

Pengaruh Temperatur Temper Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan, Dan Kekuatan Tarik Besi Tuang Paduan Al

Yosep Oktavianus¹, Ratna Kartikasari², Mustakim³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Mesin S1 Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Nasional Yogyakarta

Korespondensi : ratna@itny.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh temperatur temper terhadap struktur mikro, kekerasan dan kekuatan tarik pada besi tuang paduan Al. Proses temper yang dilakukan meliputi proses *hardening* pada temperatur 900°C selama 1 jam diikuti dengan pendinginan media air. Tahapan berikutnya adalah temper yang dilakukan pada temperatur 200°C, 250°C, 300°C, 350°C dan 400°C selama 1 jam diikuti dengan pendinginan media udara. Pengujian yang dilakukan adalah uji komposisi kimia menggunakan alat *spectrometer*, uji struktur mikro menggunakan alat mikroskop optik, kekerasan menggunakan metode *Vickers*, dan uji tarik. Hasil pengujian komposisi kimia menunjukkan kadar unsur utama Fe 92,24%, unsur paduan utama Al 1,36%, dan C 3,49%, struktur mikro paduan terdiri dari ferit, perlit, dan grafit, setelah dilakukan proses *hardening* fasa ferit terlihat dominan karena unsur Al yang berperan sebagai pembentuk dan penstabil fasa ferit, sedangkan proses temper menunjukkan fasa perlit tersebar secara merata bersama fasa ferit diantara serpih grafit yang berubah menjadi lebih kecil. Besi tuang paduan Al memiliki nilai kekerasan sebesar 186,16 kg/mm², setelah proses temper kekerasannya menurun hingga mencapai minimum 125,14 kg/mm² pada temperatur 400°C. Hasil pengujian tarik menunjukkan terjadi penurunan tegangan tarik setelah proses *hardening* sebesar 94,61 Mpa sedangkan setelah proses temper tegangan tarik mengalami peningkatan dan penurunan secara tidak beraturan.

Kata Kunci : Besi tuang paduan Al, *Hardening*, Temper, Kekerasan, Tarik,

ABSTRACT

This research aims to study the effect of tempering temperature on the microstructure, hardness and tensile strength of Al alloy cast iron. The tempering process carried out includes a hardening process at a temperature of 900°C for 1 hour followed by cooling in the water medium. The next stage is tempering which is carried out at temperatures of 200°C, 250°C, 300°C, 350°C, and 400°C for 1 hour followed by cooling in air media. The tests carried out were chemical composition tests using a spectrometer, microstructure tests using an optical microscope, hardness using the Vickers method, and tensile tests. The chemical composition test results show that the main element content is Fe 92.24%, the main alloying element Al 1.36%, and C 3.49%, the microstructure of the alloy consists of ferrite, pearlite, and graphite, after the hardening process the ferrite phase appears dominant because the Al element acts as a former and stabilizer of the ferrite phase, while the tempering process shows that the pearlite phase is evenly distributed along with the ferrite phase between the graphite flakes which turns smaller. Al alloy cast iron has a hardness value of 186.16 kg/mm², after the tempering process the hardness decreases to a minimum of 125.14 kg/mm² at a temperature of 400°C. The tensile test results showed that there was a decrease in tensile stress after the hardening process of 94.61 Mpa, whereas after the tempering process, the tensile stress experienced an irregular increase and decrease.

Keywords: Al alloy cast iron, *Hardening*, Temper, Hardness, Tensile.

PENDAHULUAN

Seiring dengan pertumbuhan dunia industri yang semakin maju, mendesak para pelaku dunia industri terutama di bidang otomotif dan permesinan, untuk terus berinovasi dalam mengembangkan kebutuhan material serta pembaruan sifat-sifat material. Salah satu pengembangan material adalah besi cor [1]. Besi cor merupakan paduan antara Fe dan C, dimana unsur kandungan karbon dalam paduan besi cor berkisar 2,0–6,7 %. Dalam pengklasifikasian besi cor ditetapkan oleh struktur metalografi yang sangat dipengaruhi oleh kandungan karbon dalam paduan. Karbon bisa berbentuk sementit (Fe₃C) maupun karbon bebas (grafit). Wujud, dimensi dan distribusi grafit akan mempengaruhi sifat mekanik besi cor. Unsur lain berupa silikon, mangan, phosphor serta belerang juga mempengaruhi struktur metalografi besi cor. Grafit pada besi cor kelabu yang berupa flake terbentuk saat pembekuan [2]. Untuk

meningkatkan sifat mekanik besi tuang kelabu telah dilakukan upaya dengan proses perlakuan panas dan pendinginan logam untuk mengubah sifat-sifat fisis logam tersebut [3].

