

ANALISA TEMPERATUR TEMPER TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT MEKANIK BAJA KARBON SEDANG S45C UNTUK JIG

Daniel Partomuan¹, Budiarto^{2*}, Dikky Antonius³
^{1,2,3}Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, UKI, Jakarta.
*Corresponding Author: budiarto@uki.ac.id
Email : dikkyantonius@uki.ac.id, dpartomuan@gmail.com,

ABSTRACT

To choose the right heat treatment process for industrial applications of S45C medium carbon steel, it is necessary to know the influence of technological parameters during the heat treatment process such as heating temperature, holding time and cooling medium on the microstructure and mechanical properties. This research aims to analyze the effect of tempering temperature on the microstructure and mechanical properties of S45C medium carbon steel as a JIG material. Using an experimental method, in the form of heat treatment in the austenite phase at a temperature of 825OC, holding time 30 minutes, rapid dipping in oil media, and continued with varying tempering temperatures of 200OC, 250OC, and 300OC and a holding time of 30 minutes. Testing of crystal size, dislocation density, and lattice microstrain using an X-ray diffractometer (XRD) was calculated using the Derby Scherrer equation, and hardness testing using the Brinell scale. The results of microstructural analysis show that the average crystal size increased significantly after the heating process starting from the austenite phase, dipping quickly in oil and tempering. However, the dislocation density and lattice microstrain decreased. The hardness and tensile strength test results show an increase with added tempering temperature.

Keywords: dislocation density, medium carbon steel S45C, temper, XRD, hardness

INTISARI

Untuk memilih proses perlakuan panas yang tepat untuk aplikasi industri baja karbon medium S45C, perlu diketahui pengaruh parameter teknologi selama proses perlakuan panas seperti suhu pemanasan, waktu penahanan dan media pendingin terhadap struktur mikro dan sifat mekanik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh temperatur temper terhadap struktur mikro dan sifat mekanik pada baja karbon sedang S45C sebagai material JIG. Menggunakan metode eksperimen, berupa perlakuan panas pada fasa austenit temperatur 825OC waktu penahanan 30 menit, dicelup cepat pada media oli, dan dilanjutkan variasi temperatur temper 200 OC, 250 OC, dan 300 OC serta waktu tahan 30 menit. Pengujian ukuran kristal, kerapatan dislokasi, dan regangan mikro kisi menggunakan difraktometer sina-X (XRD) dihitung menggunakan persamaan Derby Scherrer, dan uji kekerasan dengan skala Brinell. Hasil analisa struktur mikro menunjukkan bahwa rerata ukuran kristal mengalami kenaikan yang signifikan setelah proses pemanasan mulai dari fase austenit, dicelup cepat media oli dan ditemper. Namun untuk kerapatan dislokasi dan regangan mikro kisi mengalami penurunan. Hasil uji kekerasan dan kuat tarik memperlihatkan kenaikan dengan temperatur temper ditambahkan.

Kata Kunci : kerapatan dislokasi, baja karbon sedang S45C , temper, XRD, kekerasan

PENDAHULUAN (INTRODUCTION)

Kebanyakan logam yang digunakan dalam pembuatan bahan struktural dan mekanik adalah bentuk polikristalin. Sifat mekaniknya bergantung pada beberapa skala fitur seperti tekstur kristal, ukuran butir, dan kepadatan dislokasi. Struktur mikro dapat di analisa dengan bantuan alat mikroskop optik dan mikroskop elektron pemindaian biasanya digunakan untuk mempelajari fitur berskala relatif besar.

