

Pengaruh Temperatur Temper Pada Besi Paduan Fe-1,2 Al-4,8c Terhadap Struktur Mikro Dan Sifat Mekanik

Muhammad Abdul Aziz¹, 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 55281

*Corresponding author: ratna@itny.ac.id

Abstract

The addition of Al in gray cast iron is expected to improve its mechanical properties and corrosion resistance. Aluminum has been known to act as a structural stabilizer of ferrite, and the addition of aluminum (Al) in the alloy system can increase corrosion and oxidation resistance. The reason for doing the tempering process is to reduce residual stresses, increase toughness, and ductility of iron that has undergone hardening. This study aims to study the effect of tempering temperature on iron alloy Fe-1,2Al-4,8C on the microstructure and mechanical properties. The material used is Fe-Al alloy, the tempering process begins by heating the specimen at a temperature of 900°C for 60 minutes, after that cooling in water media, followed by reheating at temperatures of 250°C, 300°C, 350°C, 400°C, and 450°C held for 60 minutes then cooled in air. The tests carried out were the composition test, the microstructure test using the Olympus metallurgical system microscope, the hardness test using the Vickers method, the tensile test, the impact test using the Charpy method, and the density test. The results of the chemical composition test showed that the Fe-1,2Al-4,8C alloy had a content of the main element (Fe) 91.15%, the main alloying element (Al) 1.17%, (C) 4.78%, (Si) 1.87%, (Mn) 0.48% this alloy is classified as Al alloy cast iron. The microstructure of Fe-1,2Al-4,8C alloy consists of graphite, ferrite, and pearlite. After the tempering process, the pearlite structure spreads and the ferrite structure is still dominant. The results of the hardness test on the specimen with the tempering process had the highest hardness value at a temperature of 450°C, namely 288,281 kg/mm². The results of the tensile test decreased by 54.41% which was shown at room temperature with raw material specimens of 104.41 MPa, which decreased at the tempering temperature of 250°C by 47.60 Mpa. Meanwhile, the result of the impact test on the tempered process specimen has the highest value at room temperature of the raw material specimen, which is 0.114 J/mm².

Keywords: Al alloy cast iron, Temper, Microstructure, Hardness, Tensile, Impact, and Density.

Abstrak

Penambahan Al dalam besi tuang kelabu diharapkan dapat meningkatkan sifat mekanik dan ketahanan korosi. Alumunium telah dikenal dapat berperan sebagai penstabil struktur ferrite, dan penambahan alumunium (Al) pada sistem paduan dapat meningkatkan ketahanan korosi dan oksidasi. Alasan dilakukannya proses temper yaitu untuk mengurangi tegangan sisa, meningkatkan ketangguhan, dan keuletan besi yang telah mengalami pengerasan. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh temperatur temper pada besi paduan Fe-1,2Al-4,8C terhadap struktur mikro dan sifat mekanik. Bahan yang digunakan adalah besi paduan Fe-Al,

proses temper dimulai dengan memanaskan spesimen pada temperature 900°C selama 60 menit, setelah itu pendinginan dalam media air, dilanjutkan dengan pemanasan kembali pada temperatur 250°C, 300°C, 350°C, 400°C, dan 450°C ditahan selama 60 menit lalu didinginkan di udara. Pengujian yang dilakukan adalah uji komposisi, uji struktur mikro menggunakan alat olympus metallurgical system microscope, uji kekerasan menggunakan metode Vickers, uji tarik, uji impak menggunakan metode Charpy, dan uji densitas. Hasil pengujian komposisi kimia menunjukkan bahwa paduan Fe-1,2Al- 4,8C memiliki kadar unsur utama (Fe) 91,15%, unsur paduan utama (Al) 1,17%, (C) 4,78%, (Si) 1,87%, (Mn) 0,48% paduan ini tergolong besi cor paduan Al. Struktur mikro paduan Fe-1,2Al-4,8C terdiri atas grafit, ferit, dan perlit. Setelah dilakukan proses temper struktur perlit semakin menyebar dan struktur feritnya masih tetap dominan. Hasil uji kekerasan pada spesimen dengan proses temper memiliki harga kekerasan tertinggi pada temperatur 450°C yaitu 288,281 kg/mm². Hasil uji tarik mengalami penurunan sebesar 54,41% yang ditunjukkan pada suhu ruang dengan spesimen raw material sebesar 104,41 MPa mengalami penurunan pada proses temper temperatur 250°C sebesar 47,60 Mpa. Sedangkan hasil uji impak pada spesimen proses temper memiliki nilai tertinggi pada suhu ruang spesimen raw material yaitu 0,114 J/mm².

Kata kunci: Besi tuang paduan Al, Temper, Struktur mikro, Kekerasan, Tarik, Impak, dan Densitas.

PENDAHULUAN

Pengembangan teknologi otomotif pada dekade ini diarahkan pada teknologi masa depan dimana prioritas diarahkan pada disain yang ringan sekaligus aman. Teknologi besi dan baja maju dikembangkan secara substansial selama dekade terakhir. Teknologi diarahkan kepada pengurangan berat plus perbaikan secara simultan pada kekuatan (strength), kekakuan (stiffness) dan karakteristik kinerja struktural yang lain. Material dan teknik untuk mengurangi berat kendaraan adalah bagian dari praktek rekayasa rutin otomotif. Jadi potensi yang mengarah pada pada terjangkaunya harga, membuat kendaraan ringan dan aman dalam satu waktu (Kartikasari, 2013).

Besi cor adalah paduan besi dan karbon dengan kandungan karbon berkisar antara 2,0 – 6,67%, namun yang biasa digunakan untuk berbagai komponen mesin mempunyai kandungan karbon 2,5 – 4,0%. Dasar pengklasifikasian besi cor ditentukan oleh struktur metalografi yang sangat dipengaruhi oleh kandungan karbon dalam paduan. Unsur karbon dalam besi dapat berupa sementit (Fe₃C) ataupun karbon bebas (grafit). Bentuk, ukuran dan distribusi grafit akan mempengaruhi sifat mekanik besi cor. Unsur lain berupa silikon, mangan, phosphor dan belerang juga mempengaruhi struktur metalografi besi cor (Setyana, 2015). Besi cor merupakan paduan antara besi (Fe) dan karbon (C). Daerah komposisi kimia ditetapkan dalam diagram keseimbangan Fe-C pada batas kelarutan karbon pada besi yaitu mengandung 2% karbon atau lebih, tetapi besi cor yang nyata terdiri dari paduan yang berkomponen banyak yang mengandung Si, Mn, P, S dan unsur- unsur lainnya (Surdia dkk, 1999). Besi cor merupakan paduan eutektik dari besi dan karbon dimana sering digunakan dalam dunia industri misalnya untuk pembuatan poros engkol pada mesin. Suhu cairnya yang relatif rendah ~ 1200 °C, Hal ini menguntungkan oleh karena mudah dicairkan, pemakaian bahan bakar lebih irit, dapur peleburan lebih sederhana dan logam cairnya dapat mengisi cetakan yang rumit dengan mudah (Lawrence & Van Valck, 1992).

