

PENGARUH CRYOGENIC TREATMENT TERHADAP KARAKTERISTIK KEAUSAN MDI (MARTEMPER DUCTILE IRON)

Agus Suprpto¹, Agus Iswantoko², Ike Widyastuti³
^{1,2,3}Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Merdeka Malang
 Jl. Terusan Raya Dieng 62-64 Malang
 EMail: agussuprpto@yahoo.com

Abstrak

Pada umumnya untuk mengatasi masalah keausan logam menggunakan proses heat treatment, case hardening dan penambahan unsur kimia dengan tujuan untuk mengurangi gesekan. Dewasa ini banyak industri mengembangkan penggunaan cryogenic treatment untuk memperbaiki ketahanan aus pada bahan ductile iron sehingga ketahanan ausnya lebih tinggi. Tujuan penelitian ini untuk mengevaluasi dampak cryogenic treatment terhadap kekerasan dan ketahanan aus Martemper Ductile Iron (MDI). Metode yang dipakai dalam penelitian ini menggunakan cryogenic treatment hasil dari proses Martemper Ductile Iron (MDI) dengan pemanasan sampai temperatur Austenit 900^oC dan pada temperature tersebut di tahan 30 menit, selanjutnya di celup cepat pada air hangat 40^oC, 60^oC, 80^oC dengan variasi waktu penahanan 60s, 120s, 180s dan didinginkan di udara sampai temperature kamar. Analisa pengujian ini dilakukan dengan metode analitis dan uji keras dengan metode Rockwel dan uji aus. Temuan hasil penelitian: (1). Hasil proses Martemper Ductile Iron (MDI) menunjukkan kekerasan dan ketahanan ausnya meningkat dibanding sebelum proses Martemper, (2). Hasil Cryogenic Treatment menunjukkan kekerasan dan ketahanan ausnya lebih tinggi dibanding hasil proses Martemper.

Kata kunci: *martemper; MDI; cryogenic treatment*

Pendahuluan

Dewasa ini banyak industri mengembangkan penggunaan *cryogenic treatment* untuk memperbaiki ketahanan aus pada *cutting tool, gear*, dan lain-lain (Thamizhmanii, S. *et al*, 2011; Ramji B.R. *et al*, 2010; Kollmer K.P, 2007). *Cryogenic treatment* adalah suatu proses pendinginan suatu bahan baja, *stainless steel* dan lain-lain dari temperatur kamar sampai dengan temperatur -320^oF (-196^oC) kemudian pada temperatur tersebut ditahan selama waktu tertentu dan dilanjutkan dengan penghangatan sampai temperatur kamar (Singh, S. *et al*, 2012 dan Ramji B.R. *et al*, 2010).

A Suprpto, *et al* (2014) menunjukkan dampak *Cryogenic Treatment* dan *Temper* terhadap umur pahat karbida pada pembubutan Al T-6061 terjadi peningkatan umur pahat sebesar 105% dibandingkan dengan pahat karbida tanpa *treatment*. Hal ini didukung hasil penelitian oleh Suriansyah *et al* (2015) yang menunjukkan pengaruh *cryogenic cooling, martemper and temper treatment* pada FCD-45 terjadi kenaikan kekerasan sebesar 9 % dibanding sebelum mendapat *treatment*. Penelitian *cryogenic treatment* dikembangkan pada material *Austemper Ductile Iron* (ADI) oleh Chang-Yong Kang *et al* (2009) terhadap strukturmikro dan sifat kekerasan, selain itu Suprpto, A., *et al* (2016) juga meneliti dampak *Cryogenic Treatment* terhadap karakteristik keausan pahat ADI (*Austemper Ductile Iron*) terjadi penurunan keausan sebesar 77%.

Metode Penelitian dikembangkan oleh Akinlabi Q *et al* (2013) melalui *Martempered Ductile Iron* (MDI) dengan *Quenching* dalam air hangat diperoleh kekerasan tertinggi HRc 52,9.