Struktur mikro yang ditinjau pada struktur kristal dapat dianalisa dengan menggunakan difraktometer sinar-X (XRD), dimana profil puncak difraksi dihasilkan terukur yang menunjukkan dua jenis

pelebaran: pelebaran fisik akibat regangan tak homogen dan pelebaran instrumental akibat sistem pengukuran. Perluasan instrumental harus dihilangkan dari profil garis yang diukur untuk menentukan kepadatan dislokasi intrinsic, regangan mikro kisi, dan ukuran kristalit dengan bantuan persamaan Derby Scherrer. Dalam penelitian ini, perluasan instrumental dihilangkan dengan menggunakan fungsi Voigt. Profil terukur dipasang dengan fungsi Voigt, dan kemudian lebar penuh setengah maksimal (FWHM) dari profil instrumental dikurangi dari profil difraksi terukur. Unsur Fe dan Cu, bagaimanapun, tidak dapat dianalisis dengan metode tersebut karena anisotropinya. Akibatnya, meskipun baja merupakan material struktural dan mekanis yang paling umum digunakan, baja jarang dievaluasi menggunakan analisis profil garis.

Baja karbon sedang telah banyak digunakan sebagai material struktural untuk industri otomotif seperti bahan cranshaf, pembuatan kapal, dan konstruksi karena keseimbangan yang sangat baik antara kekuatan, dan keuletan serta kekerasannya. Quenching merupakan sebuah proses perlakuan panas terhadap material baja tersebut dipanaskan pada suhu tertentu dan tergantung pada kandungan karbon dan fasa yang dimiliki oleh material baja tersebut, selanjutnya setelah mencapai suhu ditentukan serta ditahan selama waktu yang ditentukan, kemudian material baja tersebut di dinginkan secara kejut menggunakan media quench seperti air garam, oli dan air. Di antara baja karbon grade sedang, baja grade S45C (JIS) atau AISI 1045 (ASTM) merupakan baja berkualitas baik dengan kandungan karbon sekitar 0,45%. Baja tipe-S45C memiliki sifat mekanik yang baik seperti kekuatan yang dapat diterima, kekerasan, dan keuletan yang baik (Ibrahim & Sayuti, 2015). Selain itu, dapat mencapai kekerasan dan yang diinginkan peningkatan kekuatan melalui proses perlakuan panas karena efisiensi perlakuan panasnya yang tinggi. Oleh karena itu, baja ini cocok untuk pemrosesan mekanis serta pembuatan bagian-bagian mesin seperti ulir, baut, poros, roda gigi, flensa baja, sabit, lubang, bor, dan pisau, dan lain-lain.

Tempering merupakan suatu proses panas yang bertujuan untuk menurunkan kekerasan pada suatu material baja, mengurangi tegangan dalam yang dapat menyebabkan material baja tersebut bersifat rapuh dan merubah struktur kristal material baja sehingga dapat bersifat lunak. sehingga material baja tersebut memiliki sifat kombinasi antara kekerasan, kekuatan, keuletan, keliatan, dan berstruktur kristal stabil. Melalui sebuah proses tempering, kegetasan dan kekerasan dapat diturunkan sampai memenuhi persyaratan penggunaan. Kekuatan tarik turun, kekerasan akan turun pula sedang keliatan dan ketangguhan material baja meningkat. yang telah dikeraskan pada kondisi suhu di bawah suhu kritis, disusul dengan pendinginan pada suhu kamar. Parameter penting lainnya dari perlakuan panas adalah waktu pemaparan. Selama waktu penahanan pada suhu tertinggi perlakuan panas, belum terjadi transformasi fasa baru. Namun, tahap ini diperlukan untuk meratakan suhu antara inti dan permukaan spesimen, sehingga transformasi fasa yang sama dapat terjadi di dalam inti seperti halnya di permukaan. Selain itu, untuk menyelesaikan transformasi fase, waktu penahanan perlu mencapai tingkat tertentu. Di sisi lain, jika waktu penahanan terlalu lama, fase austenitik mungkin menjadi lebih besar, menyebabkan baja menjadi lebih rapuh. Oleh karena itu, waktu tunggu harus diperhitungkan dengan cermat. Waktu penahanan panas tergantung pada ukuran dan bentuk spesimen, suhu pemanasan, perlakuan panasm metode, dan kualitas baja (Bouissa et al., 2019)

Austenit fase suhu tinggi dalam baja dapat berubah menjadi berbagai fase seperti perlit kasar, bainit, atau martensit tergantung pada laju pendinginan (Schindler et al., 2006). Fase-fase ini akan sangat mengubah sifat mekanik baja setelah proses perlakuan panas (Jo et al., 2020). Oleh karena itu, tahap ini menjadi sangat penting dan perlu dikaji secara matang.

