

## Pengaruh Waktu Proses Austemper Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan Dan Ketahanan Aus Paduan Fe-1, 8Al-6,5

Dandi Maruwas Nainggolan<sup>1</sup>, Ratna Kartikasari<sup>2,\*</sup>, Angger Bagus Prasetyo<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta  
Jl. Babarsari No. 1 Caturtunggal Depok Sleman, Yogyakarta, 55281

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

### Abstract

Cast iron is one of the materials that is widely used as a machine component because it has castable properties and is able to occupy quite large applications in industry but is brittle. The addition of Al is an alternative for enhancement that can reduce the brittle nature of cast iron. This study aims to analyze the effect of the austemper process on the microstructure, hardness and wear of cast iron Fe-1.8-Al-6.5C. The austemper process begins with heating to a temperature of 900°C, held for 1 hour and then dipped in molten salt (KOH 65% + NaOH 35%) then heated at a temperature of 300°C with time variations of 10, 20, 30, 40 and 50 minutes. cooling with water. The results of the chemical composition test show that the Fe-1.8-Al-6.5C alloy contains iron (Fe) 88.93%, the main alloying element is Aluminum (Al) 1.82% and carbon (C) 6.48. %. The results of the microstructure test of Fe-1.8Al-6.5C alloy consist of ferrite, graphite and pearlite structures. After the pearlite austemper process changed to bainite, the longer the austemper process the bainite structure became more dominant. The results of the hardness test showed that the Fe-1.8-Al-6.5C alloy had a hardness value of 186.498kg/mm<sup>2</sup>. After the austemper process, the hardness value then drops back and reaches a minimum at austemper of 50 minutes of 177.4VHN. Alloy Fe-1.8-Al-6.5C is equal to 0.00023 mm<sup>3</sup>/kg. After the austemper process is carried out, the wear value drops again and reaches a minimum at an austemper time of 50 minutes 0.00025mm<sup>3</sup>/kg.

**Keywords:** Alloy Fe-1.8-Al-6.5C, Austemper, Microstructure, Hardness, Wear.

### Abstrak

Besi tuang adalah salah satu material yang banyak digunakan sebagai komponen mesin karena mempunyai sifat mampu cor dan mampu menempati aplikasi yang cukup besar dalam industri tetapi bersifat rapuh. Penambahan Al merupakan salah satu alternatif untuk peningkatan yang bisa mengurangi sifat rapuh dari besi tuang. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh proses austemper terhadap struktur mikro, kekerasan dan keausan pada besi tuang Fe-1,8-Al-6,5C. Proses austemper dimulai dengan pemanasan sampai temperatur 900°C ditahan selama 1 jam lalu dicelupkan dalam garam cair (KOH 65% + NaOH 35%) pada temperatur 300°C dengan variasi waktu 10, 20, 30, 40 dan 50 menit selanjutnya dilakukan pendinginan dengan air. Hasil uji komposisi kimia menunjukkan bahwa paduan Fe-1,8-Al-6,5C memiliki kadar unsur utama besi (Fe) 88,93%, unsur paduan utama Aluminium (Al) 1,82% dan karbon (C) 6,48%. Hasil uji struktur mikro paduan Fe-1,8Al-6,5C terdiri atas struktur ferit, grafit dan perlit. Setelah proses austemper perlit berubah menjadi bainit, semakin lama proses austemper struktur bainit semakin dominan. Hasil uji kekerasan menunjukkan

bahwa paduan Fe-1,8-Al-6,5C memiliki nilai kekerasan sebesar 186,498kg/mm<sup>2</sup>. Setelah dilakukan proses austemper nilai kekerasan kemudian turun kembali dan mencapai minimum pada austemper 50 menit sebesar 177,4VHN. Paduan Fe-1,8-Al-6,5C adalah sebesar 0,00023 mm<sup>3</sup>/kg. Setelah dilakukan proses austemper maka nilai keausan turun kembali dan mencapai minimum pada austemper waktu 50 menit 0,00025mm<sup>3</sup>/kg.