Menindak lanjuti penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Chang-Yong Kang *et al* (2009); A Suprpto, *et al* (2016); dan Akinlabi Q *et al* (2013), dalam penelitian ini mengkombinasikan *Cryogenic treatment* dengan proses *Martemper* pada material *Ductile Iron* (MDI), untuk melihat pengaruh sifat kekerasan dan karakteristik keausan MDI (*Martemper Ductile Iron*).

Metode Percobaan

Martemper Ductile Iron (MDI)

- Bahan FCD-45 dipanaskan sampai temperatur *Austenit* 900^oC dengan waktu penahanan 1 jam
- Celup cepat pada air hangat 40^oC, 60^oC, 80^oC dg variasi waktu penahanan 60s, 120s dan 180s
- Didinginkan di udara sampai temperature kamar

- Cryogenic treatment MDI
- Pendinginan pada nitrogen cair
- Waktu penahanan pada nitrogen cair bervariasi: 2 jam, 24 jam, 48 jam
- Pemanasan sampai temperatur kamar
- Uji Kekerasan
- Metode Rockwell skala C
- dengan indenter intan dengan beban minor 10 kg dan beban major 150 kg
- Uji Keausan
- Penimbangan berat awal dan berat akhir sampel (g)
- Beban 15 kg, Putaran 750 rpm, Jarak luncur 295 mm
- Waktu pembebanan 5 menit

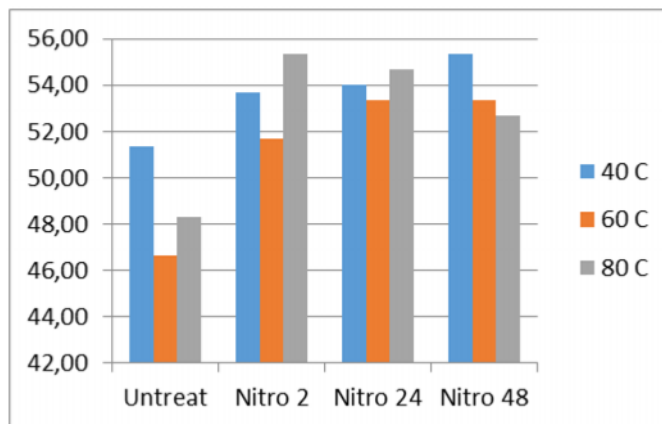
Hasil dan Pembahasan

Kekerasan

Tabel 1. Kekerasan hasil proses Martemper Ductile Iron pada media air hangat dengan variasi temperatur T 40°C, T 60°C, T 80°C dan variasi holding t 60 s, t 120 s, t 180 s dan Cryogenic treatment dengan variasi holding time 2jam, 24 jam dan 48 jam

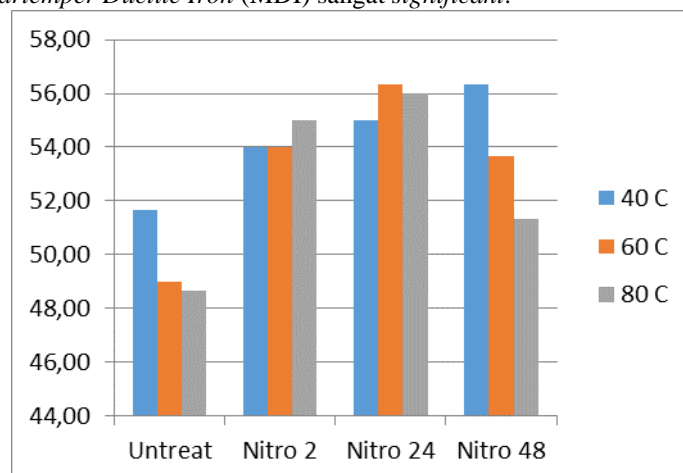
Kondisi		HRc		
		40 ⁰ C	60 ⁰ C	80 ⁰ C
Waktu t 60 second	Untreat	51.33	46.67	48.33
	Nitrogen cair 2 jam	53.67	51.67	55.33
	Nitrogen cair 24 jam	54.00	53.33	54.67
	Nitrogen cair 48 jam	55.33	53.33	52.67
Kondisi		HRc		
		40 ⁰ C	60 ⁰ C	80 ⁰ C
Waktu t 120 second	Untreat	51.67	49.00	48.67
	Nitrogen cair 2 jam	54.00	54.00	55.00
	Nitrogen cair 24 jam	55.00	56.33	56.00
	Nitrogen cair 48 jam	56.33	53.67	51.33
Kondisi		HRc		
		40 ⁰ C	60 ⁰ C	80 ⁰ C
Waktu t 180 second	Untreat	52.00	51.33	49.00
	Nitrogen cair 2 jam	56.00	55.33	56.33
	Nitrogen cair 24 jam	55.33	57.00	51.33
	Nitrogen cair 48 jam	55.67	56.33	42.67