BAHAN DAN METODE (MATERIALS AND METHODS)

Pelaksanaan percobaan dimulai dengan pembuatan sampel uji material baja karbon sedang S45C dengan memotting, ukuran : diameter 12 mm x tebal 10 mm ini dilakukan di laboratorium Teknik Mesin, Fakultas Teknik, UKI, Jakarta.

Bahan yang digunakan : Baja karbon sedang S45C dan bahan metalografi lengkap.

Peralatan yang digunakan : -alat pemanas/tungku, -alat metalografi lengkap, -alat difraktometer sinar-X, -alat Uji Kekerasan skala Brinell.

CARA PERCOBAAN

Untuk pengujian kekerasan dan struktur kristal dilakukan di Pusat Terpadu Laboratorium UI di Depok. Pengerjaan perlakuan panas solid solidification sampel uji dari material baja karbon sedang S45C pada temperatur 825°C ditahan selama 30 menit, dilanjutkan proses quenching dengan media oli. Proses selanjutnya tempering pada variasi temperatur 200°C, 250°C dan 300°C ditahan masing-masing selama 30 menit. Langkah berikutnya dilakukan pengujian kekerasan dengan skla Brinell dan struktur kristal (ukuran kristal, kerapatan dislokasi, dan regangan mikro kisi).

CARA MENGHITUNG HASIL XRD

Kepadatan struktur kristal dapat ditentukan melalui difraksi sinar-X dengan membandingkan nilai jarak bidang kristal (d) dan intensitas puncak difraksi dengan data referensi.

Dengan membandingkan puncak data pada grafik dengan yang ada di database ICDD, dimungkinkan untuk menentukan puncak grafik XRD dari data yang diterima dari temuan XRD. Teknik analisis Rietveld yang diidentifikasi dalam perangkat lunak RIETAN kemudian digunakan untuk menyempurnakan data XRD. Fasa yang terkandung dalam sampel, bersama dengan strukturnya, kelompok ruang, dan parameter kisi, diketahui sebagai hasil penyempurnaan ini.

Pernyataan ini dinamakan hukum Bragg untuk difraksi kristal (Murtiono, 2012), secara matematis dapat dituliskan dalam bentuk persamaan dibawah ini:

$$d_{hkl} = a / (h^2+k^2+l^2)^{1/2} \dots\dots\dots(1)$$

- dimana: a = parameter kisi
- hkl = indeks miller bidang
- d_{hkl} = jarak antar bidang

Puncak difraksi sinar-X dari pola difraktogram digunakan untuk menghitung dan menilai ukuran/diameter kristalit menggunakan metode persamaan Debye Scherrer (Purnomo et al., 2019) yaitu:

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos\theta} \dots\dots\dots(2)$$

Rumus untuk menentukan nilai regangan kisi:

$$\varepsilon = \frac{\beta}{4\tan\theta} \dots\dots\dots(3)$$

Rumus untuk menentukan nilai kerapatan dislokasi:

$$\rho = \frac{1}{D^2} \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan:

- D = Diameter kristalit(Å)
- θ = Sudut difraksi(derajat)
- ρ = Kerapatan Dislokasi (garis/mm²)
- λ = 1,54056 Å (Panjang gelombang dari sinar-X)
- K = 0,9-1 (Faktor bentuk dari kristal)
- ε = Regangan Kisi
- β = Nilai dari FWHM (rad)

