
DRAFT PUBLIKASI

PENGARUH WAKTU PERENDAMAN *DEEP CRYOGENIC TREATMENT* TERHADAP STRUKTUR MIKRO, KEKERASAN DAN KEKUATAN TARIK PADUAN Fe-5Al-21Mn



Disusun oleh :

Geniocito Ximenes Maia
210016130

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN S1
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL YOGYAKARTA
2021**

PENGARUH WAKTU PERENDAMAN *DEEP CRYOGENIC TREATMENT* TERHADAP STRUKTUR MIKRO, KEKERASAN DAN KEKUATAN TARIK PADUAN Fe-5Al-21Mn

Geniocito Ximenes Maia⁽¹⁾, Ratna Kartikasari⁽²⁾, Anita Susiana⁽³⁾.

⁽¹⁾Program Studi S1 Teknik Mesin Institut Teknologi Nasional Yogyakarta

^(2,3)Program Studi Teknik Mesin Institut Teknologi Nasional Yogyakarta

^(1,2,3)Institut Teknologi Nasional Yogyakarta; Jalan Babarsari, Caturtunggal, Depok, Sleman,

Yogyakarta 55281 – Telp. (0274) 485390 – Fax. (0274) 487249

e-mail: ¹ratna@itny.ac.id, ²geniocitoxmaia1999@gmail.com, ³anita@itny.ac.id

Abstrak

Paduan Fe-5Al-21Mn 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. Manfaat dari proses Deep Cryogenic Treatment (DCT) adalah menghilangkan tegangan sisa dan residual stress. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh waktu perendaman Deep Cryogenic Treatment (DCT) terhadap struktur mikro, kekerasan, dan kekuatan tarik paduan Fe-5Al-21Mn. Tahapan penelitian dimulai dari persiapan spesimen yaitu memotong paduan Fe-5Al-21Mn untuk uji komposisi, uji struktur mikro, uji kekerasan vickers dan kekuatan tarik. Proses DCT dilakukan dengan perendaman dalam nitrogen cair pada temperatur $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ dalam variasi waktu 1 jam, 2 jam, 3 jam, 4 jam, dan 5 jam, dilanjutkan pengembalian ke suhu kamar (warming). Pengujian yang dilakukan adalah uji struktur mikro, setelah itu dilanjutkan uji mekanis yaitu uji kekerasan dengan metode vickers dan kekuatan tarik UTM standar ASTM E8-M, menunjukkan presentase kandungan kimia Fe 69,34%, Al 5,05%, Mn 21,28%, sehingga dikategorikan baja paduan tinggi. Pengamatan foto struktur mikro menunjukkan terbentuknya dua fasa struktur mikro yaitu austenit dan ferit, sehingga dikategorikan sebagai duplex stainless steel. Nilai kekerasan tertinggi sebesar 527,4 Kg/mm² terdapat pada proses perendaman DCT 1 jam dan nilai kekuatan tarik tertinggi terdapat pada proses perendaman DCT 4 jam yaitu sebesar 18,82 MPa.

Kata kunci: Fe-5Al-21Mn, deep cryogenic treatment, struktur mikro, kekerasan vickers, kekuatan tarik UTM, ASTM E8-M.

Abstract

The Fe-5Al-21Mn alloy is a new stainless steel alloy is a candidate that can replace conventional stainless steel (Fe-Cr-Ni alloy). Aluminum (Al) and Manganese (Mn) are in a role to replacing the elements chromium (Cr) and nickel (Ni) which are relatively expensive. This research aims to study the effect of deep cryogenic treatment (DCT) immersion time on the microstructure, hardness, and tensile strength of Fe-5Al-21Mn alloys. The research stages began with specimen preparation, cutting the Fe-5Al-21Mn alloy for composition test, microstructure test, Vickers hardness test, and tensile strength. The DCT process is carried out by immersing in liquid nitrogen at a temperature of $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ in variations of 1 hour, 2 hours, 3 hours, 4 hours, and 5 hours, followed by returning it to room temperature (warming). The test carried out is the microstructure test, after which it is continued with the mechanical test, namely the hardness test with the Vickers and tensile strength UTM method, and ASTM E8-M standart with the hope of increasing the mechanical properties of the alloy, namely the hardness and tensile strength of Fe-5Al-21Mn. The results of testing the alloy composition of Fe-5Al-21Mn showed the percentage of content of Fe 69.34%, Al 5.05%, Mn 21.28% so that it is categorized

as high alloy steel. Observation of the microstructure photo shows the formation of two phases of the microstructure, namely austenite and ferrite so that it is categorized as duplex stainless steel. The highest hardness value of 527.4 Kg / mm² was found in the 1-hour DCT immersion process and the highest tensile strength value was found in the 4 hours DCT immersion process, which was 18.82 MPa.