Penggunaan besi cor kelabu sebagai material dasar dalam pembuatan produk tertentu tidak lepas dari sifat-sifat mekanis dan fisik yang dimiliki besi cor kelabu itu sendiri. Untuk mengikuti perkembangan jaman, produk-produk tersebut juga perlu dilakukan peningkatan kualitas bahan dasarnya yang mencakup ketangguhan, kekerasan, keuletan, mampu menyerap getaran, ketahanan aus, ketahanan terhadap korosi dan lain sebagainya. Sifat-sifat tersebut

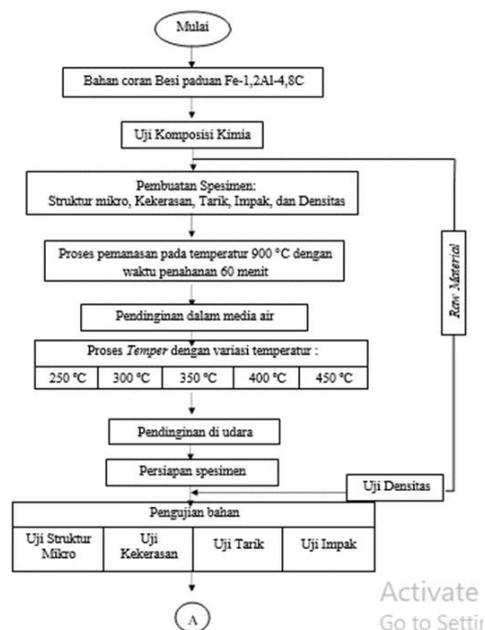
sangat dipengaruhi oleh struktur mikro dan matrik penyusunnya. Pada umumnya, besi cor kelabu mempunyai struktur mikro ferit, perlit, dan sementit dengan grafit berbentuk serpih (Suherman, 1987).

Penambahan unsur-unsur seperti : Si, Ti, Ni, Al, Co, Au, dan Pt akan mempercepat terbentuknya grafit (graphitizing element) dalam besi cor kelabu, sedangkan unsur-unsur Cr, Te, S, V, Mn, Mo, P, W, Mg, B, O, H, dan N cenderung akan menghambat penggrafitan besi cor kelabu sehingga grafit yang terbentuk akan lebih halus (Surdia, 1995). Sebagaimana diketahui alumunium (Al) merupakan unsur ketiga di bumi dan harganya relatif murah. Alumunium juga telah dikenal dapat berperan sebagai penstabil struktur ferrite, dan penambahan alumunium (Al) pada sistem paduan dapat meningkatkan ketahanan korosi dan oksidasi. Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya diketahui baja paduan Fe-Al-C memiliki sifat keras tetapi getas. Untuk memperoleh kombinasi antara kekuatan, keuletan dan ketangguhan yang tinggi maka dilakukan proses austemper (Qohar dkk, 2020).

Perlakuan panas temper pada besi cor bertujuan untuk meningkatkan keuletan, menghilangkan tegangan internal (internal stress), menghaluskan ukuran butir kristal, meningkatkan kekerasan, tegangan tarik dan ketahanan. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi perlakuan panas, diantaranya yaitu suhu pemanasan, waktu penahanan (holding time), laju pendinginan dan suhu lingkungan. Untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu. Oleh karena itu, kecepatan pendinginan dan batas temperatur akan sangat menentukan (Setyo, 2018).

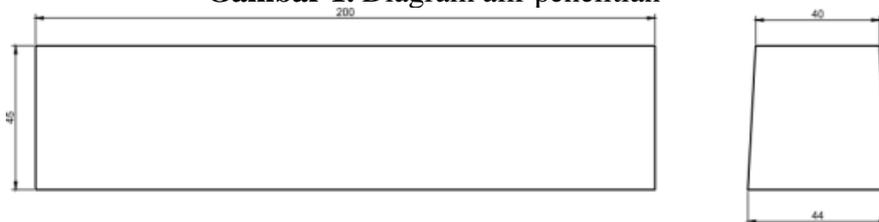
Proses temper bertujuan untuk mengurangi tegangan sisa, meningkatkan ketangguhan dan keuletan baja yang telah mengalami pengerasan. Selama proses tempering baja akan mengalami penurunan kekerasan dan kekuatan namun sifat keuletan akan naik dan diikuti dengan penurunan kerapuhan. Tegangan sisa yang terbentuk selama pembentukan fasa ikut berkurang. Pengurangan tegangan sisa menjadi sangat penting dalam penurunan kerapuhan baja, artinya tegangan sisa pada baja akan menyebabkan baja menjadi rapuh atau getas (Kartikasari dkk, 2013). Tempering atau temper merupakan kelanjutan proses Quenching dengan jalan memanaskan logam dalam tungku pemanas di kisaran suhu 200°C - 500°C yang kemudian didinginkan secara perlahan-lahan dalam tungku untuk menghasilkan fasa martensit pada bagian luar sedang pada bagian dalam perlit, sehingga akan menaikkan kekuatan, keuletan, ketangguhan, dan penurunan kekerasan (E.Dieter, dkk., 1998).