Selain perlakuan panas sebagai salah satu upaya meningkatkan sifat mekanik pada besi cor, dapat juga dilakukan penambahan unsur paduan, salah satunya adalah unsur aluminium. Dimana aluminium memiliki keunggulan yaitu harga yang relatif lebih murah, dan juga merupakan unsur yang sangat melimpah ketersediaannya [4]. Temper adalah proses pemanasan kembali logam di bawah temperatur kritikal yang dilakukan setelah proses *hardening* untuk mengurangi tegangan *internal* dan didinginkan secara perlahan [5]. Tujuan dari temper terhadap besi cor adalah untuk meningkatkan keuletan, menghilangkan tegangan *internal*, menghaluskan ukuran butir kristal dan meningkatkan kekerasan, kekuatan tarik serta ketahanan logam [6].

Berdasarkan permasalahan diatas maka perlu dilakukan penelitian atas pengaruh temper terhadap struktur mikro, kekerasan dan kekuatan tarik besi tuang paduan Al, walaupun penelitian mengenai peningkatan sifat fisis dan mekanik besi tuang sudah banyak dilakukan oleh peneliti sebelumnya di antaranya yakni :

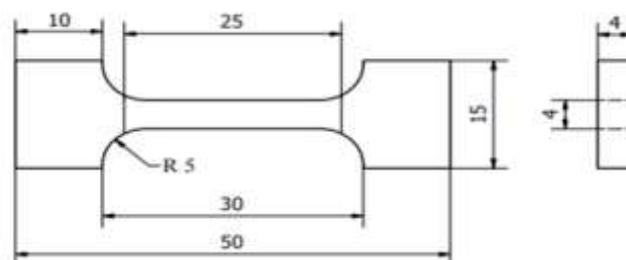
Penelitian yang membahas mengenai pengaruh efek suhu dan waktu *tempering* terhadap sifat mekanik *ductile cast iron*. Proses austenisasi dilakukan pada suhu 900°C selama 2 jam dan dilanjutkan proses temper pada temperatur 200°C ditahan selama 60 dan 120 menit. Hasil penelitian menyebutkan kekuatan tarik tertinggi sebesar 600,5 Mpa, terdapat pada spesimen dengan waktu penahan 60 menit, sedangkan waktu penahan 120 menit, nilai kekuatan tariknya rendah sebesar 410, Mpa, ini dikarenakan jumlah fasa austenit yang lebih mendominasi [7].

Penelitian mengenai peningkatan sifat mekanik besi cor kelabu melalui proses *tempering*. Proses *quenching* dilakukan pada suhu 750°C, 800°C, dan 825°C dilanjutkan dengan proses temper 200°C, 300°C, dan 400°C, dengan waktu penahan 15 menit. Hasil penelitian menyimpulkan kekerasan *Vickers* mengalami kenaikan rata-rata sebesar 95,6% sesudah dilakukan proses *quenching* 750°C, 99,8% pada *quenching* 800°C dan pada suhu 825°C kenaikan nya sebesar 107,1%. *Quenching* pada suhu 775°C mempunyai fasa sementit sebagai matriks dan sedikit fasa martensit, setelah perlakuan temper sebagian fasa martensit digantikan oleh fasa ferit di antara fasa sementit. Perlakuan temper pada temperatur 200°C, 300°C dan 400°C menghasilkan peningkatan ketangguhan sebesar 106,5%, 121,9% dan 130,5% dari energi mula-mula 5,21 Joule/mm², sedangkan kekerasan mengalami penurunan sebesar 88,6%, 80,8% dan 40,4% dari kekerasan semula 260,8 $VHN_{0,40}$ [6].

Penelitian yang membahas tentang analisis uji tarik dan metalografi sifat mekanik besi tuang kelabu (Fc-20) dengan proses *heat treatment*. Proses perlakuan panas menggunakan variasi suhu *quenching* 600°C-700°C, dengan waktu penahan selama 45 menit dan 1 jam serta menggunakan metode pendinginan bervariasi seperti air garam, air es dan oli. Hasil penelitian menyimpulkan kekuatan tarik raw material cenderung mengalami penurunan dengan jumlah rata-rata kekuatan tariknya sebesar 23,14 Kgf/mm² dan nilai regangan sebesar 10,23%, sedangkan pendinginan air garam cenderung mengalami peningkatan kekuatan tarik yang sangat tinggi sebesar 30,23 kgf/mm² dan mengalami penurunan regangan sebesar 1,7%. Pada media pendinginan air es memiliki nilai rata-rata kekuatan tarik sebesar 27,75 kgf/mm² dan mengalami kenaikan regangan 1,8% sedangkan pendinginan oli nilai rata-rata kekuatan tarik tertinggi sebesar 29 kgf/mm² jika dibandingkan dengan pendinginan air es, regangan mengalami penurunan sebesar 1,6% [1]. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh temperatur temper terhadap struktur mikro, kekerasan, dan kekuatan tarik besi tuang paduan Al.

