



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Analisis Kekuatan Tarik, Kekuatan Puntir, Kekerasan Dan Struktur Mikro Baja AISI 1045 Setelah Dilakukan Proses *Quenching* Sebagai Alternatif Gearbox Kapal Perikanan

Dendy Setiawan ^{1)*}, Untung Budiarto ²⁾, Samuel ³⁾

¹⁾Laboratorium Pengelasan

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

^{*}e-mail : dendysetiawannn@gmail.com,

Abstrak

Gearbox ialah sebuah komponen penting di bagian kapal yang sering disebut dengan istilah transisi dengan fungsi memindahkan serta membantu mengubah tenaga motor yang berputar menjadi pemutar spindel mesin dengan gerakan feeding. Material yang dapat digunakan sebagai gearbox kapal adalah baja AISI 1045. Tujuan *quenching* pada penelitian ini untuk mengetahui nilai tegangan tarik, puntir, kekerasan dan struktur mikro dari material tersebut. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *quenching* dengan variasi suhu 650°C, dan 850°C. Pengujian tarik menggunakan standar ASTM E8, pengujian puntir menggunakan standar ASTM E143. Hasil pengujian tersebut mendapatkan hasil bahwa kekuatan tarik paling baik yaitu 2506.63 Mpa pada suhu 850°, kekuatan puntir terbaik yaitu 1148.24 Mpa pada suhu 850°, dan angka kekerasan terbaik yaitu 505.63 VN pada suhu 850°C. Manfaat dari penelitian ini adalah menjelaskan bahwa proses *quenching* menunjukkan peningkatan nilai pada suhu 850°C dan terjadi penurunan di suhu 650°C pada nilai kuat tarik. Perubahan struktur mikro terjadi pada material setelah dilakukan perlakuan. Perubahan tersebut menunjukkan struktur mikro yang merata setelah proses *quenching*. Analisa FEM terhadap raw material yang dilakukan dapat menghasilkan nilai error dibawah 5%.

Kata Kunci : Baja AISI 1045, *Quenching*, gearbox kapal, variasi sudut kampuh

1. PENDAHULUAN

Baja sangat memiliki peranan yang penting dalam dunia industri kapal dimana banyak rancangan komponen mesin kapal menggunakan material tersebut. Sifat mekanik yang dimiliki material ini cukup mampu untuk berbagai penggunaan lapangan dalam berbagai aplikasi. Efisiensi dan efektifitas dari baja itu sendiri selalu menjadi pertimbangan dalam pemilihan material sesuai dengan pemakaiannya.

Gearbox ialah sebuah komponen penting di bagian kapal yang sering disebut dengan istilah transisi dengan fungsi memindahkan serta membantu mengubah tenaga motor yang berputar menjadi pemutar spindel mesin dengan gerakan feeding. Tidak hanya itu saja, gearbox pada kapal juga memiliki fungsi utama sebagai komponen untuk mengatur kecepatan gerak dan torsi sekaligus proses berbalik putaran kapal [8].

Baja spesifikasi AISI 1045 merupakan baja karbon menengah dengan komposisi karbon berkisar antara 0,42-0,50 %. Baja ini umumnya dipakai sebagai komponen automotif misalnya untuk komponen roda gigi pada kendaraan bermotor yang pada aplikasinya sering mengalami gesekan dan tekanan maka ketahanan terhadap aus dan kekerasan sangat diperlukan sekali [1]. Pada aplikasinya, baja tersebut harus mempunyai ketahanan aus yang baik karena sesuai dengan fungsinya yaitu mampu menahan keausan akibat bergesekan dengan rantai.

Ketahanan aus didefinisikan sebagai ketahanan terhadap abrasi atau ketahanan terhadap pengurangan dimensi akibat suatu gesekan [2]. Ketahanan aus berbanding lurus dengan kekerasan [3]. Untuk mendapatkan kekerasan dan ketahanan terhadap aus dari bahan tersebut dapat dilakukan melalui perlakuan panas dengan cara hardening yang dilanjutkan dengan proses *quenching*,

tujuannya untuk mendapatkan struktur martensit yang keras dan memiliki ketahanan aus yang baik. Dari proses quenching tersebut spesimen sering sekali mengalami *cracking*, distorsi dan ketidakseragaman kekerasan yang diakibatkan oleh tidak seragamnya temperatur larutan pendingin [4].