Keywords: Fe-5Al-21Mn, deep cryogenic treatment, microstructure, the hardness of Vickers, tensile strength UTM, ASTM E8-M.

1. PENDAHULUAN

Austenitic stainless steel merupakan kelompok *stainless steel* (baja tahan karat) yang paling banyak digunakan dalam dunia industri, meliputi 65 sampai 75% dari penggunaan *stainless steel*, sebagian dari persentase angka tersebut baja tahan karat yang banyak digunakan adalah AISI seri 300 (Kartikasari, 2010). Sebagai unsur utama dalam sistem paduan *conventional stainless steel* Fe-Al-Mn sering digunakan karena keunggulan dari sifat-sifat yang dimilikinya seperti pembentuk atau penstabil struktur ferit dan austenit, dimana sifat-sifat keunggulan dari paduan ditentukan oleh unsur Al dan Mn sebagai unsur utama (Kartikasari., 2010). Paduan Fe-Al-Mn merupakan material yang menjanjikan untuk menggantikan Fe-Cr-Ni dan beberapa *conventional stainless steel* lainnya pada aplikasi temperatur medium hingga tinggi, dan paduan Fe-Al-Mn juga menunjukkan sifat-sifat fisik, mekanik dan teknologikal, ketahanan korosi dan oksidasi, sehingga biaya bahan baku dan biaya produksi yang relatif murah (Kartikasari, R. 2011).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan Zhu dkk (2008) tentang pengaruh *Deep Cryogenic Treatment* (DCT) terhadap sifat mekanik dan struktur mikro pada baja paduan Fe-Cr-Mo-Ni-C-Co dengan waktu perendaman 24 jam, dikatakan bahwa kekerasan meningkat sebesar 1-2 (HRC) dan kekuatan tekan mengalami penurunan yang disebabkan oleh tegangan sisa. Zhu, dkk (2008) juga mengungkapkan bahwa martensit yang dihasilkan berbentuk panjang dan halus. Huang dkk, (2003) melaporkan dalam artikelnya tentang pengaruh *Cryogenic Treatment* terhadap struktur mikro dengan lama perendaman 24 jam pada baja jenis Fe₄M₂ dengan komposisi kimia 1% C, 6% W, 5% Mo, 4% Cr, 2% V, bahwa terjadi pembentukan pengendapan Fe₄ M₂ (M = W, Mo, Cr, V) dan karbon(C) yang membentuk struktur *Face Centered Cubic* (FCC), selama proses *Cryogenic Treatment* struktur austenit berubah menjadi martensit sehingga dapat meningkatkan ketahanan aus. 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.

