuran butir yang lebih besar ini akan berpengaruh terhadap penurunan nilai kekerasan dan kekuatan material, namun keuletan akan meningkat.

1. KESIMPULAN

- 1) Nilai kekuatan tarik dan kekerasan tertinggi dicapai pada waktu aging 3 jam, dengan nilai berturut-turut 181,8 MPa dan 97,7 HRB.
- 2) Nilai keuletan material akan turun ketika nilai kekuatan tarik dan kekerasan naik, demikian pula sebaliknya.
- 3) Waktu aging melebihi 4 jam akan berpengaruh pada penurunan kekuatan tarik dan kekerasan material.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdillah, F., (2012), Pengaruh Waktu Penahanan *Artificial Aging* Terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro Coran Paduan Al-7%Si, *Gardan*, vol. 1, no.1, pp. 112-119.
- Abdulwahab, M., Madugu, IA., Yaro, SA., Popoola, API., (2012), Effects of Temper Conditions and Step-Quenching-Ageing on the Hardness Characteristics and Yield Strength of A356.0-type Al-Si-Mg Alloy, *Silicon*, vol. 4, pp.137–143.
- Anonimous, Properties and Selection Nonferrous Alloy and Special-Purpose Materials, *ASM International*, Vol. 2, (1992).
- Anzip, A., Suhariyanto, (2006), Peningkatan Sifat Mekanik Paduan Aluminium A356.2 dengan Penambahan Manganese (Mn) dan Perlakuan Panas T6, *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 8, No. 2, pp. 64 – 68.
- ASM Handbook, (1992)
- Kai Wu, C., (2012), Predicting The Response of Aluminum Casting Alloys to Heat Treatment, *Tesis, Worcester Polytechnic Institute*.
- Meier, M., (2004), Heat Treatment of Aluminium Alloys, *Department of Chemical Engineering and Materials Science. University of California, Davis*.
- Moller, H., Govender, G., Stumpf, WE., (2008), Investigation of the T4 and T6 Heat Treatment Cycles of Semi-Solid Processed Aluminium Alloy A356, *The Open Materials Science Journal*, vol. 2, pp.11-18.
- Pezda, J., (2014), The Effect of The T6 Heat Treatmen on Hardness and Microstructure of The En AC-AlSi12CuNiMg Alloy, *Metalurgija*, vol. 53, no. 1, pp. 63-66.
- Ridvan G., Serhat A., Alptekin K., Kerem AG., Ahmet K., (2018), Influence of T6 heat treatment on A356 and A380 aluminium alloys manufactured by thixoforging combined with low superheat casting, *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, vol. 28, pp. 385–392.
- Suyanto, Syafaat, I., (2018), Analisis Sifat Mekanis Propeler Perahu Nelayan Tradisional Berbahan Aluminium, *Momentum*, vol 14, no. 1, pp. 33-38.
- Yulfitra, Iswanto, PT., (2012), Pengaruh Variasi Waktu Solution Heat Treatmen dan Suhu Aging Perlakuan Panas T6 pada

- Centrifugal casting 400 rpm dengan Grain Refiner AlTiB 7,5% Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Paduan Aluminium Cor Velg Sepeda Motor, *Symposium Nasional RAPI XI FT UMS – 2012*, Pp M48-M52.
- Zulfia, A., Juwita, R., Uliana, A., Jujur, IN., Raharjo, J., (2010), Proses Penuaan (*Aging*) pada Paduan Aluminium AA 333 Hasil Proses *Sand Casting*, *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 12, no. 1, pp. 13–20.