Metode *quenching* sederhana adalah berupa pencelupan baja yang telah dipanaskan mencapai fasa austenit ke dalam bak berisi media pendingin sehingga panas pada baja terabsorpsi ke media pendingin yang akan menghasilkan peningkatan derajat kekerasan sebagai dampak dari perubahan struktur mikronya. Akibat adanya perpindahan panas dari spesimen baja ke media pendingin, maka terjadi pembentukan selubung uap di sekeliling permukaan baja sehingga akan menghambat laju perpindahan panas dari baja ke media pendingin. Untuk spesimen yang berdimensi tidak teratur/rumit sangat tidak baik jika dilakukan proses quench hanya dengan pencelupan pada media pendinginan, karena cenderung akan terjadi pembentukan lapisan uap pada bagian-bagian tertentu, yang akan mengakibatkan laju pendinginan yang tidak seragam dan terbentuknya struktur mikro yang berbeda pada beberapa bagiannya tersebut [5].

Penelitian proses quenching terhadap baja AISI 1045 dengan variasi air tersirkulasi menunjukkan perubahan pada struktur mikro dan kekerasan baja tersebut tetapi belum dilakukan pengujian terhadap kekuatan tarik setelah dilakukan *quenching* [5]. Penelitian tentang proses *quenching* terhadap baja AISI 1045 dengan variasi volume air pendingin dan hanya dilakukan pengujian kekerasan terhadap material hasil *quenching* dan bertujuan untuk diaplikasikan menjadi rantai [1]. Penelitian yang dilakukan oleh Rassizadehghani membahas terkait metode quenching yang dilakukan dengan perendaman garam panas dan pengaruhnya terhadap stuktur mikro [6]. Penelitian yang dilakukan oleh Pratowo hanya membahas terkait pengaruh quenching terhadap kekerasan baja AISI 1045 [7].

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini akan dilakukan studi pengujian dan analisa dengan membandingkan kelebihan dan kekurangan dari penerapan quenching pada baja AISI 1045 untuk mencari ketahanan material yang akan digunakan sebagai *gearbox* pada mesin utama kapal setelah dilakukan *quenching* pada suhu 650°C dan 850°C, lalu dilakukan Uji Tarik, Uji Puntir, Uji Kekerasan, dan Struktur Mikro sehingga dapat diketahui ketahanan material tersebut. Penelitian ini juga akan melakukan pengujian tarik dan puntir terhadap baja AISI 1045 dengan metode elemen hingga melalui *software*

yang berbasis *finite element method* untuk kemudian dibandingkan dengan pengujian terhadap *raw material*.

2. METODE

Pelaksanaan penelitian ini perlu adanya kerangka dasar yang digunakan sebagai acuan untuk menganalisa studi kasus tersebut. Untuk metode penelitian ini menjelaskan terkait material yang digunakan, proses *quenching*, lokasi penelitian dan pengujian tarik, kekerasan dan puntir.

2.1. Baja AISI 1045

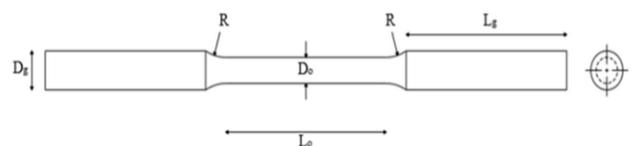
AISI 1045 adalah baja karbon yang mempunyai kandungan karbon sekitar 0,43 - 0,50 dan termasuk golongan baja karbon menengah. Baja spesifikasi ini banyak digunakan sebagai komponen otomotif misalnya untuk komponen roda gigi pada kendaraan bermotor. Komposisi kimia dari baja AISI 1045 dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Kandungan AISI 1045

Kandungan	Komposisi(%)
Karbon (C)	0.42 – 0.50
Silikon (Si)	0.10 – 0.30
Mangan (Mn)	0.60 – 0.90
Fosfor (P)	0.04 max
Sulfur (S)	0.05 max

