

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Spesimen Uji Material S45C

Spesimen pengujian adalah material baja S45C dengan ukuran yg telah dipotong. Setiap spesimen berbentuk bulat dengan diameter 16 mm dan tebal 3 mm. Sebelum pengujian pada material dilakukan, material S45C akan memlaui tahap *Heat Treatmet* terlebih dahulu yg pada tempratur 825°C dan di tahan selama 30 menit, lalu dilanjutkan dengan proses *Quenching* dengan media oli. Setelah proses *Quenching*, material akan di Tempering pada suhu 200°C, 250°C, 300°C ditahan selama 60 menit. Setelah semua selesai selanjutnya dilakukan pengujian kekerasan skala Brinell dan struktur kristal (ukuran kristal, kerapatan dislokasi, dan regangan mikro kisi).

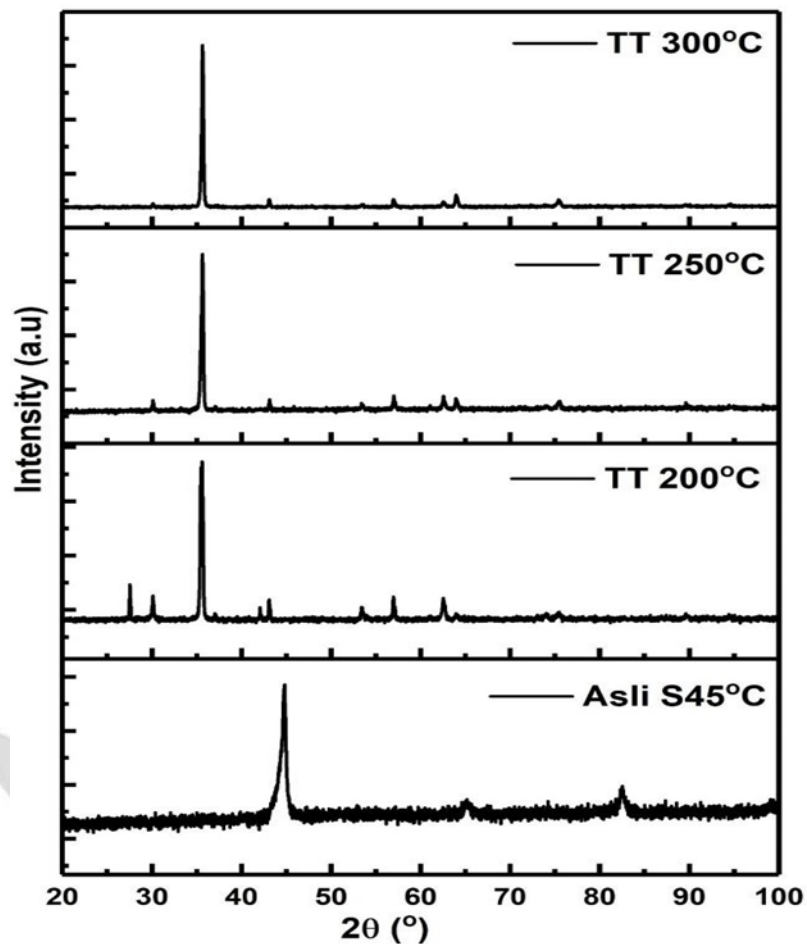
4.2 Pengujian XRD

Pada laboratorium Universitas Indonesia, dilakukan pengujian dengan metode *XRD (X-Ray Diffraction)* menggunakan alat difraktometer sinar-X. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mendapatkan data terkait hasil uji padasampel uji yang diuji. Dalam pengujian XRD, difraktogram sinar-X diambil dari beberapa sampel uji untuk menganalisis dimensi kristal, kerapatan dislokasi, dan deformasi kisi pada sampel-sampel tersebut. Data yang diperoleh dari pengujian ini nantinya akan digunakan untuk mengevaluasi sifat mekanik dari sampel uji sesuai dengan rancangan uji yang telah ditetapkan sebelumnya.

