

## Pengaruh Temperatur Proses Martemper Pada Besi Tuang Paduan Al Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan dan Keausan

Corneles Leftungun<sup>1</sup>, Ratna Kartikasari<sup>2,\*</sup>, Sutrisna<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional  
Yogyakarta

Jl. Babarsari, Caturtunggal, Depok, Sleman, Yogyakarta 55281

\*Corresponding author: [ratna@itny.ac.id](mailto:ratna@itny.ac.id)

### Abstract

*This research aims to study the effect of martempering process temperature on Al cast iron on microstructure, hardness and wear. The research stages started with cutting Al alloy specimens for composition tests, microstructure tests, hardness tests and wear tests. The martempering process begins with heating at 900°C and held for 1 hour followed by cooling in molten salt (55% K<sub>2</sub>NO<sub>3</sub> + 45% NaNO<sub>3</sub>) at temperatures of 100°C, 150°C, 200°C, 250°C, 300°C for 15 minutes followed by cooling in water. The tests carried out were microstructure testing using an Olympus metallurgical system microscope, hardness testing using the Brinell method and wear testing using the Ogoshi method. The results of chemical composition testing showed that the content of the main element iron was 87.73%, the main alloying element aluminium was 1.77%, and carbon was 7.85%. So it includes Al alloy cast iron. The microstructure of Al alloy consists of graphite, ferrite and pearlite. temperatures of 1000C to 2500C the structure changes to martensite, ferrite and graphite. The martempering process at a temperature of 3000C changes the structure to bainite. The hardness test results show the highest value in the 1000C martemper process Al alloy of 376.70 Kg/mm<sup>2</sup>, the martemper process reduces hardness. Meanwhile, the highest wear test value in the 3000C martemper process was 0.000375 mm<sup>3</sup> /kg.m, the higher the temperature, the higher the wear value.*

**Keywords:** Al alloy, tempering, microstructure, hardness and wear.

### Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh temperatur proses martemper pada besi tuang Al terhadap struktur mikro, kekerasan dan keausan. Tahapan penelitian dimulai dari pemotongan spesimen paduan Al untuk uji komposisi, uji struktur mikro, uji kekerasan dan uji keausan. Proses martemper dimulai dengan pemanasan 900°C ditahan selama 1 jam dilanjutkan dengan pendinginan dalam garam cair (55% K<sub>2</sub>NO<sub>3</sub> + 45% NaNO<sub>3</sub>) pada temperatur 100°C, 150°C, 200°C, 250°C, 300°C selama 15 menit dilanjutkan dengan pendinginan dalam air. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian struktur mikro menggunakan alat Olympus metallurgical system microscope, uji kekerasan menggunakan metode Brinell dan uji keausan dengan metode Ogoshi. Hasil pegujian komposisi kimia menunjukkan bahwa kadar unsur utama besi sebesar 87,73%, unsur paduan utama aluminium 1,77%, dan karbon 7,85%. Sehingga termasuk besi tuang paduan Al. Struktur mikro paduan Al terdiri atas grafit, ferit dan perlit. temperatur 100°C sampai 250°C struktur berubah menjadi martensit, ferit dan grafit. Proses martemper pada temperatur 300°C struktur berubah menjadi bainit. Hasil pengujian kekerasan menunjukkan nilai tertinggi pada paduan Al proses martemper 100°C sebesar 376,70 Kg/mm<sup>2</sup>, proses martemper menurunkan kekerasan. Sedangkan pengujian keausan nilai tertinggi pada proses martemper 300°C sebesar 0,000375 mm<sup>3</sup> /kg.m, semakin tinggi temperatur maka semakin meningkat nilai keausan

**Kata Kunci :** Paduan Al, Martemper, Struktur mikro, Kekerasan dan Keausan

### PENDAHULUAN

Pengaruh Temperatur Proses Martemper Pada Besi Tuang Paduan Al Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan dan Keausan

Besi tuang adalah paduan besi (Fe) dan karbon (C) juga mengandung beberapa unsur lainnya seperti silikon (Si), mangan (Mn), fosfor (P) dan belerang. Struktur mikro besi tuang terdiri dari ferit dan perlit serta serpihan karbon bebas. Besi tuang di golongkan menjadi beberapa macam seperti besi tuang kelabu, besi tuang kelas tinggi, besi tuang kelabu paduan, besi tuang bergrafit bulat, besi tuang mampu tempa dan besi tuang cil [1]. Besi tuang mempunyai kandungan karbon (C) 2,5-3% dan silikon (Si) 1,8-2,4%. Material ini banyak digunakan pada pembuatan komponen-komponen mesin dikarenakan material ini memiliki keuntugan seperti mampu dimesin, ketahanan terhadap abrasi, dan kekerasan yang tinggi [2].