2.2. Uji Tarik

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui sifat mekanis dari suatu benda logam terhadap tarikan atau tekanan dimana sifat mekanis tersebut antara lain titik luluh, titik Tarik maksimum, titik putus dan karakter bahan.[11] dari material hasil proses *quenching*. Metode yang digunakan adalah benda uji dijepit pada mesin pengujian dengan pembebanan perlahan-lahan meningkat sampai suatu beban tertentu hingga benda uji patah. Beban tarik yang bekerja pada benda uji akan menimbulkan pertambahan panjang disertai pengecilan lebar benda uji. Pengujian tarik ini akan menggunakan spesimen dengan standar ASTM E8 yang bisa dilihat pada gambar 1 dan tabel 2.



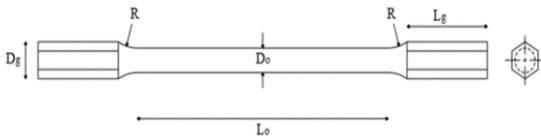
Gambar 1. Spesimen uji tarik (ASTM E8)

Tabel 2. Dimensi spesimen uji tarik

Dimensi	Nilai
D_o	8 mm
L_o	60 mm
R	15 mm
D_g	12 mm
L_g	60 mm

2.3. Uji Puntir

Uji puntir (torsion test) adalah salah satu pengujian merusak yang mengakibatkan suatu material mengalami patahan. Uji puntir pada suatu spesimen dilakukan untuk menentukan keplastisan suatu material. Spesimen yang digunakan pada pengujian puntir adalah batang dengan penampang melingkar karena bentuk penampang ini paling sederhana sehingga mudah untuk diukur. Spesimen tersebut hanya dikenai beban puntiran pada salah satu ujungnya karena dua pembebanan akan menyebabkan sudut puntir tidak konstan dengan ukuran spesimen yang berstandar ASTM E143 yang bisa dilihat pada gambar 2 dan tabel 3.



Gambar 2. Spesimen uji puntir (ASTM E143)

Tabel 3. Dimensi spesimen uji puntir

Dimensi	Nilai
D_o	8 mm
L_o	100 mm
R	15 mm
D_g	12 mm
L_g	32 mm

2.4. Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan logam atau hardness test adalah pengujian untuk mengetahui kemampuan suatu bahan terhadap pembebanan dalam perubahan yang tetap, ketika gaya tertentu diberikan pada suatu benda uji. Harga kekerasan bahan tersebut dapat dianalisis dari besarnya beban yang diberikan terhadap luasan bidang yang menerima pembebanan. Bila materialnya berupa logam maka deformasi yang dimaksud yaitu deformasi plastis. Semakin keras suatu material maka material tersebut semakin kuat. Kekerasan material berbanding lurus terhadap kegetasannya dan berbanding terbalik dengan keuletannya. [9]

2.5. Uji Mikrografi

Pengujian mikrografi adalah pengujian untuk mengetahui bentuk sebaran struktur mikro dari suatu material. Berubahnya struktur mikro suatu bahan mempengaruhi sifat mekanis bahan tersebut. Perubahan ini terjadi dikarenakan adanya perlakuan yang diberikan terhadap bahan. Struktur mikro martensit yang terbentuk dengan semakin meningkatnya laju aliran agitasi semakin baik dan merata. Sebaran struktur mikro dari martensit ditandai dengan bentuk yang acak dan berbentuk seperti jarum berbentuk lath. [10]

2.6. Finite Element Method

Finite element method (FEM) diawali dengan membuat model yang berpengaruh dalam proses analisa yaitu model spesimen material. Pembuatan model menggunakan program Computer Aided Design (CAD), dalam pembuatan model dipastikan seluruh komponen dalam kondisi solid sehingga dapat dilakukan analisa dalam program FEM.

Dalam analisa dengan menggunakan simulasi FEM pada kasus ini digunakan dimensi spesimen yang sesuai dengan pengujian *experimental*. Spesimen tarik dan tekuk dapat dilihat dari gambar 4 dan 5.