4.2.1 Data Hasil Pengujian XRD

Dalam pengujian ini, analisi dari sample uji sifat mekanik menghasilkan pola difraksi yang mengandung informasi krusialseperti dimensi kristal, kepadatan dislokasi, serta distorsi susunan mikrokristal. Informasi ini kemudian disajikan melalui sebuah tabel yang menggambarkan hasil difraksi dari pengujian sampel. Tabel tersebut menyampaikan data mengenai ukuran kristal, kerapatan dislokasi, dan regangan kisi mikro yang diperoleh dari difraktogram yang dihasilkan melalui

proses heat treatment pada material baja S45C menggunakan metode difraksi sinar-X (XRD). Difraktogram tersebut memberikan gambaran mengenai sifat mekanik spesimen uji, dan tabel yang menyertainya menjelaskan hasil analisis data dari difraktogram tersebut.



Gambar 4. 1 Data Hasil Pengujian XRD

4.2.2 Analisa Hasil Pengujian XRD

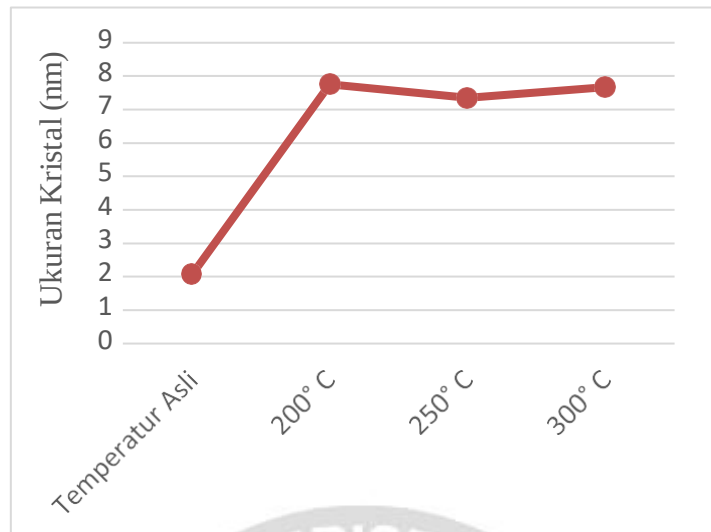
Berikut ini adalah tabel rata-rata pengaruh pada ukuran kristal, kerapatan dislokasi, dan regangan kisi mikro berdasarkan data hasil uji XRD pada material baja S45C sebelum perlakuan panas dan setelah dilakukan proses Tempering dengan variasi temperatur. Berikut ini adalah nilai yang didapat:

Tabel 4 1 Analisa Hasil Pengujian XRD

N0	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	0,0223	0,0940
3	Suhu temper 250 °C	7,352	0,0223	0,0721
4	Suhu temper 300 °C	7,670	0,0247	0,1059

Data eksperimen ini menunjukkan bagaimana perlakuan panas temper memengaruhi sifat-sifat material, khususnya pada baja (meskipun jenis baja tidak disebutkan, pola ini umum). Kita bisa melihat perubahan yang signifikan pada parameter D (ukuran kristalit), ρ (densitas dislokasi), dan ϵ (regangan), dibandingkan dengan kondisi asli (tanpa pemanasan).

