

Pengaruh Temperatur Proses Austemper Besi Tuang Paduan Al (2,17%) Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan Dan Keausan

Muhammad Arief Reynaldy¹, Ratna Kartikasari^{2,*}, Angger Bagus Prasetyo³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta
Jl Babarsari Caturtunggal Depok Sleman Yogyakarta

*Corresponding author: ratna@itny.ac.id

Abstract

Gray cast iron is one material that is widely used as a machine component because it has castable properties and is very cheap. This study aims to analyze how the effect of austemper process temperature of Al alloy cast iron (2.17%) on microstructure, hardness and wear. The material used is Al alloy cast iron (2.71%) in the form of ingots. The austempering process starts with heating at 900°C for 1 hour, followed by immersion in molten salt (65%KOH+35%NaOH) at temperatures of 250°C, 300°C, 350°C, 400°C, 450°C for 20 minutes. The tests carried out were chemical composition tests using a spectrometer, microstructure tests using an inverted metallurgy microscope, hardness tests using the Brinell method and Ogoshi method wear tests. The chemical composition test results show the main element content (Fe) 88.21%, the main alloying element Aluminum (Al) 2.17%, and Carbon (C) 6.07%, including Al alloy cast iron. Microstructure test results show Al alloy cast iron (2.17%) ferrite, graphite and perlite structures. In the process of austemper temperature 2500C perlite turns into bainite, the higher the temperature bainite structure decreases and disappears at a temperature of 4500C. Hardness test results with the Brinell method showed Al alloy cast iron (2.17%) has a hardness value of 156.20 kg. After the austemper process, the hardness value rises to the maximum value at 2500C austemper (201.71 BHN) and then drops back down to the lowest value.

Keywords: Al alloy cast iron (2.17%), austemper, microstructure, hardness, wear

Abstrak

komponen mesin karena mempunyai sifat mampu cor dan sangat murah. Penelitian ini bertujuan menganalisis bagaimana pengaruh temperature proses austemper besi tuang paduan Al (2,17%) terhadap struktur mikro, kekerasan dan keausan. Bahan yang digunakan adalah besi tuang paduan Al (2,71%) berbentuk ingot. Proses austemper di mulai dengan pemanasan pada suhu 900°C selama 1 jam, di lanjutkan dengan pencelupan dalam garam cair (65%KOH+35%NaOH) pada temperatur 250°C, 300°C, 350°C, 400°C, 450°C selama 20 menit. Pengujian yang dilakukan adalah uji komposisi kimia menggunakan alat spectrometer, uji struktur mikro menggunakan alat inverted metallurgy microscope, uji kekerasan menggunakan metode Brinell dan uji keausan metode Ogoshi. Hasil uji komposisi kimia menunjukkan kadar unsur utama (Fe) 88,21%, unsur paduan utama Aluminium (Al) 2,17%, dan Karbon (C) 6,07%, termasuk besi tuang paduan Al. Hasil uji struktur mikro menunjukkan besi tuang paduan Al (2,17%) struktur ferit, grafit dan perlite. Pada proses austemper temperatur 2500C perlite berubah menjadi bainit, semakin tinggi temperatur stuktur bainit semakin berkurang dan menghilang pada temperatur 4500C. Hasil uji kekerasan dengan

metode Brinell menunjukkan besi tuang paduan Al (2,17%) memiliki nilai kekerasan 156,20 kg. Setelah dilakukan proses austemper nilai kekerasan naik mencapai nilai maksimal di austemper 2500C (201,71 BHN) kemudian turun kembali mencapai minimum di austemper 4000C (169,24 BHN). Hasil uji keausan menunjukkan besi tuang paduan Al (2,17%) memiliki keausan 0,000150mm³/kg.m. Setelah dilakukan proses austemper nilai keausan menurun mencapai nilai terendah di temperatur 2500C sebesar 0,000066mm³/kg.m. Kemudian meningkat kembali mencapai maximum di temperatur 4500C sebesar 0,000146mm³/kg.m.

Kata kunci: Besi tuang paduan Al (2,17%), austemper, struktur mikro, kekerasan, keausan.

PENDAHULUAN

Besi tuang kelabu merupakan salah satu material yang banyak digunakan sebagai komponen mesin karena mempunyai sifat mampu cor dan sangat murah (Surdia dkk., 1999). Besi tuang kelabu adalah besi tuang dengan warna patahan kelabu dan mempunyai struktur mikro perlitik, feritik, dan martensit serta bainit tergantung pada perlakuan panasnya. Kekuatan tarik besi tuang kelabu sekitar 100-300 N/mm² dengan titik cair 1200°C (Bayudeno, 2010).

