

Pengaruh Waktu Perendaman Deep Cryogenic Treatment Yang Di Lanjut Aging Terhadap Sifat Mekanik Paduan Fe-11Al-25Mn

Ravendra Putra Manggala¹, Ratna Kartikasari^{2*}, Dandung Rudy Hartana³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta

Jl. Babarsari No. 1 Caturtunggal Depok Sleman, Yogyakarta, 55281

*Corresponding author: ratna@itny.ac.id.

Abstract

Fe-11Al-25Mn alloy is a new stainless steel alloy which is said to be a candidate to replace conventional stainless steel (Fe-Cr-Ni alloy). Aluminum (Al) and Manganese (Mn) play a role in replacing elements of chromium (Cr) and nickel (Ni) which are relatively expensive. This study aims to study the effect of immersion time in Deep Cryogenic Treatment (DCT) on the microstructure, hardness, and toughness of Fe-11Al-25Mn alloy. The research stage starts from specimen preparation, namely cutting the Fe-11Al-25Mn alloy for testing. The DCT process was carried out by immersion in liquid nitrogen at a temperature of 196°C with time variations of 1 hour, 2 hours, 3 hours, 4 hours, and 5 hours, followed by returning to room temperature (warming). Then continued the aging process at a temperature of 250°C for 2 hours. The tests carried out were microstructure test, hardness test using Vickers method and Impact using Charpy method. The test results of the Fe-11Al-25Mn alloy composition showed that the percentage of Fe content was 58.49%, Al 12.45%, Mn 23.33%, so it was categorized as high alloy steel. Observation of the microstructure photo shows the formation of two phases, namely austenite and ferrite, so it is categorized as duplex stainless steel. The DCT process followed by aging increased the hardness value until it reached a maximum of 427,3 kg/mm² of immersion for 5 hours and increased the maximum impact value on 1 hour of immersion, which was 0.025 J/mm².

Keywords: Fe-11Al-25Mn alloy, deep cryogenic treatment, microstructure, hardness, impact.

Abstrak

Paduan Fe-11Al-25Mn merupakan paduan baja tahan karat baru yang disebut sebagai kandidat yang dapat menggantikan baja tahan karat konvensional (paduan Fe-Cr-Ni). Aluminium (Al) dan Mangan (Mn) berperan menggantikan unsur kromium (Cr) dan nikel (Ni) yang harganya relatif mahal. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh waktu perendaman Deep Cryogenic Treatment (DCT) terhadap struktur mikro, kekerasan, dan ketangguhan paduan Fe-11Al-25Mn. Tahapan penelitian dimulai dari persiapan spesimen yaitu memotong paduan Fe-11Al-25Mn untuk pengujian. Proses DCT dilakukan dengan perendaman dalam nitrogen cair pada temperatur -196°C dengan variasi waktu 1 jam, 2 jam, 3 jam, 4 jam, dan 5 jam, dilanjutkan pengembalian kembali ke suhu kamar (warming). Kemudian dilanjutkan proses aging pada suhu 250°C selama 2 jam. Pengujian yang dilakukan adalah uji struktur mikro, uji kekerasan dengan metode Vickers dan Impak dengan metode Charpy. Hasil pengujian komposisi paduan Fe-11Al-25Mn menunjukkan presentase kandungan Fe 58,49%, Al 12,45%, Mn 23,33%, sehingga dikategorikan baja paduan tinggi. Pengamatan foto struktur mikro menunjukkan terbentuknya dua fasa yaitu austenit dan ferit, sehingga dikategorikan sebagai duplex stainless steel. Proses DCT yang dilanjutkan aging meningkatkan nilai kekerasan hingga mencapai maksimum pada perendaman selama 5 jam yaitu sebesar 427,3 kg/mm² dan meningkatkan harga impak maksimum pada perendaman selama 1 jam yaitu sebesar 0,025 J/mm².

Kata kunci: Paduan Fe-11Al-25Mn, deep cryogenic treatment, struktur mikro, kekerasan, impak.