Besi tuang merupakan salah satu material yang paling banyak digunakan sebagai komponen mesin karena mempunyai sifat mampu cor dan sangat murah [3]. Besi tuang kelabu adalah besi tuang dengan warna patahan kelabu dan mempunyai struktur mikro perlitik, feritik, dan martensit serta bainit tergantung pada perlakuan panasnya. Karbon berfungsi untuk meningkatkan kekuatan dalam paduan Fe-Al-C [4]. unsur Al berfungsi sebagai penstabil struktur ferit dan austenit dan bahwa Al keberadaannya sangat melimpah, dan merupakan unsur terbesar ketiga di bumi sehingga harganya relatif murah. Oleh karena itu aluminium merupakan unsur untuk menggantikan Cr dalam paduan baja tahan karat konvensional [5]. Mengatakan bahwa besi alumida atau Fe-Al mempunyai kadar aluminium 16% sampai 60%. Beberapa kelebihan paduan intermetalik ini seperti tahan pada aplikasi suhu tinggi, ketahanan oksidasi, ketahanan aus yang baik dan juga kekuatan yang tinggi berbanding dengan ratio beratnya. Paduan intermetalik ini terdiri dari Fe<sub>3</sub>-Al atau Fe-Al dan mempunyai sifat bergantung dari jumlah kandungan aluminium didalamnya [6].

Martemper adalah proses memanaskan kembali baja yang telah di keraskan ke temperatur dibawah temperatur *Hardening* dengan tujuan untuk memperoleh kekuatan induktilitas dan ketangguhan yang tinggi [7]. Melakukan penelitian mengenai pengaruh kandungan aluminium pada paduan baja ringan Fe-Al-C terhadap struktur mikro dan perilaku korosi. Paduan itu disiapkan menggunakan tungku induksi dibawah atmosfer argon. Hasil penelitian menunjukkan bahwa stuktur mikro paduan Fe-Al-C adalah struktur ferit dan perlit serta semakin tinggi kadar Fe-Al-C maka semakin dominan fase Al pada ferit. Laju korosi paduan Fe-Al-C berkisar antara 0,084 hingga 0,047 mm/tahun. Pada kandungan Al yang lebih tinggi laju korosi menurun dan mencapai nilai terendah pada kadar Al sebesar 7,5%.

Melakukan penelitian tentang pengaruh penambahan 1,3% Mn dan *quenching* terhadap struktur mikro dan sifat mekanik besi cor kelabu. Proses *quenching* dilakukan untuk melihat adanya perubahan fase yang terjadi. Pemanasan pada suhu 900°C mengakibatkan karbon terdifusi untuk membentuk struktur lain ketika dipanaskan, selanjutnya dilakukan proses pendinginan cepat menggunakan media air. Hasil penelitian menunjukkan nilai kekerasan paling tinggi terdapat pada spesimen besi cor kelabu FC-25 dengan Mn 1,3% setelah *quenching* yaitu sebesar 433,942 kg/mm<sup>2</sup>. Hal ini terjadi karena feses truktur yang terbentuk sudah menjadi martensit yang memiliki sifat kekerasan tinggi. Sedangkan untuk spesimen besi cor kelabu FC-25 setelah *quenching* terdapat peningkatan kekerasan yang tidak begitu signifikan dibandingkan dengan sebelum mendapat perlakuan *quenching* yaitu sebesar 173,742 kg/mm<sup>2</sup> [8]. Pada penelitian ini akan dianalisis pengaruh temperatur *martemper* pada besi tuang paduan Al terhadap struktur mikro, kekerasan dan keausan.