Besi cor adalah paduan besi yang mengandung karbon, silisium, mangan, fosfor dan belerang serta digolongkan menjadi : besi cor kelabu, besi cor kelas tinggi, besi cor kelabu paduan, besi cor bergrafit bulat, besi cor mampu tempa dan besi cor cil (Umardani, 2008). Besi cor merupakan salah satu material yang paling banyak digunakan dalam industri logam baik sebagai bahan dasar rangka industri hingga produk-produk lain seperti komponen-komponen kendaraan bermotor, sistem perpipaan maupun dalam komponen generator.

Telah dilakukan penelitian tentang pengaruh aluminium dan silikon sebagai unsur paduan pada pembentukan fase intermetalik, struktur mikro dan ketahanan aus besi tuang kelabu (Sanatizadeh dkk., 2019). Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan unsur aluminium sebanyak 4% pada besi tuang kelabu menyebabkan terbentuknya fasa ferit sehingga terjadi penurunan nilai kekerasan dan penambahan unsur silikon sebesar 2% pada besi tuang kelabu paduan aluminium tidak menyebabkan perubahan yang signifikan pada struktur grafit tetapi menyebabkan intensitas dalam pembentukan fasa ferit juga terjadi peningkatan nilai kekerasan. Ketahanan aus terbaik berada pada kandungan aluminium 4% dengan kadar silikon sebesar 2% pada besi tuang abu-abu. Besi alumida atau Fe-Al mempunyai kadar aluminium 16% sampai 60% (Lyszkowski dkk., 2014). 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 Fe₃-Al atau Fe-Al dan mempunyai sifat bergantung dari jumlah kandungan aluminium didalamnya. Paduan Fe-Al-C feritik mempunyai sifat-sifat fisik, mekanik, teknologikal, ketahanan korosi dan oksidasi yang unggul. Ditinjau dari segi biaya maka biaya bahan baku paduan Fe-Al-C feritik cukup rendah (Kartikasari, 2013).

Telah dilakukan penelitian mengenai pengaruh kandungan aluminium pada paduan baja ringan Fe-Al-C terhadap struktur mikro dan perilaku korosi[7]. Paduan itu disiapkan oleh tungku induksi dibawah atmosfer argon. Hasil penelitian menunjukkan bahwa struktur mikro paduan Fe-Al-C adalah struktur ferit dan perlit serta semakin tinggi kadar Fe-Al-C maka semakin dominan fase Al 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%. Peningkatan kandungan Al selanjutnya menyebabkan laju korosi.

Telah dilakukan penelitian mengenai pengaruh temperatur proses austemper terhadap struktur mikro, kekerasan, dan keausan pada paduan FeAl-C (Qahar dkk., 2017). Proses penelitian menggunakan baja paduan Fe-5,2Al-0,6C. Pada proses austemper semua spsimen uji ditahan selama 15 menit pada variasi temperatur 350°C, 300°C, 250°C, 200°C, 150°C,

selanjutnya dilakukan pendinginan dengan air. Hasil penelitian menunjukkan bahwa setelah proses austemper struktur bainit tidak terbentuk sama sekali dikarenakan ada unsur aluminium sebesar 5,2%, sehingga struktur yang terbentuk lebih dominan terbentuk struktur ferit. Hal ini juga menunjukkan bahwa paduan Fe-5,2Al-0,6C bersifat non hardenable (tidak dapat dikeraskan) laju korosi spesimen raw material ataupun setelah proses austemper masuk dalam kategori kurang baik (1-5 mm/th).

Telah dilakukan penelitian tentang kekerasan besi cor nodular FCD 55 melalui proses austemper dengan membandingkan variasi temperatur austemper (Wahyu dkk., 2007). Hasil dari penelitian pada variasi temperatur diperoleh nilai kekerasan tertinggi terjadi pada temperatur austemper 300°C dikarenakan matrik yang terbentuk adalah ausferite bawah (ausferite halus) dengan sedikit austenite sisa. Untuk kekerasan yang paling rendah terjadi pada temperatur austemper 400°C ini disebabkan struktur matrik yang terbentuk adalah ausferite atas (ausferite kasar) yang menyerupai perlite halus. Dengan demikian semakin halus fasa ausferite didalam struktur mikro ADI maka kekerasannya semakin tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis bagaimana pengaruh temperature proses austemper besi tuang paduan Al (2,17%) terhadap struktur mikro, kekerasan dan keausan.