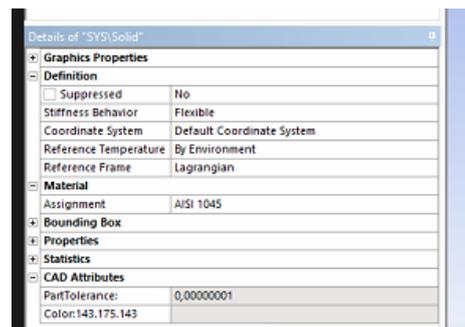


Gambar 3. Spesimen uji tarik (ASTM E8)

Setelah dilakukan permodelan perlu dilakukan pndefinisian material sesuai dengan material yang diujikan yaitu baja AISI 1045. Material tersebut disesuaikan kondisi mekanisnya dengan mengambil dari *engineering data* yang telah disediakan dari *software FEM*. Gambar 6 menunjukkan pndefinisian material sesuai dengan material yang digunakan pada pengujian *experimental*.

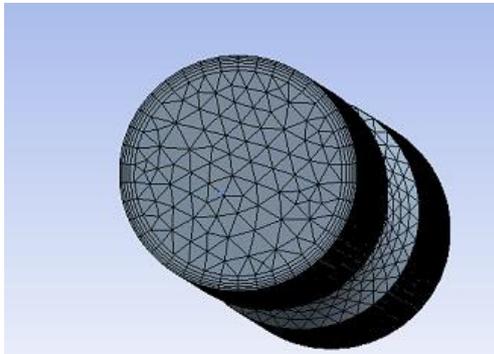


Gambar 4. Spesimen uji puntir (ASTM E143)



Gambar 5. Pndefinisian material komputasi

Setelah dilakukannya pendefinisian material, dilakukan proses *meshing* untuk bisa melanjutkan proses komputasi. Proses ini dibutuhkan untuk mendapatkan definisi dari bagian-bagian elemen dari model untuk bisa dilakukan analisa. Gambar 7 menunjukkan hasil *meshing* yang digunakan pada model pengujian. Tabel 5 menunjukkan *setting mesh* yang digunakan.

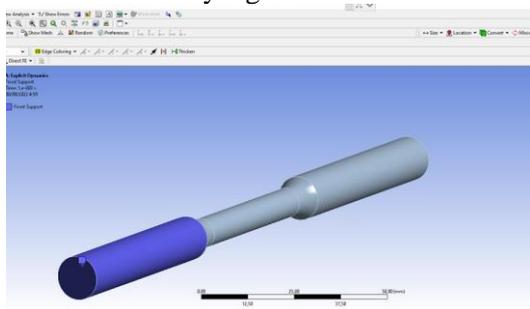


Gambar 6. Hasil *meshing*

Tabel 4. Dimensi spesimen uji tarik

Item	Detail
Mesh Size	1 mm
Inflation	First Layer Thickness
Increment Inflation	1.2
Total Layer	5 layers

Langkah selanjutnya adalah membuat *set-up* simulasi. Pada bagian ini dilakukan pengaturan *fixed support* dan *displacement* dari proses pengujian yang disesuaikan dengan proses pengujian *experimental*. Gambar 7 menunjukkan letak *fixed support* pada kedua jenis pengujian yang kemudian sisi lainnya digunakan sebagai *displacement* atau tempat terjadinya proses pengujian baik tarik maupun puntir. Dimana *displacement* pengujian tarik berupa gerakan translational sesuai sumbu dan pengujian putir berupa Gerakan rotational sesuai dengan sumbu putar model material yang dibuat.



Gambar 7. *Fixed support*

Setelah membuat skema pada *setup* selanjutnya dilakukan pengecekan pada *solver control* yaitu dengan mendefinisikan *maximum shear stress* untuk mendapatkan hasil yang

diinginkan. Setelah semua *setup* selesai dilakukan, analisa selanjutnya yaitu membandingkan hasil pengujian tegangan pengujian *experimental* dan *finite element* apakah menghasilkan nilai yang sesuai.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisa hasil pengujian penelitian ini adalah uji tarik, uji puntir, dan uji kekerasan serta hasil pengujian raw material pdengan metode *Finite Element Method* yang kemudian hasil pengujian tersebut dibandingkan untuk mendapatkan nilai terbaik.