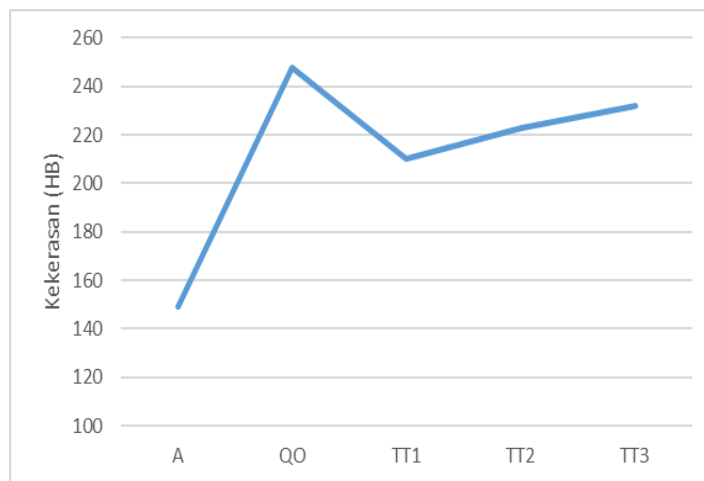
HASIL DAN PEMBAHASAN (RESULT AND DISCUSSIONS)

Hasil pengujian kekerasan skala Brinell dan kekuatan tarik serta pengujian struktur mikro atau struktur kristal dengan alat difraktometer sinar-X dari sampel uji material baja karbon sedang S45C dapat dilihat pada Gambar 1, 2, 3, 4, 5, dan 6 di bawah ini.

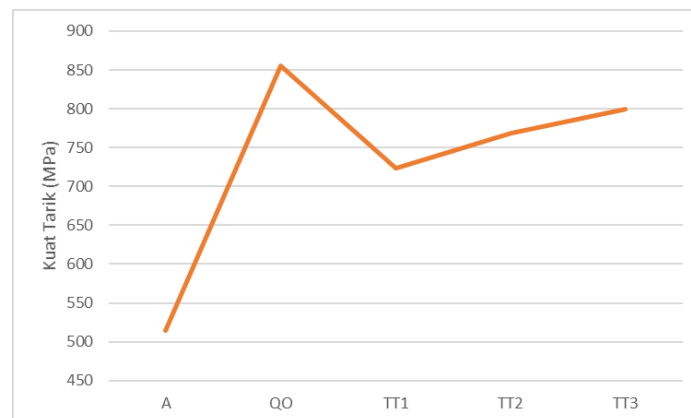
Pengaruh Variasi Temperatur Temper terhadap Kekerasan dan Kuat tarik Baja Karbon sedang S45C

Tabel 1. Hasil pengujian kekerasan dan kekuatan tarik baja karbon sedang S45C

Nama Sampel	Pengujian	
	Kekerasan (HB)	Kuat Tarik (MPa)
1. Baja S45C-Asli (A)	151	521
2. Baja karbon sedang S45C Quenching-Oli (QO)	251	866
3. Suhu Temper 200 ^o C, TT1	216	745
4. Suhu Temper 250 ^o C, TT2	222	766
5. Suhu Temper 300 ^o C, TT3	239	826



Gambar 1. Grafik hubungan kekerasan terhadap temperatur temper baja karbon sedang S45C a).A asli, b) *Quenching-Oli* c).200^oC, d).250^oC, dan e). 300^oC.