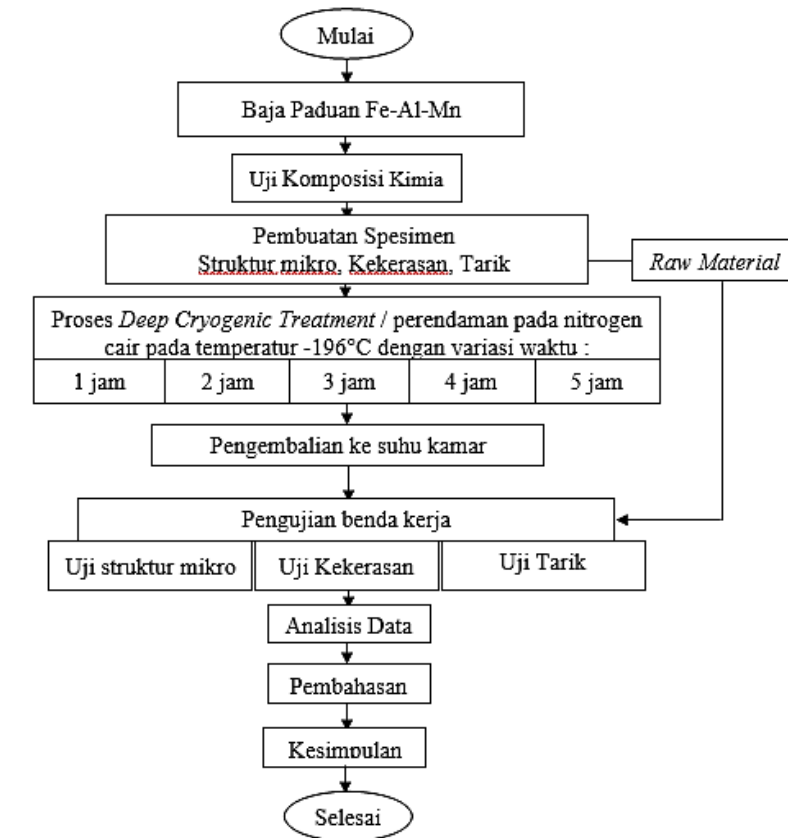
Berdasarkan penelitian yang dilakukan Kumar dkk, (2014) tentang *Deep Cryogenic Treatment* (DCT) terhadap baja paduan dilaporkan bahwa proses lengkap *Cryo-Heat-Treatment* harus diawali dengan proses *austenitizing*, pendinginan (*quenching*), dan *tempering*; semua proses sebaiknya dilakukan satu per satu secara berurutan (dalam satu siklus). Sebelum proses *Deep Cryogenic Treatment* (DCT), dimana pada saat suhu austenisasi, proses mempunyai peran penting untuk meningkatkan sifat-sifat pada baja, seperti ketahanan aus, kekerasan, ketangguhan dan kekuatan tarik pada baja. Setelah proses DCT, setiap material akan dinilai secara terpisah untuk memilih suhu optimal (*optimum austenitizing temperature*) dan harus sesuai dengan sifat yang diinginkan.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan Kartikasari (2013), tentang pengaruh temperatur anil terhadap ketangguhan dan ketahanan korosi paduan baja ringan 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. Fenomena ini menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur anil maka semakin tinggi nilai ketangguhan pada paduan Fe-Al-Mn-Si, juga terjadi transisi dari getas ke ulet pada penampang spesimen, dan pada suhu 1050 °C menunjukkan spesimen anil

paling ulet. Ratna Kartikasari juga menyimpulkan bahwa peningkatan temperatur anil dari 850-1050 °C menstabilkan fasa *austenite*, meningkatkan ketangguhan dan ketahanan korosi paduan Fe-Al-Mn-Si, dan proses anil yang paling terbaik untuk ketangguhan dan ketahanan korosi yaitu pada temperatur 1050 °C yang menunjukkan penurunan laju korosi drastis yaitu sebesar 33,33%. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh waktu perendaman proses *Deep Cryogenic Treatment* terhadap struktur mikro, kekerasan dan kekuatan tarik paduan Fe-5Al-21Mn. Bahan yang digunakan pada penelitian ini merupakan coran paduan Fe-5Al-21Mn berbentuk balok dengan panjang 171 mm dan lebar 30 mm. Proses perendaman DCT ini menggunakan variasi waktu 1 jam, 2 jam, 3 jam, 4 jam dan 5 jam.

Penelitian ini diharapkan dapat menambah ilmu di bagian material teknik, mengembangkan aplikasi paduan Fe-5Al-21Mn untuk penggunaan di dunia industri, khususnya industri perkapalan, peralatan medis, serta pertambangan.