PENDAHULUAN

Uraikan latar belakang dan tujuan dari penelitian anda dengan menyertakan basis *High manganese steel* adalah baja yang memiliki kandungan unsur Fe (Besi), Al (aluminium), dan Mn (mangan), komposisi yang terkandung dalam logam tersebut berpengaruh pada sifat mekanisnya (Gunawan, 2014). Karakteristik baja mangan tinggi yaitu memiliki ketangguhan tinggi, daktilitas tinggi, *strain hardening* tinggi, dan ketahanan aus yang sangat baik sehingga baja mangan tinggi biasanya dipergunakan untuk komponen-komponen yang mengalami gesekan pada saat beroperasinya karena memiliki tingkat ketangguhan yang tinggi daripada baja jenis lain (Akuan, 2009). Sistem paduan yang menjadi kandidat pengganti Fe-Cr-Ni adalah paduan Fe-Al-Mn dengan keunggulan dapat bekerja pada aplikasi temperatur medium sampai tinggi dan harga yang relatif murah (Kartikasari, 2011). Penambahan unsur Al (aluminium) yang memiliki keberadaan yang berlimpah dan mudah diproduksi, digunakan untuk paduan Fe-Al-Mn yang dapat menstabilkan struktur ferit sehingga penambahan Al pada sistem paduan dapat meningkatkan ketahanan korosi dan oksidasi (Kartikasari, 2011). Unsur Mn (mangan) pada sistem paduan dapat menambah *ductility* dan *workability* pada paduan dan dikenal dapat menstabilkan unsur austenit. *Cryogenic* adalah proses suatu bahan mengalami perlakuan suhu rendah yang bertujuan untuk meningkatkan ketahanan aus, ketahanan tarik, ketangguhan, kekerasan, dan lain-lain, dengan merubah struktur mikro secara permanen (Thorton, 2014), Penambahan proses *Deep Cryogenic Treatment (DCT)* setelah proses perlakuan panas konvensional dapat meningkatkan ketahanan aus yang lebih baik dari komponen baja lain (Kumar dan Rajendran, 2014). Untuk mendapatkan struktur *cryogenic treatment* yang optimal maka terlebih dahulu baja dipanaskan pada suhu terendah austenit (Kumar, 2000).

Kartikasari (2009) melakukan penelitian tentang pengaruh temperatur temper terhadap sifat mekanik dan ketahanan korosi paduan Fe- 1,26Al-1,05C dengan temperatur temper 250, 300, 350, 400, 450 °C. Huang, dkk (2003) juga mengungkapkan bahwa tidak hanya meningkatkan jumlah serta volume karbida dan membentuk pengendapan karbida tetapi proses *Cryogenic Treatment* juga dapat membuat pengendapan karbida lebih halus dan homogen. Jaswin (2010) melakukan penelitian tentang pengaruh *Shallow Cryogenic Treatment (SCT)* dan *Deep Cryogenic Treatment (DCT)* terhadap peningkatan ketahanan aus pada baja katup En 52 dan 21-4N menggunakan *reciprocatory friction* dan *wear monitor*. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Kumar dan Pati (2000), tentang *Deep Cryogenic Treatment (DCT)* terhadap baja paduan dilaporkan bahwa proses lengkap *Cryo-Heat-Treatment* harus diawali dengan proses *austenitizing*, pendinginan (*quenching*), dan *tempering*; semua proses sebaiknya dilakukan satu per satu secara berurutan (dalam satu siklus). Berdasarkan penelitian yang dilakukan Kartikasari (2013), tentang pengaruh temperatur anil terhadap ketangguhan dan ketahanan korosi paduan baja ringan paduan Fe-Al-Mn-Si pada temperatur 850,900,950,1000,1050°C, yang ditahan selama 60 menit dan diikuti dengan pendinginan didalam dapur, dikatakan bahwa paduan Fe-Al-Mn-Si mengalami peningkatan ketangguhan sebesar 9% dengan pemanasan pada temperatur 850 °C dengan holding time selama 60 menit dan tinggi temperatur hingga mencapai nilai tertinggi pada pemanasan 1050°C.