Bahan FCD-45 yang digunakan pada proses *Martemper* memiliki kekerasannya HRb 88



Gambar 1. Kekerasan hasil proses Martemper Ductile Iron pada media air hangat dengan variasi temperature dan holding t 60 second dan Cryogenic treatment dengan variasi holding time 2jam, 24 jam dan 48 jam

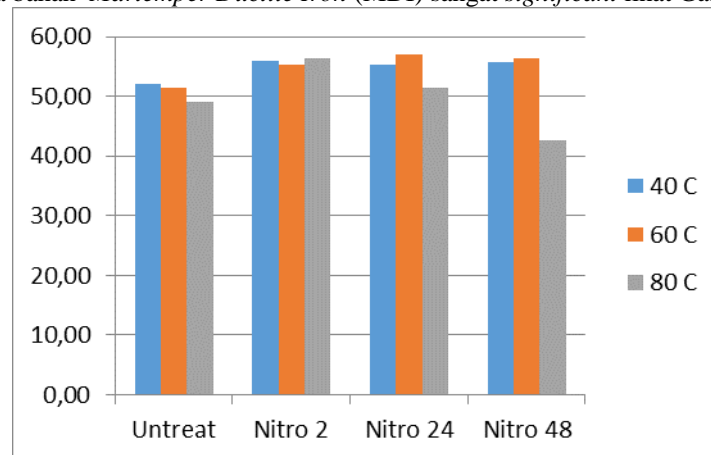
Berdasarkan Tabel 1 dan Gambar 1 menunjukkan kekerasan hasil proses *martemper* pada air hangat dengan temperatur 40°C dengan **holding time t 60 second**, dilanjutkan dengan proses *Cryogenic treatment* dengan *holding time* 2 jam, kekerasannya meningkat 4,56 % dibandingkan dengan tanpa proses *Cryogenic treatment* (*Untreat*). Adapun pengaruh *holding time* pada proses *Cryogenic treatment* menunjukkan dengan bertambahnya *holding time*, kekerasannya meningkat. Hasil yang sama ditunjukkan pada proses *martemper* pada temperatur air hangat 60°C dilanjutkan dengan proses *Cryogenic treatment* dengan bertambahnya *holding time* menunjukkan kekerasannya meningkat, namun bila dibandingkan dengan tanpa proses *Cryogenic treatment* (*Untreat*) peningkatan kekerasannya 10,71% lebih besar dibanding dengan temperatur air hangat 40°C. Sedangkan pada temperatur air hangat 80°C pada proses *martemper* dilanjutkan dengan proses *Cryogenic treatment* pada Gambar 1 menunjukkan perbedaan yang sangat *significant*, pada saat proses *Cryogenic treatment* dengan *holding time* 24 jam dan 48 jam terjadi penurunan kekerasan dibandingkan dengan hasil kekerasan pada *holding time* 2 jam. Untuk khusus proses *martemper* tanpa proses *Cryogenic treatment* (*Untreat*) menunjukkan pengaruh temperature air hangat terhadap kekerasan dapat dilihat pada Gambar 1, bahwa semakin tinggi temperaturnya maka kekerasannya turun, namun untuk temperatur air hangat 80°C menunjukkan kekerasannya lebih tinggi dibanding dengan kekerasan hasil proses *martemper* pada temperatur air hangat 60°C, seharusnya kekerasannya lebih rendah. Begitu juga pada proses *martemper* pada temperatur air hangat 80°C dilanjutkan *Cryogenic treatment* dengan *holding time* 2 jam menunjukkan kekerasannya lebih tinggi dibanding pada temperatur air hangat 60°C dan 40°C, seharusnya kekerasannya lebih rendah. Untuk proses *martemper* pada temperatur air hangat 80°C dilanjutkan *Cryogenic treatment* dengan *holding time* 24 jam, pola hasil kekerasannya sama dengan *holding time* 2 jam. Khusus untuk *holding time* 48 jam pada proses *Cryogenic treatment*, semakin tinggi temperature air hangatnya maka kekerasannya semakin turun. Jadi pada Gambar 1 menunjukkan bahwa pengaruh *Cryogenic treatment* terhadap kekerasan pada bahan *Martemper Ductile Iron* (MDI) sangat *significant*.