METODE PENELITIAN

Bahan baku penelitian ini adalah besi tuang paduan Al (2,17%). Pengujian komposisi kimia dilakukan menggunakan alat spectrometer milik PT. Itokoh Ceperindo, Klaten. Pengujian komposisi kimia bertujuan untuk mengetahui unsur-unsur yang terkandung di dalam spesimen. Besi tuang paduan Al (2,17%) selanjutnya dipotong membentuk spesimen uji struktur mikro, kekerasan dan keausan dengan ukuran panjang 15mm dan lebar 15mm dengan tebal 5mm. Proses austemper di mulai dengan pemanasan pada suhu 900°C selama 1 jam, di lanjutkan dengan pencelupan dalam garam cair (65% KOH+35% NaOH) pada temperatur 250°C, 300°C, 350°C, 400°C, 450°C selama 20 menit. Peroses austemper diakhiri dengan pendinginan di dalam air. Selanjutnya di lakukan persiapan spesimen untuk pengujian yang meliputi: amplas, autosol, kain bludru, alkohol 70%, hair dryer, bahan etsa aqua regia (HNO₃ + HCl) dengan perbandingan 1:3, resin dan herdaner. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian struktur mikro menggunakan alat mikroskop optik merk Olympus milik Laboratorium Bahan Teknik Jurusan Teknik Mesin Program D3 UGM , uji kekerasan dengan metode Brinell dan uji keausan dengan metode Ogoshi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis hasil pengujian komposisi kimia

Tabel 1. Komposisi Kimia besi tuang paduan Al (2,17%).

Unsur	W(% Berat)
Fe	88,21
C	6,07
Al	2,17
Si	1,78
Mn	0,46
Mo	0,13
Cr	0,12
Ni	0,09
S	0,02
P	0,06

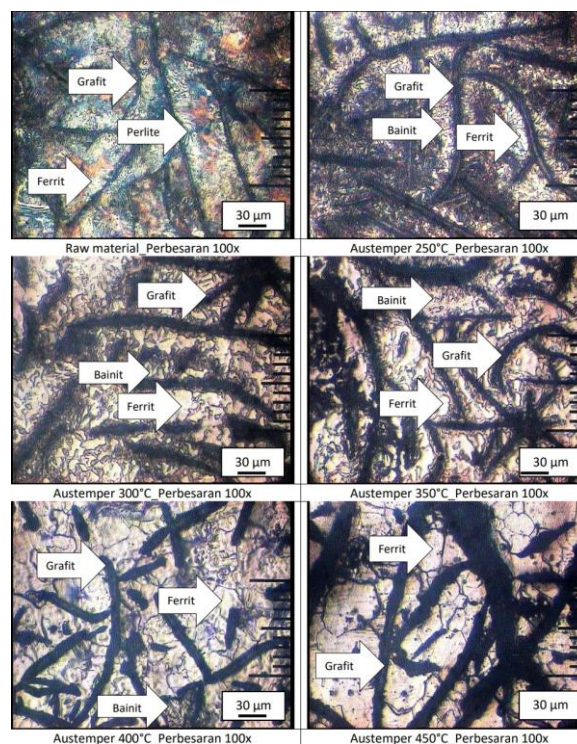
Unsur	W(% Berat)
V	0,01
Cu	0,14
Ti	0,01
Sb	0
Zn	0,01
Total	100

Hasil pengujian komposisi kimia besi tuang paduan Al (2,17%) menggunakan spectrometer menunjukkan bahwa ada cukup banyak unsur terdapat pada paduan tersebut, kadar unsur utama Besi (Fe) 88,21%, unsur paduan utama Aluminium (Al) 2,17%, Karbon (C) 6,07%. Dengan kadar unsur karbon (C) 2,5-4%, kadar Silikon (Si) 1-3%, kadar unsur Mangan (Mn) 0,2-1% merupakan rentang variasi kandungan unsur besi cor kelabu. Terdapat penambahan unsur Al sebesar 5%, maka dapat dikatakan dalam penelitian ini material yang digunakan adalah besi cor paduan Al (Suprihato, 2007).

Pada material beberapa unsur berpengaruh terhadap sifat bahan, penambahan Aluminium (Al) sebesar 2,31% sebagai penstabil dan juga sekaligus pembentuk fasa ferit, sehingga meningkatkan keuletan dan melunakkan material serta ketahanan korosi. Unsur karbon (C) sebesar 5,38% mendorong terbentuknya struktur perlit, sehingga meningkatkan kekerasan material. Keberadaan unsur silikon (Si) sebesar 2,23% pada paduan meningkatkan sifat mampu cor logam cair dan terbentuknya struktur grafit (Surdia, 1999).