## METODE PENELITIAN

Bahan baku penelitian adalah besi tuang paduan Al berbentuk ingot dengan ukuran 40 x 40 x 200mm. Penelitian ini dimulai dengan melakukan pengujian komposisi kimia menggunakan alat spectrometer milik PT. Itokoh Ceperindo, Klaten. Setelah mempersiapkan

spesimen yang akan diuji, yaitu dengan cara pemotongan besi tuang paduan Al, menggunakan *Water Cutting* dengan jumlah spesimen 12 dan tiap potongan berukuran 15mm x 15mm x 5mm. Selanjutnya melakukan proses *martemper*, dimana besi tuang paduan Al dilakukan perlakuan panas *martemper*. Dengan variasi temperatur yaitu 100°C, 150°C, 200°C, 250°C, 300°C. Proses *martemper* dimulai dengan pemanasan pada temperatur 900°C dengan penahanan selama 1 jam. Dilanjutkan pencelupan dalam garam cair (55% KNO<sub>3</sub>+45% NaNO<sub>3</sub>) pada temperatur 100°C, 150°C, 200°C, 250°C, 300°C selama 15 menit dilanjutkan pencelupan dalam air. Selanjutnya mempersiapkan spesimen pengujian bahan. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian struktur mikro menggunakan alat mikroskop optik, uji kekerasan dengan metode *Brinell* dengan beban 185,7kgf, uji keausan menggunakan alat uji keausan metode *Ogoshi*.

## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

### Analisis Hasil Pengujian Komposisi Kimia

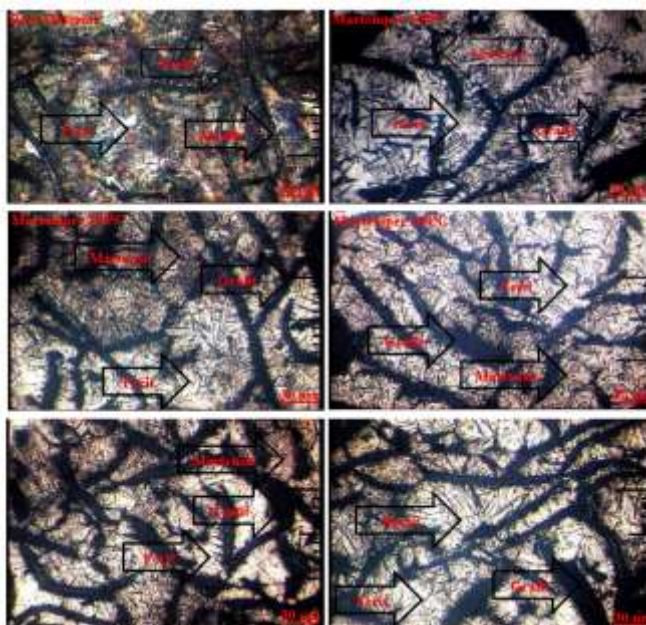
**Tabel 1.** Hasil pengujian menggunakan *spectrometer*

unsur	Fe	Al	C	Si	Mn	S	Ni	Cr	V	P	Mo	Cu	Ti	Zn	total
W (% Berat)	87,73	1,77	7,85	1,67	0,46	0,04	0,09	0,11	0,01	0,04	1,01	0,14	0,01	0,01	100

Kadar C dalam paduan sebesar 7,85% dan kadar paduan Al dalam paduan 1,77% sehingga paduan ini termasuk besi cor paduan Al. Penambahan unsur Al sebesar 1,8% dalam paduan Fe-1,7Al-7,8C berfungsi sebagai penstabil ferit dan mampu meningkatkan ketahanan korosi secara cukup signifikan (Kartikasari ddk, 2013). Kadar karbon (C) sebesar 7,8% menyebabkan paduan lebih mudah teroksidasi, memiliki matriks ferit, bersifat Brittle serta mempunyai Strength rendah pada temperatur tinggi [9]. Penambahan unsur silikon (Si) berpengaruh terhadap kemampuan membentuk grafit, kelebihan penambahan Si dalam besi akan membentuk ikatan yang keras. Sehingga dapat dikatakan bahwa Si diatas 3,25% akan meningkatkan kekerasan dan mengurangi kekuatan impak [10].

