

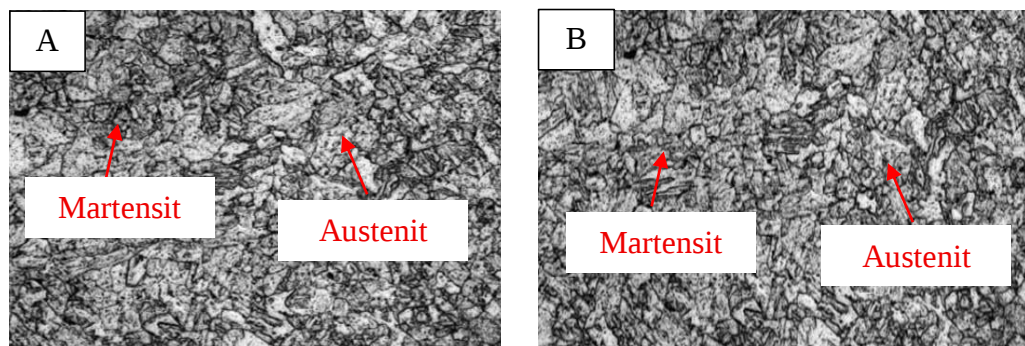
BAB IV

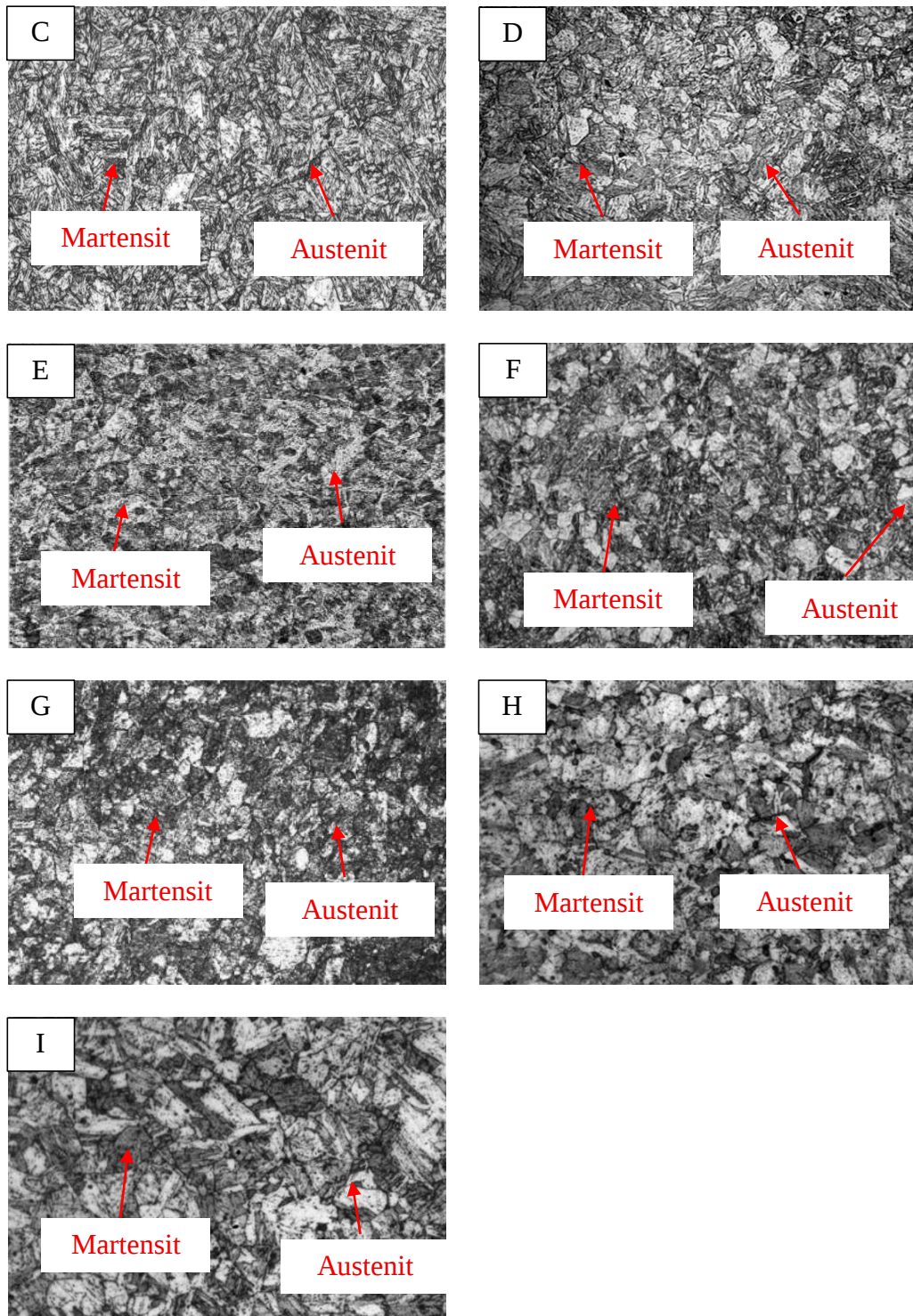
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Penelitian