METODE PENELITIAN

Bahan baku penelitian adalah besi tuang paduan Al, berbentuk ingot dengan ukuran 200 mm x 40mm x 15 mm. Kemudian dipotong membentuk 1 spesimen uji komposisi, 7 spesimen uji struktur mikro dan spesimen uji kekerasan, serta 7 spesimen uji tarik. Pengujian komposisi kimia menggunakan *spectrometer* milik Laboratorium Bahan Teknik Mesin S1 UGM. Proses temper dimulai dengan proses *hardening* pada temperatur 900°C selama 1 jam dilanjutkan *quenching* dalam media air. Tahapan berikutnya adalah temper yang dilakukan pada temperatur 200°C, 250°C, 300°C, 350°C dan 400°C selama 1 jam diikuti dengan pendinginan media udara. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian struktur mikro menggunakan alat *olympus metallurgical system microscope*, uji kekerasan dengan metode *Vickers*, dan uji kekuatan tarik menggunakan alat uji tarik milik Laboratorium Bahan Teknik Jurusan Teknik Mesin Program Vokasi UGM.



Gambar 1. Spesimen uji tarik**HASIL DAN ANALISIS****Analisis Hasil Pengujian Komposisi Kimia**

Pengujian komposisi kimia dilakukan untuk mengetahui kandungan unsur-unsur pada spesimen besi tuang paduan Al dengan menggunakan alat *spectrometer*.

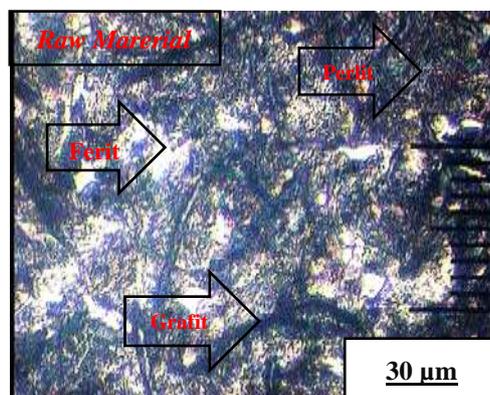
Tabel 1. Hasil uji komposisi kimia besi tuang paduan Al