### Analisis Hasil Pengujian Struktur Mikro

Pengujian struktur mikro dilakukan dengan pengamatan pada spesimen uji menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 100 kali. Sebelum melakukan pengujian spesimen uji dietsa terlebih dahulu menggunakan zat kimia berupa cairan asam nitrat (HNO<sub>3</sub>) dan asam klorida (HCl) dengan perbandingan 1:3. Persiapkan spesimen uji berjumlah 6 buah yang terdiri dari raw material dan spesimen yang sudah mengalami proses *martemper* dengan variasi temperatur 100°C, 150°C, 200°C, 250°C dan 300°C dan ditahan selama 15 menit.



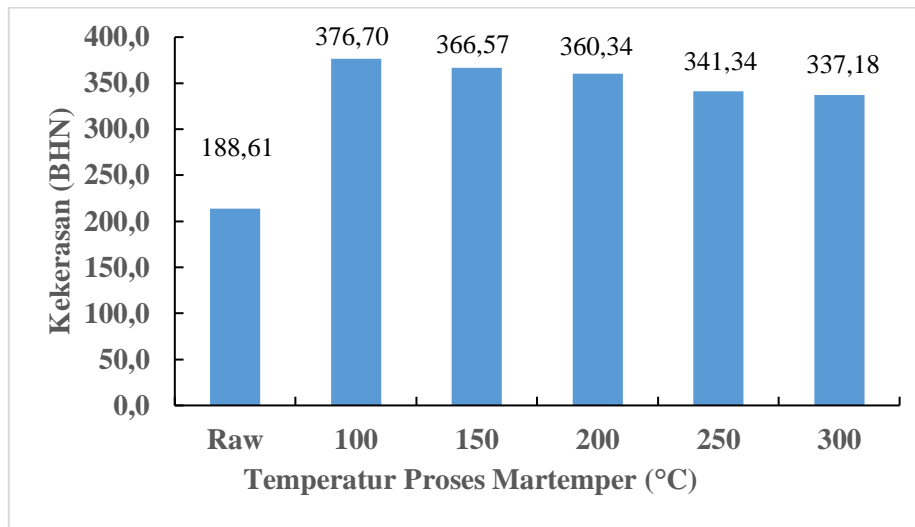
**Gambar 1.** Foto struktur mikro paduan Al sebelum dan sesudah proses martemper

Hasil foto struktur mikro spesimen besi tuang paduan Al pada raw material menunjukkan bahwa terdapat 3 struktur mikro yaitu grafit, ferit dan perlit dimana struktur grafit berwarna hitam memanjang dan struktur ferit berwarna putih terang serta struktur perlit berupa lamel-lamel hitam putih. Pada proses martemper 100°C menghasilkan perubahan ukuran butir ferit lebih besar merata dan perlit menghilang dan struktur martensit, serta ukuran grafit terlihat besar dan rapat. Pada proses martemper 150°C menunjukkan bahwa struktur ferit lebih mendominasi, sedangkan grafit yang terlihat ukurannya lebih besar dibandingkan dengan proses martemper 100°C. Pada proses martemper 200°C menunjukkan bahwa struktur ferit masih mendominasi dengan batas butir yang besar dan struktur martensit mengecil pada area sekitaran ferit serta grafit yang terbentuk dengan jarak yang renggang dibandingkan proses martemper 150°C. Pada proses martemper 250°C menunjukkan struktur ferit lebih dominan serta struktur grafit mulai besar dan rapat, sedangkan struktur martensit mulai kelihatan nyata dengan garis yang tidak terlalu besar dibandingkan proses martemper 200°C. Pada proses martemper 300°C menunjukkan bahwa struktur grafit dengan batas butir yang membesar dengan jarak yang agak rapat dan struktur ferit yang membesar pada area batas butir serta struktur bainit muncul pada area sekitaran grafit dibandingkan dengan spesimen proses martemper 250°C.