4.1.1 Hasil pengamat metalografi

Pengamatan metalografi dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik untuk fasa yang didapatkan, bentuk struktur mikro, serta banyaknya fraksi volume fasa yang dihasilkan sebelum dan setelah proses quenching tempering pada temperatur 500, 600 dan 700°C dengan variasi waktu tahan selama 30, 45, dan 60 menit. Pengujian metalografi telah dilakukan dengan preparasi permukaan spesimen *grinding* dan *polishing*, lalu dilakukan penetsaan (etching) dengan pencelupan pada larutan etsa Nital 4% selama 10 detik serta menggunakan amplas dengan mesh 200-2000. Berikut ada data hasil metalografi setelah dilakukan perlakuan panas quenching tempering dapat dilihat pada gambar 4.1.





Gambar 4. 1 Hasi Metalografi Spesimen a) 530; b) 545 c) 560; d) 630; e) 645; f) 660; g) 730; h) 745; i) 760

4.1.2 Data hasil Perhitungan Fraksi Volume Martensit

Perhitungan fraksi volume martensit dilakukan dengan sampling menggunakan aplikasi *imageJ* melalui hasil mikroskop optik dan dibuat pada bentuk tabel sesuai dengan kode sampel diberikan. Hasil dari perhitungan tersebut dikonversikan dengan tabel pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Hasil Data Perhitungan Fraksi Volume Martensit

Kode Sampel	Temperatur Tempering (°C)	<i>Holding Time</i> (menit)	Fraksi volume martensit (%)
Tanpa <i>heat treatment</i>	-	-	-
530	500	30	62
545	500	45	63
560	500	60	65
630	600	30	70
645	600	45	74
660	600	60	75
730	700	30	80
745	700	45	82
760	700	60	87

4.1.3 Data hasil perhitungan ukuran butir

Perhitungan ukuran butir dilakukan dengan sampling menggunakan aplikasi *ImageJ* melalui hasil mikroskop optik dan dibuat pada bentuk tabel sesuai dengan kode sampel diberikan. Hasil dari perhitungan tersebut dikonversikan dengan tabel pada Tabel 4.2

Tabel 4. 2 Hasil Data Perhitungan Ukuran Butir

Kode	Temperatur	<i>Holding Time</i>	Ukuran Butir
Sampel	Tempering (°C)	(menit)	(µm)
530	500	30	4,638
545	500	45	6,375
560	500	60	7,357
630	600	30	7,552
645	600	45	8,059
660	600	60	8,097
730	700	30	8,234
745	700	45	13,298
760	700	60	14,395

4.1.4 Data hasil Pengujian Tarik

Hasil dari perlakuan panas *quenching tempering* dengan variasi temperatur dan waktu kemudian dilakukan pengujian tarik agar mendapatkan informasi mengenai nilai dari *tensile strength*, *yield strength*, dan elongasi. Data pengujian tarik disajikan dalam bentuk tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Hasil Data *Tensile Strength*, *Yield Strength*, dan elongasi

Kode Sampel	<i>Tensile Strength</i> (MPa)	<i>Yield Strength</i> (Mpa)	Elongasi (%)
Tanpa perlakuan panas	910	547	31
530	884	545	30
545	851	542	31
560	842	540	34
630	841	490	36
645	832	481	37
660	824	478	38
730	821	432	41
745	817	420	42
760	791	380	43

4.1.5 Data Hasil Kekerasan Permukaan

Tabel 4. 4 Hasil Data Perhitungan kekasaran permukaan

Hasil dari pengaruh perlakuan panas quenching tempering dengan variasi temperatur dan waktu terhadap kekasaran permukaan dapat dilihat tabel 4.4.