Analisis Hasil 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 (HNO₃) 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 Proses austemper dengan variasi temperatur 250°C, 300°C, 350°C, 400°C, 450°C selama 20 menit.



Gambar 1. Struktur Mikro besi tuang paduan Al (2,17%)

Merujuk dari Gambar 3. Hasil foto struktur mikro spesimen besi tuang paduan Al (2,17%) pada raw material menunjukkan bahwa terdapat 3 struktur mikro yaitu grafit, ferrit dan perlite dimana struktur grafit berwarna hitam memanjang berbentuk serpih dan struktur ferrit berwarna putih terang serta struktur perlit berupa lamel-lamel hitam putih. Pada raw material terlihat struktur grafit terbentuk secara rapat dan besar butir yang relatif besar, serta struktur ferrit dan perlite yang terbentuk secara rapat diantara grafit dengan ukuran butirnya yang kecil. Terbentuknya matriks ferrit dan perlite disebabkan karena kadar karbon (C) sebesar 6,07%, serpih hitam pada grafit disebabkan adanya unsur silikon (Si). Sedangkan ferrit disebabkan karena penambahan unsur aluminium (Al) sebesar 2,17%.

Besi tuang paduan Al (2,17%) setelah proses austemper dapat dilihat pada Gambar 2. Proses austemper pada temperatur 250°C menunjukkan bahwa struktur grafit terlihat lebih jelas dan jarak yang lebih rapat. Hal ini disebabkan karena adanya pendinginan cepat dan adanya unsur Si yang mempercepat pembentukan grafit, sedangkan struktur ferrit lebih menyebar sehingga lebih dominan dan struktur perlite perlahan berubah menjadi struktur bainit halus pada daerah sekitar grafit karena pengaruh temperatur proses austemper. Pada proses austemper 300°C. menunjukkan struktur grafit dengan batas butir yang lebih besar dengan jarak yang lebih renggang, struktur bainit halus larut dan tersisa di sepanjang batas butir sehingga struktur ferrit semakin besar dibandingkan dengan proses austemper pada temperatur 250°C.

Pada proses austemper 350°C menunjukkan bahwa struktur grafit membesar dengan jarak yang sedikit rapat dan struktur bainit semakin terlihat, kemudian struktur ferrit masih tetap mendominasi dibandingkan struktur bainit, akan tetapi besar butir ferrit dan grafitnya lebih terlihat membesar di bandingkan dengan proses austemper di temperatur 300°C. Selanjutnya proses austemper pada temperatur 400°C menunjukkan bahwa struktur grafit dengan serpih yang lebih besar, struktur ferrit dengan butir yang semakin membesar dan struktur bainit perlahan mulai menghilang, dibandingkan dengan proses austemper di temperatur 350°C. Selanjutnya proses austemper pada temperatur 450°C menunjukkan bahwa struktur yang tersisa adalah grafit dan ferrit.

Hasil uji struktur mikro dapat disimpulkan bahwa pada spesimen raw material mempunyai struktur ferrit, perlite, grafit, dan setelah dilakukan proses austemper struktur bainit terbentuk pada temperatur 250°C dan pada temperatur 450°C hanya tersisa struktur ferrit dan grafit, semakin tinggi temperatur maka struktur bainit menghilang