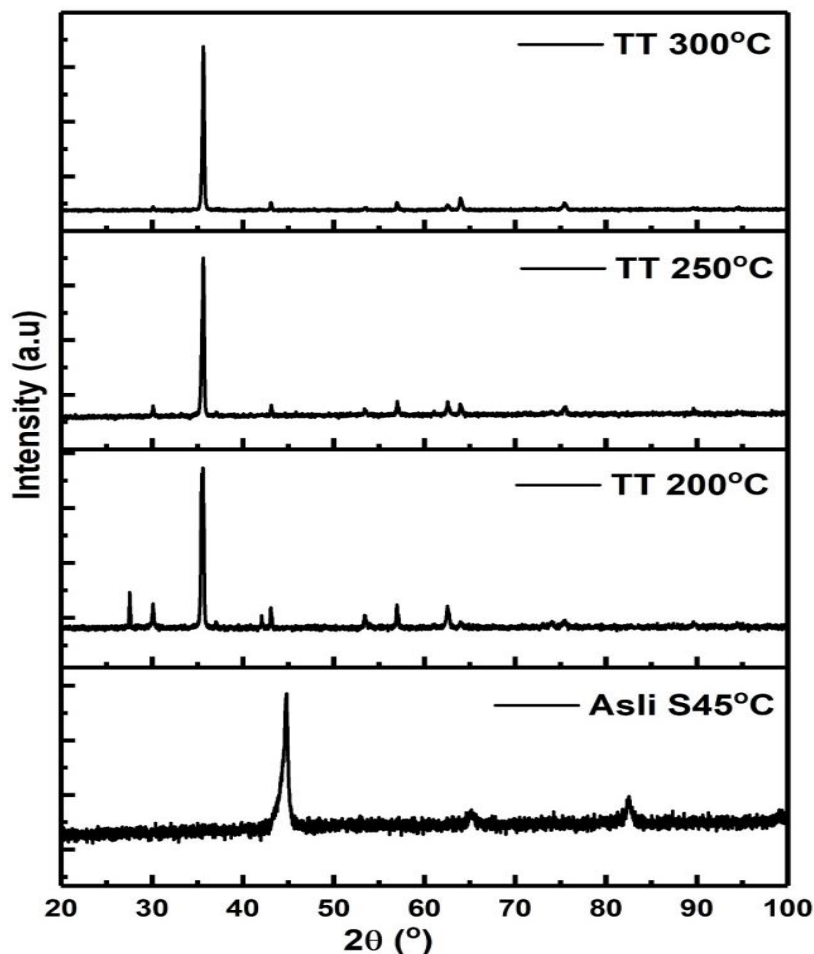


Gambar 2. Grafik hubungan kekuatan tarik terhadap temperatur temper baja karbon sedang S45C a) A Asli, b) *Quenching-Oli* c).200^oC, d).250^oC, dan e).300^oC.

Hasil pengujian dari gambar 1, dan Tabel 1 menunjukkan nilai kekerasan tanpa perlakuan panas adalah 151 HB. Selanjutnya dilakukan perlakuan panas fase austenit temperatur 825 °C selama 30menit dan celup cepat(quenching) di media oli adalah 231 HB. Peningkatan kekerasan ini disebabkan telah terjadi perubahan fasa dari fasa *austenite* dengan bentuk kristal *face centre cubic* (FCC) menjadi fasa *martensite* dengan bentuk kristal *body centre tetragonal* (BCT) dan tegangan sisa. Setelah dilakukannya proses *temper* dengan variasi temperatur *temper* 200°C dengan waktu penahanan 1 jam, terjadi penurunan

kekerasan menjadi 216 HB. Hal ini disebabkan telah berubah fasa martensit menjadi fasa bainit dan fasa ferit. Pada temperatur *temper* 250°C terjadi sedikit kenaikan kekerasan menjadi 222 HB. Demikian juga pada temperatur *temper* 300°C dengan waktu penahanan 1 jam, terjadi peningkatan kekerasan menjadi 239 HB. Apabila ada penambahan unsur Cr dan Mo menyebabkan terbentuknya endapan karbida-logam di dalam martensit *lath* sehingga kekerasannya menjadi meningkat, karena endapan tersebut menghalangi gerakan. Kemungkinan yang lain disebabkan peningkatan relaksasi struktur martensit menjadi martensit temper dan pembesaran ukuran karbida (*coarsening*), serta dapat menyebabkan dekomposisi fasa martensit menjadi ferit dan karbida. Proses tempering bertujuan untuk meningkatkan keuletan sebagai akibatnya kekerasan turun namun diimbangi dengan pembentukan karbida-logam, sehingga merubah fasa martensit menjadi martensit temper berbentuk *lath* (karbida+ferit)