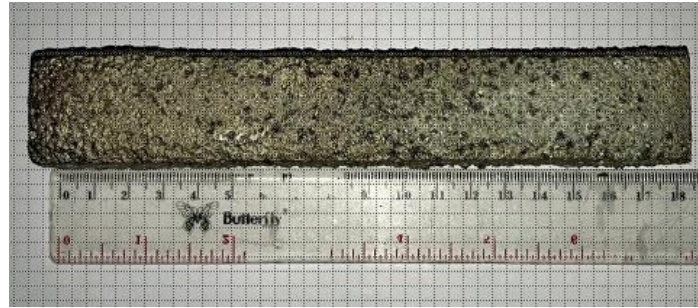
2. METODE PENELITIAN



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Bahan coran berbentuk balok, baja Fe-5Al-21Mn (Gambar 2), dengan panjang 171 mm dan lebar 30 mm dipersiapkan, kemudian dilakukan pemotongan menjadi 12 bagian. 6 buah spesimen dengan ukuran panjang 10 mm dan lebar 10 mm untuk uji struktur mikro, kekerasan dan 6 buah spesimen dengan panjang 50 mm, lebar 3 mm, untuk uji kekuatan tarik. Kemudian dilakukan proses peredaman pada nitrogen cair di temperatur -196°C dilanjutkan dengan pengembalian ke suhu kamar (*warming*). Pada spesimen uji struktur mikro dan kekerasan dilakukan pengamplasan pada masing-masing spesimen dengan nomor 100 mesh, 400 mesh, 600 mesh dan 1000 mesh selanjutnya dilakukan

etsa dengan larutan $\text{HNO}_3 + \text{HCL}$ (*aqua regia*) sebelum uji struktur mikro. Uji struktur mikro dilakukan menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 100x dan 200x, uji kekerasan dengan metode *Vickers* dan uji kekuatan tarik UTM standar ASTM E8-M.



Gambar 2. Spesimen Fe-5Al-21Mn

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Hasil Uji Komposisi Kimia

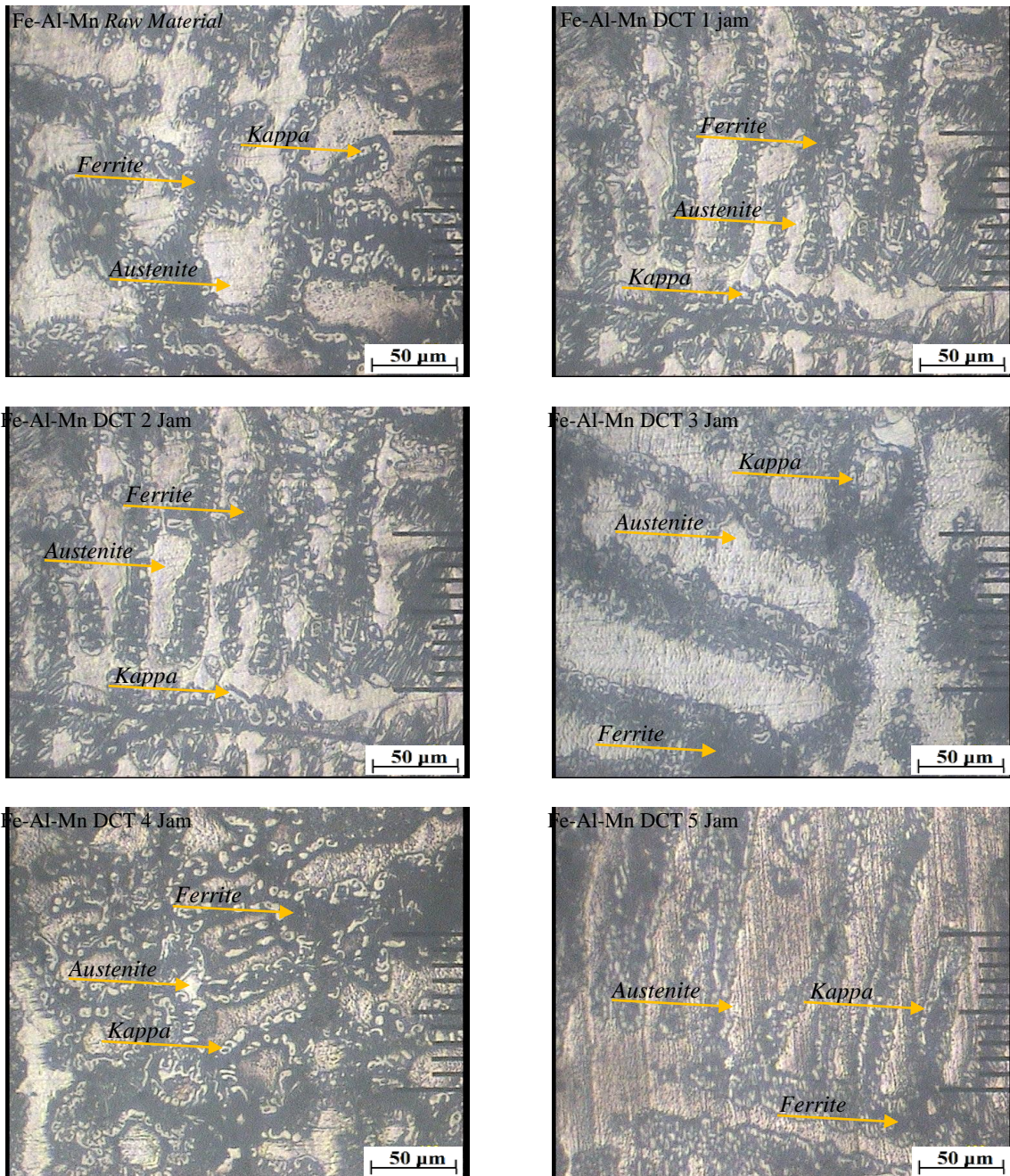
Tabel 1. Hasil uji komposisi paduan Fe-5Al-21Mn