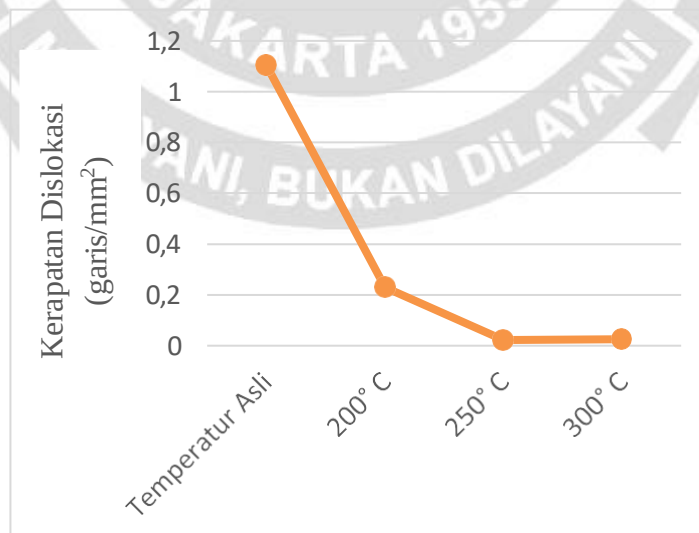
- Pada kondisi awal, material memiliki ukuran kristalit yang paling kecil (2,055 nm), densitas dislokasi yang tertinggi (1,1037 1/mm²), dan regangan yang relatif tinggi (0,3603%). Hal ini mungkin mengindikasikan material dalam kondisi yang lebih keras atau getas.
- Setelah perlakuan temper pada berbagai suhu (200, 250, dan 300 °C), terlihat perubahan drastis:
 - **Kristalit (D)**
Ukuran kristalit meningkat secara signifikan. Dari 2,055 nm pada kondisi asli, naik menjadi sekitar 7-8 nm setelah temper. Ini menunjukkan terjadinya pertumbuhan butir (grain growth) selama proses temper. Peningkatan ukuran butir ini umumnya berkorelasi dengan peningkatan keuletan dan penurunan kekerasan.



Grafik 4 1 Kristalit (D)

○ **Dislokasi (ρ)**

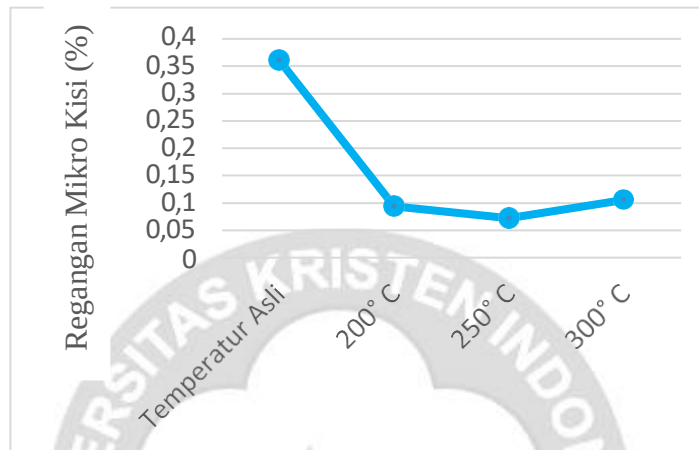
nilai ρ mengalami penurunan yang sangat signifikan setelah proses tempering. Pada kondisi awal tanpa pemanasan, nilai ρ sebesar 1,1037 ($1/\text{mm}^2$). Setelah dilakukan tempering pada suhu 200 °C dan 250 °C, nilai ρ turun drastis menjadi 0,0223 ($1/\text{mm}^2$), kemudian sedikit meningkat pada suhu 300 °C menjadi 0,0247($1/\text{mm}^2$).



Grafik 4 2 Dislokasi (ρ)

- **Regangan (ϵ)**

Regangan juga menunjukkan penurunan yang sangat signifikan setelah temper, dari 0,3603% menjadi di bawah 0,11%. Ini mengindikasikan bahwa material menjadi lebih stabil secara dimensi dan memiliki tegangan internal yang lebih rendah.



Grafik 4 3 Regangan (ϵ)