METODE PENELITIAN



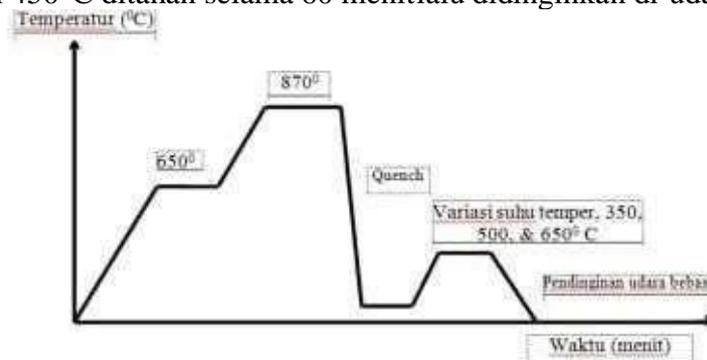


Gambar 1. Diagram alir penelitian



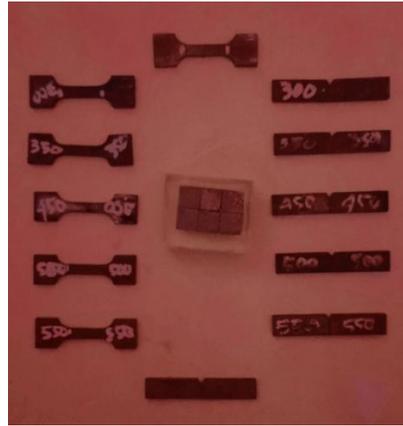
Gambar 2. Spesimen mula – mula

Pada proses ini proses perlakuan panas untuk bahan besi tuang paduan Fe-1,2Al-4,8C dilakukan perlakuan panas *Temper*. Dalam pengujian ini lebih ditekankan pada variasi temperatur *tempering* yaitu pada temperature 250°C, 300°C, 350°C, 400°C, dan 450°C. Temperatur austenisasi dilakukan pada temperatur 900°C dengan penahanan selama 1 jam (60 menit), dilanjutkan dengan pencelupan dalam air. Pemanasan kembali pada temperatur 250°C, 300°C, 350°C, 400°C, dan 450°C ditahan selama 60 menit lalu didinginkan di udara.



Gambar 3. Siklus *Tempering* dengan *Pre-heating*

Persiapan bahan meliputi pemotongan dan pembentukan spesimen yang akan diuji. Adapun jumlah spesimen yang dibuat untuk penelitian ini ada 19 spesimen. Pembagiannya yaitu 15 spesimen dilakukan proses *temper* yang terdiri dari 5 buah spesimen uji struktur mikro dan uji kekerasan, 5 buah spesimen uji tarik, 5 buah spesimen uji dampak. Sedangkan sisa 4 spesimen perlakuan (*RawMaterial*) yang terdiri dari 1 buah spesimen uji struktur mikro dan kekerasan, 1 buah spesimen uji tarik, 1 buah spesimen uji dampak, dan 1 buah spesimen uji densitas.



Gambar 4. Spesimen Pengujian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Hasil Pengujian Komposisi Kimia

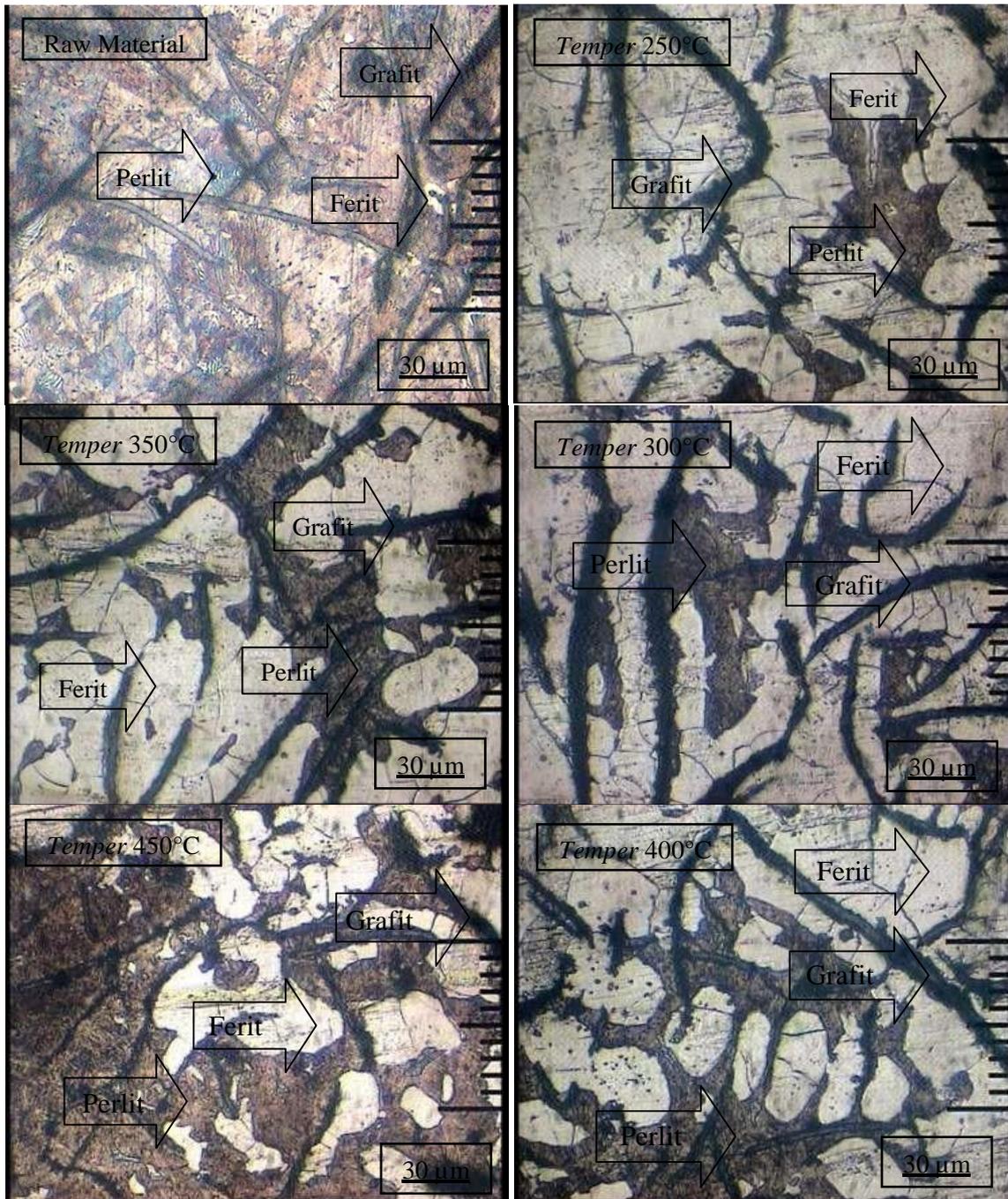
Tabel 1. Hasil pengujian menggunakan *spectrometer*