METODE PENELITIAN

Bahan baku penelitian adalah baja paduan Fe-11Al-25Mn dalam bentuk ingot dengan ukuran 4cm x 4,2cm x 18,7cm. Pengujian komposisi kimia dilakukan menggunakan alat spectrometer milik PT. Itokoh Ceperindo, Klaten. Baja paduan Fe-11Al-25Mn selanjutnya dipotong membentuk spesimen uji struktur mikro, uji kekerasan dan uji impak dengan ukuran panjang 5mm lebar 5mm, dan tebal 5mm. Proses *Deep Cryogenic Treatment* dimulai dengan pemanasan pada temperatur 250°C selama 2 jam kemudian dicelupkan kedalam larutan nitrogen cair pada suhu 196°C dengan variasi waktu selama 1 jam, 2 jam, 3 jam, 4 jam, 5 jam kemudian dilanjutkan pendinginan udara. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian struktur mikro menggunakan alat mikroskop optik, uji kekerasan dengan metode Vickers, dan uji impak menggunakan alat uji impak metode charpy.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Hasil Pengujian Komposisi Kimia

Tabel 1. Hasil pengujian komposisi kimia paduan Fe-11Al-25Mn

Unsur	%Berat
Fe	58,49
C	1,4
Al	12,45
Si	1,64
Mn	24,33
Mo	0,18
Cr	0,9
Ni	0,05
N	0,19
P	0,06
V	0,02
Cu	0,12
Ti	0,02
Sb	0,08
Zn	0,04
Nb	0,01
Co ff	0,02

Hasil pengujian komposisi kimia paduan Fe-11Al-25Mn (Tabel 4.1), menunjukkan bahwa jumlah kadar unsur utama besi (Fe) sebesar 58,49%, unsur paduan utama aluminium (Al) 12,45%, mangan (Mn) 24,33% dan karbon (C) 1,40%. sebagai berikut: Nikel (Ni) 0,05%, niobium (Nb) 0,01%, silikon (Si) 1,64%, kromium. Jumlah unsur paduan utama ditambah kadar unsur paduan lain adalah sebesar sebesar 41,51%, sehingga paduan ini termasuk baja paduan tinggi (Smallman,

1991). Kartikasari (2013) mengatakan bahwa penambahan unsur aluminium (Al) sebagai pembentuk dan penstabil ferit kedalam paduan Fe-11Al-25Mn sebesar 12,45%, meningkatkan kekerasan dan ketahanan korosi. Binudi (2014), mengatakan bahwa penambahan unsur Mangan (Mn) yang merupakan unsur pembentuk dan penstabil austenit kedalam paduan Fe-11Al-25Mn sebesar 24,33%, dalam sistem paduan membuat butiran lebih halus, meningkatkan kekuatan dan kekerasan tanpa mengurangi keuletan, sehingga baja menjadisemakin keras dan ulet (tangguh). Unsur karbon (C) dengan jumlah 1,40% menyebabkan paduan ini sulit dibentuk karena termasuk baja karbon tinggi yang memiliki sifat kekerasan relatif tinggi. Unsur-unsur yang lain tidak terlalu berpengaruh terhadap sistem paduan karena kandungan yang ada tergolong kecil (Nasution, 2008).

Analisis Hasil Pengujian Struktur Mikro

Pengujian struktur mikro dilakukan dengan pengamatan pada benda uji menggunakan mikroskop optik setelah benda uji dietsa. Zat kimia yang digunakan untuk etsa adalah *aqua regia*. Benda uji tersebut terdiri atas spesimen *raw material* dan spesimen setelah proses *Deep Cryogenic Treatment* pada temperatur $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ dengan variasi waktu perendaman 1 jam, 2 jam, 3 jam, 4 jam dan 5 jam. Pengujian struktur mikro menggunakan perbesaran 200x pada seluruh spesimen.