Kode Sampel	Kekasaran Permukaan (μm)
530	0,615830

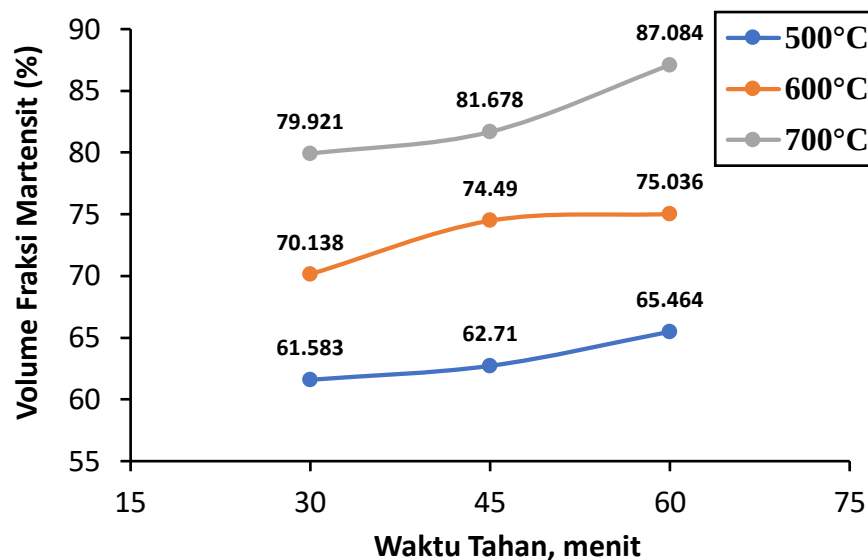
545	0,627100
560	0,654640
630	0,701380
645	0,744900
660	0,750360
730	0,799210
745	0,816780
760	0,870840

4.2 Pembahasan Hasil Penelitian

4.2.1 Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap Struktur Mikro

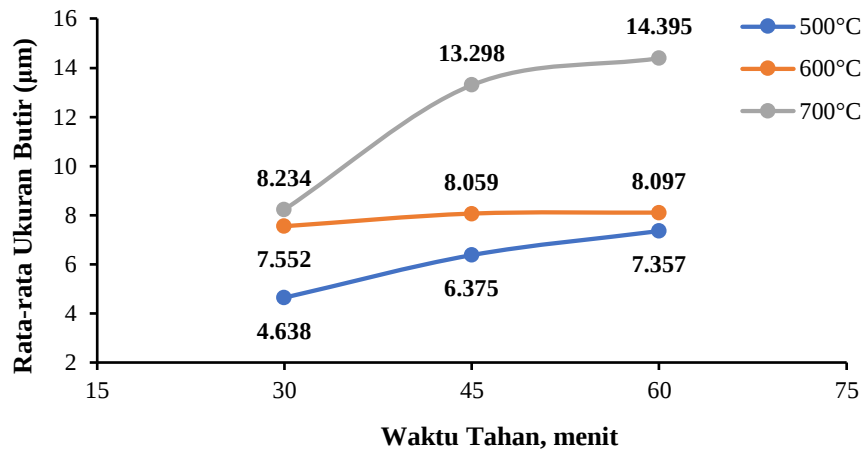
Pada Gambar 4,1 menunjukkan bahwa perlakuan panas *quenching* *tempering* dengan variasi temperatur dan waktu tahan *tempering* memiliki pengaruh terhadap struktur mikro. Struktur yang terbentuk yakni martensit dan austenit sisa. Martensit yang berwarna gelap dan austenit yang berwarna terang[34]. Austenit mulai terbentuk ketika suhu 727°C. Austenit sisa adalah bagian dari fasa austenit yang tidak berubah menjadi martensit setelah proses pendinginan cepat karena memiliki stabilitas termal yang tinggi dikarenakan Unsur nikel berfungsi sebagai penstabil austenit, sehingga tetap mempertahankan struktur aslinya [35]. Fase martensit adalah fase metastabil yang akan berubah menjadi fase yang lebih stabil jika diberi perlakuan panas lebih lanjut. Martensit yang keras dan getas diperkirakan terbentuk akibat transformasi mekanik (geser) yang disebabkan oleh atom karbon yang