Unsur	Komposisi Paduan (%berat)
Fe	91,15
S	0,04
Al	1,17
C	4,78
Ni	0,1
Si	1,87
Cr	0,13
V	0,01
Mn	0,48
Mo	0,01
P	0,08
Cu	0,15
Ti	0,02
Zn	0,01
Jumlah	100

Hasil pengujian komposisi kimia paduan Fe-1,2Al-4,8C menggunakan spectrometer menunjukkan bahwa ada cukup banyak unsur yang terdapat pada paduan tersebut, kadar unsur utama besi (Fe) 91,15%, dan unsur paduan utama aluminium (Al) 1,17%, karbon (C) 4,78%. Selain ketiga unsur utama yang terdapat dalam material, terdapat juga beberapa unsur lain seperti ; sulfur (S) 0,04%, nikel (Ni) 0,10%, silikon (Si) 1,87%, kromium (Cr) 0,13%, vanadium (V) 0,01%, mangan (Mn) 0,48%, molibdenum (Mo) 0,01%, fosfor (P) 0,08 %, tembaga (Cu) 0,15%, titanium (Ti) 0,02%, dan seng (Zn) 0,01%. Rentang kadar unsur karbon (C) 2,5%-4%, silikon (Si) 1%-3%, dan mangan (Mn) 0,2%-1% merupakan rentang variasi kandungan unsur besi cor kelabu. Terdapat penambahan unsur Al sebesar 1,2%, maka dapat dikatakan dalam penelitian ini material yang digunakan adalah besi cor paduan Al (Suprihanto, 2007).

Pada material beberapa unsur berpengaruh terhadap sifat bahan, penambahan

aluminium (Al) sebesar 1,2% sebagai penstabil dan juga sekaligus pembentuk ferit, sehingga meningkatkan keuletan dan melunakkan material serta meningkatkan ketahanan korosi. Unsur karbon (C) sebesar 4,78% mendorong terbentuknya struktur perlit, sehingga meningkatkan kekerasan material. Keberadaan unsur silikon (Si) pada paduan meningkatkan sifat mampu cor logam cair dan terbentuknya struktur grafit (Suprihanto, 2005). Penambahan unsur silikon (Si) meningkatkan kemampuan pembentukan grafit, kelebihan penambahan Si dalam besi akan membentuk ikatan yang keras. Sehingga dapat dikatakan bahwa Si di atas 3,25% akan meningkatkan kekerasan dan mengurangi kekuatan impak serta meningkatkan sifat mampu besi cor (Stefanescu, 1992).



Gambar 5. Foto mikro paduan Fe-1,2Al-4,8C

Hasil foto struktur mikro spesimen baja paduan Fe-1,2Al-4,8-C pada raw material menunjukkan terdapat 3 struktur mikro yaitu grafit dan ferit serta perlit dimana struktur grafit

berwarna hitam memanjang berbentuk serpih dan struktur ferit 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 ferit dan perlit yang terbentuk secara rapat diantara grafit dengan ukuran butirnya yang kecil. Terbentuknya matriks grafit disebabkan karena kadar karbon (C) diatas 2%, serpih hitam pada grafit disebabkan adanya unsur silikon (Si). Sedangkan ferit disebabkan karena penambahan unsur aluminium (Al) sebesar 1,17%.

Proses temper 250°C menghasilkan perubahan ukuran butir ferit lebih besar dan merata dan struktur perlit terlihat besar butirnya yang besar, serta ukuran grafit terlihat besar dan rapat. Pada proses temper 300°C menunjukkan bahwa struktur ferit lebih mendominasi, dan struktur perlit terlihat menyebar karena unsur karbon dengan ukuran butirnya lebih besar, sedangkan grafit yang terlihat ukurannya lebih besar dibandingkn dengan proses temper 250°C. Pada proses temper 350°C menunjukkan bahwa struktur perlit mulai menyebar dan besar butir kecil, sedangkan struktur ferit masih mendominasi dengan batas butir yang kecil, serta grafit yang terbentuk ukurannya semakin mengecil dan jaraknya yang renggang.

Pada proses temper 400°C menunjukkan bahwa struktur ferit lebih dominan dengan besar butir yang kecil dan struktur perlit terlihat semakin menyebar dengan batas butirnya besar setelah dilakukan pemanasan, sedangkan ukuran grafit semakin mengecil. Pada proses temper 450°C menunjukkan bahwa struktur ferit masih tetap mendominasi dibanding struktur perlit, besar butir ferit dan grafitnya lebih terlihat kecil serta struktur perlit terlihat menyebar dibandingkan proses temper 400°C.

Dari hasil struktur mikro tersebut menunjukkan bahwa setelah proses temper struktur perlit semakin menyebar setelah dilakukan proses temper dan struktur feritnya masih tetap dominan karena campuran aluminium sebagai penstabil struktur ferit. Hal ini menunjukkan bahwa paduan Fe-1,2Al-4,8C bersifat dapat dikeraskan dengan proses temper sampai temperatur 450°C, karena semakin tinggi temperature temper maka besi cor semakin ulet dan tangguh.