3.1. Uji Tarik

Hasil pengujian tarik dari 3 spesimen didapatkan nilai kuat tarik baja AISI 1045 dengan proses *quenching* ditunjukkan pada tabel 5. Standar deviasi tegangan tarik untuk *raw material*, 650, 850 adalah 24.08, 24.66, dan 212.92. Standar deviasi tersebut didapatkan data hasil pengujian yang masuk dalam kriteria standar deviasi yang kemudian dapat dihitung dan digunakan untuk mendapatkan rata-rata nilai dari hasil yang didapatkan.

Tabel 6 menunjukkan nilai rata-rata dari hasil pengujian Tabel 5. Nilai rata-rata yang dihitung adalah tegangan maksimal dan modulus elastisitas.

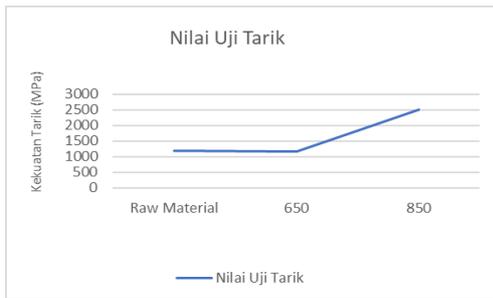
Gambar 7 menunjukkan bahwa nilai tegangan tarik pada suhu 650 turun 3% dari *raw material*, dan suhu 850 naik 108% dari *raw material*. Angka tersebut menunjukkan bahwa hasil *quenching* yang dilakukan pada suhu 850 mendapatkan nilai tegangan tarik tertinggi.

Tabel 5. Nilai Hasil Uji Tarik

Spesimen	σ Maks (Mpa)	Standar Deviasi	Regangan (%)	E (GPa)
Raw material	399.86	8.03	0.11	0.62
	414.90		0.11	0.58
	402.51		0.11	0.69
650 °	388.36	8.22	0.12	3.33
	404.28		0.17	2.35
	392.78		0.13	3.07
850 °	841.30	70.97	0.09	9.46
	829.79		0.09	9.05
	958.07		0.11	9.03

Tabel 6. Nilai Rata-rata Hasil Uji Tarik

Variasi Spesimen	Tegangan σ (Mpa)	Modulus Elastisitas E (Gpa)
Raw Material	405.76	0.63
650°	395.14	2.92
850°	876.39	9.18



Gambar 8. Diagram rata-rata tegangan tarik

3.2. Uji Puntir

Hasil pengujian punter dari 3 spesimen didapatkan nilai tegangan geser baja AISI dengan perlakuan *quenching* ditunjukkan pada tabel 8. Standar deviasi tegangan geser untuk *raw material*, 650 dan 850 adalah 35.15, 37.39, dan 15.87. Dengan standar deviasi ini, didapatkan data hasil pengujian yang masuk dalam kriteria standar deviasi dan kemudian dapat dihitung dan digunakan untuk mendapatkan rata-rata nilai dari hasil yang didapatkan.

Tabel 9 menunjukkan nilai rata-rata dari hasil pengujian tabel 8. Nilai rata-rata yang dihitung adalah tegangan puntir dan modulus geser.

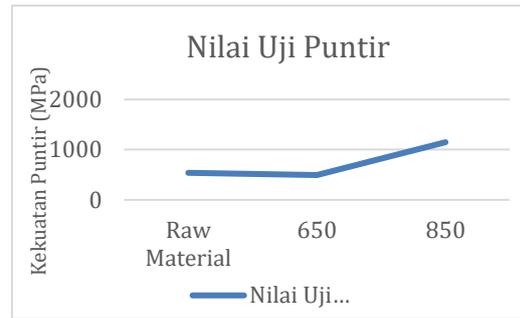
Gambar 9 menunjukkan bahwa nilai tegangan geser pada 650 menunjukkan penurunan sebesar 7% dari tegangan geser *raw material* dan suhu 850 menunjukkan kenaikan tegangan puntir sebesar 114% dari tegangan geser *raw material*. Dari data tersebut tegangan geser terbesar didapatkan dari hasil *quenching* pada suhu 850.