Unsur	Fe	Al	Mn	C	Ni	Nb	Si	Cr	V	Mo	P	Cu	N	Sb	Co	Ti	Sn
W(%Berat)	69,34	5,03	21,28	1,15	0,04	0,01	1,46	0,82	0,25	0,16	0,05	0,11	0,17	0,08	0,02	0,01	0,02

Pengujian komposisi kimia coran baja paduan Fe-Al-Mn (Tabel 1), menunjukkan bahwa kadar unsur Besi (Fe) sebesar 69,34%, unsur paduan utama Aluminium (Al) 5,03%, Mangan (Mn) 21,28% dan Karbon (C) 1,15%. Jumlah unsur paduan utama ditambah kadar unsur paduan lain adalah sebesar 30,66%, sehingga paduan ini termasuk baja paduan tinggi (Smallman, 1991). Penambahan unsur aluminium (Al) sebagai pembentuk dan penstabil ferit ke dalam paduan baja Fe-5Al-21Mn sebesar 5,03%, meningkatkan kekerasan dan ketahanan korosi. Penambahan unsur mangan (Mn) yang merupakan unsur pembentuk dan penstabil austenit kedalam paduan baja Fe-5Al-21Mn sebesar 21,28%, dalam sistem paduan membuat butiran lebih halus, serta meningkatkan kekuatan tarik tanpa mengurangi regangan, sehingga baja menjadi semakin kuat dan ulet. Unsur Karbon (C) dengan jumlah 1,15% menyebabkan paduan ini mudah dibentuk karena kekuatannya relatif rendah, lunak dan keuletannya tinggi. Unsur yang lain tidak berpengaruh terhadap sistem paduan karena kandungan yang ada tergolong relatif kecil.

3.2 Analisis Hasil Pengujian Struktur Mikro

Uji struktur mikro dilakukan pengamatan menggunakan mikroskop optik setelah benda uji dietsa, zat kimia yang digunakan untuk etsa adalah $\text{HNO}_3 + \text{HCL}$ (*aqua regia*) dengan perbandingan 1:3. Benda uji tersebut terdiri atas spesimen *Raw Material* dan spesimen setelah proses perendaman pada nitrogen cair pada temperature -196°C dengan variasi waktu 1 jam, 2 jam, 3 jam, 4 jam dan 5 jam. Pengujian struktur mikro menggunakan perbesaran 100x dan 200x pada semua spesimen.



Gambar 3. Hasil foto struktur mikro paduan Fe-5Al-21Mn

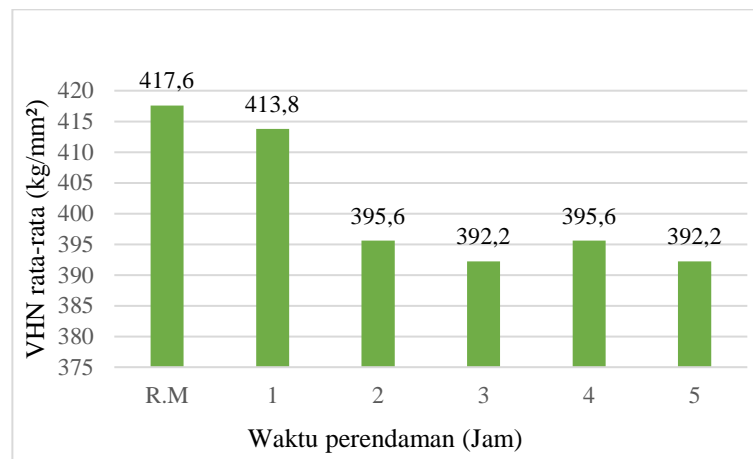
Hasil uji struktur mikro paduan Fe-5Al-21Mn memperlihatkan struktur austenit, ferit dan struktur *kappa* yang mengelilingi austenit dan pola dendritik yang terlihat pada area batas butir austenit seperti pada Gambar 3., untuk spesimen *raw material*. Pada proses perendaman *Deep Cryogenic Treatment* (DCT) 1 jam menunjukkan struktur mikro austenit dan ferit yang terbentuk dengan besar butir austenit yang relatif besar, serta struktur *kappa* 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 serta struktur *kappa* 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 dan struktur *kappa* yang terlihat lebih berjarak. Spesimen proses