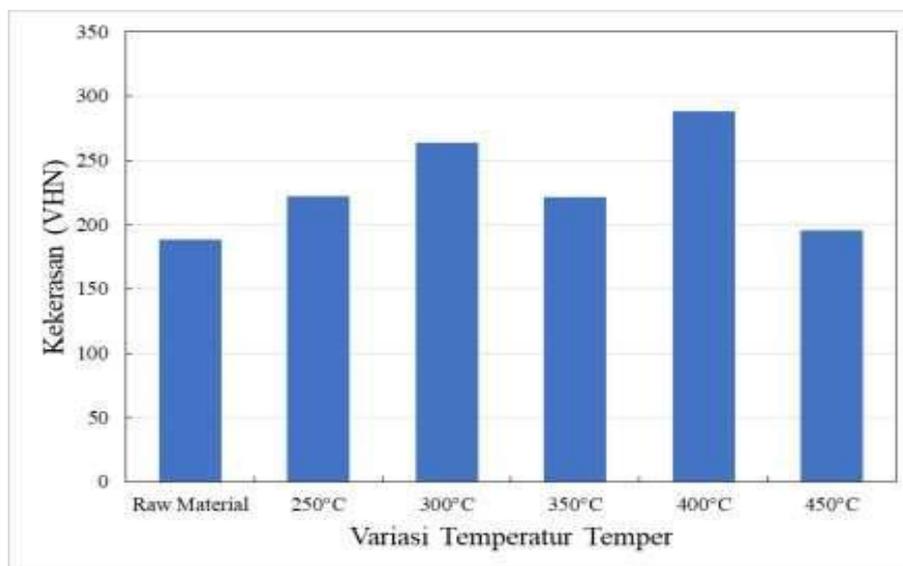
Analisis Hasil Pengujian Kekerasan

Berikut adalah tabel harga hasil pengujian kekerasan Vickers dari raw material, proses temper 250°C, 300°C, 350°C, 400°C, dan 450°C pada besi paduan Fe-1,2Al-4,8C, dengan data hasil perhitungan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Kekerasan Besi Paduan Fe-1,2Al-4,8C

Variasi Temperatur Temper	Titik Uji	D1 (µm)	D2 (µm)	D rata-rata (µm)	Kekerasan (VHN)	Kekerasan (VHN) rata - rata
<i>Raw Material</i>	1	0,54	0,55	0,55	187,257	195,686
	2	0,52	0,54	0,53	198,006	
	3	0,52	0,53	0,53	201,796	
250°C	1	0,55	0,57	0,56	177,360	188,702
	2	0,52	0,54	0,53	198,006	
	3	0,53	0,55	0,54	190,741	
300°C	1	0,50	0,52	0,51	213,841	222,017
	2	0,48	0,47	0,48	246,515	
	3	0,51	0,53	0,52	205,695	

Variasi Temperatur Temper	Titik Uji	D1 (μm)	D2 (μm)	D rata-rata (μm)	Kekerasan (VHN)	Kekerasan (VHN) rata - rata
350°C	1	0,47	0,50	0,49	236,454	264,137
	2	0,44	0,47	0,46	268,663	
	3	0,45	0,43	0,44	287,293	
400°C	1	0,55	0,53	0,54	190,741	221,267
	2	0,50	0,48	0,49	231,653	
	3	0,47	0,49	0,48	241,406	
450°C	1	0,44	0,47	0,46	268,663	288,281
	2	0,43	0,46	0,45	280,874	
	3	0,43	0,41	0,42	315,306	



Gambar 11. Diagram pengujian kekerasan paduan Fe-1,2Al-4,8C

Hasil dari pengujian kekerasan menggunakan metode kekerasan vickers dengan beban sebesar 30 kgf, setiap spesimen dilakukan pengujian pada 3 titik yang berbeda yang diatur secara berurutan. Berdasarkan hasil uji kekerasan terhadap spesimen uji dari paduan Fe- 1,2Al-4,8C untuk spesimen raw material menunjukkan kekerasan sebesar 192,001 kg/mm². Hal ini disebabkan spesimen raw material memiliki struktur mikro yang terbentuk adalah struktur ferit, perlit, dan grafit dimana bentuk struktur ferit terlihat menyebar dan dominan dibandingkan struktur perlit, dan ukuran butirnya besar, serta ukuran grafitnya kecil dan rapat.

Hasil perhitungan pengujian kekerasan vickers untuk spesimen proses temper 250°C diperoleh angka sebesar 188,702 kg/mm², Angka ini turun sebesar 1,72% dari spesimen raw material. Hal ini disebabkan karena terbentuknya struktur ferit dengan besar butir yang lebih besar dan struktur perlit terlihat besar butirnya yang besar, serta ukuran grafit terlihat besar dan rapat. pada proses temper 300°C dengan angka kekerasan 222,017 kg/mm², Angka ini naik sebesar 17,65% dari spesimen proses temper 250°C. Terbentuknya nilai kekerasan ini disebabkan terlihat struktur perlit mulai menyebar dengan besar butir yang lebih besar dan untuk struktur ferit terlihat mendominasi dengan ukuran yang lebih kecil dan ukuran grafit yang besar dan lebih rapat dari spesimen proses temper 250°C.

Selanjutnya hasil perhitungan kekerasan pada spesimen proses temper 350°C dengan nilai 264,137 kg/mm², yang mana mengalami kenaikan kekerasan sebesar 18,97% dibanding spesimen proses temper 300°C. Hal ini disebabkan struktur perlit semakin menyebar dan besar butirnya yang lebih kecil, sedangkan struktur ferit yang lebih dominan dan besar butir semakin mengecil, dan juga grafit yang terbentuk ukurannya semakin mengecil dan renggang. Selanjutnya untuk spesimen proses temper 400°C, menunjukkan kekerasan sebesar 221,267 kg/mm² turun 16,23% dibanding spesimen proses temper 350°C yang menunjukkan bahwa struktur ferit lebih dominan dan besar butir lebih kecil sedangkan struktur ferit masih mendominasi dengan batas butir yang kecil, serta grafit yang terbentuk ukurannya semakin mengecil dan jaraknya yang renggang.

Selanjutnya untuk spesimen proses temper 450°C, menunjukkan kekerasan sebesar 288,281 kg/mm², pada spesimen ini mengalami kenaikan nilai kekerasan sebesar 30,29% dari spesimen proses temper 400°C dan merupakan kekerasan tertinggi. Hal ini disebabkan struktur ferit masih tetap mendominasi dibanding struktur perlit, besar butir ferit dan grafitnya lebih terlihat kecil serta struktur perlit terlihat menyebar dibandingkan proses temper 400°C

Dari data nilai kekerasan dapat disimpulkan bahwa pada proses temper 400°C memiliki nilai kekerasan yang paling tinggi diikuti dengan nilai kekerasan proses temper 300°C, 350°C, 250°C, 450°C dan raw material dikarenakan unsur paduan Al dalam spesimen tersebut sebesar 1,2% sebagai penstabil.

struktur ferit, sedangkan nilai kekerasan pada proses temper 450°C yang memiliki kekerasan terendah disebabkan karena terbentuknya struktur ferit yang lebih dominan dan menyebar dibandingkan struktur bainit yang larut saat pemanasan, dan besar butir ferit yang semakin mengecil serta grafit yang terbentuk semakin mengecil dan renggang.