**Kata kunci:** Paduan Fe-1,8-Al-6,5C, 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, 1999) dan (Shinroku, 2000). 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/mm<sup>2</sup> dengan titik cair 1200°C (Bayuseno, 2010). Sanatizadeh (2019) melakukan penelitian pengaruh aluminium dan silikon sebagai unsur paduan pada pembentukan fase intermetalik, struktur mikro dan ketahanan aus besi tuang kelabu. Lyszkowski (2014) mengatakan bahwa besi alumida atau Fe-Al mempunyai kadar aluminium 16% sampai 60%. 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.

Paduan Fe-Al-C feritik mempunyai sifat- sifat fisik, mekanik, teknologikal, ketahan korosi dan oksidasi yang unggul. Ditinjau dari segi biaya maka biaya akan bahan baku paduan Fe-Al-C feritik cukup rendah (Ratna Kartikasari, 2013). Kartikasari (2014) melakukan penelitian mengenai pengaruh kandungan aluminium pada paduan baja ringan Fe-Al-C terhadap struktur mikro dan perilaku korosi. Qohar dkk, (2020) melakukan penelitian mengenai pengaruh temperatur proses austemper terhadap struktur mikro, kekerasan, dan ketahanan korosi pada paduan Fe-Al-C. Gunawan(2020) dan Umardhani(2008) melakukan penelitian tentang Pengaruh Penambahan 1,3% Mn dan quenching terhadap struktur mikro dan sifat mekanik besi cor kelabu. Austemper merupakan proses perlakuan panas isothermal yang mengacu pada pembentukan struktur bainit, yang mempunyai sifat-sifat mekanis yang lebih baik. Proses austemper dapat diterapkan untuk beberapa kelas baja kekuatan tinggi yang harus memiliki ketangguhan dan keuletan tertentu. Komponen yang mengalami proses ini akan memiliki ketangguhan yang lebih tinggi, kekuatan impaknya menjadi lebih baik, batas lelehnya dan keuletannya meningkat dibanding dengan kekerasan yang sama hasil dari proses quench konvensional (Akbar,2018).

## METODE PENELITIAN

Bahan baku penelitian adalah besi paduan Fe-1,8Al-6,5C dalam bentuk ingot dengan ukuran 4cm x 4,2cm x 18,7cm. Pengujian komposisi kimia dilakukan menggunakan alat spectrometer milik PT. Itokoh Ceperindo, Klaten. Besi paduan Fe-1,8Al-6,5C selanjutnya dipotong membentuk spesimen uji struktur mikro, uji kekerasan dan uji keausan dengan ukuran panjang 5mm lebar 5mm, dan tebal 5mm. Proses Austemper dimulai dengan pemanasan pada temperatur 900°C selama 1 jam kemudian dicelupkan kedalam garam cair (KOH 65% + NaHO 35%) pada temperatur 300°C dengan variasi waktu:selama 10 menit, 20 menit, 30 menit, 40 menit, 50 menit, kemudian dilanjutkan pendinginan air. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian struktur mikro menggunakan alat mikroskop optik, uji kekerasan dengan metode

Vickers, dan uji ketahanan aus menggunakan alat uji keausan metode Ogoshi milik Laboratorium Bahan Teknik Jurusan Teknik Mesin Program D3 UGM.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Uji Komposisi Kimia

Pengujian komposisi kimia dilakukan untuk mengetahui kandungan unsur pada spesimen paduan. Pengujian ini dilakukan pada besi paduan Fe-1,8Al-6,5C menggunakan alat *spectrometer*.