Gambar 2. Kekerasan hasil proses *Martemper Ductile Iron* pada media air hangat dengan variasi temperature dan *holding t* 120 second dan *Cryogenic treatment* dengan variasi *holding time* 2jam, 24 jam dan 48 jam

Gambar 2 dan tabel 1 menunjukkan kekerasan hasil proses *martemper* pada air hangat dengan temperatur 40°C dengan **holding time t 120 second**, dilanjutkan dengan proses *Cryogenic treatment* dengan *holding time* 2 jam, kekerasannya meningkat 4,51 % dibandingkan dengan tanpa proses *Cryogenic treatment* (*Untreat*). Adapun pengaruh *holding time* pada proses *Cryogenic treatment* menunjukkan dengan bertambahnya *holding time*, kekerasannya meningkat. Untuk proses *martemper* pada temperatur air hangat 60°C dilanjutkan dengan proses *Cryogenic treatment* dengan bertambahnya *holding time* menunjukkan kekerasannya meningkat, akan tetapi pada *holding time* *Cryogenic treatment* 48 jam terjadi penurunan kekerasan. Untuk *holding time* *Cryogenic treatment* 2 jam dibandingkan dengan tanpa proses *Cryogenic treatment* (*Untreat*) peningkatan kekerasannya 10,20% lebih besar dibanding dengan temperatur air hangat 40°C. Sedangkan pada temperatur air hangat 60°C dan 80°C pada proses *martemper* dilanjutkan dengan proses *Cryogenic treatment* pada Gambar 2 menunjukkan perbedaan yang sangat *significant*, pada saat proses *Cryogenic treatment* dengan *holding time* 48 jam terjadi penurunan kekerasan dibandingkan dengan hasil kekerasan pada *holding time* 2 jam dan 24 jam. Untuk khusus proses *martemper* tanpa proses *Cryogenic treatment* (*Untreat*) menunjukkan pengaruh temperature air hangat terhadap kekerasan dapat dilihat pada Gambar 2, bahwa semakin tinggi temperaturnya maka kekerasannya semakin turun. Untuk proses *martemper* pada temperatur air hangat 80°C dilanjutkan *Cryogenic treatment* dengan *holding time* 2 jam, kekerasannya lebih tinggi dibandingkan dengan temperatur air hangat 40°C dan 60°C, seharusnya kekerasannya lebih rendah. Hal sebaliknya terjadi pada proses *martemper* pada temperatur air hangat 40°C dilanjutkan *Cryogenic treatment* dengan *holding time* 24 jam, kekerasannya lebih rendah dibandingkan dengan temperatur air hangat 60°C dan 80°C, seharusnya kekerasannya lebih tinggi. Untuk *holding time* 48 jam pada proses *Cryogenic treatment*,

semakin tinggi temperature air hangatnya maka kekerasannya semakin turun. Jadi pengaruh *Cryogenic treatment* terhadap kekerasan pada bahan *Martemper Ductile Iron* (MDI) sangat *significant* lihat Gambar 2.