- **Perbandingan Suhu Temper:**

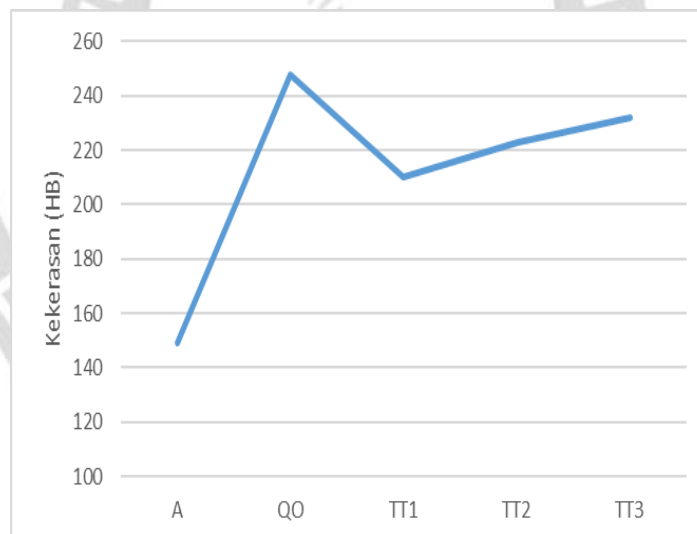
- Berdasarkan data pada Grafik 4.3, nilai regangan (ϵ) mengalami perubahan akibat proses tempering pada berbagai suhu. Pada kondisi awal tanpa pemanasan, nilai ϵ sebesar 0,3603%, yang merupakan nilai tertinggi dibandingkan sampel yang telah dipanaskan. Setelah dilakukan tempering pada suhu 200 °C, nilai ϵ menurun menjadi 0,0940%, kemudian kembali menurun pada suhu 250 °C menjadi 0,0721% sebagai nilai terendah. Hal ini menunjukkan bahwa proses tempering mampu mengurangi regangan atau tegangan sisa pada material sehingga struktur material menjadi lebih stabil
- Namun, pada suhu temper 300 °C nilai ϵ meningkat kembali menjadi 0,1059%. Kenaikan ini menunjukkan bahwa pada suhu yang lebih tinggi mulai terjadi perubahan struktur material yang dapat memunculkan regangan baru. Dengan demikian, suhu temper 250 °C dapat dianggap sebagai kondisi paling optimal karena

menghasilkan nilai regangan paling kecil dan kondisi material yang paling stabil.

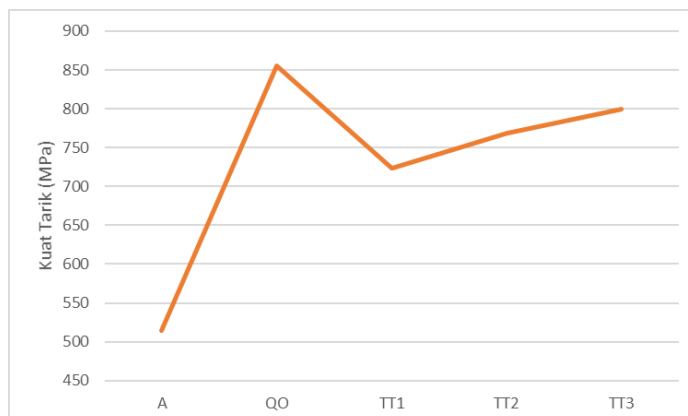
4.3 Kekerasan dan Kuat Tarik

Tabel 4 2 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 °C, TT1	216	745
4. Suhu Temper 250 °C, TT2	222	766
5. Suhu Temper 300 °C, TT3	239	826



Grafik 4 4 Grafik hubungan kekerasan terhadap temperatur temper baja karbon sedang S45C a).A asli, b) Quenching-Oli c).200 °C, d).250 °C, dan e). 300 °C.



Grafik 4 5 Grafik hubungan kekuatan tarik terhadap temperatur temper baja karbon sedang S45C a) A Asli, b) Quenching-Oli c).200 °C, d).250 °C, dan e).300 °C.

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 karbidalogam, sehingga merubah fasa martensit menjadi martensit temper berbentuk *lath* (karbida+ferit).

Secara keseluruhan, data ini secara jelas menggambarkan bahwa perlakuan panas temper efektif dalam meningkatkan kekuatan, memulihkan keuletan dan stabilitas material dengan mempromosikan pertumbuhan kristalit, mengurangi densitas dislokasi, dan menghilangkan regangan internal, yang merupakan hasil yang diharapkan dari proses temper.

Pada gambar diatas, menunjukan grafik bahwa peningkatan temperatur pada temper mengakibatkan penyempitan puncak difraksi, dimana ditandai dengan kenaikan nilai FWHM. Hasil tersebut menunjukan bahwa semakin tinggi temperatur temper mengakibatkan penurunan nilai rerata kerapatan dislokasi dan rerata regangan mikro kisi. Inilah sebabnya mengapa struktur kristal (ukuran Kristal dan kerapatan dislokasi), yang terbentuk fasa 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.