**Tabel 1.** Hasil Pengujian Komposisi Kimia

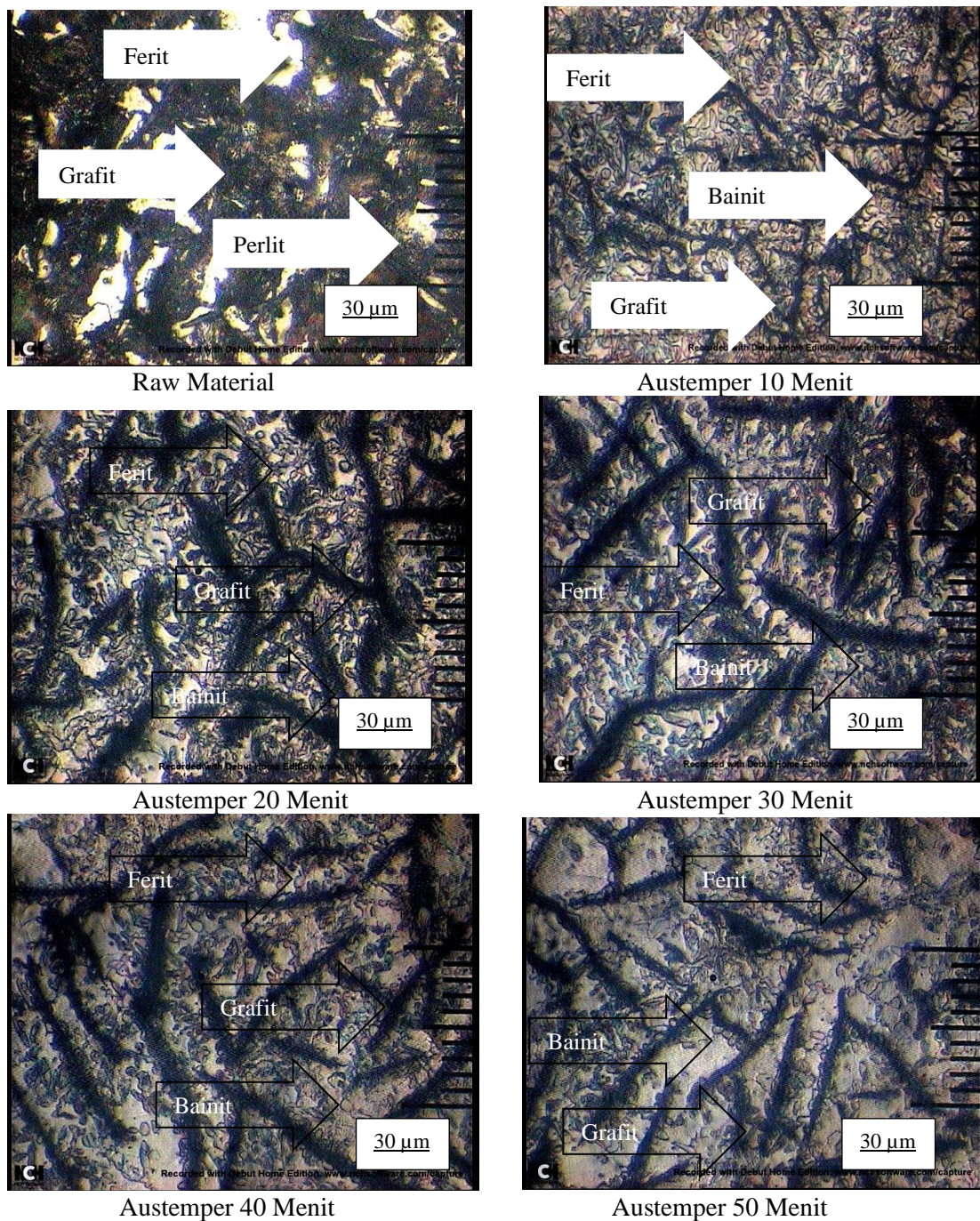
Unsur	%Berat
Fe	88,93
C	6,48
Al	1,82
Si	1,72
Mn	0,47
Mo	0,13
Cr	0,12
Ni	0,09
S	0,05
P	0,05
V	0,01
Cu	0,1
Ti	0,02
Sb	0
Zn	0,01

Hasil pengujian komposisi kimia paduan Fe-1,8Al-6,5C menggunakan *spectrometer* menunjukkan bahwa ada cukup banyak unsur yang terdapat pada paduan tersebut, kadar unsur utama Besi (Fe) 88,93%, unsur paduan utama Aluminium (Al) 1,82%, Karbon (C) 6,48%. Selain ketiga unsur tersebut, 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 (Suprihanto, 2007). Penambahan unsur aluminium (Al) 2,31% menyebabkan paduan yang dihasilkan mempunyai sifat *Hot* dan *Cold Working* yang rendah dan sulit dipabrikasi. Kadar karbon (C) sebesar 5,38% menyebabkan paduan lebih mudah teroksidasi, dengan matriks ferit bersifat *Brittle* serta mempunyai *Strength* rendah pada temperatur tinggi (Wang dan Duh, 1988). Pada material beberapa unsur berpengaruh terhadap sifat bahan, penambahan Aluminium (Al) sebesar 2,31% sebagai penstabil dan juga sekaligus pembentukan 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 (Suprihanto, 2005).