Gambar 3. Kekerasan hasil proses *Martemper Ductile Iron* pada media air hangat dengan variasi temperature dan *holding time* t 180 second dan *Cryogenic treatment* dengan variasi *holding time* 2jam, 24 jam dan 48 jam

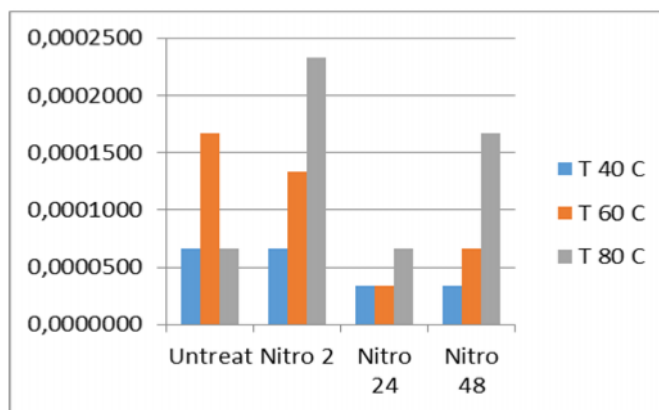
Kekerasan hasil proses *martemper* pada air hangat dengan temperatur 40°C dengan *holding time* t 180 second dilanjutkan dengan proses *Cryogenic treatment* dengan *holding time* 2 jam, kekerasannya meningkat 7,69 % dibandingkan dengan tanpa proses *Cryogenic treatment* (*Untreat*) ditunjukkan pada Gambar 3 dan Tabel 1. Namun pengaruh *holding time* pada proses *Cryogenic treatment* menunjukkan dengan bertambahnya *holding time*, perubahan kekerasannya tidak *significant*. Untuk proses *martemper* pada temperatur air hangat 60°C dilanjutkan dengan proses *Cryogenic treatment* dengan bertambahnya *holding time* menunjukkan kekerasannya meningkat, akan tetapi pada *holding time* *Cryogenic treatment* 48 jam terjadi penurunan kekerasan. Untuk *holding time* *Cryogenic treatment* 2 jam dibandingkan dengan tanpa proses *Cryogenic treatment* (*Untreat*) peningkatan kekerasannya 7,79% hampir sama dibanding dengan temperatur air hangat 40°C. Sedangkan pada temperatur air hangat 60°C pada proses *martemper* dilanjutkan dengan proses *Cryogenic treatment* pada Gambar 3 menunjukkan perbedaannya tidak *significant*, untuk temperatur air hangat 80°C perbedaannya sangat *significant*, pada saat proses *Cryogenic treatment* dengan *holding time* 24 jam dan 48 jam terjadi penurunan kekerasan dibandingkan dengan hasil kekerasan pada *holding time* 2 jam untuk, *holding time* 48 jam kekerasannya lebih rendah dibanding dengan tanpa proses *Cryogenic treatment* (*Untreat*). Untuk khusus proses *martemper* tanpa proses *Cryogenic treatment* (*Untreat*) menunjukkan pengaruh temperature air hangat terhadap kekerasan dapat dilihat pada Gambar 3, bahwa semakin tinggi temperaturnya maka kekerasannya semakin turun. Untuk proses *martemper* pada temperatur air hangat 80°C dilanjutkan *Cryogenic treatment* dengan *holding time* 2 jam, kekerasannya lebih tinggi dibandingkan dengan temperatur air hangat 40°C dan 60°C, seharusnya kekerasannya lebih rendah. Hal sebaliknya terjadi pada proses *martemper* pada temperatur air hangat 60°C dilanjutkan *Cryogenic treatment* dengan *holding time* 24 jam, kekerasannya lebih rendah dibandingkan dengan temperatur air hangat 80°C, seharusnya kekerasannya lebih tinggi. Untuk *holding time* 48 jam pada proses *Cryogenic treatment*, semakin tinggi temperature air hangatnya maka kekerasannya semakin turun, untuk temperatur air hangat 60°C seharusnya kekerasannya lebih rendah dibanding dengan temperatur air hangat 40°C. Jadi pengaruh *Cryogenic treatment* terhadap kekerasan pada bahan *Martemper Ductile Iron* (MDI) tidak *significant*, khusus untuk *holding time* 48 jam pada temperatur 80°C kekerasannya lebih rendah dibanding dengan tanpa proses *Cryogenic treatment* (*Untreat*).