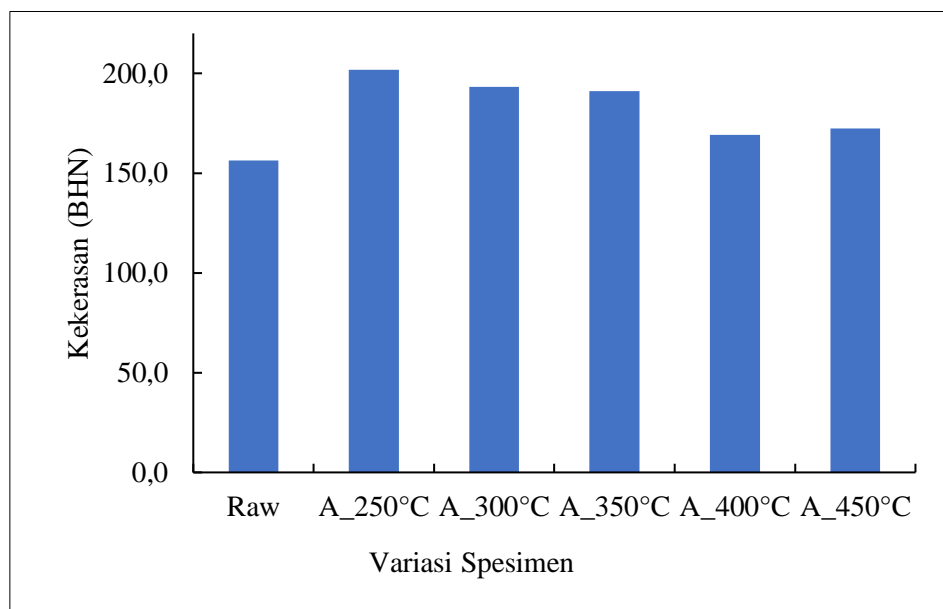
Analisis Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan ini diukur dengan menggunakan alat pengukur kekerasan Brinell. Bola baja keras dengan diameter D (mm) ditekan kepermukaan bagian yang diukur dengan beban F (kg). Kekerasan Brinell adalah beban F dibagi luas bidang (mm²) penekanan yang merupakan deformasi (perubahan) tetap sebagai akibat penekanan (Sudria, 1999).

Tabel 2. Hasil uji kekerasan besi tuang paduan Al (2,17%)

No	Variasi Spesimen	Titik Uji	Diameter (mm)	Kekerasan Brinell (BHN)	Kekerasan Rata-rata (BHN)
1	Raw	1	0,71	154,7	156,20
		2	0,71	154,7	
		3	0,70	159,2	
2	A_250°C	1	0,62	203,9	201,71
		2	0,62	203,9	
		3	0,63	197,4	
3	A_300°C	1	0,63	197,4	193,21

No	Variasi Spesimen	Titik Uji	Diameter (mm)	Kekerasan Brinell (BHN)	Kekerasan Rata-rata (BHN)
		2	0,64	191,1	
		3	0,64	191,1	
4	A_350°C	1	0,64	191,1	191,14
		2	0,64	191,1	
		3	0,64	191,1	
5	A_400°C	1	0,66	179,5	169,24
		2	0,68	168,9	
		3	0,70	159,2	
6	A_450°C	1	0,68	168,9	172,39
		2	0,67	174,1	
		3	0,67	174,1	



Gambar 2. Histogram hasil uji kekerasan besi tuang paduan Al (2,17%)

Gambar 4 menunjukkan hasil dari pengujian kekerasan menggunakan metode kekerasan Brinell dengan beban sebesar 62,5 kgf, setiap spesimen dilakukan pengujian pada 3 titik yang berbeda yang diatur secara berurutan. Berdasarkan hasil uji kekerasan terhadap spesimen uji dari besi tuang paduan Al (2,17%) untuk spesimen raw material menunjukkan kekerasan sebesar 156,20 kg/mm². Hal ini disebabkan spesimen raw material memiliki struktur mikro yang terbentuk adalah struktur ferrit, perlite, dan grafit dimana bentuk struktur ferrit terlihat dominan dibandingkan struktur perlite, dan ukuran butirnya besar, serta ukuran grafitnya besar dan rapat.

Hasil perhitungan pengujian kekerasan Brinell untuk spesimen proses autemper temperatur 250°C diperoleh angka sebesar 201,71 kg/mm², angka ini naik sebesar 24% dari spesimen raw material. Hal ini disebabkan karena terbentuknya struktur bainit dengan butir yang lebih halus dengan sedikit butiran ferrit, ukuran grafit terlihat besar dan rapat sedangkan perlite menghilang. Pada proses austemper temperatur 300°C dengan angka kekerasan 193,21 kg/mm², Angka ini turun 4% dari spesimen proses austemper 250°C. Hal ini disebabkan

struktur grafit dengan batas butir yang lebih besar dengan jarak yang lebih renggang, struktur bainit halus larut dan tersisa di sepanjang batas butir sehingga struktur ferrit semakin besar.