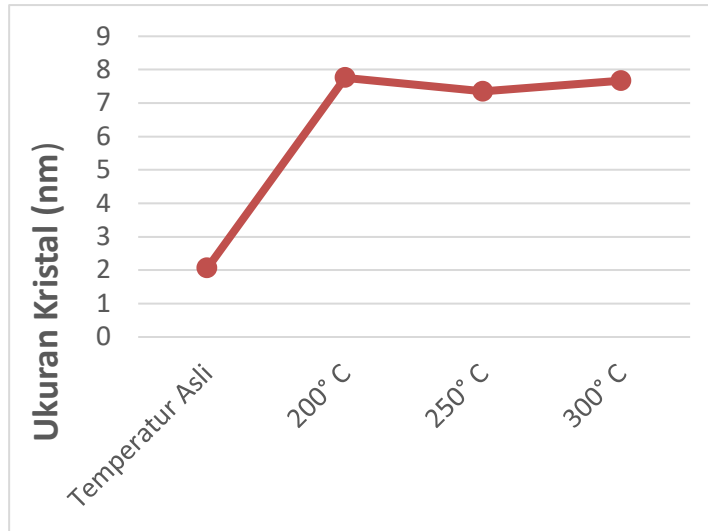
B. Pengaruh Variasi Temperatur *Tempering* terhadap Ukuran Kristal, kerapatan dislokasi, Regangan mikro kisi Baja NAK80.



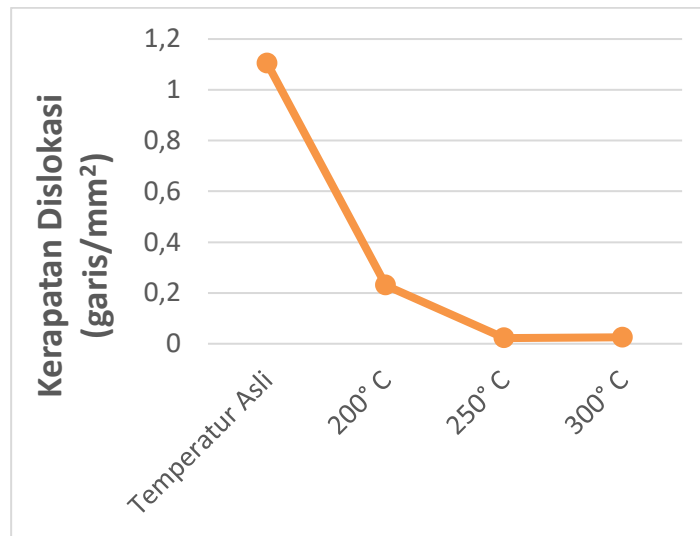
Gambar 3. Difraktogram sinar-X dari baja karbon sedang S45C pada temperatur temper a) A Asli, b).200 °C, c) 250 °C, dan d) 300 °C

Tabel 2. Data ukuran Kristal, kerapatan dislokasi, dan Regangan mikro kisi baja karbon sedang S45C

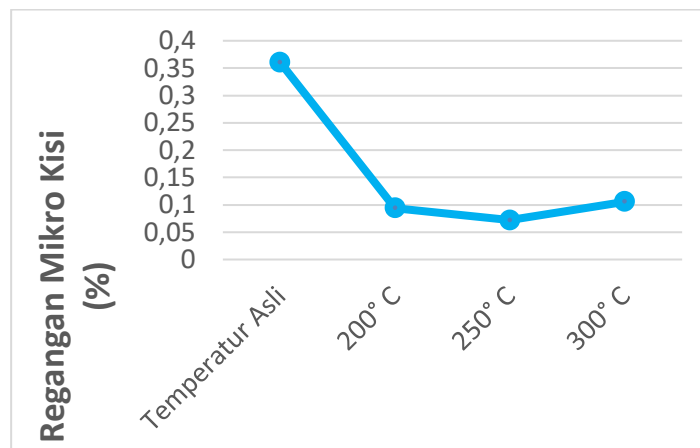
No.	Kondisi Pemanasan	D (nm)	ρ (1/mm ²)	ε (%)
1.	Asli (Tanpa pemanasan)	2,055	1,1037	0,3603
2.	Suhu temper 200 °C	7,756	0,2296	0,0940
3.	Suhu temper 250 °C	7,352	0,0223	0,0721
4.	Suhu temper 300 °C	7,670	0,0247	0,1059