Keausan

Tabel 2. Laju Keausan hasil proses *Martemper Ductile Iron* pada media air hangat dengan variasi temperatur T 40°C, T 60°C, T 80°C dan variasi *holding time* t 60 s, t 120 s, t 60 s dan *Cryogenic treatment* dengan variasi *holding time* 2jam, 24 jam dan 48 jam

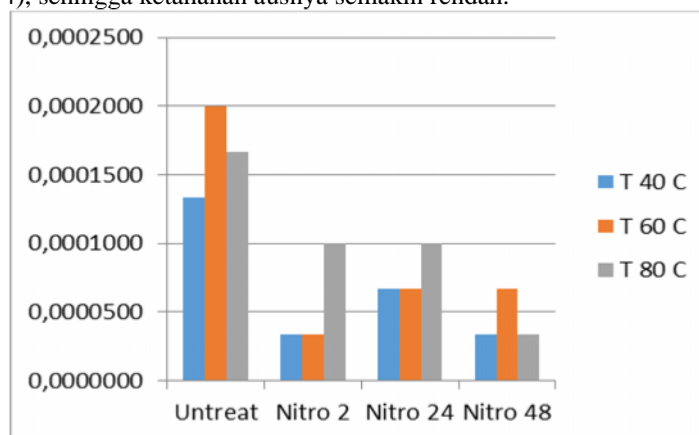
Kondisi		Laju keausan (g/s)		
		40° C	60° C	80° C
Waktu t 60 second	Untreat	0.0000667	0.0001667	0.0000667
	Nitrogen cair 2 jam	0.0000667	0.0001333	0.0002333
	Nitrogen cair 24 jam	0.0000333	0.0000333	0.0000667
	Nitrogen cair 48 jam	0.0000333	0.0000667	0.0001667

Kondisi		Laju keausan (g/s)		
		40 ^o C	60 ^o C	80 ^o C
Waktu t 120 second	Untreat	0.0001333	0.0002000	0.0001667
	Nitrogen cair 2 jam	0.0000333	0.0000333	0.0001000
	Nitrogen cair 24 jam	0.0000667	0.0000667	0.0001000
	Nitrogen cair 48 jam	0.0000333	0.0000667	0.0000333
Kondisi		Laju keausan (g/s)		
		40 ^o C	60 ^o C	80 ^o C
Waktu t 180 second	Untreat	0.0001000	0.0002333	0.0001667
	Nitrogen cair 2 jam	0.0000333	0.0000667	0.0001667
	Nitrogen cair 24 jam	0.0000333	0.0001000	0.0000333
	Nitrogen cair 48 jam	0.0001667	0.0000333	0.0000667



Gambar 4. Laju keausan hasil proses Martemper Ductile Iron pada media air hangat dengan variasi temperature dan holding t 60 second dan Cryogenic treatment dengan variasi holding time 2jam, 24 jam dan 48 jam

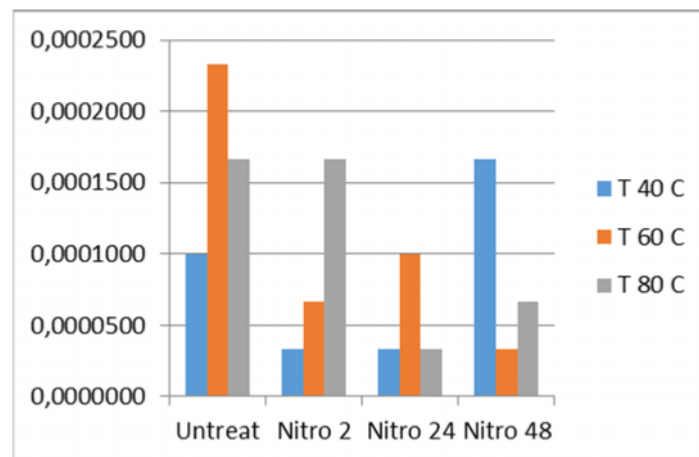
Berdasarkan Tabel 2 dan Gambar 4 menunjukkan pengaruh *holding time* semakin lama (2 jam dan 24 jam) pada proses *Cryogenic treatment* setelah proses *martemper* pada temperatur air hangat dengan 40^oC dengan **holding time t 60 second** laju keausannya menurun. Namun untuk holding time 48 jam pada proses *Cryogenic treatment* laju keausannya meningkat. Hal ini didukung dengan hasil kekerasan yang ditunjukkan pada Gambar 1, yang mana kekerasannya semakin meningkat maka laju keausannya semakin rendah, ini menunjukkan bahwa ketahanan ausnya semakin tinggi. Bila dilihat dari pengaruh temperatur air hangat pada proses *martemper* semakin tinggi (40^oC, 60^oC, dan 80^oC), dilanjutkan dengan proses *Cryogenic treatment* menunjukkan laju keausannya semakin tinggi (Gambar 4), sehingga ketahanan ausnya semakin rendah.