Selanjutnya hasil perhitungan kekerasan pada spesimen proses austemper temperatur 350°C dengan nilai 191,14 kg/mm², yang mana mengalami penurunan kekerasan 1% nilai ini tidak signifikan dibanding spesimen proses austemper 300°C. Hal ini disebabkan struktur grafit membesar dengan jarak yang sedikit rapat dan struktur bainit semakin berkurang, kemudian struktur ferrit masih tetap mendominasi dibandingkan struktur bainit. Selanjutnya untuk spesimen proses austemper temperatur 400°C menunjukkan kekerasan sebesar 169,24 kg/mm², yang mana mengalami penurunan kekerasan 11% nilai ini cukup signifikan dibanding spesimen proses austemper 350°C. Disebabkan struktur ferrit yang lebih dominan dibanding struktur lainnya, serta struktur grafit lebih luas dan bainit mulai menghilang. Selanjutnya untuk spesimen proses austemper temperatur 450°C, menunjukkan kekerasan sebesar 172,39 kg/mm², pada spesimen ini mengalami kenaikan 1,9% nilai ini tidak signifikan (dianggap tidak terjadi perubahan) dari spesimen proses austemper temperatur 400°C. Struktur grafit dan ferrit yang tersisa, hal ini di sebabkan semakin tinggi temperatur maka struktur bainit semakin menghilang.

Hasil pengujian kekerasan Brinell besi tuang paduan Al (2,17) menunjukkan bahwa proses austemper meningkatkan nilai kekerasan dimana nilai kekerasan tertinggi pada temperatur 250°C, yang di tunjukkan dengan dominannya struktur bainit. Hal ini disebabkan proses austemper yang mengakibatkan terjadinya pembentukan struktur bainit akibat pendinginan cepat pada temperatur 250°C, semakin tinggi temperatur struktur bainit semakin berkurang dan hilang pada temperatur 450°C.

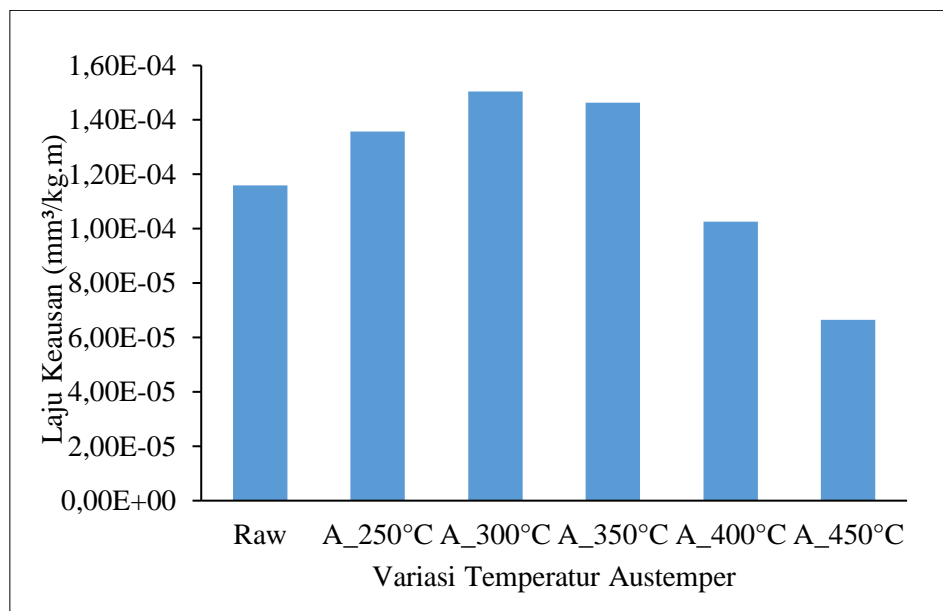
Analisis Hasil Pengujian Keausan

Pengujian keausan menggunakan metode Ogoshi. yaitu benda uji memperoleh beban gesek yang berputar. permukaan yang berulang-ulang pada akhirnya akan mengambil sebagian material pada permukaan benda uji. Pengujian keausan dilakuka dengan tiga gesekan yang berbeda pada setiap spesimen. Pengujian ini menggunakan gaya tekan 6,36 kg dengan pengausan 15 mm. Material yang tergores (terabrasi) kemudian hitung dengan cara dikalikan volume material yang tergores dengan jarak 1,5 cm selanjutnya membagi dengan hasil kali dari beban pengujian dengan jarak pengausan.