Tabel 7. Data hasil pengujian puntir

Spesimen	σ_g (Mpa)	Standar Deviasi	Sudut Max. ($^\circ$)	G (GPa)
Raw material	479.21	35.15	1800	0.69
	548.50		1440	0.98
	524.10		1080	1.25
650 $^\circ$	497.75	37.39	1630	0.79
	489.94		1890	0.67
	429.43		1080	1.03
850 $^\circ$	1122.38	15.87	540	5.36
	1153.61		240	12.39
	1142.87		360	8.19

Tabel 8. Data Rata-rata Hasil Pengujian Puntir

Variasi Spesimen	Sudut Putar ($^\circ$)	Max Force (KG)	Modulus Geser G (Gpa)
Raw Material	1440	5.3	0.02
650 $^\circ$	1533.33	4.84	0.02
850 $^\circ$	380	11.67	0.19



Gambar 9. Diagram rata-rata tegangan puntir

3.3. Uji Kekerasan

Hasil pengujian kekerasan dari 3 spesimen didapatkan nilai kekerasan AISI 1045 dengan *quenching* pada suhu 650 dan 850 ditunjukkan pada tabel 10. Dari data tabel 10, didapatkan angka standar deviasi kekerasan material untuk *raw material*, 650 dan 850 sebesar 7.64, 4.25, dan 29.20. Standar deviasi tersebut didapatkan data hasil pengujian yang masuk dalam kriteria standar deviasi yang kemudian dapat dihitung dan digunakan untuk mendapatkan nilai rata-rata dari hasil yang didapatkan.

Tabel 11 menunjukkan nilai rata-rata dari hasil pengujian yang masuk kriteria standar deviasi dari tabel 10. Nilai rata-rata yang dihitung adalah angka kekerasan.

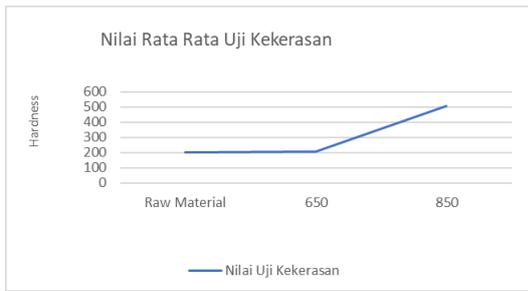
Gambar 10 menunjukkan bahwa nilai kekerasan pada suhu 650 naik 1.8% dari *raw material* dan suhu 850 naik 149% dari *raw material*. Hal tersebut menunjukkan kenaikan angka kekerasan tertinggi terjadi pada material yang mengalami *quenching* pada suhu 850.

Tabel 9. Data hasil pengujian kekerasan

Spesimen	D (mm)	D1 (mm)	D2 (mm)	Kekerasan (HV)
Raw material	1.04691	0.53020	0.51671	206
	1.03085	0.52305	0.5078	213.92
	1.07258	0.54131	0.53127	198.64
650 $^\circ$	1.04708	0.53397	0.51311	206
	1.05318	0.54100	0.51218	206
	1.05859	0.53901	0.52958	198.64
850 $^\circ$	0.67178	0.28946	0.38232	505.63
	0.64426	0.35720	0.28706	556.2
	0.59231	0.30703	0.28528	505.63

Tabel 10. Data rata-rata hasil pengujian kekerasan

Variasi Spesimen	Kekerasan (HV)
Raw Material	202.32
650 $^\circ$	206.00
850 $^\circ$	505.63