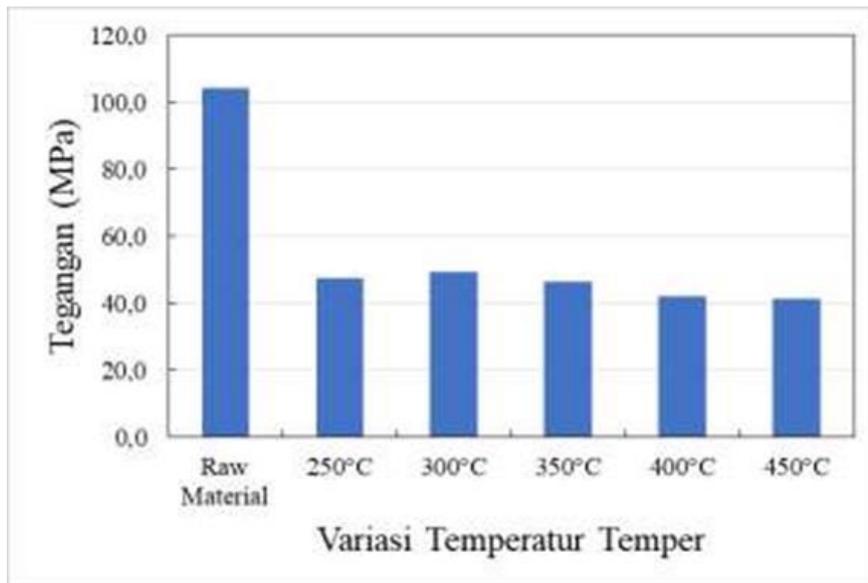
Berdasarkan data maka dapat disimpulkan proses temper dapat meningkatkan nilai kekerasan terhadap baja paduan Fe-1,2Al-4,8C. Dan nilai kekerasan paling tinggi pada proses temper 400°C diikuti dengan nilai kekerasan proses temper 300°C, 350°C, 250°C, 450°C dan raw material.

Analisis Hasil Pengujian Tarik

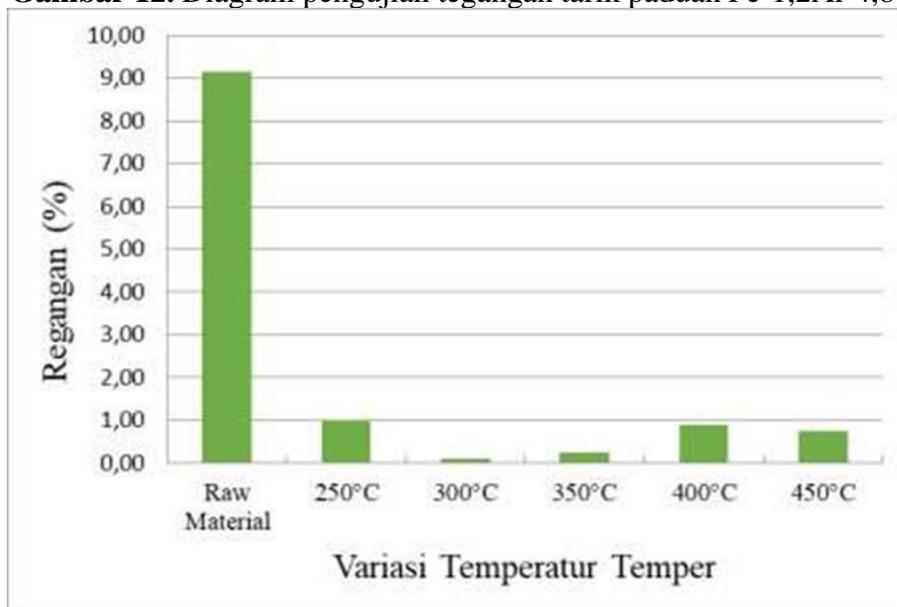
Berikut adalah tabel harga hasil pengujian tarik dari raw material, proses temper 250°C, 300°C, 350°C, 400°C, dan 450°C pada besi paduan Fe-1,2Al-4,8C, dengan data hasil perhitungan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Tarik Besi Paduan Fe-1,2Al-4,8C

Variasi Temperatur Temper	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Pmax (KN)	ΔL (mm)	Tegangan (MPa)	Regangan (%)
Raw Material	3,18	5,12	1,70	1,83	104,41	9,15
250°C	3,39	5,33	0,86	0,20	47,60	1,00
300°C	3,39	5,12	0,86	0,02	49,55	0,10
350°C	3,29	5,31	0,81	0,05	46,37	0,25
400°C	3,46	5,30	0,77	0,18	41,99	0,90
450°C	3,19	5,23	0,69	0,15	41,36	0,75



Gambar 12. Diagram pengujian tegangan tarik paduan Fe-1,2Al-4,8C



Gambar 13. Diagram pengujian regangan paduan Fe-1,2Al-4,8C

Pada hasil pengujian tarik untuk spesimen raw material diperoleh nilai tegangan tarik sebesar 104,41 MPa dan nilai regangan sebesar 9,15%. Hasil pengujian tarik pada spesimen proses temper 250°C menunjukkan nilai tegangan sebesar 47,60 MPa dengan nilai regangan 1,00%, %, nilai tegangan mengalami penurunan yang signifikan sebesar 54,41% dan juga nilai regangan mengalami penurunan signifikan sebesar 89,07% dibandingkan spesimen raw material. Selanjutnya pada spesimen proses temper 300°C, menunjukkan nilai tegangan sebesar 49,55 MPa dengan nilai regangan 0,10%, yang mana mengalami peningkatan sebesar 3,94% dan regangan mengalami penurunan 90% dibandingkan spesimen proses temper 250°C.

Selanjutnya spesimen proses temper 350°C menunjukkan nilai tegangan 46,37 MPa dan nilai regangan sebesar 0,25%, nilai tegangan turun sebesar 6,42% dan nilai regangan naik sebesar 150% dibandingkan spesimen proses temper 300°C. Selanjutnya hasil perhitungan pengujian tarik pada spesimen proses temper 400°C menunjukkan hasil nilai tegangan sebesar 41,99 MPa dengan nilai regangan 0,90%, yang mana mengalami penurunan nilai tegangan sebesar 9,45% dan nilai regangan mengalami peningkatan sebesar 260% dibandingkan dengan spesimen proses temper 350°C. Selanjutnya hasil perhitungan pengujian tarik pada spesimen

proses temper 450°C menunjukkan hasil nilai tegangan sebesar 41,36 MPa dengan nilai regangan 0,75%, yang mana mengalami penurunan tegangan sebesar 1,50% dan juga nilai regangan mengalami penurunan sebesar 16,67% dibandingkan dengan spesimen proses temper 400°C.