terperangkap dalam struktur kristal saat terjadi transformasi polimorfik dari FCC (*Face Centered Cubic*) ke BCC (*Body Centered Cubic*). Hal ini dapat dipahami dengan membandingkan batas kelarutan atom karbon dalam FCC dan BCC, serta ruang interstisial maksimum pada kedua struktur kristal tersebut. Akibatnya, terjadi distorsi pada kisi kristal BCC menjadi BCT (*Body Centered Tetragonal*). Distorsi kisi kristal yang terjadi akibat transformasi dalam proses pendinginan yang cepat ini berbanding lurus dengan jumlah atom karbon yang terlarut. Dari Gambar 4.2 terlihat jelas bahwa adanya peningkatan martensit pada spesimen seiring dengannya temperatur dan waktu tahan *tempering*. Besaran nilai dari fraksi volume martensit pada spesimen dapat dianalisa menggunakan *software ImageJ* berdasarkan gelap dan terang dari hasil metalografi. Berikut merupakan data hasil fraksi volume martensit dari berbagai variasi temperatur dan waktu tahan *tempering*.



Gambar 4. 2 Grafik Pengaruh Temperatur Terhadap Volume Martensit

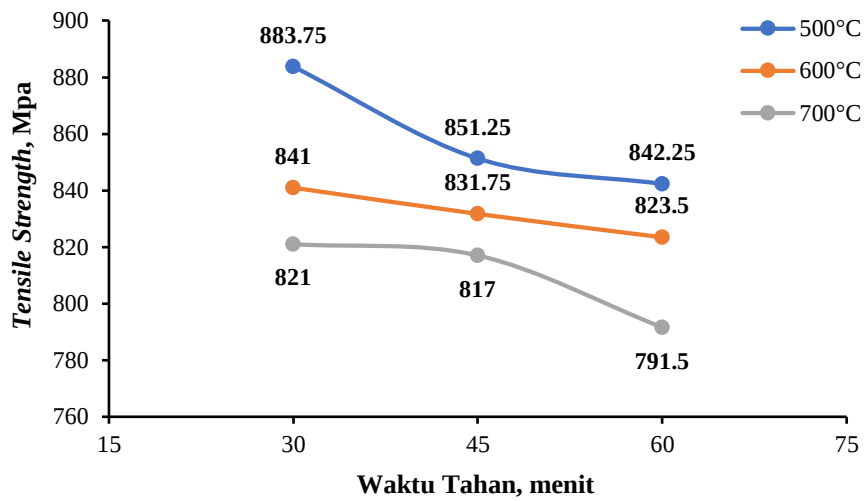
Selain volume fraksi martensit, temperatur mempengaruhi ukuran butir baja tahan karat SUS304 *thin foil*. Dari Gambar 4.3 terlihat bahwa temperatur dan waktu tahan yang digunakan pada baja tahan karat *thin foil* SUS304 sangat berpengaruh terhadap *grain size*. *Grain size* terendah terdapat pada sampel baja tahan karat SUS304 *thin foil* yang dilakukan *quenching-tempering* pada temperatur 500 dengan waktu tahan sebesar 30 menit. Sedangkan nilai *grain size* tertinggi terdapat pada sampel baja tahan karat *thin foil* SUS304 yang diberikan *quenching-tempering* pada temperatur 700°C dengan waktu tahan selama 60 menit. Terjadi kenaikan *grain size* seiring dengan kenaikan temperatur dan waktu tahan. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Jianjing Wang yang menyatakan bahwa semakin tinggi temperatur *tempering*, maka *grain size* akan semakin tinggi [36]. Penelitian lainnya yang dilakukan oleh Vinay Kumar Pal yang membahas mengenai pengaruh waktu *tempering* terhadap ukuran butir. Dimana hasilnya semakin tinggi waktu *tempering*, maka *grain size* akan semakin tinggi [37]. Hal ini dikarenakan peningkatan suhu akan mempercepat pergerakan atom-atom melalui batas butir, sehingga butiran kecil akan bergabung dengan butiran yang lebih besar. Akibatnya, ukuran butir akhir akan menjadi lebih besar [14].