Gambar 4. Grafik hubungan ukuran kristal terhadap temperatur temper baja karbon sedang S45C a) A Asli, b).200 °C, c) 250 °C, dan d) 300 °C



Gambar 5. Grafik hubungan kerapatan dislokasi terhadap temperatur temper baja karbon sedang S45C a) A Asli, b).200 °C, c) 250 °C, dan d) 300 °C



Gambar 6. Grafik hubungan regangan mikro kisi terhadap temperatur temper baja karbon sedang S45C a) A Asli, b).200 °C, c) 250 °C, dan d) 300 °C

Dari Tabel 2, menunjukkan data hasil pengujian sampel baja karbon sedang S45C material asli (belum diperlakukan pemanasan) diperoleh rerata ukuran kristal 9,82 Å, rerata regangan mikro kisi 0,128 dan rerata kerapatan dislokasinya 0,028 1/mm². Pada Tabel 3, 4, dan 5 data hasil setelah proses *quenching* dan dilanjutkan temper pada temperatur 350 °C dan 400 °C rerata ukuran kristal meningkat secara signifikan sekitar 3 kali lipat menjadi 25,82 Å dan 31,74 Å, kemudian berkurang ukuran kristal 18,11 Å pada temperatur temper 450 °C. Namun untuk rerata regangan mikro kisi (ϵ) dan rerata kerapatan dislokasi (ρ) mengalami penurunan yang signifikan dibandingkan sampel asli (belum perlakuan panas) dari $\epsilon = 0,182$ menjadi $\epsilon=0,029$, $\epsilon=0,07$, dan $\epsilon =0,054$. Juga untuk rerata kerapatan dislokasi dari $\rho = 0,028$ 1/mm², menjadi $\rho = 0,0061$ /mm², $\rho = 0,007$ 1/mm², dan $\rho =0,018$ 1/mm². Hal ini disebabkan telah terjadi proses rekristalisasi dan regangan makro kisi, terhadap baja NAK80 bahwa deformasi plastis terjadi melalui proses dislokasi slip dan *twin* (Siswanto et al., 2022). Selain itu selama proses *quenching* baja karbon sedang S45C mengalami pergeseran kisi kristal dan menghasilkan kristalit. Peneliti terdahulu mengatakan bahwa kerapatan dislokasi pada spesimen yang diquenching paling tinggi pada $9,7 \times 10^{15}$ m⁻², sedangkan kerapatan dislokasi menurun seiring dengan meningkatnya temperatur temper. Selain itu, rasio komponen dislokasi tepi dan sekrup masing-masing menurun tergantung pada peningkatan temperatur temper (Wardoyo, 2019).

Pada gambar 3, 4, 5, dan 6, menunjukkan grafik bahwa peningkatan temperatur pada temper mengakibatkan penyempitan puncak difraksi, dimana ditandai dengan kenaikan nilai FWHM. Hasil tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur temper mengakibatkan penurunan nilai rerata kerapatan dislokasi dan rerata regangan mikro kisi. Inilah sebabnya mengapa struktur mikro, terutama ferit bainitik, menjadi lebih kasar temperatur transformasi. Salah satu yang utama kontributor keuntungan ini adalah kerapatan dislokasi tinggi yang dihasilkan di dalamnya transformasi austenit menjadi bainit. Banyak dislokasi yang terjadi pada austenit dan bainit antarmuka, di bilah subunit bainit, antar subunit, dan bahkan antar bainit. Dislokasi berfungsi menahan pergerakan di dalam struktur mikro dan karenanya memperkuat baja. Semakin tinggi kepadatan dislokasi, semakin tinggi pula kekuatannya dari baja. Proses transformasi bainit merupakan proses dimana struktur FCC berada diubah menjadi struktur BCC. Dalam proses kimia dan fisik ini, bainit matriks fase atau agregat fase, yang sebagian besar terdiri dari α -ferit dengan sejumlah kecil karbida dan sisa austenit, akan diubah. ferit bainit pelat biasanya berinti pada batas austenit atau pada dislokasi di dalam induknya austenit dan tumbuh menjadi berkas bainit, yang merupakan kumpulan pelat ferit bainitik atau subunit. Proses yang terjadi di dalam austenit ini mengubah bentuk austenite karena deformasi plastis. Ada banyak penyebab kepadatan dislokasi yang lebih tinggi pada bainitik baja, seperti temperatur isothermal yang lebih rendah, pembentukan dingin atau pembentukan baja sebelumnya transmisi bainit, dan deformasi kisi, yang semuanya dapat meningkatkan kerapatan dislokasi. Dari sudut pandang struktur mikro, austenit FCC mengubah struktur dan membentuk ferit bainitik BCC selama transformasi fasa. Relaksasi dari deformasi plastis diakomodasi dalam deformasi bentuk ini dengan menyertainya transformasi displacive atau tanpa difusi, dan menghasilkan pembentukan kepadatan dislokasi tinggi.