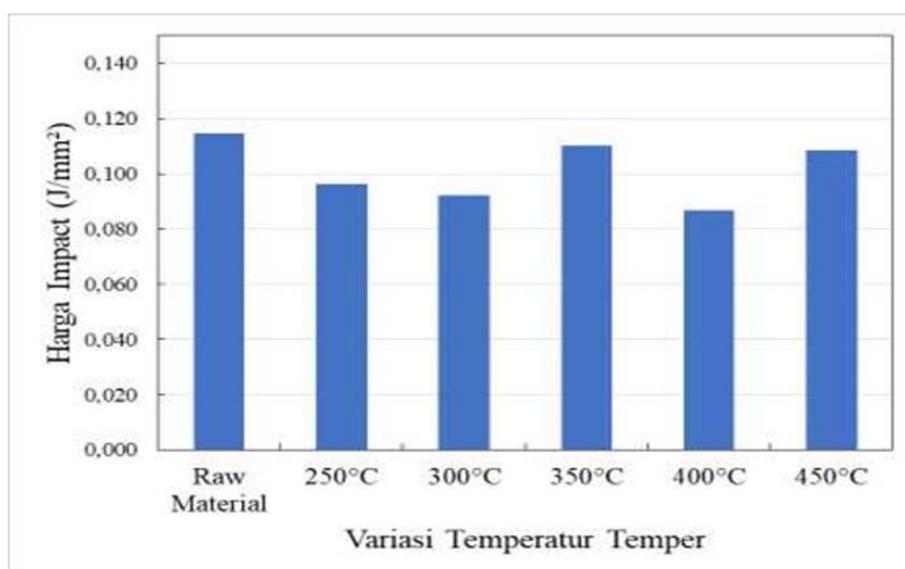
Berdasarkan data hasil pengujian tegangan tarik menunjukkan nilai yang tertinggi terjadi pada spesimen raw material dan terendah pada spesimen proses temper 450°C, sedangkan pada regangan nilai tertinggi didapat pada spesimen raw material sedangkan yang terendah pada spesimen proses temper 300°C. Sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan perlakuan proses temper dengan divariasi temperatur 250°C, 300°C, 350°C, 400°C, dan 450°C dapat menurunkan tegangan tarik secara, dan padanilai regangan mendapatkan hasil yang relatif sama terkecuali untuk spesimen raw material yang nilai reganganannya jauh lebih tinggi dari pada proses temper. Dapat diartikan proses temper yang divariasikan temperaturnya malah dapat menurunkan nilai regangan secara signifikan.

Analisis Hasil Pengujian Impak

Berikut adalah tabel harga hasil pengujian impak dari raw material, proses temper 250°C, 300°C, 350°C, 400°C, dan 450°C pada besi paduan Fe-1,2Al-4,8C, dengan data hasil perhitungan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian Impak Besi Paduan Fe-1,2Al-4,8C

Variasi Temperatur Temper	Lebar (mm)	Tinggi (mm)	Luas (mm ²)	Sudut α (°)	Sudut θ (°)	Energi Terserap (J)	Harga Impak (J/mm ²)
<i>Raw Material</i>	3,00	8,13	24,39	151	149,00	2,8	0,114
250°C	3,25	8,93	29,02	151	149,00	2,8	0,096
300°C	3,41	8,88	30,28	151	149,00	2,9	0,092
350°C	3,08	8,65	26,64	151	148,90	2,8	0,110
400°C	3,56	9,03	32,15	151	149,00	3,1	0,087
450°C	3,22	8,82	28,40	151	148,80	2,8	0,108



Gambar 14. Diagram pengujian impak paduan Fe-1,2Al-4,8C

Hasil perhitungan pengujian impak pada spesimen paduan Fe-1,2Al-4,8C raw material menunjukkan harga impak sebesar 0,114 J/mm². Selanjutnya spesimen dengan proses perlakuan panas temper pada temperatur 250°C memperlihatkan harga impak sebesar 0,096 J/mm², dari hasil perhitungan terjadi penurunan harga impak sebesar 15,79% dari raw material, hal ini disebabkan ukuran butir ferit lebih besar dan merata dan struktur perlit terlihat besar butirnya yang besar, serta ukuran grafit terlihat besar dan rapat.

Selanjutnya spesimen dengan proses perlakuan panas temper pada temperatur 300°C menunjukkan harga impak sebesar 0,092 J/mm², dimana spesimen tersebut mengalami penurunan harga impak sebesar 4,17% dibandingkan dengan spesimen proses perlakuan panas temper pada temperatur 250°C, hal ini disebabkan struktur ferit lebih mendominasi, dan struktur perlit terlihat menyebar karena unsur karbon dengan ukuran butirnya lebih besar, sedangkan grafit yang terlihat ukurannya lebih besar. Spesimen proses temper pada temperatur 350°C mendapatkan harga impak sebesar 0,110 J/mm², mengalami kenaikan harga impak sebesar 19,57% dibandingkan dengan proses temper pada temperatur 300°C, hal ini disebabkan struktur perlit mulai menyebar dan besar butir kecil, sedangkan struktur ferit masih mendominasi dengan batas butir yang kecil, serta grafit yang terbentuk ukurannya semakin mengecil dan jaraknya yang renggang.

Selanjutnya spesimen dengan proses temper pada temperatur 400°C mendapatkan harga impak sebesar 0,087 J/mm², mengalami penurunan harga impak yaitu sebesar 20,91% dari pada proses temper pada temperatur 350°C, hal ini disebabkan struktur ferit lebih dominan dengan besar butir yang kecil dan struktur perlit terlihat semakin menyebar dengan batas butirnya besar setelah dilakukan pemanasan, sedangkan ukuran grafit semakin mengecil. Spesimen dengan proses temper pada temperatur 450°C dengan harga impak sebesar 0,108 J/mm² mengalami kenaikan harga impak yang signifikan sebesar 24,14% dari pada proses temper pada temperatur 400°C, hal ini disebabkan struktur ferit masih tetap mendominasi dibanding struktur perlit, besar butir ferit dan grafitnya lebih terlihat kecil serta struktur perlit terlihat menyebar dibandingkan proses temper 400°C.