### Hasil Pengujian Struktur Mikro



Pengujian struktur mikro dilakukan menggunakan mikroskop optik untuk pengamatan struktur mikro spesimen dengan pembesaran 100x. Sebelum melakukan pengujian terlebih dahulu spesimen di-tsa menggunakan zat kimia berupa cairan asam nitrat (HNO<sub>3</sub>) dan asam klorida (HCl) dengan perbandingan 1:3. Spesimen telah dipotong dengan berbentuk persegi dengan masing-masing sisi 5mm berjumlah 6 buah yang terdiri dari 1 *spesimen raw maaterial* dan 5 spesimen yang sudah dilakukan proses perlakuan panas *austemper* dengan variasi waktu 10 menit, 20 menit, 30 menit, 40 menit dan 50 menit. Hasil pengujian struktur mikro paduan Fe-1,8Al-6,5C dapat dilihat pada Gambar 1-6.



**Gambar 1.** Foto mikro paduan Fe-1,8Al-6,5C Gambar 1-6

Gambar 1. Menunjukkan bahwa paduan Fe-1,8Al-6,5C tanpa perlakuan panas (*raw material*) mempunyai struktur perlit dan ferit akibat proses pendinginan coran. Adanya kedua

struktur ini disebabkan oleh unsur-unsur yang terkandung dalam paduan Fe-1,8Al-6,5C. Gambar 2. Proses pencelupan selama 10 menit menunjukkan bahwa struktur grafit terlihat lebih jelas dan jarak yang lebih rapat. Gambar 3. Menunjukkan struktur grafit dengan batas butir yang lebih besar dengan jarak yang lebih renggang, struktur bainit larut dan tersisa di sepanjang batas butir sehingga struktur ferit semakin besar. Gambar 4. Menunjukkan bahwa struktur grafit membesar dengan jarak yang sedikit merapat dan struktur bainit semakin terlihat, kemudian struktur ferit masih tetap mendominasi dibandingkan struktur bainit, akan tetapi besar butir ferit dan grafitnya lebih terlihat kecil. Gambar 5. Menunjukkan bahwa struktur grafit dengan serpih yang lebih besar, struktur ferit dengan butir yang semakin mengecil dan struktur bainit lebih dominan. Gambar 6. Menunjukkan bahwa struktur grafit dengan garis yang mengecil dan merapat, struktur ferit tetap, akan tetapi jumlah bentuknya yang berubah dan struktur bainit semakin dominan dibandingkan struktur ferit dan grafit.

Hasil pengujian struktur mikro pada paduan Fe-1,8Al-6,5C dapat disimpulkan bahwa setelah proses pemanasan pada temperatur 900°C dengan waktu 1 jam dilanjutkan proses pencelupan dalam garam cair pada temperatur 300°C terjadi perubahan struktur perlit berubah menjadi struktur bainit, sehingga struktur bainit lebih dominan, sedangkan struktur ferit membentuk semi dendritik perubahan ini juga dikarenakan adanya unsur aluminium (Al) sebesar 0,98% pada paduan yang berfungsi sebagai penstabil struktur ferit.