Tabel 3. Hasil uji keausan besi tuang paduan Al (2,17%)

Variasi Spesimen	Titik Uji	Tebal Disc (B;mm)	Jari-jari Disc (r;mm)	Panjang Wear (b;mm)	Volume Tergores (W;mm ³)	Keausan (Ws; mm ³ /kg.m)	Keausan rata-rata (Ws; mm ³ /kg.m)
Raw	1	3,45	13,6	0,75	0,00880	0,00014	0,000116
	2	3,45	13,6	0,69	0,00705	0,00011	
	3	3,45	13,6	0,67	0,00626	0,00010	
A_250°C	1	3,45	13,6	0,75	0,00880	0,00014	0,000136
	2	3,45	13,6	0,80	0,01082	0,00017	
	3	3,45	13,6	0,67	0,00626	0,00010	
A_300°C	1	3,45	13,6	0,80	0,01082	0,00017	0,000150
	2	3,45	13,6	0,69	0,00705	0,00011	
	3	3,45	13,6	0,80	0,01082	0,00017	
A_350°C	1	3,45	13,6	0,67	0,00626	0,00010	0,000146
	2	3,45	13,6	0,80	0,01082	0,00017	

Variasi Spesimen	Titik Uji	Tebal Disc (B;mm)	Jari-jari Disc (r;mm)	Panjang Wear (b;mm)	Volume Tergores (W;mm ³)	Keausan (Ws; mm ³ /kg.m)	Keausan rata-rata (Ws; mm ³ /kg.m)
	3	3,45	13,6	0,80	0,01082	0,00017	
A_400°C	1	3,45	13,6	0,67	0,00626	0,00010	0,000103
	2	3,45	13,6	0,67	0,00626	0,00010	
	3	3,45	13,6	0,69	0,00705	0,00011	
A_450°C	1	3,45	13,6	0,53	0,00321	0,00005	0,000066
	2	3,45	13,6	0,53	0,00321	0,00005	
	3	3,45	13,6	0,67	0,00626	0,00010	



Gambar 3. Histogram hasil uji keausan Ogoshi besi tuang paduan Al (2,17%)

Gambar 5 menunjukkan hasil pengujian keausan menggunakan metode Ogoshi dengan beban 6,36 kg dengan jarak pengausan 15 m. Berdasarkan hasil pengujian terhadap spesimen raw material di dapatkan nilai rata-rata keausan sebesar 0,000150 mm³/kg.m. Selanjutnya pada proses austemper temperatur 250°C di dapatkan nilai rata-rata keausan sebesar 0,000066 mm³/kg.m, mengalami penurunan sebesar 56%, hal ini disebabkan terbentuknya struktur bainit sehingga kekerasan meningkat dan keausan menurun.

Pada spesimen pengujian keausan proses austemper temperatur 300°C didapatkan nilai rata-rata keausan sebesar 0,000103 mm³/kg.m, jika dibandingkan proses austemper temperatur 250°C, mengalami peningkatan nilai keausan sebesar 35%. Hal ini di sebabkan struktur bainit halus larut dan tersisa di sepanjang batas butir sehingga struktur grafit dan ferit semakin besar. Pada proses austemper temperatur 350°C didapatkan nilai rata-rata keausan sebesar 0,000116 mm³/kg.m, terjadi peningkatan nilai keausan sebesar 11,2%. Hal ini disebabkan struktur grafit membesar dengan jarak yang sedikit merapat dan struktur bainit semakin berkurang, kemudian struktur ferit masih tetap mendominasi dibandingkan struktur bainit. Selanjutnya pada spesimen pengujian keausan proses austemper temperatur 400°C mengalami peningkatan sebesar 14,7% didapatkan nilai rata-rata keausan sebesar 0,000136 mm³/kg.m, dimana pada temperatur ini nilai keausan ini disebabkan karena struktur bainit yang mulai berkurang dan lebih dominan struktur ferit dan grafit. Selanjutnya pada proses austemper temperatur 450°C didapatkan nilai rata-rata keausan sebesar 0,000146 mm³/kg.m, hal ini menunjukkan bahwa

pada temperatur ini spesimen yang diuji keausan mengalami peningkatan yang cukup sebesar 6,8%. Peningkatan ini disebabkan struktur bainit menghilang dan yang tersisa hanya struktur ferit dan grafit.

Pada temperature 3000C-4000C struktur bainit semakin berkurang dan pada temperatur 4500C struktur bainit menghilang, semakin tinggi nilai keausan maka ketahanan aus menurun dan jika nilai keausan menurun maka ketahanan aus meningkat. Gambar 5 menunjukkan hasil pengujian kekerasan metode Ogoshi didapatkan nilai rata-rata paling keras dimiliki pada proses austemper temperatur 250°C dengan nilai kekerasan sebesar 201,71 kg/mm² dan pada Tabel 4.3 hasil pengujian keausan menggunakan metode Ogoshi didapatkan nilai rata-rata tingkat keausan rendah yaitu pada proses austemper temperatur 250°C dengan angka keausan 0,000066 mm²/kg.m, hal ini menunjukkan bahwa spesimen proses austemper yang memiliki nilai kekerasan tinggi akan memiliki ketahanan aus yang baik, semakin tinggi nilai keausan maka ketahanan aus menurun dan jika nilai keausan menurun maka ketahanan aus meningkat.