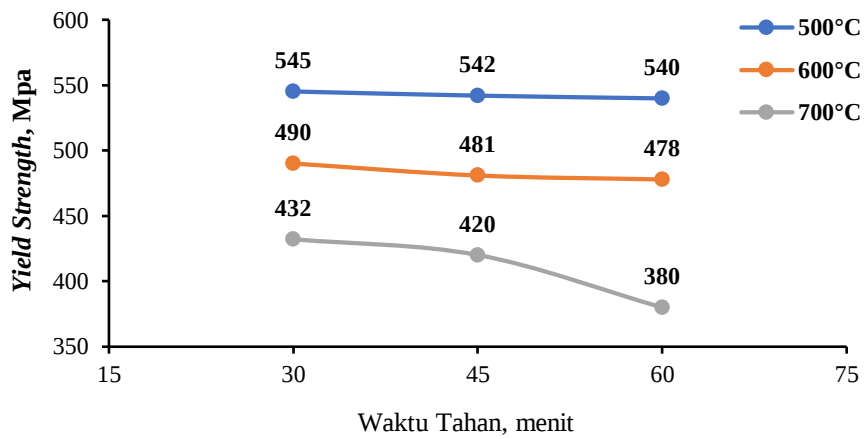
Gambar 4. 3 Grafik Pengaruh Temperatur Terhadap Ukuran Butir

4.2.2 Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap *Yield Strength*, *Tensile Strength*, dan *Elongasi*

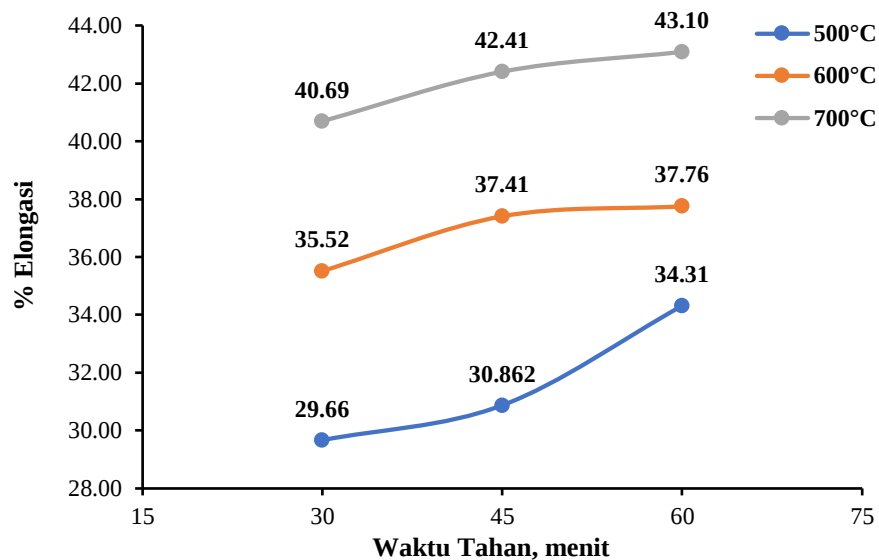
Uji tarik adalah sebuah eksperimen yang dilakukan untuk menguji seberapa kuat suatu bahan ketika ditarik secara perlahan. Caranya adalah dengan menarik kedua ujung bahan sampai putus. Dari hasil uji ini, dapat memperoleh kurva tegangan-regangan yang memberikan informasi mengenai *yield strength*, *tensile strength*, dan *elongasi*. Berikut ini akan disajikan data pengujian tarik sampel yang telah dilakukan perlakuan panas dengan variasi temperatur dan waktu tempering dapat dilihat pada gambar 4.4, 4.5, dan 4.6 .