Gambar 5. Laju keausan hasil proses Martemper Ductile Iron pada media air hangat dengan variasi temperature dan holding t 120 second dan Cryogenic treatment dengan variasi holding time 2 jam, 24 jam dan 48 jam

Gambar 5 dan tabel 2 menunjukkan laju keausan hasil proses *martemper* pada air hangat dengan temperatur 40°C dengan **holding time t 120 second**, dilanjutkan dengan proses *Cryogenic treatment* dengan *holding time* 2 jam, laju keausannya menurun 75 % dibandingkan dengan tanpa proses *Cryogenic treatment* (*Untreat*). Adapun pengaruh *holding time* (24 jam dan 48 jam) pada proses *Cryogenic treatment* menunjukkan dengan bertambahnya *holding time*, laju keausannya menurun, akan tetapi *holding time* 2jam seharusnya laju keausannya lebih tinggi dibanding dengan *holding time* 24 jam dan 48 jam. Adapun pengaruh temperatur air hangat pada proses *martemper* semakin tinggi (40°C, 60°C, dan 80°C), dilanjutkan dengan proses *Cryogenic treatment* menunjukkan laju keausannya semakin tinggi, ini berbeda pada proses *martemper* dengan temperatur air hangat 80°C, dilanjutkan proses *Cryogenic treatment* dengan *holding time* 48 jam, hasilnya menunjukkan laju keausannya lebih rendah seharusnya lebih tinggi bila dilihat dari hasil kekerasannya rendah (lihat Gambar 2). Hasil proses *Martemper Ductile Iron* (MDI) menunjukkan Laju keausannya lebih tinggi dibandingkan dengan proses *Cryogenic treatment*, ini menunjukkan ketahanan aus hasil proses *Martemper* lebih rendah dibanding dengan hasil proses *Cryogenic treatment*.

Laju keausan hasil proses *martemper* pada air hangat dengan temperatur 40°C dengan **holding time t 180 second** dilanjutkan dengan proses *Cryogenic treatment* dengan *holding time* 2 jam, laju keausannya menurun 67 % dibandingkan dengan tanpa proses *Cryogenic treatment* (*Untreat*) ditunjukkan pada Gambar 6 dan Tabel 2. Namun pengaruh *holding time* pada proses *Cryogenic treatment* menunjukkan dengan bertambahnya *holding time*, perubahan laju keausannya meningkat, namun untuk temperatur air hangat dengan 80°C dilanjutkan *Cryogenic treatment* pada *holding time* 24 jam dan 48 jam terjadi penurunan laju keausan. Untuk proses *martemper* pada temperatur air hangat 60°C dilanjutkan dengan proses *Cryogenic treatment* dengan bertambahnya *holding time* terjadi kenaikan laju keausan, akan tetapi pada *holding time* *Cryogenic treatment* 48 jam terjadi penurunan laju keausan. Gambar 6 menunjukkan terjadinya perubahan penurunan laju keausan pada proses *Cryogenic treatment* dibandingkan dengan hasil proses *Martemper Ductile Iron* (MDI). Ini menunjukkan ketahanan aus hasil proses *Martemper* lebih rendah dibanding dengan hasil proses *Cryogenic treatment*.