KESIMPULAN (CONCLUSION)

Dari hasil perhitungan dan analisa disimpulkan sebagai berikut :

- (1) Hasil uji kekuatan tarik menunjukkan nilai kekuatan tarik meningkat dengan bertambahnya temperatur temper dari 514 MPa menjadi 800 MPa, hal ini dipengaruhi oleh proses *quenching* dan temper serta terbentuknya fasa martensit. Untuk kekerasan juga mengalami peningkatan dari 149 HB ke 248 HB setelah *quenching* dan di temper menjadi 210 HB.
- (2) Hasil pengujian struktur kristal memperlihatkan bahwa rerata ukuran kristal meningkat seiring bertambahnya temperatur temper dari 9,28 Å ke 31,74 Å, namun untuk rerata kerapatan dislokasi (ρ) mengalami penurunan dari 0,028 1/mm² menjadi 0,006 1/mm² dan sama untuk rerata regangan mikro kisi(ϵ) dari 0,182 menjadi 0,029.

DAFTAR PUSTAKA

- Bouissa, Y., Shahriari, D., Champliand, H., & Jahazi, M. (2019). Prediction of heat transfer coefficient during quenching of large size forged blocks using modeling and experimental validation. *Case Studies in Thermal Engineering*, 13. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2018.100379>
- Ibrahim, A., & Sayuti, M. (2015). Effect of Heat Treatment on Hardness and Microstructure of AISI . *Advanced Materials Research*, 1119(6).

- Jo, H., M, K., G.W, P., B.J, K., C.Y, C., H, P., S, S., W, L., Y.S, A., & J.B, J. (2020). Effects of cooling rate during quenching and tempering conditions on microstructures and mechanical properties of carbon steel flange. *Materials*, 13(18).
- Murtiono, A. (2012). Pengaruh Quenching Dan Tempering Terhadap Kekerasan Dan Kekuatan Tarik Serta Struktur Mikro Baja Karbon Sedang Untuk Mata Pisau Pemanen Sawit. *Jurnal E-Dinamis*, II(2).
- Purnomo, D. J., Jokosisworo, S., & Budiarto, U. (2019). Analisa Pengaruh Holding Time Tempering Terhadap Kekerasan, Keuletan, Ketangguhan dan Struktur Mikro Pada Baja ST 70. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 07(1).
- Schindler, I., M, J., E, M., & M, R. (2006). Influence of cold rolling and annealing on mechanical properties of steel QStE 420. *Journal of Achievements of Materials and Manufacturing Engineering*, 18, 1–2.
- Siswanto, B. D., Sebayang, M. D., & Maulana, S. A. F. (2022). Analisa Temperatur Sinter Terhadap Diameter kristallit, Kerapatan dislokasi, Regangan mikro Dan Struktur mikro Pada Material Katoda Baterai LiNi_{0,7}Fe_{0,2}Co_{0,1}O₂. *Journal Of Mechanical Engineering, Manufactures, Materials And Energy*, 6(1).
- Wardoyo, S. (2019). Pengaruh Variasi Temperatur Hardening Dan Tempering Paduan Almgisi-Fe12% Hasil Pengecoran Terhadap Kekerasan. *Jurnal ENGINE*, 2(1).