KESIMPULAN

1. Hasil uji komposisi kimia menunjukkan bahwa besi tuang paduan Al (2,17%) memiliki kadar unsur utama (Fe) 88,21%, unsur paduan utama Aluminium (Al) 2,17%, dan Karbon(C) 6,07%, sehingga termasuk besi tuang paduan Al.
2. Hasil uji struktur mikro menunjukkan bahwa besi tuang paduan Al (2,17%) terdiri atas struktur ferit, grafit dan perlite. Pada proses austemper temperatur 2500C perlite berubah menjadi bainit, semakin tinggi temperatur struktur bainit semakin berkurang dan menghilang pada temperatur 4500C.
3. Hasil uji kekerasan dengan metode Brinell menunjukkan bahwa besi tuang paduan Al (2,17%) memiliki nilai kekerasan sebesar 156,20 kg. Setelah dilakukan proses austemper nilai kekerasan naik mencapai nilai maksimal pada austemper 2500C (201,71 BHN) kemudian turun kembali dan mencapai minimum pada austemper 4000C (169,24 BHN).
4. Hasil uji keausan menunjukkan bahwa besi tuang paduan Al (2,17%) memiliki keausan 0,000150mm³/kg.m. Setelah dilakukan proses austemper nilai keausan menurun mencapai nilai terendah pada di temperatur 2500C sebesar 0,000066mm³/kg.m. Kemudian meningkat kembali dan mencapai maximum di temperatur 4500C sebesar 0,000146mm³/kg.m.

REFERENSI

- Surdia, Tata., Saito, Shinroku., 1999, Pengetahuan Bahan Teknik, PT. Pradnya Paramita, Jakarta. Vol. 4, No. 2, Hal. 69-168.
- Bayuseno, A., 2010, Penambahan magnesium-ferrosilikon pada proses pembuatan besi cor bergrafit bulat evaluasi terhadap peningkatan sifat mekanik dan impak, Jurnal Teknik Mesin, Vol.12 No.1, Hal 43- 46.
- Umardani , Y., 2008, Pengaruh Waktu *Austempering* Terhadap Sifat Mekanis Dan Struktur Mikro *Austempered Ductile Iron* Paduan 0,5% Cu + 0,3% Mo Dan 0,5% Cu +0,6% Mo, Jurnal Teknik Mesin, Vol.10, No.2, Hal. 32-35.
- [Sanatizadeh, E., Das, S., Kordijazi., 2019, A Influence of Aluminum and Silicon as Alloying Elements on Formation of Intermetallic Phase, Microstructure and Wear Resistance of Gray Cast Iron. Preprints.org, 2019050305. V 1. No 17.Hal 4-6.
- Lyszowski., Radosław., Bystrzycki., Jerzy., 2014, *Hot deformation and processing maps of a Fe–Al intermetallic alloy*, *Materials Characterization*, Vol. 96, No. 1, Hal 196–205.
- Kartikasari, R., Sutrisna, Batseran, W. P., 2013, Struktur Mikro, Kekuatan Tarik Dan Ketahanan Korosi Paduan Fe-2,2Al-0,6C Setelah Proses Temper, Jurnal Teknik Mesin. Vol. 8, No. 1, Hal.151-156.

- Kartikasari, R., 2014, Pengaruh Kandungan Aluminium Terhadap Struktur 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 0973-4562.
- Qohar, A., I, I Sugita, I.K.G,dan Lokantara, I.P., 2017, Pengaruh Permeabilitas dan Temperatur Tuang Terhadap Cacat dan Densitas Hasil Pengecoran Aluminium Silikon (Al-Si) Menggunakan 67 *Sand Casting*, Jurnal Ilmiah TEKNIK DESAIN MEKANIKA, Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana. Vol.6 No.1, Januari 2017. Hal 1-6.
- Wahyu Purwo Raharjo, dkk., 2007 PENGARUH TEMPERATUR DAN WAKTU AUSTEMPERING TERHADAP KEKERASAN ADI HASIL AUSTEMPERING FCD 55, Jurnal Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret. Vol.2 Hal. 54-58
- Suprihanto, A., 2007, Pengaruh Temperatur *Quenching* Pada Proses *Austempering* Terhadap Kekuatan Lelah *Austempering Grey Iron*, Jurnal Teknik Mesin, Vol. 9, No.2, Hal. 25-30