Gambar 6. Laju keausan hasil proses *Martemper Ductile Iron* pada media air hangat dengan variasi temperature dan *holding t* 180 second dan *Cryogenic treatment* dengan variasi *holding time* 2 jam, 24 jam dan 48 jam

Bahan FCD-45 yang digunakan pada proses *Martemper* memiliki kekerasannya HRb 88, dikonversikan ke HRc diperoleh HRc 9. Adapun hasil proses *Martemper* pada FCD-45 dengan quenching dalam air hangat diperoleh kekerasan tertinggi HRc 52 (lihat Tabel 1), hasil ini hampir sama dengan yang dilakukan oleh Akinlabi Q et al (2013) diperoleh HRc 52.9, terjadi peningkatan kekerasan sebesar 478 % dibandingkan dengan kekerasannya FCD-45. Sedangkan hasil *Cryogenic Treatment* pada bahan *Martemper Ductile Iron* (MDI) diperoleh kekerasan tertinggi HRc 57 (lihat Tabel 1), sehingga terjadi kenaikan kekerasan 10 % dibandingkan dengan hasil proses *Martemper*. Hasil *Cryogenic Treatment* pada bahan MDI dibandingkan dengan bahan FCD 45 terjadi peningkatan kekerasan sebesar 533 %.

Laju keausan terendah hasil proses *Martemper* pada FCD-45 dengan quenching dalam air hangat diperoleh $v = 0,0000667$ g/s (lihat Tabel 2). Adapun hasil *Cryogenic Treatment* pada bahan *Martemper Ductile Iron* (MDI) laju keausan terendah $v = 0,0000333$ g/s (lihat Tabel 2) sehingga terjadi penurunan laju keausan sebesar 50%, ini menunjukkan ketahanan ausnya meningkat. Hal ini didukung hasil penelitian oleh A Suprpto, et al (2016) yang menunjukkan terjadi penurunan keausan sebesar 77% hasil proses *Cryogenic Treatment* pada pahat ADI (*Austemper Ductile Iron*).

Kesimpulan

1. Hasil proses *Martemper Ductile Iron* (MDI) menunjukkan kekerasan dan ketahanan ausnya meningkat dibanding sebelum proses Martemper.
2. Hasil *Cryogenic Treatment* menunjukkan kekerasan dan ketahanan ausnya lebih tinggi dibanding hasil proses Martemper.

Daftar Pustaka

- Thamizhmanii S. et al., (2011), "Performance of deep cryogenically treated and non-treated PVD inserts in milling", *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, Vol.49, Issue 2, Desember 2011, p.460-466
- Ramji B.R. et al., (2010), "Analysis of Roughness and Flank Wear in Turning Gray Cast Iron Using Cryogenically Treated Cutting Tool", *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, Vol. 2 (5) pp.414-417
- Kollmer K.P, (2007), "Applications & Developments in the Cryogenic Processing of Materials", Kollmer-The Technologi Interface.htm.2/23/2007
- Singh S. et al., (2012), "Experimental Analysis of Cryogenic Treatment on Coated Tungsten Carbide Inserts in Turning", *International Journal of Advanced Engineering Technology*, Vol.3 (1) pp.290-294
- Agus Suprpto, Agus Iswantoko dan Ike Widyastuti, (2014), "Impact of Cryogenic Treatment and Temper to carbide tool life on turning process for Al T-6061", *International Journal of Applied Engineering Research*, Vol. 9 (24) pp. 30643-30650
- Suriansyah S., Pratikto, Agus Suprpto dan Yudi Surya Irawan, (2015), "The Effect Cryogenic Cooling, Martemper And Temper Of Micro Structure And Hardness Ductile Cast Iron (FCD-45)", *International Journal of Applied Engineering Research*, Vol. 10 (8) pp. 19389-19400
- Chang-Yong Kang et al, (2009), "Effect of Subzero Treatment on the Microstructure and Mechanical Properties of Austempered Ductile Cast Iron", *Materials Transactions*, Vol. 50 (9) pp. 2207 to 2211
- Agus Suprpto, Agus Iswantoko dan Ike Widyastuti, (2016), "Impact Evaluation of Cryogenic Treatment to Wear Characteristics of ADI Cutting Tool", *International Journal of Applied Engineering Research*, Vol. 11(12) pp. 7691-7697
- Oyetunji Akinlabi; Barnabas A. A.; Adewara J.O.T. (2013), "Development of Martempered Ductile Iron by Step-Quenching Method in Warm Water", *Daffodil International University Journal of Science and Technology*, Vol. 8, Issue 2