Gambar 4. 4 Grafik Pengaruh Temperatur Terhadap *Tensile Strength*



Gambar 4. 5 Grafik Pengaruh Temperatur Terhadap *Yield Strength*



Gambar 4. 6 Grafik Pengaruh Temperatur Terhadap Elongasi

Perlakuan panas pada paduan baja tahan karat tipis SUS304 terbukti secara signifikan menurunkan kekuatan tarik (*tensile strength*) di atas 910 MPa dan kekuatan luluh (*yield strength*) di atas 547 MPa dibandingkan dengan sampel yang tidak diberi perlakuan panas. Namun, peningkatan kekuatan ini diiringi oleh penurunan ketangguhan, yang ditunjukkan oleh penurunan elongasi di bawah 30,35% dibandingkan dengan sampel yang tidak diberi perlakuan panas.

Grafik menunjukkan hubungan antara temperatur pemanasan tempering dan sifat mekanik dari baja tahan karat tipis SUS304. Pada grafik tersebut terdapat garis biru, oranye, dan hijau masing-masing mewakili hasil pengujian pada temperatur 500°C, 600°C, dan 700°C. Pada Gambar 4.4 menunjukkan bahwa spesimen yang telah dilakukan proses quenching tempering mengalami perubahan nilai *tensile strength*. Semakin tinggi

temperatur dan lama waktu tahan pada saat *quenching-tempering* dilakukan nilai *tensile strength* semakin turun. Nilai *tensile strength* tertinggi yaitu terdapat pada sampel dengan temperatur austenisasi 500°C dan waktu tahan 30 menit sebesar 883,75 MPa. Sedangkan nilai kuat luluh terendah terdapat pada sampel dengan temperatur austenisasi 700°C dan waktu tahan 60 menit sebesar 791,5 Mpa.

Pada Gambar 4.5 menunjukkan bahwa spesimen yang telah dilakukan proses *quenching tempering* mengalami perubahan nilai *yield strength*. Semakin tinggi temperatur dan waktu tahan tempering dilakukan nilai *yield strength* semakin rendah. Nilai *yield strength* tertinggi yaitu terdapat pada sampel dengan temperatur austenisasi 500°C dan waktu tahan 30 menit sebesar 545 MPa. Sedangkan nilai kuat luluh terendah terdapat pada sampel dengan temperatur austenisasi 700°C dan waktu tahan 60 menit sebesar 380 MPa.

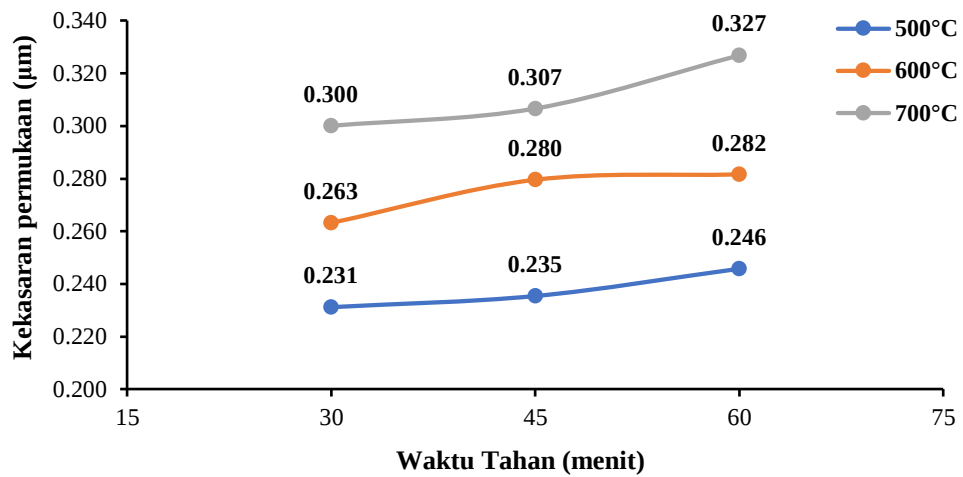
Pada Gambar 4.6 menunjukkan bahwa spesimen yang telah dilakukan proses *quenching tempering* mengalami perubahan nilai elongasi. Semakin tinggi temperatur dan waktu tahan tempering dilakukan nilai elongasi semakin tinggi. Nilai elongasi tertinggi yaitu terdapat pada sampel dengan temperatur austenisasi 700°C dan waktu tahan 60 menit sebesar 43,1%. Sedangkan nilai elongasi terendah terdapat pada sampel dengan temperatur austenisasi 500°C dan waktu tahan 30 menit sebesar 29,66%.