Berdasarkan analisis uji struktur mikro dapat disimpulkan bahwa pada spesimen *raw material* mempunyai struktur ferit, perlit, grafit, dan setelah dilakukan proses martemper dengan temperatur 100°C struktur perlit tidak terbentuk atau menghilang akibat proses perlakuan panas martemper. Sedangkan proses martemper di temperatur 150°C struktur yang terbentuk lebih dominan struktur ferit dan grafit, hal ini dikarenakan terdapat unsur aluminium (Al) sebagai penstabil struktur ferit. Sedangkan proses martemper di temperatur 200°C dan 250°C menyebabkan terbentuknya struktur martensit diantara struktur ferit dan grafit. Terbentuknya struktur martensit akibat adanya pendinginan cepat. Pada proses martemper dengan temperatur 300°C memiliki struktur grafit, ferit dan bainit akibat melampaui garis martensit start sehingga yang muncul adalah struktur bainit.

### Analisis Hasil Pengujian Kekerasan

Kekerasan ini diukur dengan menggunakan alat pengukur kekerasan *Brinell*. Bola baja keras dengan diameter  $D$  (mm) ditekan kepermukaan bagian yang diukur dengan beban  $P$  (kg). Kekerasan *Brinell* adalah beban  $F$  dibagi luas bidang ( $\text{mm}^2$ ) penekanan yang merupakan deformasi (perubahan) tetap sebagai akibat penekanan.



**Gambar 2.** Diagram pengujian kekerasan paduan Al sebelum dan sesudah proses martemper

Gambar 2 menunjukkan hasil pengujian kekerasan menggunakan metode *Brinell* dengan beban sebesar 187,5kgf, setiap spesimen dilakukan pengujian pada titik berbeda yang diatur secara berurutan. Berdasarkan hasil uji kekerasan terhadap spesimen uji dari paduan Al, untuk spesimen *raw material* menunjukkan kekerasan sebesar 188,61 kg/mm<sup>2</sup>. Hal ini disebabkan spesimen *raw material* memiliki struktur mikro yang terbentuk adalah struktur ferit, perlit, dan grafit dimana bentuk struktur ferit terlihat dominan dibandingkan struktur perlit, dan ukuran butirnya besar, serta ukuran grafitnya besar dan rapat. Hasil perhitungan pengujian kekerasan *Brinell* untuk spesimen proses martemper temperatur 100°C diperoleh angka sebesar 376,70 kg/mm<sup>2</sup>, Angka ini naik secara signifikan sebesar 99,72% dari spesimen raw material. Hal ini disebabkan karena terbentuknya struktur martensit dan terlihat mendominasi.

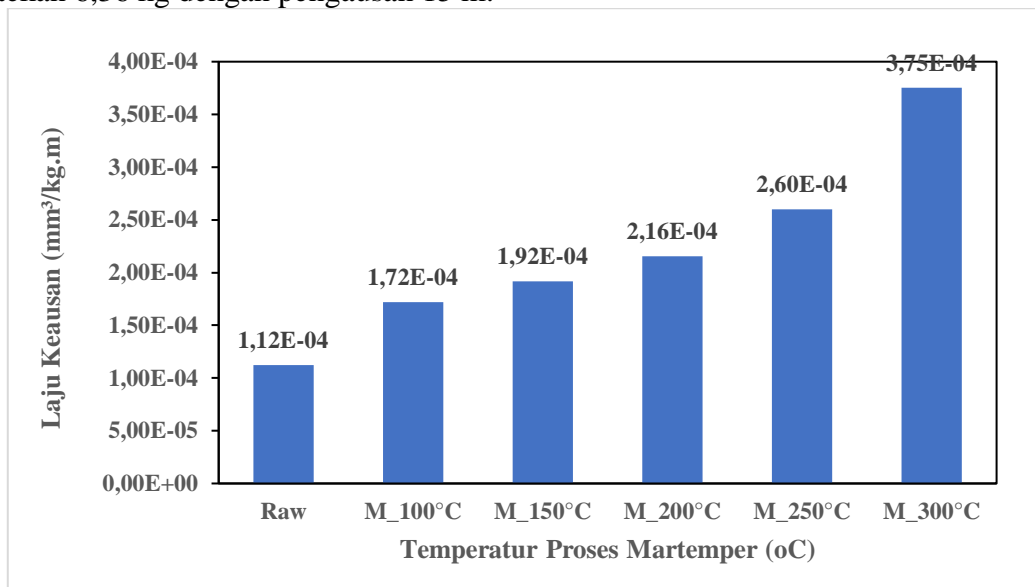
Pada proses martemper temperatur 150°C dengan angka kekerasan 366,57 kg/mm<sup>2</sup>, mengalami penurunan sebesar 2,68% tidak signifikan hal ini disebabkan karena munculnya struktur ferit dalam jumlah kecil diantara sekitaran struktur martensit, dibandingkan spesimen proses martemper 100°C. Selanjutnya hasil perhitungan kekerasan pada spesimen proses martemper temperatur 200°C dengan nilai 360,34 kg/mm<sup>2</sup>, yang mana mengalami penurunan sebesar 1,69% tidak signifikan dibanding spesimen proses martemper 150°C. Hal ini disebabkan struktur ferit makin bertambah dan butir semakin membesar, dan juga grafit yang terbentuk ukurannya semakin besar dan renggang. Selanjutnya untuk spesimen proses martemper temperatur 250°C, menunjukkan kekerasan sebesar 341,34 kg/mm<sup>2</sup> mengalami penurunan 5,27% signifikan dibanding spesimen proses martemper 200°C akibat terbentuknya struktur martensit dengan batas butir yang kecil, grafit yang terbentuk ukurannya semakin membesar dan jarak sedikit rapat serta ukuran struktur ferit yang besar dan rapat. Selanjutnya untuk spesimen proses martemper temperatur 300°C, menunjukkan kekerasan sebesar 337,10 kg/mm<sup>2</sup>, pada spesimen ini mengalami penurunan 1,24% dari spesimen proses martemper temperatur 250°C. hal ini disebabkan struktur grafit dengan batas butir yang membesar dengan jarak yang agak rapat dan struktur ferit yang membesar pada area batas butir serta struktur bainit muncul pada area sekitaran grafit dibanding spesimen proses martemper 250°C.