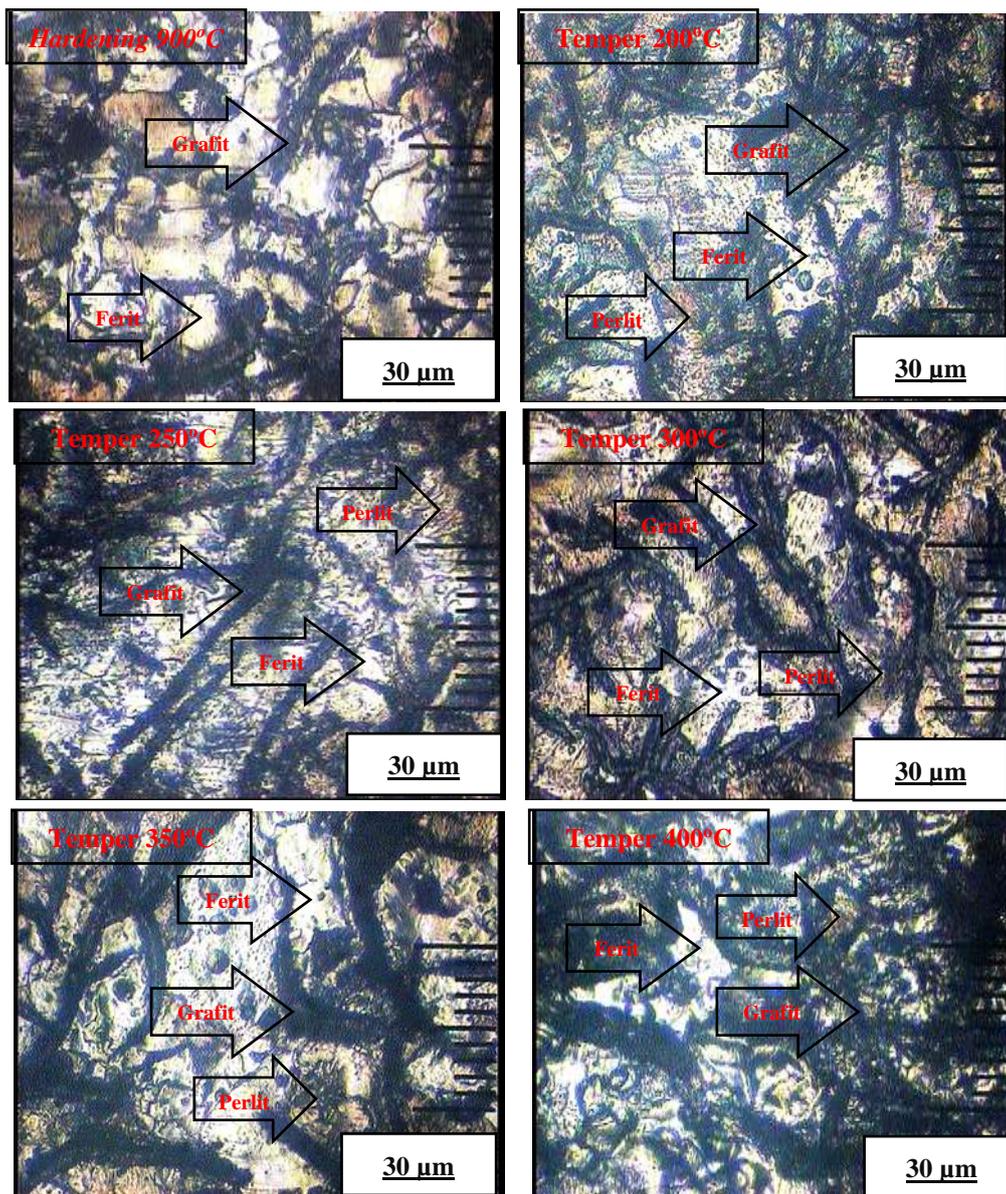
Unsur	Fe	C	Al	Si	Mn	P	S	Cr	Sn	Cu	Ni	Mo	Ti	V	Zn
%Berat	92,24	3,49	1,36	1,86	0,48	0,08	0,02	0,13	0,01	0,14	0,1	0,01	0,01	0,01	0,01

Kandungan unsur karbon (C) lebih dari 2% yaitu 3,49% dapat disebut rentang variasi kandungan unsur besi cor kelabu. Terdapat unsur paduan Al sehingga dapat dikatakan material logam merupakan besi tuang paduan Al [8]. Penambahan aluminium (Al) pada besi tuang kelabu bertujuan menstabilkan ferit, sehingga meningkatkan ketahanan oksidasi dan reduksi. Kehadiran unsur karbon (C) membuat paduan lebih mudah teroksidasi dengan matriks ferit yang bersifat rapuh serta memiliki kekuatan rendah pada suhu tinggi [4]. Penambahan silikon (Si) pada besi tuang menyebabkan karbida terurai menjadi besi dan grafit. Silikon di atas 3,25% akan menaikkan kekerasan serta menurunkan kekuatan impact dan meningkatkan sifat mampu besi tuang [9]. Mangan (Mn) berfungsi menstabilkan austenit, kadar Mn semakin banyak yang terkandung dalam besi tuang kelabu menyebabkan pembentukan perlit sehingga kekuatannya semakin meningkat [10].

Analisis hasil pengujian struktur mikro

Pengujian struktur mikro dilakukan dengan mengamati spesimen uji menggunakan mikroskop optik setelah dilakukan etsa. Bahan kimia yang digunakan untuk etsa adalah $\text{HNO}_3 + \text{HCl}$ (*aqua regia*). Benda uji tersebut berjumlah 7 spesimen yang terdiri dari 1 spesimen *raw material*, 1 spesimen *quenching* 900°C dan 5 spesimen untuk perlakuan panas temper dengan masing-masing 1 satu buah pada variabel temperatur 200°C, 250°C, 300°C, 350°C, dan 400°C. Pengujian struktur mikro dilakukan dengan pembesaran 100X. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui jenis struktur/fasa yang terkandung dalam besi tuang paduan aluminium, yang menjadi ciri khas paduan tersebut. Hasil pengujian struktur mikro besi tuang paduan aluminium (Al) dapat dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3.