### Hasil Pengujian Kekerasan Vickers

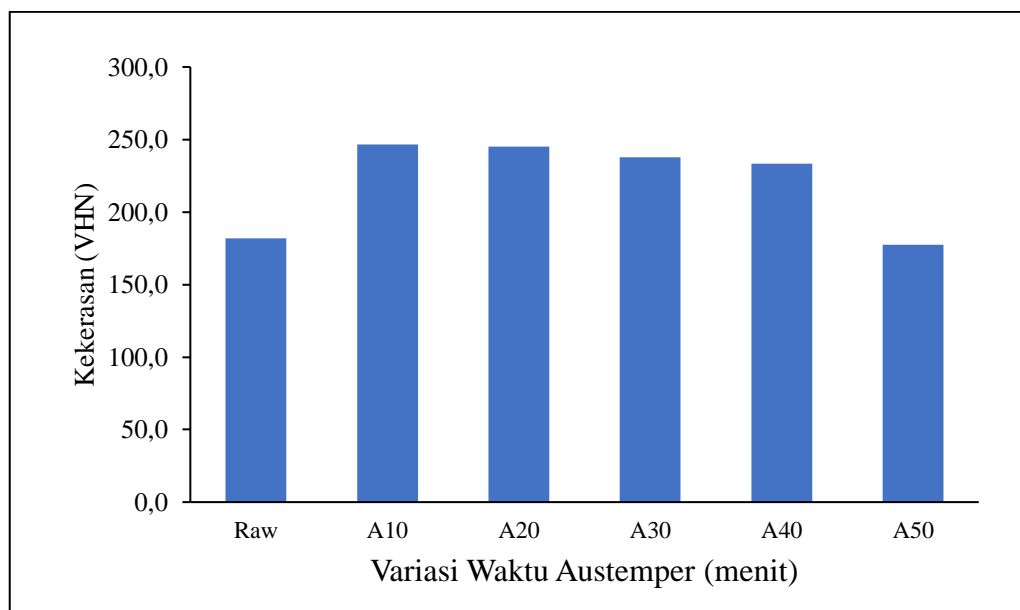
Metode uji kekerasan yang dipilih dalam penelitian ini adalah metode uji kekerasan *Vickers*. Pengujian ini menggunakan alat *universal hardness tester* dengan pembebanan 30kg. Perhitungan dilanjutkan hingga menghasilkan tabel harga kekerasan *Vickers* dari paduan Fe-2,3Al-5,3C yang diproses *austemper* dari waktu 10 menit, 20 menit, 30 menit, 40 menit, 50 menit.

**Tabel 2.** Hasil pengujian kekerasan *Vickers* paduan Fe-1,8Al-6,5C

Temperatur Proses <i>martemper</i> (°C)	Titik Uji	d1 (mm)	d2 (mm)	d rata-rata (mm)	Kekerasan (VHN)	Kekerasan rata-rata (VHN) (Kg/mm <sup>2</sup> )
RAW	1	0,56	0,55	0,835	79,79	186,498
	2	0,56	0,55	0,835	79,79	
	3	0,56	0,54	0,83	80,754	
10	1	0,47	0,48	0,95	246,5	246,6
	2	0,46	0,48	0,94	251,8	
	3	0,48	0,48	0,96	241,4	
20	1	0,48	0,50	0,98	231,7	245,1
	2	0,46	0,47	0,93	257,2	
	3	0,47	0,48	0,95	246,5	
30	1	0,47	0,47	0,94	251,8	237,8
	2	0,48	0,55	1,03	209,7	
	3	0,46	0,48	0,94	251,8	
40	1	0,49	0,49	0,98	231,7	233,3
	2	0,50	0,47	0,97	236,5	
	3	0,50	0,48	0,98	231,7	
50	1	0,54	0,56	1,1	183,9	

	2	0,55	0,58	1,13	174,2	177,4
	3	0,56	0,57	0,57	174,2	

Menunjukkan hasil pengujian kekerasan *Vickers* paduan Fe-1,8Al-6,5C pada spesimen raw material dan perlakuan panas austemper pada temperatur 900°C selama 1 jam dilanjutkan pencelupan dalam garam cair bertemperatur 300°C dengan variasi waktu 10, 20, 30, 40, dan 50 menit. Pengujian dilakukan pada 3 titik berbeda untuk masing-masing spesimen, dari hasil pengujian tersebut didapatkan hasil rata-rata pengujian kekerasan raw material sebesar 186,498 Kg/mm<sup>2</sup>, hasil ini disebabkan struktur yang terbentuk pada spesimen raw material adalah struktur ferit, perlit, dan grafit, dimana struktur perlit terlihat dominan dan menyebar dibanding struktur lainnya, ukuran butir struktur ferit lebih kecil serta jarak struktur grafit lebih luas. Hasil pengujian kekerasan *Vickers* spesimen dengan penahanan selama 10 menit dalam garam cair adalah 246,6 Kg/mm<sup>2</sup>, angka ini naik signifikan sebesar 24,41% dari angka kekerasan raw material. Pada penahanan selama 20 menit dalam garam cair hasil pengujian kekerasan *Vickers* adalah 245,1 Kg/mm<sup>2</sup>, angka ini turun sebesar -0,61% dari penahanan selama 10 menit. Pada penahanan selama 30 menit dalam garam cair hasil pengujian kekerasan *Vickers* adalah 237,8 Kg/mm<sup>2</sup>, angka ini turun signifikan sebesar -3,06% dari penahanan selama 20 menit. Pada penahanan selama 40 menit dalam garam cair hasil pengujian kekerasan *Vickers* adalah 233,3 Kg/mm<sup>2</sup>, angka ini turun signifikan sebesar -1,92% dari penahanan selama 30 menit. Pada penahanan selama 50 menit dalam garam cair hasil pengujian kekerasan *Vickers* adalah 177,4 Kg/mm<sup>2</sup>, angka ini turun signifikan sebesar -31,51% dari penahanan selama 40 menit.