Berdasarkan data Pengujian kekerasan *Brinell* paduan Al, menunjukkan bahwa proses martemper memiliki angka kekerasan yang lebih tinggi terdapat pada proses martemper 100°C dengan nilai kekerasan sebesar 376,70 kg/mm<sup>2</sup>, dan nilai kekerasan terendah di spesimen *Raw* material dengan nilai sebesar 188,61 kg/mm<sup>2</sup>. Maka disimpulkan bahwa semakin tinggi temperatur martemper maka kekerasan paduan Al semakin menurun, karena munculnya struktur ferit semakin banyak dan semakin tinggi temperatur proses martemper dan grafit semakin rapat [11-12].

### Analisis Hasil Pengujian Keausan

Pengujian keausan dilakukan dengan menggunakan alat *universal wear* dengan metode *Ogoshi*, yaitu benda uji memperoleh beban gesek dari cincin yang berputar (*revolving disc*). Pembebanan gesek ini akan menghasilkan kontak antar permukaan yang berulang-ulang pada akhirnya akan mengambil sebagian material pada permukaan benda uji. Pengujian keausan dilakukan dengan tiga gesekan yang berbeda pada setiap spesimen. Pengujian ini menggunakan gaya tekan 6,36 kg dengan pengausan 15 m.



**Gambar 3.** Diagram pengujian keausan paduan Al sebelum dan sesudah proses martemper

Pada Gambar 3 menunjukkan hasil pengujian keausan menggunakan metode *Ogoshi* dengan beban 6,36 kg dengan jarak pengausan 15 m. Hasil pengujian keausan pada spesimen raw material didapatkan nilai keausan spesifik sebesar 0,000112 mm<sup>3</sup>/kg.m. Selanjutnya spesimen dengan proses martemper 100°C didapatkan hasil nilai 0,000172 mm<sup>3</sup>/kg.m. Hasil perhitungan menunjukkan kenaikan sebesar 53,57% dibandingkan dengan spesimen raw material, kenaikan nilai keausan ini disebabkan struktur martensit terlihat mendominasi dan grafit yang menyebar serta cukup besar. Proses martemper pada 150°C didapatkan nilai keausan sebesar 0,000192 mm<sup>3</sup>/kg.m. Menunjukkan kenaikan sebesar 11,62%. Kenaikan nilai keausan hal ini disebabkan karena munculnya struktur ferit dalam jumlah kecil diantara sekitaran struktur martensit dibandingkan proses martemper 100°C. Kemudian proses martemper 200°C didapatkan nilai keausan sebesar 0,000216 mm<sup>3</sup>/kg.m. menunjukkan kenaikan sebesar 12,5%. Hal ini disebabkan struktur ferit makin bertambah dan butir semakin membesar, dan juga grafit yang terbentuk ukurannya semakin besar dan renggang, dibandingkan proses martemper 150°C. proses martemper 250°C didapatkan hasil nilai keausan sebesar 0,000260 mm<sup>3</sup>/kg.m. Hasil menunjukkan kenaikan sebesar 20,37% dibandingkan dengan spesimen 200°C.