**Gambar 2.** Foto struktur mikro besi tuang paduan Al



Gambar 3. Foto Struktur mikro besi tuang paduan Al setelah proses temper

Gambar 2, menunjukkan struktur mikro besi tuang paduan Al memiliki tiga fasa yakni grafit, ferit dan perlit. Fasa grafit berbentuk serpih dan berwarna hitam, fasa ferit berwarna putih terang serta fasa perlit berupa lamel hitam putih. Munculnya ketiga fasa ini disebabkan oleh proses pendinginan yang lambat pada saat coran dan juga dipengaruhi oleh unsur-unsur yang terkandung dalam paduan yaitu Al berfungsi sebagai pembentuk dan penstabil fasa ferit, unsur C mendorong terbentuknya matriks perlit, dan unsur Si berfungsi sebagai pembentuk fasa grafit [9]. Pada spesimen *raw material*, fasa grafit terdistribusi secara meluas dan dikelilingi dengan matriks perlit dan ferit.

Setelah proses *hardening* 900°C (Gambar 3) terjadi perubahan yang mencolok dimana struktur mikro yang dominan terbentuk adalah fasa ferit sedangkan fasa perlit keberadaannya menghilang dan ukuran fasa grafit menjadi lebih besar dengan jarak yang rapat. Sedangkan setelah temper fasa perlit kembali terbentuk, munculnya fasa perlit dikarenakan pelepasan sejumlah karbon dari fasa grafit membentuk karbida yang menyusun diri menjadi lamel-lamel dengan fasa ferit. Pada temper 200°C fasa grafit terlihat lebih jelas dengan jarak lebih rapat ini disebabkan proses pendinginan yang lambat dan adanya unsur silikon yang mempercepat pembentukan grafit. Pada temper 250°C memperlihatkan ferit menyebar secara merata dengan batas butir kecil, sedangkan fasa perlit masih terlihat dominan dengan ukuran butir besar dan ukuran grafit menjadi lebih besar. Temper 300°C menunjukkan perubahan ukuran grafit menjadi lebih besar dari temper 250°C dengan fasa ferit lebih mendominasi dengan ukuran butir besar, proses temper 350°C fasa perlit, dan ferit terlihat memiliki ukuran besar butirnya besar, serta grafit ukuran yang semakin membesar

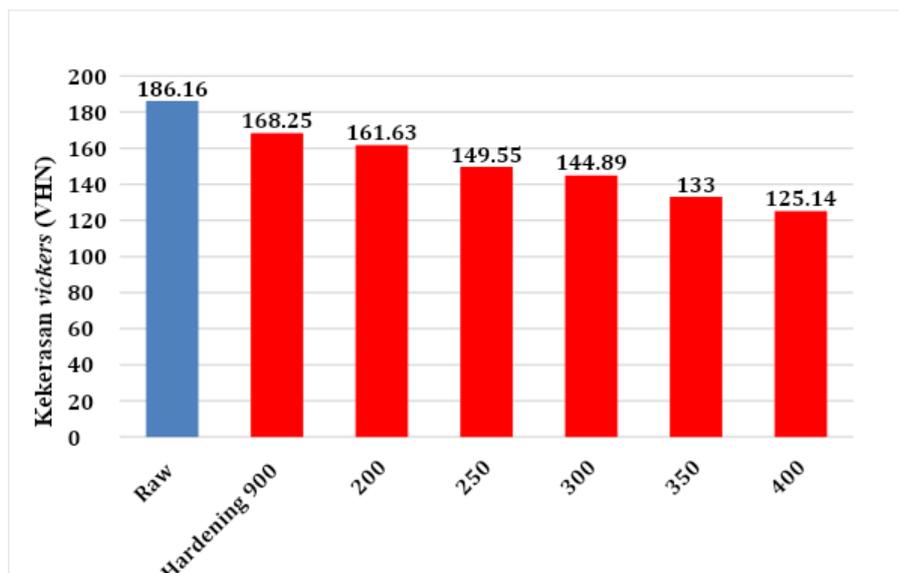
dengan jarak yang renggang. Temper 400°C terlihat ukuran fasa ferit dengan besar butir kecil, fasa perlit terlihat tersebar secara merata dengan ukuran butir besar, dan ukuran grafit semakin mengecil.

Analisis hasil pengujian kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan metode uji kekerasan *Vickers*, yaitu membagi beban dengan luas permukaan lekukan. Tujuan pengujian kekerasan adalah untuk mengetahui nilai kekerasan material.