**Gambar 2.** Diagram hasil pengujian kekerasan paduan Fe-1,8Al-6,5C.

Pengujian kekerasan *Vickers* paduan Fe-1,8Al-6,5C menunjukkan bahwa proses austemper pada temperatur 900°C selama 1 jam dilanjut penahanan dalam garam cair temperatur 300°C memiliki angka kekerasan yang lebih tinggi dari raw material, dan nilai kekerasan tertinggi pada penahanan selama 10 menit dalam garam cair, semakin lama proses penahanan kekerasan semakin menurun hal ini dikarenakan semakin lama penahanan dalam garam cair ukuran butir struktur ferit semakin besar dan dominan, hampir semua struktur perlit berubah menjadi struktur bainit, dan struktur grafit semakin rapat.

#### Hasil Pengujian Kekerasan

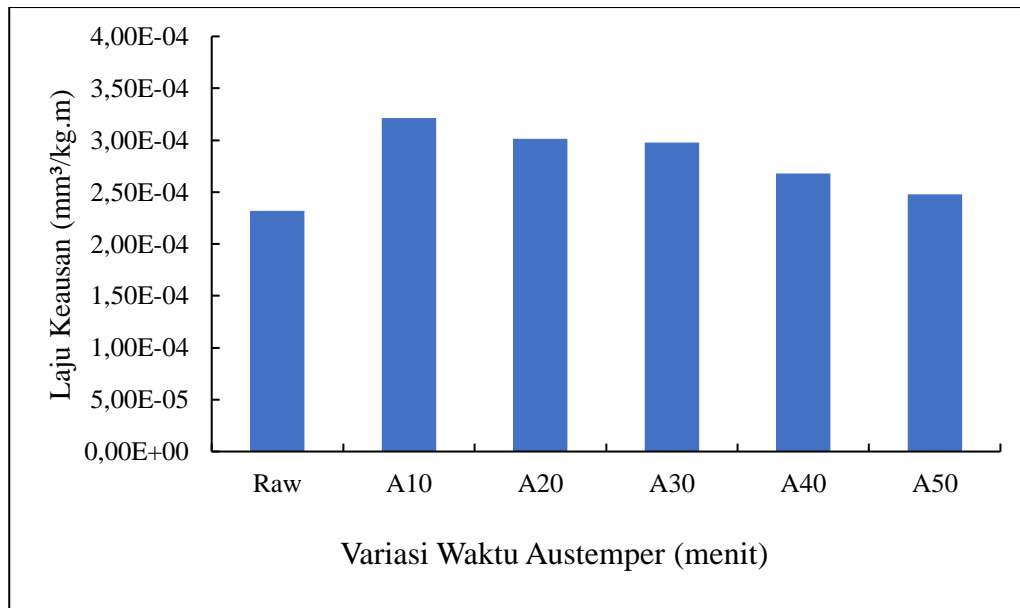
Pengujian keausan menggunakan metode ogoshi. yaitu benda uji memperoleh beban gesek yang berputar. Pembebanan gesekan ini akan menghasilkan kontak antar permukaan berulang-ulang yang pada akhirnya akan mengambil sebagian material sebagian material pada permukaan benda uji. Pengujian dilakukan dengan pin on disc yang sesuai standart (ASTM G 99-85a). Untuk mendapatkan nilai keausan secara spesifik yaitu menghitung volume material yang tergores (terabrasi) kemudian hitung dengan cara dikalikan volume material yang tergores dengan 1,5 selanjutnya membagi dengan hasil kali dari beban pengujian dengan jarak pengausan.