perendaman DCT 4 jam menunjukkan bentuk struktur austenit yang kembali membesar dan struktur ferit yang mengecil dan struktur κ yang lebih rapat dibandingkan proses perendaman DCT 3 jam. 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 κ terlihat membesar dibandingkan proses perendaman DCT 4 jam. Semakin lama waktu perendaman akan mengubah besar butir struktur austenit menjadi dominan 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-5Al-21Mn termasuk kategori *duplex stainless steel*. Hal ini dibuktikan oleh terbentuknya dua fasa struktur mikro yaitu struktur austenit dan juga struktur ferit (Huang, dkk 2003).

3.3 Analisis Hasil Pengujian Kekerasan Vickers

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 4. Diagram kekerasan rata-rata paduan Fe-5Al-21Mn

Gambar 4., menunjukkan diagram 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-5Al-21Mn diperoleh nilai kekerasan paling optimal pada spesimen *raw material* dengan angka kekerasan sebesar 417,6 kg/mm². Tingginya nilai kekerasan ini dikarenakan ukuran butir struktur austenit dan struktur ferit yang terlihat besar, serta struktur κ yang rapat dan dominan (Huang, Dkk 2003). Hasil perhitungan pengujian kekerasan *Vickers* untuk spesimen dengan proses perendaman DCT waktu 1 jam, diperoleh angka kekerasan sebesar 413,8 kg/mm², yang mana mengalami penurunan sebesar 1% dibandingkan spesimen *raw material*. Hal ini terjadi karena perubahan ukuran butir struktur austenit dan ferit menjadi lebih rapat dan mengecil, serta struktur κ yang terlihat berkurang.

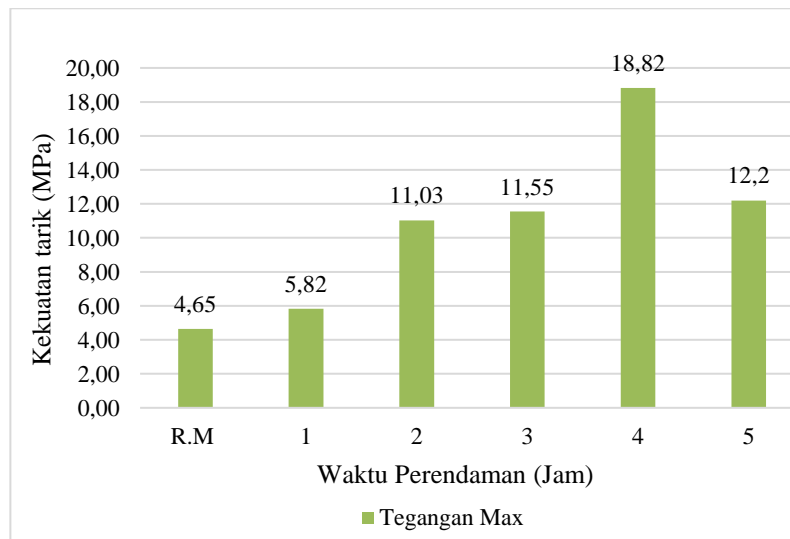
Selanjutnya untuk hasil perhitungan proses DCT dengan waktu perendaman 2 jam memperlihatkan nilai kekerasan sebesar 395,6 kg/mm², yang mana mengalami penurunan sebesar 5% dibandingkan dengan nilai kekerasan pada spesimen dengan proses perendaman DCT 1 jam. Penurunan yang terjadi dilihat dari hasil pengamatan struktur mikro menunjukkan perubahan besar butir austenit dan ferit membesar serta κ terlihat lebih sedikit dibandingkan spesimen proses DCT 1 jam. Hasil perhitungan kekerasan pada spesimen proses DCT waktu perendaman 3 jam menunjukkan nilai kekerasan sebesar 392,2 kg/mm². Nilai kekerasan ini menurun 1% dibandingkan nilai kekerasan pada proses DCT 2 jam. Hal ini disebabkan ukuran butir struktur ferit dan austenit berubah mengecil