Tabel 2. Hasil pengujian kekerasan *Vickers* besi tuang paduan Al

No.	Temperatur	Posisi	d1	d2	d rata-rata	Kekerasan	Kekerasan (VHN)
	Temper (°C)	Tititik Uji	(mm)	(mm)	(mm)	(VHN)	rata-rata
1	Raw	Acak	0,55	0,53	0,54	190,74	186,16
2			0,55	0,55	0,55	183,87	
3			0,55	0,55	0,55	183,87	
4	Hardening 900	Acak	0,57	0,57	0,57	171,19	168,25
5			0,59	0,57	0,58	165,34	
6			0,57	0,58	0,58	168,23	
7	200	Acak	0,59	0,57	0,58	165,34	161,63
8			0,59	0,59	0,59	159,78	
9			0,59	0,59	0,59	159,78	
10	250	Acak	0,62	0,62	0,62	144,69	149,55
11			0,62	0,58	0,6	154,5	
12			0,64	0,58	0,61	149,48	
13	300	Acak	0,6	0,62	0,61	149,48	144,89
14			0,63	0,63	0,63	140,14	
15			0,64	0,6	0,62	144,69	
16	350	Acak	0,66	0,64	0,65	131,64	133
17			0,65	0,64	0,65	133,69	
18			0,65	0,64	0,65	133,69	
19	400	Acak	0,67	0,67	0,67	123,9	125,14
20			0,66	0,67	0,67	125,77	
21			0,66	0,67	0,67	125,77	



Gambar 4. Hasil pengujian kekerasan besi tuang paduan Al

Tabel 2 dan Gambar 4 menunjukkan hasil pengujian kekerasan *Vickers* besi tuang paduan Al dengan pembebanan 30kgf, masing-masing benda diuji pada 3 titik berbeda yang disusun secara berurutan. Hasil uji kekerasan menunjukkan bahwa spesimen besi tuang paduan Al, memiliki nilai kekerasan sebesar 186,16 kg/mm². Hal ini

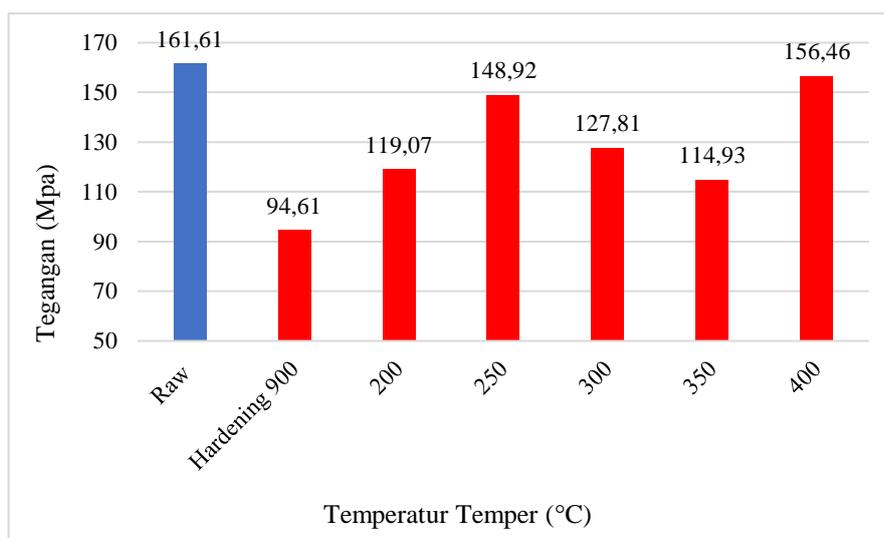
disebabkan spesimen besi tuang paduan Al memiliki fasa yang terbentuk yaitu ferit, perlit, dan grafit, dimana bentuk fasa ferit memiliki batas butir kecil dibandingkan fasa perlit dengan ukuran butir besar dan tersebar secara merata, serta ukuran grafit yang kecil dan rapat. Hasil pengujian kekerasan *Vickres* pada temperatur 900°C diperoleh nilai kekerasan 168,25 kg/mm², angka ini turun sebesar 9,62% dari spesimen *raw material*. Hal ini disebabkan setelah *hardening* tidak terbentuk fasa martensit dan diiringi dengan hilangnya fasa perlit, sehingga fasa dominan yang terbentuk adalah fasa ferit. Pada spesimen proses temper 200°C hasil pengujian kekerasan *Vickers* diperoleh angka kekerasan 161,63 kg/mm², angka ini turun sebesar 3,93% dari spesimen *quenching* 900°C, penurunan nilai ini terjadi karena ukuran besar butir fasa ferit kecil sedangkan ukuran butir fasa perlit terlihat besar dan lebih dominan dengan fasa grafit jaraknya terlihat rapat.