**Table 3.** Data hasil pengujian keausan paduan Fe-1,8Al-6,5C

Variasi Waktu	Titik Uji	Tebal Disc (B;Mm)	Jari-Jari Disc (R;Mm)	Panjang Wear (B;Mm)	Volume Tergores (W;Mm <sup>3</sup> )	Keausan (Ws;Mm <sup>3</sup> /Kg.M)	Keausan Rata-Rata (Ws;Mm <sup>3</sup> /Kg. M)
Raw	1	3,45	13,6	0,85	0,01314	0,00021	0,00023
	2	3,45	13,6	0,99	0,02031	0,00032	
	3	3,45	13,6	0,80	0,01082	0,00017	
Austemper-10 Menit	1	3,45	13,6	0,99	0,02031	0,00032	0,00032
	2	3,45	13,6	1,04	0,02378	0,00037	
	3	3,45	13,6	0,93	0,01719	0,00027	
Austemper-20 Menit	1	3,45	13,6	0,85	0,01314	0,00021	0,00030
	2	3,45	13,6	1,07	0,02566	0,00040	
	3	3,45	13,6	0,96	0,01870	0,00029	
Austemper-30 Menit	1	3,45	13,6	0,80	0,01082	0,00017	0,00030
	2	3,45	13,6	0,99	0,02031	0,00032	
	3	3,45	13,6	1,07	0,02566	0,00040	
Austemper-40 Menit	4	3,45	13,6	0,99	0,02031	0,00032	0,00027
	5	3,45	13,6	1,01	0,02200	0,00035	
	6	3,45	13,6	0,75	0,00880	0,00014	
Austemper-50 Menit	7	3,45	13,6	1,07	0,02566	0,00040	0,00025
	8	3,45	13,6	0,80	0,01082	0,00017	
	9	3,45	13,6	0,80	0,01082	0,00017	

Menunjukkan hasil pengujian keausan dengan menggunakan metode *Ogoshi* dengan gaya tekan 6,36 kg dengan jarak pengausan 15 m, setiap spesimen dilakukan pengujian pada 3 gesekan yang berbeda berdasarkan hasil pengujian keausan pada spesimen *raw material* didapatkan nilai keausan spesifik sebesar 0,00023 mm<sup>3</sup>/kg.m. Selanjutnya spesimen dengan proses waktu austemper selama 10 menit didapatkan hasil nilai 0,00032 mm<sup>3</sup>/kg.m. Selanjutnya proses austemper pada waktu 20 menit didapatkan nilai keausan spesifik sebesar 0,00030 mm<sup>3</sup>/kg.m. Kemudian proses austemper pada waktu 30 menit didapatkan nilai keausan sebesar 0,00030 mm<sup>3</sup>/kg.m. Kemudian proses austemper pada waktu 40 menit didapatkan hasil nilai keausan sebesar 0,00027 mm<sup>3</sup>/kg.m. Selanjutnya proses austemper pada waktu 50 menit di dapatkan hasil nilai keausan sebesar 0,00025 mm<sup>3</sup>/kg.m.





**Gambar 3.** Diagram Laju Keausan Baja Paduan Fe1,8-Al6,5C.

Berdasarkan data hasil pengujian keausan pada spesimen besi cor paduan Fe-1,8Al-6,5C menunjukkan bahwa proses austemper dengan variasi waktu 10 menit, 20 menit, 30 menit, 40 menit dan 50 menit. Memiliki angka keausan yang lebih tinggi dari raw material, dan nilai keausan tertinggi pada waktu 10 menit dengan nilai keausan sebesar 0,00032 mm<sup>3</sup>/kg. Semakin lama waktu proses austemper maka tingkat keausan semakin menurun. Hal ini disebabkan karena semakin lama waktu proses austemper ukuran butir struktur ferit semakin besar dan dominan, hampir semua struktur perlit berubah menjadi struktur bainit, dan struktur grafit semakin rapat