pada area batas butir, serta struktur *kappa* yang terlihat lebih rapat. Spesimen dengan proses DCT waktu perendaman selama 4 jam, menunjukkan nilai kekerasan sebesar 395,6 kg/mm², spesimen ini mengalami peningkatan nilai kekerasan sebesar 1% dari spesimen proses perendaman DCT 3 jam. Hal ini dikarenakan ukuran butir austenit mengecil, struktur ferit membesar, serta struktur *kappa* yang terlihat sedikit (Kartikasari., 2013) Selanjutnya untuk spesimen proses DCT waktu perendama 5 jam kembali mengalami penurunan nilai kekerasan sebesar 1% dengan nilai kekerasan 392,2 kg/mm², dibandingkan spesimen proses DCT waktu perendaman 4 jam. Penurunan nilai kekerasan ini dikarenakan besar butir austenit dan ferit kembali membesar serta struktur *kappa* terlihat lebih banyak.

Dari data nilai kekerasan dapat disimpulkan bahwa nilai kekerasan paling optimal terdapat pada spesimen *raw material* dengan nilai kekerasan sebesar 417,6 kg/mm². Sedangkan nilai kekerasan pada spesimen dengan proses perendaman DCT variasi waktu 1 jam, 2 jam, 3 jam, 4 jam dan 5 jam, menunjukkan bahwa perubahan nilai kekerasan yang tidak signifikan karena unsur Mn yang tinggi pada paduan tersebut yaitu sebesar 21,28%, sehingga menyebabkan perubahan fasa austenit yang stabil (Fontana, 1987).

3.4 Analisis Hasil Pengujian Kekuatan Tarik UTM

Pengujian Tarik dilakukan untuk mengetahui kekuatan tarik suatu logam. Pengujian tarik biasanya dilakukan terhadap spesimen dengan memberikan beban tarik secara perlahan-lahan. Jika logam ditarik dengan beban maka akan terjadi deformasi yang berupa pengecilan penampang atau pertambahan panjang.



Gambar 4. Diagram kekuatan tarik rata-rata paduan Fe-5Al-21Mn

Pengujian kekuatan tarik UTM standar ASTM E8-M paduan Fe-5Al-21Mn menunjukkan hasil pada spesimen *raw material* Gambar 4., dengan nilai tegangan sebesar 4,65 MPa. Pada proses perendaman *Deep Cryogenic Treatment* (DCT) 1 jam menunjukkan nilai tegangan sebesar 5,82 MPa, dimana mengalami peningkatan sebesar 20 % dibandingkan spesimen *raw material*. Hasil pengujian kekuatan tarik proses perendaman DCT 2 jam dengan nilai tegangan sebesar 11,03 MPa mengalami peningkatan sebesar 47 % dibandingkan spesimen proses perendaman DCT 1 jam. Selanjutnya pengujian kekuatan tarik spesimen proses perendaman DCT 3 jam memperoleh nilai tegangan sebesar 11,5 MPa yang mengalami peningkatan sebesar 5 %. Pengujian kekuatan tarik selanjutnya yaitu spesimen dengan proses perendaman DCT 4 jam memperoleh nilai tegangan sebesar 18,52 MPa, yang mengalami peningkatan sebesar 39 % dibandingkan spesimen proses DCT 3 jam (Amstead., 1989). Hasil pengujian kekuatan tarik spesimen proses perendaman DCT 5 jam memperoleh nilai tegangan

sebesar 12,2 MPa, dimana mengalami penurunan sebesar 54 % dibandingkan spesimen proses DCT 4 jam.