Pada proses temper 250°C pengujian kekerasan menghasilkan nilai sebesar 149,55kg/mm², hasil ini turun sebesar 7,47% dari spesimen proses temper 200°C. Hal ini disebabkan fasa ferit terlihat menyebar merata dengan ukuran butir kecil, dan fasa perlit terlihat besar butir besar serta fasa grafit memiliki ukuran besar dan rapat. Nilai kekerasan pada proses temper 300°C menunjukkan kekerasan semakin menurun dengan memperoleh nilai sebesar 144,89 kg/mm², nilai ini turun 3,11% dari spesimen proses temper 250°C, hal ini dikarenakan fasa ferit memiliki ukuran butir kecil, fasa perlit menyebar secara merata dengan ukuran butir besar serta grafit ukurannya semakin membesar dan longgar. Proses temper 350°C dengan angka kekerasan 133,00 kg/mm², angka tersebut turun 8,20% dari proses temper 300°C, hal ini terjadi karena fasa ferit mengalami pertumbuhan ukuran butir menjadi besar serta menyebar merata, fasa perlit dan grafit terlihat ukuran besar butirnya besar. Pada spesimen proses temper 400°C memiliki nilai kekerasan sebesar 125,14 kg/mm², penurunan kekerasan kembali terjadi sebesar 5,90% dari spesimen proses temper 350°C, hal ini dikarenakan fasa ferit ukuran besar butirnya mengecil karena pelepasan karbon dari grafit yang membentuk diri menjadi perlit sehingga ukuran besar butir perlit semakin membesar dan tersebar secara merata serta ukuran fasa grafit yang mengalami perubahan menjadi lebih kecil.

Analisis hasil pengujian tarik

Tabel 3. Hasil pengujian tarik besi tuang paduan Al

No.	Temperatur Temper (°C)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	F Maks (KN)	Tegangan (Mpa)
1	Raw	4,2	3,86	2,62	161,61
2	<i>Hardening</i> 900	4,4	4,42	1,84	94,61
3	200	4,68	4,54	2,53	119,07
4	250	4,41	4,02	2,64	148,92
5	300	4,34	3,84	2,13	127,81
6	350	4,56	3,74	1,96	114,93
7	400	4,39	3,8	2,61	156,46



Gambar 5. Diagram hasil pengujian tegangan tarik besi tuang paduan Al



Hasil pengujian tegangan tarik besi tuang paduan Al (Tabel 3 dan Gambar 5). Menunjukkan nilai kekuatan tarik pada spesimen *raw material* dan setelah perlakuan panas *hardening* serta temper dengan waktu penahan 1 jam. Spesimen *raw material* memiliki nilai tegangan 161,61 Mpa hal ini disebabkan fasa yang terbentuk ialah fasa ferit, perlit, dan grafit, dimana fasa perlit lebih menyebar dengan ukuran butir besar serta fasa grafit yang terlihat lebih longgar. Berikutnya pengujian tegangan tarik pada spesimen *hardening* 900°C adalah 94,61 Mpa nilai ini turun signifikan sebesar 41,45% dari tegangan *raw material*. Hal ini disebabkan fasa grafit memiliki ukuran yang besar dengan jarak yang rapat dan fasa ferit dengan ukuran dengan ukuran butir besar serta terlihat dominan.

Hasil pengujian tarik pada spesimen temper 200°C menunjukkan nilai tegangan sebesar 119,07 Mpa nilai tegangan nilai ini mengalami kenaikan 25,85% dari spesimen proses *hardening*, hal ini hal ini dikarenakan pertumbuhan fasa perlit yang terlihat lebih dominan dan menyebar secara merata dengan ukuran butir ferit lebih kecil dan jarak grafit yang rapat serta ukuran yang besar. Pada spesimen proses temper 250°C menunjukkan nilai tegangan sebesar 148,92 Mpa yang mana mengalami peningkatan sebesar 25,06 % dari spesimen temper 200°C, peningkatan ini terjadi karena fasa ferit terlihat tersebar secara merata, fasa perlit terlihat ukuran butir besar dengan grafit memiliki ukuran besar dan rapat.

Selanjutnya pada proses temper 300°C hasil pengujian tegangan tarik menunjukkan nilai sebesar 127,81 angka ini turun sebesar 14,17% dari spesimen proses temper 250°C, penurunan nilai ini tegangan ini dikarenakan fasa grafit memiliki ukuran yang besar, dan fasa ferit memiliki ukuran butir kecil serta fasa ferit yang terlihat dominan dan menyebar secara merata. Pada spesimen proses temper 350°C hasil pengujian tegangan tarik adalah 114,93 Mpa nilai tegangan tarik ini kembali mengalami penurunan sebesar 10,07% Mpa dari spesimen temper 300°C, ini dikarenakan fasa grafit memiliki ukuran besar dan jarak yang rapat, fasa perlit yang terlihat ukuran butirnya besar serta terjadi pertumbuhan butir ferit yang mulai membesar. Pada proses temper 400°C hasil pengujian tarik menunjukkan nilai tegangan sebesar 156,46, nilai tegangan tarik ini kembali mengalami peningkatan sebesar 36,13% dari spesimen proses temper 350°C, naiknya tegangan tarik pada spesimen ini dikarenakan fasa perlit terlihat dominan dengan ukuran butir besar, fasa ferit yang terlihat memiliki ukuran butir kecil dengan grafit yang mengalami perubahan ukuran menjadi lebih kecil.