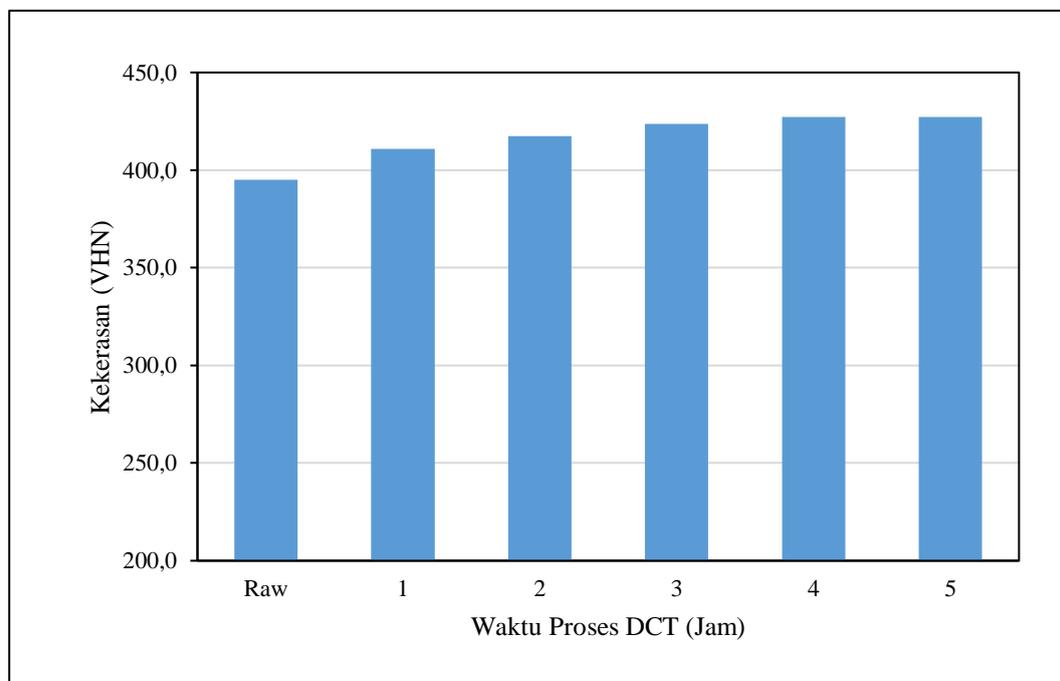


Gambar 1. Hasil Uji Struktur Mikro pada paduan Fe-11Al-25Mn setelah proses DCT dilanjutkan Aging

Hasil uji struktur mikro paduan Fe-11Al-25Mn memperlihatkan struktur austenit dan ferit yang mengelilingi austenit dengan pola dendritik yang terlihat pada area batas butir austenit seperti pada Gambar 1., untuk spesimen *raw material*. Pada proses perendaman *Deep Cryogenic Treatment* (DCT) 1 jam menunjukkan struktur mikro ferit dan austenit yang terbentuk dengan besar butir ferit yang relatif besar, terlihat lebih homogen dibandingkan dengan foto struktur mikro *raw material*. Pada proses perendaman DCT dengan waktu 2 jam, menunjukkan struktur mikro yang terbentuk adalah austenit dan ferit dengan tumbuhnya struktur ferit yang lebih besar pada area batas butir yang terlihat relatif lebih besar dan berjarak. Proses perendaman DCT dengan waktu 3 jam menunjukkan struktur ferit yang lebih besar di area batas butir. Sedangkan, struktur austenit mengecil. Spesimen proses perendaman DCT 4 jam menunjukkan bentuk struktur ferit yang kembali membesar dan struktur austenit yang mengecil dan lebih rapat dibandingkan proses perendaman DCT 3jam. Selanjutnya proses DCT pada spesimen dengan waktu perendaman 5 jam memperlihatkan struktur ferit tumbuh dengan ukuran butir yang besar pada area batas butir, struktur austenit yang mengecil serta struktur ferit terlihat membesar dibandingkan proses perendaman DCT 4 jam. Semakin lama waktu perendaman akan mengubah besar butir struktur austenit menjadi besar akan tetapi besar butir ferit akan mengecil, dan akan mengubah kisi pada spesimen (Chanstain, 2004). Berdasarkan analisis hasil uji struktur mikro pada Gambar 4.1–Gambar 4.7 dapat diambil kesimpulan bahwa paduan Fe-11Al-25Mn termasuk kategori *duplex stainless steel*. Hal ini dibuktikan oleh terbentuknya dua fasa struktur mikro yaitu struktur austenit dan juga struktur ferit (Huang, dkk 2003).

Analisis Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan metode uji kekerasan *Vickers*. Harga kekerasan yang diperoleh dengan cara menghitung beban yang diberikan dibagi dengan nilai rata-rata diagonal bekas pijakan piramida intan pada posisi yang diuji.