Berdasarkan data hasil perhitungan uji kekuatan tarik pada spesimen paduan Fe-5Al-21Mn menunjukkan nilai tegangan optimal pada spesimen proses perendaman DCT 4 jam dengan nilai tegangan sebesar 18,52 MPa serta memperoleh nilai tegangan terendah pada spesimen proses DCT *raw material*. Dapat disimpulkan bahwa perlakuan proses perendaman *Deep Cryogenic Treatment* dengan variasi waktu 1 jam, 2 jam, 3 jam, 4 jam dan 5 jam mempengaruhi nilai tegangan dan mengalami peningkatan yang relatif tinggi (Kumar., dkk, 2011). Dari proses perendaman DCT spesimen *raw material* hingga proses DCT 4 jam terlihat bahwa proses DCT mempengaruhi peningkatan nilai tegangan pada paduan Fe-5Al-21Mn (Kumar., dkk 2014).

4. KESIMPULAN

Hasil pengujian komposisi kimia paduan Fe-5Al-21Mn menunjukkan bahwa jumlah kadar unsur utama besi (Fe) sebesar 69,34%, unsur paduan utama aluminium (Al) 5,03%, mangan (Mn) 21,28% dan karbon (C) 1,15%. Jumlah unsur paduan utama ini sebesar Fe-5Al-21Mn, sehingga baja ini termasuk baja paduan tinggi. Paduan Fe-5Al-21Mn termasuk kategori *duplex stainless steel*, hal ini dibuktikan pada foto struktur mikro karena terbentuknya dua fasa yaitu struktur austenit dan juga ferit. Paduan Fe-5Al-21Mn memiliki nilai kekerasan tertinggi pada spesimen *raw material* dengan nilai kekerasan sebesar 417,6 kg/mm², dibandingkan spesimen yang diberi perlakuan perendaman DCT dengan variasi waktu 1 jam, 2 jam, 3 jam, 4 jam hingga 5 jam yang menunjukkan peningkatan nilai kekerasan tidak signifikan, dikarenakan kandungan Mn yang tinggi pada paduan ini yaitu sebesar 21%. Proses perendaman DCT mempengaruhi peningkatan nilai tegangan pada uji kekuatan tarik standar ASTM E8-M paduan, Fe-5Al-21Mn ditunjukkan dengan meningkatnya nilai tegangan tertinggi pada proses DCT 4 jam yaitu sebesar 18,52 Mpa, dibandingkan nilai tegangan pada proses perendaman DCT variasi waktu *raw material*, 1 jam, 2 jam, 3 jam, dan 5 jam.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu dalam penyelesaian penelitian ini, terutama Institut Teknologi Nasional Yogyakarta yang telah mendukung secara penuh hingga terselesaikannya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Amstead, B.H., 1989, Terj Sriati Djaprie, **Teknologi Mekanik**, Jilid 1, edisi ketujuh Erlangga, Jakarta.
- Chastain, S. (2004). *Metal Casting: A Sand-Casting Manual for the Small Foundry*.
- Fontana, G.M., 1987, *Corrosion Engineering, 3th ed., McGraw Hill Inc.*, Singapore.
- 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 : A339 Hal: 241-244.*
- Kartikasari, R., Soekrisno., Noer Ilman M., Suyitno 2010, **Hardenability dan Ketahanan Korosi Paduan Fe-7,5Al-15Mn**, Jurnal Teknik Mesin Vol.11.1. Januari 2011, ISSN 1411-9471/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 V 15.1.2013/Hal 11-15.
- Kartikasari, R., Soekrisno., Noer Ilman M., Suyitno 2010, ***Hardenability dan Ketahanan Korosi Paduan Fe-7,5Al-15Mn***, Jurnal Teknik Mesin Vol.11.1. Janurari 2011, ISSN 1411-9471/Hal 1-15.
- Kumar, S., dkk, 2011, ***Effect of Cryogenic Treatment on the hardness and tensile behaviour of AISI 4140 steel***, *International J. Microstructure and Materials Properties*, Vol. 6, No.5, 2011.
- Kumar, S., Rajendran I., 2014, **A Search Review on Deep Cryogenic Treatment of Steels**, *Int. J. Materials and Structural Integrity*, V8. Nos. 1/2/3.2014.
- Nasution, A., 2008, **Pembentukan Kurva S Dari Proses Kinetika Transformasi Fasa Baja Mangan Pada Temperatur 600° C**, USU e-Repository © 2008.
- Smallman, R.E., dan Bishop, R.J., 2000, **“Metalurgi Fisik Modern dan Rekayasa Material”**. Penerbit: Erlangga, Jakarta.
-