Gambar 10. Diagram rata-rata angka kekerasan

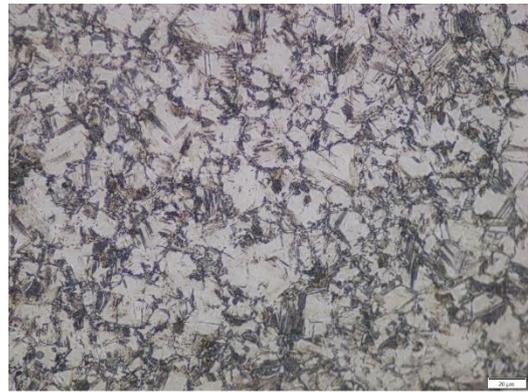
3.4. Uji Mikrografi

Setelah proses *quenching* dilakukan pengamatan struktur mikro terhadap spesimen pengujian. Struktur mikro baja AISI 1045 pada *raw material* merupakan struktur mikro padalam kondisi tempratur kamar dengan keadaan normal. Sesuai dengan foto struktur mikro pada spesimen ini terdiri dari dua fasa, yaitu perlit dan *proeutectoid*. Perlit berwarna gelap dan *proeutectoid* berwarna terang. Perlit sendiri merupakan susunan karbida (Fe_3C) dan euctectoid.

Struktur mikro yang terbentuk setelah dilakukan *quenching* ditunjukkan dengan bentuk sturuktur mikro yang memiliki fasa matersit yaitu seperti jarum dan fasa austenite sista dan fasa ferit yang berwarna terang tersebar merata. Gambar sturuktur mikro spesimen pengujian dapat dilihat pada gambar 11 – 13. Gambar 11 menunjukkan spesiman dalam kondisi *raw material* dimana struktur mikro masih belum tersebar merata. Gambar 12 menunjukkan spesimen setelah dilakukan *quenching* pada suhu 650, gambar tersebut menunjukan sebaran yang mulai merata jika dibandingkan dengan *raw material*. Gambar 13 menunjukkan struktru mikro setelah dilakukan *quenching* pada suhu 850, gambar tersebut menunjukkan sebaran struktur mikro yang lebih merata jika dibandingkan dengan *raw material* dan *hasil quenching pada suhu 650*.



Gambar 11. Struktur mikro *raw material*



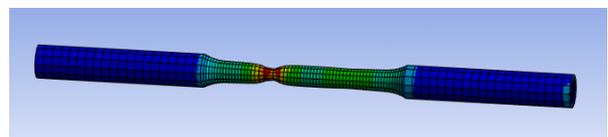
Gambar 12. Struktur mikro hasil *quenching* 650



Gambar 13. Struktur mikro hasil *quenching* 850

3.5. Simulasi FEM

Setelah proses simulasi FEM didapatkan hasil yang kemudian dibandingkan dengan hasil *experimental*. Tabel 12 menunjukkan perbandingan tegangan tekuk dan puntir *raw material* baja AISI 1045. Pada tabel tersebut didapatkan nilai perbedaan tegangan kurang dari 5% sehingga hasil tersebut dapat dianggap sesuai dan dapat digunakan sebagai acuan pengujian material sejenis dengan variasi lainnya. Hasil pengujian tarik dapat dilihat pada gambar 14. Dari gambar terlihat letak tegangan terbesar pada titik material plastis atau patah.



Gambar 14. Simulasi pengujian tarik

Tabel 11. Perbandingan *experimental* dan FEM

Variasi Spesimen	Tegangan Tarik (N/mm ²)	Tegangan Puntir (N/mm ²)
<i>Experimental</i>	405.76	517.26
FEM	416	519.21
Error	2.46%	0.38%