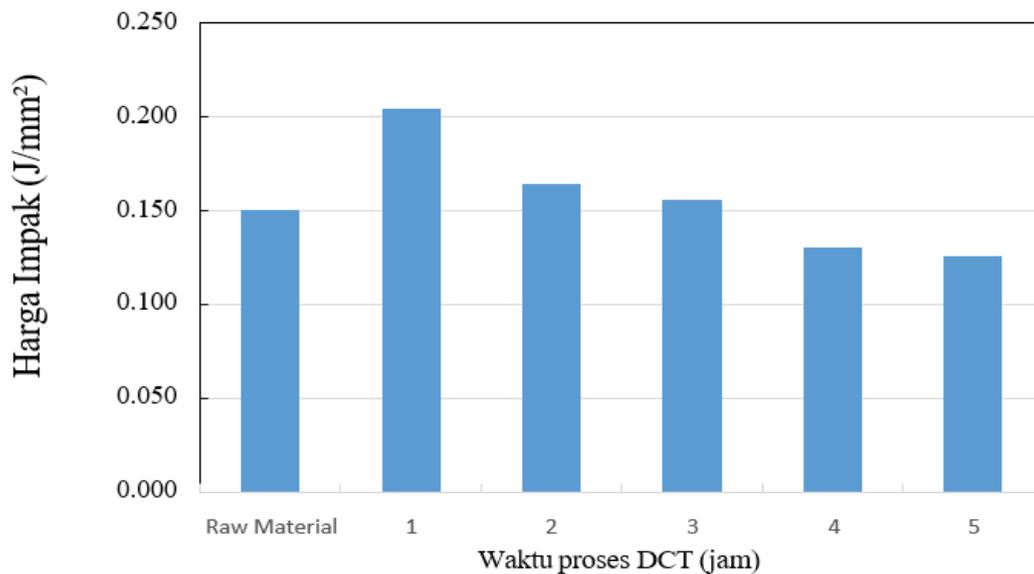
Gambar 2. Diagram hasil kekerasan rata-rata paduan Fe-11Al-25Mn Setelah proses DCT dilanjutkan *aging*.

Gambar 2 menunjukkan hasil pengujian kekerasan menggunakan metode kekerasan *Vickers* dengan beban sebesar 30 kgf, setiap spesimen dilakukan pengujian pada 3 titik secara acak dan berurutan. Berdasarkan hasil pengujian terhadap spesimen uji paduan Fe-11Al-25Mn diperoleh nilai kekerasan paling tinggi pada variasi waktu 5 jam dengan angka kekerasan sebesar 427,3 kg/mm². Tingginya nilai kekerasan ini dikarenakan ukuran butir struktur austenit yang lebih besar dan struktur ferit yang mengandung ferit Fe-Al. Hasil perhitungan pengujian kekerasan *Vickers* untuk spesimen dengan proses perendaman DCT waktu 1 jam, diperoleh angka kekerasan sebesar 410,9 kg/mm², yang mana mengalami kenaikan sebesar 6,5% dibandingkan spesimen *raw material*. Hal ini terjadi karna perubahan ukuran butir struktur austenit sedikit lebih kecil dan ferit menjadi lebih besar. Selanjutnya untuk hasil perhitungan proses DCT dengan waktu perendaman 2 jam memperlihatkan nilai kekerasan sebesar 417,4 kg/mm², yang mana mengalami kenaikan sebesar 5% dibandingkan dengan nilai kekerasan pada spesimen dengan proses perendaman DCT 1 jam.

Kenaikan yang terjadi dilihat dari hasil pengamatan struktur mikro menunjukkan perubahan besar butir austenit dan ferit membesar dibandingkan spesimen proses DCT 1 jam. Hasil perhitungan kekerasan pada spesimen proses DCT waktu perendaman 3 jam menunjukkan nilai kekerasan sebesar 423,8 kg/mm². Nilai kekerasan ini naik 1% dibandingkan nilai kekerasan pada proses DCT 2 jam. Hal ini disebabkan ukuran butir struktur ferit dan austenit berubah semakin membesar pada area batas butir. Spesimen dengan proses DCT waktu perendaman selama 4 jam, menunjukkan nilai kekerasan sebesar 427,2 kg/mm², spesimen ini mengalami peningkatan nilai kekerasan sebesar 1% dari spesimen proses perendaman DCT 3 jam. Hal ini dikarenakan ukuran butir austenit sedikit lebih besar, struktur ferit membesar. Selanjutnya untuk spesimen proses DCT waktu perendama 5 jam kembali mengalami kenaikan nilai kekerasan sebesar 1% dengan nilai kekerasan 427,3 kg/mm², dibandingkan n spesimen proses DCT waktu perendaman 4 jam. Kenaikan nilai kekerasan ini dikarenakan besar butir austenit dan ferit lebih membesar. Dari data nilai kekerasan dapat disimpulkan bahwa nilai kekerasan paling tinggi terdapat pada spesimen variasi waktu 5 jam dengan nilai kekerasan sebesar 427,3kg/mm². Sedangkan nilai kekerasan pada spesimen dengan proses perendaman DCT variasi waktu 1 jam, 2 jam, 3 jam dan 4 jam menunjukkan bahwa perubahan nilai kekerasan yang tidak signifikan karena unsur Mn yang tinggi pada paduan tersebut yaitu sebesar 24,33%, sehingga menyebabkan perubahan fasa austenit yang stabil (Fontana, 1987).