Berdasarkan Gambar 4.4; 4.5; dan 4.6, peningkatan temperatur dan waktu tahan tempering pada baja tahan karat tipis SUS304 akan

menurunkan nilai *tensile strength* dan *yield strength*, namun menaikkan elongasi. Hal ini disebabkan dua mekanisme utama yang terjadi dalam struktur mikro. Pertama, densitas dislokasi menurun akibat meningkatnya mobilitas atom, yang memungkinkan dislokasi bergerak lebih bebas dan saling meniadakan melalui proses *recovery*. Dengan semakin sedikit dislokasi, hambatan terhadap deformasi plastis berkurang, sehingga material menjadi lebih mudah mengalami deformasi. Kedua, pertumbuhan butir (*grain growth*) terjadi karena energi termal yang tinggi memungkinkan butir-butir kecil bergabung membentuk butir yang lebih besar. Semakin besar ukuran butir, semakin sedikit batas butir yang tersedia untuk menghalangi pergerakan dislokasi. Karena hambatan terhadap gerakan dislokasi berkurang, kekuatan luluh pun menurun. Oleh karena itu, kombinasi dari menurunnya densitas dislokasi dan bertambahnya ukuran butir menyebabkan material menjadi lebih lemah pada suhu tinggi[32]

4.2.3 Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap Kekasaran Permukaan

Kekasaran permukaan merupakan salah satu parameter penting yang menggambarkan tingkat kehalusan atau kerataan suatu material setelah mengalami proses perlakuan tertentu.. kekasaran permukaan diakibatkan oleh perubahan struktur mikro pada foil akibat perlakuan tertentu yang mengakibatkan struktur mikro dari foil menjadi tidak seragam. Adapun data hasil penelitian mengenai pengaruh temperatur dan waktu tahan terhadap kekasaran permukaan dapat dilihat pada Gambar 4.7



Gambar 4. 7 Grafik Pengaruh Temperatur Terhadap Kekasaran Permukaan

Dari Gambar 4.7 terlihat bahwa temperatur dan waktu tahan yang digunakan pada baja tahan karat 304 *thin foil* sangat berpengaruh. Nilai kekasaran permukaan terendah terdapat pada baja tahan karat 304 *thin foil* yang diberikan *tempering* pada temperatur 500°C dengan waktu tahan 30 menit sebesar 0,231. Sedangkan nilai kekasaran permukaan tertinggi terdapat pada baja tahan karat 304 *thin foil* yang diberikan *tempering* pada temperatur 700°C dengan waktu tahan 60 menit sebesar 0,327. Terjadi kenaikan kekasaran permukaan seiring dengan kenaikan temperatur dan waktu tahan *tempering* . Hal ini sebabkan karena persamaan 4.1, dapat dilihat bahwa berbanding lurus dengan nilai kekasaran permukaan. Maknanya jika ukuran butir, dan regangan secara konstan, penambahan martensit dapat menambahkan nilai dari kekesaran permukaan. Begitupun sebaliknya pengurangan pengurangan martensit akan menurunkan jumlah nilai kekasaran permukaan. Secara sederhana jika jumlah martensit pada spesimen bertambah maka akan menyebabkan permukaan spesimen semakin

kasar, sedangkan jika jumlah martensit pada permukaan akan menyebabkan permukaan spesimen akan semakin halus. Berikut adalah model konstitutif untuk menghitung kekasaran permukaan baja tahan karat SUS 304 (Aziz, et al., 2022).