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian pengujian AISI 1045 dengan proses quenching suhu 650 dan 850 didapatkan nilai rata-rata tegangan tarik sebesar 405.76 Mpa, 395.14 Mpa, dan 876.3 Mpa untuk masing masing spesimen *raw material* dan suhu *quenching* pada pengujian Tarik yang menunjukkan bahwa nilai tertinggi pada pengujian ini yaitu pada suhu 850. Tegangan geser didapatkan 517.26 Mpa, 472.37 Mpa, dan 1139.62 Mpa untuk masing-masing *raw material* dan suhu *quenching* pada pengujian puntir menunjukkan bahwa nilai tertinggi pada pengujian ini yaitu pada suhu 850. Angka kekerasan didapatkan 202.32 VN, 206 VN, dan 505.63 NV untuk masing-masing *raw material* dan suhu *quenching* dari hasil uji kekerasan yang dimana menunjukkan bahwa nilai tertinggi pada pengujian ini yaitu pada suhu 850. Hasil pengujian mikrografi menunjukkan proses *quenching* menyebabkan sebaran struktur mikro menjadi lebih merata setelah dilakukan *quenching* ditunjukkan dengan bentuk sturur mikro yang memiliki fasa matersit yaitu seperti jarum dan fasa austenite sista dan fasa ferit yang berwarna terang tersebar merata dari *raw material* dimana struktur mikro masih belum tersebar merata. Dan di suhu 650 menunjukkan sebaran yang mulai merata jika dibandingkan dengan *raw material*. dan pada suhu 850 menunjukkan sebaran struktur mikro yang lebih merata jika dibandingkan dengan *raw material* dan *hasil quenching pada suhu 650*. Hasil simulasi FEM mendapatkan *mesh* dan *setup* yang sesuai dengan kondisi *experimental* yang dapat digunakan sebagai acuan pengujian *computational* pada material sejenis. Dari keseluruhan hasil pengujian baik tarik, pengujian puntir, uji kekerasn dan struktur mikro menunjukkan bahwa nilai kenaikan tertinggi pada pengujian ini adalah di suhu 850.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Avner, (1974). *Introduction of Physical Metallurgy*. Mc Graw-hill. <https://doi.org/10.1017/cbo9781139481373>. 014
- [2] B. Bahtiar, M. Iqbal, & S. Supramono. (2014). Pengaruh Media Pendingin Minyak Pelumas Sae 40 Pada Proses Quenching Dan Tempering Terhadap Ketangguhan Baja Karbon Rendah. *Jurnal Mekanikal*, 05(01), 455–463.
- [3] Y. Handoyo, (2015). Pengaruh Quenching

Dan Tempering Pada Baja Jis Grade S45C. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 3(2), 102–115.

- [4] M. Anggun. (2016). Pengaruh Heat Treatment dengan Variasi Media Quenching Air dan Oli terhadap Struktur Mikro dan Nilai Kekerasan Baja Pegas Daun AISI 6135. *Jurnal Teori Dan Aplikasi Fisika*, 4(02), 195–200. <https://jurnal.fmipa.unila.ac.id/jtaf/article/view/1334>
- [5] S. Ngalambang, M. Akhyarsyah, & C. Ruskandi. (2014). Pengaruh Proses Spray Quenching Terhadap Nilai Kekerasan Dan Laju Keausan Material Creusabro 8000 Dan Aisi 4140 Pada Komponen Bucket Teeth. *Jurnal Polman Bandung*, 1.
- [6] D. Payana, I. M. Widiyarta, & M. Sucipta, (2018). Kekerasan Baja Karbon Sedang dengan Variasi Suhu Permukaan Material. *Jurnal Mektek*, 4(2), 43. <https://doi.org/10.24843/mettek.2018.v04.i02.p02>
- [7] A. Pramono, (2012). Karakterisrik Mekanik Proses Hardening Baja Aisi 1045 Media Quenching Untuk Aplikasi Sprochet Rantai. *Jurnal Energi Dan Manufaktur*, 5(1), 32–38.
- [8] A. Muhammad, "Mengidentifikasi Masalah Mekanis Dan Kerusakan Gearbox Mesin Induk Pada Kapal Tunda Sei Deli II PT PELINDO 1 (PERSERO) Cabang Dumai," 2020.
- [9] D. Payana, "Kekerasan Baja Karbon Sedang dengan Variasi," *Kekerasan Baja Karbon Sedang dengan Variasi*, p. 44, 2018.
- [10] S. Nugroho, "PENGARUH MEDIA QUENCHING AIR TERSIRKULASI (CIRCULATED WATER)," *PENGARUH MEDIA QUENCHING AIR TERSIRKULASI (CIRCULATED WATER)*, p. 23, 2005.
- [11] S. S. Wahyuni, S. Ajat, and L. K. Rezki, "Rancang Bangun Load Cell Kapasitas 20 kN Untuk Beban Kerja Tarik dan Tekan," *J. Ilm. GIGA*, vol. 21, no. 1, pp. 15–23, 2018.