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil uji komposisi kimia menunjukkan bahwa paduan Fe-1,8Al-6,5C memiliki kadar unsur utama yaitu (Fe) 88,93%, unsur paduan utama Aluminium(Al) 1,82%, dan Karbon(C) 6,48%, sehingga termasuk besi tuang paduan Al.
2. Hasil uji Struktur mikro menunjukkan bahwa paduan Fe-1,8Al-6,5C terdiri atas struktur ferit, grafit dan perlit sebelum dilakukan proses austemper. Setelah dilakukan proses austemper perlit berubah menjadi bainit, semakin lama proses austemper struktur bainit semakin dominan dan struktur ferit tidak mengalami perubahan ukuran butir.
3. Hasil uji kekerasan dengan metode *Vickers* menunjukkan bahwa paduan Fe-1,8Al-6,5C memiliki nilai kekerasan sebesar 186,498kg/mm<sup>2</sup>. Setelah dilakukan proses austemper nilai kekerasan naik mencapai nilai maksimal pada austemper 10 menit (246,6VHN) kemudian turun kembali dan mencapai minimum pada austemper 50 menit (177,4VHN).
4. Hasil uji keausan menunjukkan bahwa paduan Fe-1,8Al-6,5C memiliki keausan 0,00023mm<sup>3</sup>/kg. Setelah dilakukan proses austemper nilai keausan naik mencapai nilai maksimal pada austemper waktu 10 menit sebesar 0,00032mm<sup>3</sup>/kg. Kemudian turun kembali dan mencapai minimum pada austemper waktu 50 menit 0,00025mm<sup>3</sup>/kg.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada Prodi Teknik Mesin S1 Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Nasional Yogyakarta & KELUARGA, HMTM, LATIN CELEBES tidak lupa juga teman-teman Kontrakan Koja yang selalu mengingatkan penulis untuk selalu bersabar, dan selalu memberi motivasi serta kebersamaan



yang tentunya tidak akan penulis lupakan. Terimakasih kepada kedua ORANGTUA yang telah membiayai dan memberikan dukungan serta doa restu sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Serta Angkatan 16 sebagai seperjuanganku terima kasih atas persaudaraan kita selama ini semoga akan selalu terkenang dengan indah. Terimakasih juga penulis ucapkan untuk kekasih Cengkunek (Yuni Lamén) yang selalu setia menemani, memotivasi, dan memberikan semangat dalam penyusunan skripsi ini.

## REFERENSI

- Bayuseno, A., (2010), *Penambahan magnesium-ferrosilikon pada proses pembuatan besi cor bergrafit bulat evaluasi terhadap peningkatan sifat mekanik dan dampak, Jurnal Teknik Mesin*, Vol.12 No.1, Hal 43-46.
- Huang, B.X., Wang, X.D., Rong, Y.H., Wang, L., and Jin, L., 2002, *Mechanical Behavior and Martensitic Transformation of an Fe-Al-Si-AlNb Alloy*, *Materials Science and Engineering A*, Vol. 438-440, No. 3 Hal 306-311
- Łyszkowski, Radosław., Bystrzycki, Jerzy, 2014, *Hot deformation and processing maps of a Fe-Al intermetallic alloy*, *Materials Characterization*, Vol. 96, No. 1, Hal 196–205.
- 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*.
- 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*.
- Surdia, Tata., Saito, Shinroku, 1999, *Pengetahuan Bahan Teknik*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta
- Surojo, Raharjo, W., 2007, *Pengaruh Temperatur Dan Waktu Austempering Terhadap Kekerasan Adi Hasil Austempering FCD 55*, *Jurnal Teknik Mesin*.
- Surdia T., & Shinroku S, (2000), *Pengetahuan Bahan Teknik*, Pradya Paramita, Jakarta
- Surdia, T., (1996) *Teknik Pengecoran Logam*. PT Pradya Paramita, Jakarta.
- Umardani & Catur. (2009), *Pengaruh Larutan Alkali dan Etanol Terhadap Kekuatan Tarik Serat Enceng Gondok dan Kompatibilitas Serat Enceng Gondok Pada Matrik Unsaturated Polyester Yukalac Tipe 157 Bqtn-Ex*, *Rotasi*, Vol.11.No.2.