Analisis Hasil Pengujian Impak

Pengujian impak dilakukan dengan menggunakan ASTM E23 sebagai standar dalam pembuatan spesimen uji dengan panjang lengan 0,8 m dan berat palu sebesar 20 Kg. Pengujian impak ini akan menghasilkan patahan akibat terjadinya benturan secara tiba-tiba terhadap benda uji, kemudian menghitung energi dengan cara menghitung energi awal dikurangi energi yang tersisa, setelah itu menghitung harga impak dengan cara membagi energi untuk mematahkan benda uji dengan luas pada area bawah takikan



Gambar 3. Diagram hasil pengujian impact paduan Fe-11Al-25Mn setelah proses DCT di lanjutkan *aging*.

Hasil uji impact terlihat pada gambar 3, paduan Fe-11Al-25Al *raw material* memiliki harga impact sebesar 0,151 J/mm². Selanjutnya spesimen dengan perlakuan panas *austemper* pada waktu 1 jam menunjukkan nilai sebesar 0,205 J/mm², dari hasil perhitungan terjadi kenaikan harga impact yang cukup signifikan yaitu sebesar 22%. Hal ini disebabkan karena ukuran butir struktur ferit menjadi besar, struktur ferit berubah menjadi austenit karena proses *austemper* serta ukuran struktur ferit terlihat lebih jelas. Sehingga terjadi kenaikan harga impact jika dibandingkan dengan *raw material*. Selanjutnya spesimen dengan proses perlakuan panas *austemper* pada waktu 2 Jam menunjukkan harga impact sebesar 0,165 J/mm², dimana spesimen tersebut mengalami penurunan harga impact sebesar 18% jika dibandingkan dengan proses perlakuan panas *austemper* pada waktu 1 jam. Hal ini disebabkan karena struktur ferit mulai membesar serta struktur austenit yang mulai menyebar. Spesimen proses *austemper* pada waktu 3 jam menghasilkan harga impact sebesar 0,155 J/mm², sehingga mengalami penurunan harga impact dibandingkan dengan proses *austemper* pada waktu 2 jam yaitu sebesar 6%. Hal ini disebabkan karena ukuran struktur austenit mengecil dan rapat sedangkan pada struktur ferit ukuran butir menjadi lebih besar dan menyebar sehingga terlihat lebih kecil serta struktur ferit menjadi semakin terlihat dikarenakan pengaruh waktu proses *austemper*. Maka dari itu, hal tersebut menyebabkan terjadinya penurunan harga impact. Selanjutnya spesimen proses *austemper* pada waktu 4 jam menghasilkan harga impact sebesar 0,131 J/mm².

Pada proses ini terjadi penurunan harga impact dibandingkan dengan spesimen proses *austemper* selama 3 jam yaitu sebesar 31,1%. Hal ini disebabkan struktur ferit dan struktur austenit sama-sama mendominasi. Struktur ferit membesar dan menyebar struktur austenit membesar semakin terlihat jelas. Spesimen dengan proses *austemper* pada waktu 5 jam mendapatkan harga impact 0,125 J/mm² sehingga mengalami penurunan harga impact yang cukup besar. Hal ini disebabkan karena terlalu lama nya waktu proses *austemper* struktur ferit nya perlahan mulai mendominasi sedangkan struktur austenit mengecil dan rapat sehingga mengalami penurunan yang cukup besar. Setelah proses DCT ketangguhan meningkat dengan harga impact tertinggi sebesar 0,205 j/mm² pada perendaman 1 jam, kemudian menurun hingga nilai terendah pada perendaman 5 jam sebesar 0,125 j/mm²