Berdasarkan data hasil pengujian impak pada spesimen Fe-1,2Al-4,8C proses temper dengan variasi temperatur 250°C, 300°C, 350°C, 400°C, dan 450°C dapat menurunkan harga kekerasan impak, namun variasi temperatur yang diberikan dapat diartikan nilai kekerasan impak sama karena selisihnya yang tidak begitu besar. Serta pada raw material harga impak merupakan nilai kekerasan impak tertinggi.

Analisis Hasil Pengujian Densitas

Berikut adalah tabel harga hasil pengujian densitas dari raw material pada besi paduan Fe-1,2Al-4,8C, dengan data hasil perhitungan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengujian Densitas Besi Paduan Fe-1,2Al-4,8C

Spesimen	Berat (gr)	Volume (cm ³)	Berat Jenis Spesimen (gr/cm ³)	Berat Jenis Besi Cor (gr/cm ³) (ASM volume 1, 2005)
Fe-1,2Al-4,8C	23,964	3,322	7,214	7,1-7,3

Berdasarkan data pengujian densitas spesimen Fe-1,2Al-4,8C (Tabel 4.5) didapatkan berat jenis benda sebesar 7,214 gr/cm³. Karena berat jenis besi cor kelabu berkisar pada 7,1 gr/cm³ sampai 7,3 gr/cm³ (ASM volume 1, 2005). Sehingga dapat dikatakan bahwa spesimen Fe-1,2Al-4,8C merupakan besi tuang kelabu dan penambahan unsur Al sebesar 1,2% tidak mempengaruhi densitas pada spesimen Fe-1,2Al-4,8C

KESIMPULAN

Berdasarkan data penelitian beserta pembahasan yang dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil pengujian komposisi kimia menunjukkan bahwa paduan Fe- 1,2Al-4,8C memiliki kadar unsur utama (Fe) 91,15%, unsur paduan utama (Al) 1,17%, (C) 4,78%, (Si) 1,87%, (Mn) 0,48% paduan ini tergolong besi cor paduan Al.
2. Struktur mikro paduan Fe-1,2Al-4,8C terdiri atas grafit, ferit, dan perlit. Setelah dilakukan proses temper struktur perlit semakin menyebar dan struktur feritnya masih tetap dominan karena campuran aluminium sebagai penstabil struktur ferit.
3. Data pengujian kekerasan menggunakan metode Vickers menunjukkan spesimen Fe-1,2Al-4,8C mengalami peningkatan harga kekerasan jika dibandingkan dengan spesimen raw material. Harga kekerasan tertinggi terdapat pada spesimen dengan proses temper pada temperatur 450°C yaitu sebesar 288,281 kg/mm². Harga kekerasan terendah 188,702 kg/mm² terdapat pada spesimen dengan proses temper pada temperatur 250°C.
4. Data pengujian kekuatan tarik menunjukkan penurunan signifikan pada spesimen Fe-1,2Al-4,8C setelah dilakukan proses temper. Penurunan sebesar 54,41% yang ditunjukkan pada spesimen raw material sebesar 104,41 MPa terhadap proses temper pada temperatur 250°C sebesar 47,60 MPa.
5. Data pengujian impak menggunakan metode charpy menunjukkan bahwa harga impak mengalami penurunan setelah dilakukan proses temper. Dimana harga terbesar terdapat pada spesimen raw material sebesar 0,114 J/mm². Sedangkan harga terendah terdapat pada spesimen proses temper temperatur 400°C sebesar 0,087 J/mm².
6. Pengaplikasian perlakuan temperatur temper pada dunia permesinan sangat cocok digunakan pada komponen mesin seperti gear motor dan lainnya, karena sifat komponen setelah dilakukan temper itu kuat tapi getas.

UCAPAN TERIMAKASIH

Pada kesempatan ini Penulis mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu dalam penyelesaian penelitian ini, terutama kepada Prodi Teknik Mesin S1 Institut Teknologi Nasional Yogyakarta.

REFERENSI

- Dieter, G.E., 1988, *Metalurgi Mekanik*, Edisi ke 3, Jilid 2, Erlangga, Jakarta.
- Kartikasari, R., Sutrisna., dan Batseran, P., 2013. Struktur Mikro, Kekuatan Tarik Dan Ketahanan Korosi Paduan Fe-2,2Al-0,6C Setelah Proses Temper, *Prosiding Seminar Nasional STTNAS*, Hal 151- 156.
- Lawrence, H., dan Van Vlack, 1992, *Ilmu Dan Teknologi Bahan*, edisi kelima, Erlangga.
- Qohar, A., Kartikasari, R., dan Iskandar, A.D., 2020, Studi Pengaruh Temperatur Proses Austemper Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan, Dan Ketahanan Korosi Paduan Fe-5,2Al-0,6C, *CendekiaMekanika*, Vol. 01, No. 01, Hal 57 – 64.
- Setyana, L.D., 2015, Studi Ukuran Grafit Besi Cor Kelabu Terhadap Laju Keausan Pada Produk Blok Rem Metalik Kereta Api, *Jurnal Material Teknologi Proses*, Volume 1, Nomor 1, Hal 16-21.
- Setyo, N., dan Widodo, S., 2018, Peningkatan Sifat Mekanis Besi Cor Kelabu Melalui Proses Tempering, *Journal of Mechanical Engineering*, Volume 2, Nomor 2, Hal 8-17.
- Suherman. W, 1987, *Pengetahuan Bahan*, Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya.
- Suprihanto, A., Satrijo, D., Suratman, S., 2007, Pengaruh Penambahan Unsur Cr Dan Cu Terhadap Kekuatan Tarik Besi Cor Kelabu Fc20, *Jurnal Rotasi*, Vol. 9, No. 1, Hal. 1-8.

Surdia, 1999, Pengetahuan Bahan Teknik, Pradnya Paramita, Jakarta.

Stefanescu., D.M., 1992, *Theory of Solidification and Graphite Growth in Ductile Iron*, AFS, DuctileIron Handbook, Hal 1-17.