kenaikan nilai keausan ini disebabkan akibat terbentuknya struktur martensit dengan batas butir yang kecil, grafit yang terbentuk ukurannya semakin membesar dan jarak sedikit rapat serta ukuran struktur ferit yang besar dan rapat. Proses martemper 300<sup>0</sup>C, dapatkan hasil nilai keausan sebesar 0,000375 mm<sup>3</sup>/kg.m. Dari hasil perhitungan maka nilai keausannya mengalami kenaikan dengan nilai 44,23%, hal ini disebabkan struktur grafit dengan batas butir yang membesar dengan jarak yang agak rapat dan struktur ferit yang membesar pada area batas butir serta struktur bainit muncul pada area sekitaran grafit dibanding spesimen proses martemper 250<sup>0</sup>C.

Berdasarkan data hasil pengujian keausan pada spesimen besi tuang paduan Al menunjukkan bahwa proses martemper dengan variasi temperatur . Nilai keausan tertinggi pada spesimen proses martemper 300<sup>0</sup>C dengan nilai keausan sebesar 0,000375 mm<sup>3</sup>/kg.m. Semakin lama waktu proses martemper maka tingkat keausan semakin meningkat. Hal ini disebabkan karena semakin lama waktu proses martemper maka ukuran butir struktur grafit semakin rapat, dan struktur ferit yang semakin membesar [13-15].

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil pengujian komposisi kimia menunjukkan bahwa paduan Al memiliki kadar unsur utama (Fe) 87,73%, unsur paduan utama (Al) 1,77%, (C) 7,85%, (Si) 1,67%, (Mn) 0,46% paduan ini tergolong besi cor paduan Al.
2. Struktur mikro paduan Al terdiri atas grafit, ferit dan perlit. Setelah proses martemper pada temperatur 100<sup>0</sup>C, 200<sup>0</sup>C sampai 250<sup>0</sup>C struktur berubah menjadi martensit, ferit dan grafit. Proses martemper pada temperatur 300<sup>0</sup>C struktur berubah menjadi bainit.
3. Pengujian kekerasan *Brinell* menunjukkan bahwa paduan Al memiliki nilai kekerasan tertinggi sebesar 376,70Kg/mm<sup>2</sup> pada temperatur 100<sup>0</sup>C, semakin tinggi temperatur proses martemper, nilai kekerasan semakin menurun . Hal ini dikarenakan struktur martensit semakin berkurang , struktur grafit semakin rapat, dan struktur ferit yang semakin membesar.
4. Pengujian keausan menunjukkan bahwa paduan Al memiliki nilai keausan tertinggi sebesar 0,000375 mm<sup>3</sup>/kg.m pada pada spesimen temperatur 300<sup>0</sup>C dan nilai keausan terendah pada spesimen *Raw material* dengan nilai 0,000112 mm<sup>3</sup>/kg.m. Semakin lama waktu proses martemper maka tingkat keausan semakin meningkat.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada Prodi Teknik Mesin S1 Fakultas Teknik Dan Perencanaan Institut Teknologi Nasional Yogyakarta yang telah mendukung hingga terselesaikannya penelitian ini. Serta Keluarga yang selalu memberikan motivasi dan semangat dalam menyelesaikan penelitian ini.

## REFERENSI

- [1] Amstead, B.H., 1989, *Teknologi Mekanik Jilid 1 Edisi Ketujuh*. Erlangga: Jakarta.
- [2] Arda, 2017, Analisis uji tarik dan metalografi sifat mekanik besi tuang kelabu proses *Heat Treatment*, *Jurnal Teknologi dan Bahan Teknik* , Vol. 10, No. 1, Hal. 25-29.
- [3] Bayuseno, A., 2010, Penambahan magnesium-ferrosilikon pada proses pembuatan besi cor bergrafit bulat evaluasi terhadap peningkatan sifat mekanik dan impak, *Jurnal Tenkik Mesin*, Vol.12, No.1, Hal.43-46.