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis data dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil pengujian komposisi kimia paduan Fe-11Al-25Mn menunjukkan bahwa jumlah kadar unsur utama besi (Fe) sebesar 58,49%, unsur paduan utama aluminium (Al) 12,45%, mangan (Mn) 24,33% dan karbon (C) 1,40%. Jumlah unsur paduan utama ditambah kadar unsur paduan lain sebesar 41,51%, sehingga paduan Fe-11Al-25Mn termasuk baja paduan tinggi.
2. Paduan Fe-11Al-25Mn memiliki struktur ferit dan austenit, semakin lama waktu perendaman yang dilanjutkan *aging* akan mengubah besar butir struktur austenit menjadi besar akan tetapi besar butir ferit akan mengecil. Paduan Fe-11Al-25Mn termasuk kategori *duplex stainless steel*.
3. Paduan Fe-11Al-25Mn memiliki nilai kekerasan sebesar 395,2 kg/mm². Proses DCT yang dilanjutkan *aging* meningkatkan nilai kekerasan hingga mencapai maksimum pada perendaman selama 5 jam yaitu sebesar 427,3 kg/mm².
4. Paduan Fe-11Al-25Mn memiliki harga impak sebesar 0,151 J/mm². Proses DCT yang dilanjutkan *aging* meningkatkan harga impak maksimum pada perendaman selama 1 jam sebesar 0,205 J/mm². Selanjutnya menurun kembalihingga minimum pada perendaman 5 jam sebesar 0,205 J/mm².

UCAPAN TERIMAKASIH

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada Prodi Teknik Mesin S1 Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Nasional Yogyakarta & KELUARGA, HMTM, LATIN CELEBES tidak lupa juga teman-teman Kontrakan Koja yang selalu mengingatkan penulis untuk selalu bersabar, dan selalu memberi motivasi serta kebersamaan yang tentunya tidak akan penulis lupakan. Terimakasih kepada kedua ORANGTUA yang telah membiayai dan memberikan dukungan serta doa restu sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Serta Angkatan 16 sebagai seperjuanganku terima kasih atas persaudaraan kita selama ini semoga akan selalu terkenang dengan indah.

REFERENSI

- Akuan, A. (2009). Tungku Peleburan Logam. Universitas Jendral Ahmad Yani, Bandung.
- Gunawan, D. H. & Yusuf. U. (2014). Pengaruh proses normalizing terhadap nilai kekerasan dan struktur mikro pada sambungan thermomite similar baja UIC-54 ,jurnal teknik mesin (2) : 6-7.
- Huang, J.Y., Zhu Y.T., Liao X.Z., Beyerlein I.J., Bourke M.A., Mitchell T.E., 2003, *Microstructure of cryogenic treated M2 tool steel, Materials Science and Engineering Journal*, Vol. 3, No. 39, Hal. 241-244.
- Jaswin, M. A., Mohan, D. L., 2010, *Optimization of the Cryogenic Treatment Process for En 52 Valve Steel Using the Grey-Taguchi Method*, Vol. 25, Hal. 824-850.
- Kartikasari, R., 2009, Pengaruh Temperatur Temper Terhadap Sifat Mekanik Dan Ketahanan Korosi Paduan Fe-Al-C, Vol. 2, No 1, Hal. 99-106.
- Kartikasari, R., Soekrisno., Noer Ilman M., Suyitno 2011, Hardenability dan Ketahanan Korosi Paduan Fe-7,5Al-15Mn, Jurnal Teknik Mesin Vol.11, No. 1, Hal. 1-15.
- Kartikasari, R., Sutrisna 2013, Pengaruh Temperatur Anil Terhadap Ketangguhan dan Ketahanan Korosi Kandidat Baja Ringan Paduan Fe-Al-Mn-Si, Jurnal Teknik Mesin, ROTASI. Vol. 15. No. 1, Hal. 11-15.
- Kumar, S., Pati P. I., 2000, *Deep Cryogenic Treatment of Alloy Steels : A Review, International Journal of Electronics, Communication & Soft Computing Science and Engineering*, Vol. 2, No. 8.

Kumar, S., Rajendran I., 2014, A Search Review on Deep Cryogenic Treatment of Steels, Int. J. Materials and Structural Integrity, Vol. 8, No.1. Hal. 2-3.

Thronton, R., 2014, Effect of deep cryogenic treatment on dry sliding wear performance of ferrous alloys. *Journal of Ceramics International*. Vol. 1. No. 2, Hal. 177-191