KESIMPULAN

1. Hasil pengujian komposisi kimia menunjukkan bahwa besi tuang paduan aluminium mengandung unsur utama (Fe) 92,24%, unsur paduan utama aluminium (Al) 1,36%, karbon (C) 3,49% dan silikon (Si) 1,86% serta mangan 0,48%.
2. Hasil uji struktur mikro menunjukkan bahwa besi tuang paduan aluminium memiliki fasa ferit, perlit dan grafit, perlakuan panas *hardening* 900°C membentuk dominan fasa ferit dengan ukuran butir besar karena adanya unsur aluminium, setelah proses temper karbon dari grafit membentuk karbida yang menyusun diri menjadi lamel-lamel dengan fasa ferit sehingga menghasilkan pembentukan fasa perlit.
3. Pengujian kekerasan menggunakan metode Vickers menunjukkan bahwa spesimen *raw material* memiliki nilai kekerasan sebesar 186,16 kg/mm², proses *hardening* dan temper menurunkan nilai kekerasan hingga nilai terendah pada spesimen proses temper 400°C sebesar 125,14 kg/mm².
4. Data pengujian tarik menunjukkan bahwa besi tuang paduan aluminium memiliki tegangan tarik tertinggi, pada spesimen *raw material* 161,61 Mpa dan tegangan tarik terendah pada spesimen *hardening* 900°C sebesar 94,61 Mpa, sedangkan kekuatan tarik setelah proses temper mengalami penurunan dan peningkatan secara tidak beraturan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada semua pihak atas bantuan dan dukungannya hingga terselesaikannya penelitian ini, terutama kepada program studi teknik mesin S1 ITNY.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] De Jesus, A. D. S. and Soebiyakto, G., 2018, Analisis Uji Tarik dan Metalografi Sifat Mekanik Besi Tuang Kelabu (Fc-20) Dengan Proses Heat Treatment, *Proton*, Vol. 10 No. 11. Hal. 25–29.
- [2] Setyana, L. D., 2015, Studi Ukuran Grafit Besi Cor Kelabu Terhadap Laju Keausan Pada Produk Blok Rem Metalik Kereta Api, *Jurnal Material Teknologi Proses*, Hal. 19-24.
- [3] Haryadi, G. D., Wibowo, D. B., Suryo, S. H., Setiyana, B., dan Ekaputra, I., 2021, Pengaruh Penambahan 1,3% Mn Dan *Quenching* Terhadap Struktur Mikro Dan Sifat Mekanis Besi Cor Kelabu. *Traksi, Majalah Ilmiah Teknik Mesin* Vol. 21 No. 1, Hal. 38-55.

-
- [4] Kartikasari, R., Sutrisna, dan Basteran, p. W., 2013, Struktur Mikro, Kekuatan Tarik Dan Ketahanan Korosi Paduan Fe-2,2Al-0,6C Setelah Proses Temper, *Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi*, Hal. 151-156.
- [5] Sumpena, dan Wardoyo., 2018, Pengaruh Variasi Temperatur Hardening Dan Tempering Paduan AlMgSi-Fe12% Hasil Pengecoran Terhadap Kekerasan, *Jurnal Engine*, Vol. 2 No. 1, Hal. 26-32.
- [6] Setyo, A. N., dan Widodo, S., 2018, Peningkatan Sifat Mekanis Besi Cor Kelabu Melalui Proses Tempering, *Journal of Mechanical Engineering*, Hal. 9-17.
- [7] Kumar, R., Bahera, R. K., dan Sen, S., 2015, Effect of Tempering Temperature and Time on Strength and Hardness of Ductile Cast Iron. *IOP Conference Series, Materials Science and Engineering*. Vol.75. No. 1, doi:doi:10.1088/1757-899X/75/1/012015
- [8] Callister, W. D., 2018, *Materials science and engineering*, Edisi 10, Hoboken, United States of America
- [9] Zandroto, J. Y., Kartikasari, R., dan Wartono., 2022, Pengaruh Waktu Proses Austemper Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan, Dan Kekuatan Tarik Paduan Fe-1Al-6,9C, *Prosiding Nasional Rekayasa teknologi Industri dan Informasi XVII*, Hal. 9-15.
- [10] Cardarelli, F., 2000, *Materials Handbook*, Edisi kedua, Springer, London doi:10.1007/978-1-84628-669-8.