- [4] Gunawan, 2020, Pengaruh penambahan Mn 1,3% dan *Quenching* pada Besi Cor Kelabu Terhadap Stuktur Mikro Dan Sifat Mekanis, *Majalah Teknik Mesin*, Vol.21, No.1, Hal.38-55.
- [5] Kartikasari, R, 2014, Pengaruh kandungan Alumunium Terhadap stuktur mikro dan perilaku korosi Baja Ringan Paduan Fe-Al-C Cor. *International Journal of Applied Engineering Research*, Vol. 9. No. 13. Hal. 2241-2249. ISSN 0973-4526
- [6] Lyszkowski, 2014, *Hot deformation and processing maps of Fe-Al intermetallic alloy*, *Journal Materials Characterization*, Vol. 96, Hal. 196-205.
- [7] Shackelford, J.F., 1992, *Intruccion to Material Science For Engineers, 3th ed.*,McMillian Publishing Company, New York.
- [8] Surdia, S., 1999, Pengetahuan Bahan Teknik, Cetakan ke-4, Pradnya Pramita Jakarta.
- [9] Tjong, S. C., 1986, *Stress Corrosion Cracking Behavior Of The Duplex Fe-10Al-29Mn-0,4C Alloy In 20% NaCl Solution at 100°C*, *Journal Of Material Science*, Vol. 21, Hal.1166-1170.
- [10] Wang , C.J. dan Duh, J.G., 1998, *Nitriding In The high Temperatur Oxidation Of fe-31Mn-9Al-6Cr Alloy*, *Journal Of Materials Science*, Vol. 23, Hal.769-775.
- [11] Aziz, M.A.A., Kartikasari, R. and Bagus Prasetyo, A. 2022. Pengaruh Temperatur Temper Pada Paduan Fe-1,2al-4,8c Terhadap Struktur Mikro Dan Sifat Mekanik. *Cendekia Mekanika*. 3, 1 (Mar. 2022), 51-64.
- [12] Muhammad Arief Reynaldy, Ratna Kartikasari and Angger Bagus Prasetyo 2023. Pengaruh Temperatur Proses Austemper Besi Tuang Paduan Al (2,17%) Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan dan Keausan. *Cendekia Mekanika*. 4, 2 (Sep. 2023), 175-184.
- [13] Woko, S., Kartikasari, R. dan Prasetyo, A. B., (2023). Analisis Proses Deep Cryogenic Treatment – Temper Pada Paduan Fe-14,6cr-10mn Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan Dan Ketahanan Korosi. *Cendekia Mekanika*. 4, 2 (Sep. 2023), 159-165.
- [14] Sepryanto, J., Kartikasari, R. and Bagus Prasetyo, A. 2023. Pengaruh Temperatur Anil Pada Paduan Fe-Al-Mn Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan, Dan Ketahanan Aus. *Cendekia Mekanika*. 4, 1 (Mar. 2023), 1-9.
- [15] Pue Wea, J., Kartikasari, R. and Bagus Prasetyo, A. 2023. Pengaruh Waktu Proses Dct Pada Baja Mangan Dengan Penambahan 17,4 Cr Dan 18,4 Cr Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan Dan Keausan. *Cendekia Mekanika*. 4, 2 (Sep. 2023), 166-174.
- [16] Maruwas Nainggolan, D., Kartikasari, R. and Prasetyo, A.B. 2022. Pengaruh Waktu Proses Austemper Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan Dan Ketahanan Aus Paduan Fe-1, 8al-6,5c. *Cendekia Mekanika*. 3, 2 (Sep. 2022), 119-127.
- [17] Wahyu Nugroho, A., Kartikasari, R. and Bagus Prasetyo, A. 2022. Pengaruh Penambahan Unsur Cu Pada Ingot Bahan Wajan Produk Ikm Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan, Keausan, Dan Ketahanan Korosi . *Cendekia Mekanika*. 3, 2 (Sep. 2022), 149-157.