

# Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Temperatur dan Waktu Penahanan *Partitioning* pada Proses *Quenching-Partitioning* Baja Jis S45c Di Bawah Temperatur *Martensite Start*

Khisni Sains dan Wahyu Wijanarko

Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

*e-mail* : wahyu\_w\_m43@yahoo.com

**Abstrak** - Proses perlakuan panas *quenching-partitioning* merupakan proses perlakuan panas yang baru beberapa tahun ini dikembangkan. Proses ini mempunyai tahapan yang sama dengan proses perlakuan panas *quenching-tempering*. Bila pada proses *quenching-tempering* didapatkan fase akhir 100% *tempered martensite*, maka pada proses *quenching-partitioning* didapatkan fase akhir berupa *tempered martensite* dan *retained austenite* sehingga dihasilkan baja yang tangguh dan ulet.

Proses perlakuan panas *quenching-partitioning* dilakukan pada baja JIS S45C dengan pemanasan dalam dapur sampai temperatur austenisasi 900°C dengan waktu tahan 4 jam. Proses dilanjutkan dengan *quenching* ke dalam air selama 10 detik hingga mencapai temperatur 230°C lalu di-*partition* dalam furnace berisi campuran NaNO<sub>3</sub>, KNO<sub>3</sub>, dan NaNO<sub>2</sub> pada temperatur *partitioning* yang divariasikan 275°C, 300°C, 325°C, dan 350°C dengan variasi waktu penahanan 10 detik, 100 detik, dan 1000 detik kemudian di-*quench* kembali ke dalam air. Sifat mekanik dan struktur mikro dari material hasil proses perlakuan panas diuji dengan pengujian tarik, pengujian kekerasan, dan pengamatan menggunakan mikroskop optik.

Hasil yang didapatkan dari penelitian ini adalah peningkatan temperatur dan waktu penahanan *partitioning* akan meningkatkan persentase pertambahan panjang (*elongation*), persentase penyusutan area (*reduction area*), dan ketangguhan baja JIS S45C, namun *yield strength*, kekuatan UTS, dan kekerasan menurun.

**Kata kunci:** *quenching-partitioning*, baja JIS S45C, sifat mekanik

## I. PENDAHULUAN

Baja karbon adalah jenis baja dengan unsur paduan utamanya adalah karbon (C) dengan unsur-unsur lain seperti silikon (Si), fosfor (P), mangan (Mn) dan sulfur (S), yang jumlahnya sedikit dan tidak mempengaruhi sifat dari baja tersebut. JIS S45C adalah salah satu jenis baja karbon medium dengan komposisi kimia sebagai berikut: 0,42-0,50% C, 0,60-0,90% Mn, 0,04% P max dan 0,05% S max [1]. Contoh aplikasi dari baja JIS S45C adalah bejana bertekanan, struktur dari pesawat terbang, dan poros kendaraan bermotor. Dari contoh aplikasi tersebut di atas dapat diketahui bahwa baja JIS S45C ini banyak digunakan pada aplikasi yang membutuhkan kekuatan dan kekerasan yang tinggi. Proses perlakuan panas dilakukan untuk

meningkatkan kekuatan dan kekerasan baja dibandingkan kondisi awal (*annealed*). Proses perlakuan panas baja JIS S45C menurut ASM adalah *quenching* dan *tempering*. Temperatur austenisasi adalah 915°C lalu didinginkan secara cepat (*quenching*) dalam air. Setelah itu dipanaskan (*tempering*) kembali pada temperatur tertentu sesuai dengan kekerasan yang diharapkan [2].

Proses perlakuan panas *quenching* dan *partitioning* merupakan proses perlakuan panas yang baru beberapa tahun ini dikembangkan [3]. Proses ini mempunyai tahapan yang sama dengan proses perlakuan panas *quenching* dan *tempering*, hanya berbeda pada struktur mikro yang dihasilkan. Pada proses *quenching* dan *tempering* temperatur *quench*-nya adalah 25°C (temperatur kamar), sedangkan pada proses *quenching* dan *partitioning* temperatur *quench*-nya antara 200-340°C. Akibat perbedaan ini maka struktur mikro yang dihasilkan akan berbeda pula. Bila pada proses *quenching* dan *tempering* didapatkan fase akhir 100% *tempered martensite*, maka pada proses *quenching* dan *partitioning* didapatkan fase akhir berupa *tempered martensite* dan *retained austenite*. Dengan fase akhir yang berbeda diharapkan baja JIS S45C hasil perlakuan panas *quenching* dan *partitioning* mempunyai ketangguhan yang lebih tinggi dibanding baja JIS S45C hasil perlakuan panas *quenching* dan *tempering* pada kekerasan yang sama..

Patah (*fracture*) merupakan salah satu penyebab utama kegagalan material atau konstruksi. Pada material teknik terdapat dua jenis mode patahan, yaitu patah ulet atau patah getas. Banyak peralatan-peralatan seperti tangki, tabung bertekanan, jembatan, konstruksi kapal, poros kendaraan bermotor mengalami kegagalan yang menunjukkan patah getas, dimana material peralatan-peralatan tadi terbuat dari baja JIS S45C. Oleh karena itu, perlu untuk diteliti bagaimana pengaruh struktur mikro baja JIS S45C setelah proses *quenching* dan *partitioning* terhadap kekuatan, keuletan, kekerasan, dan ketangguhan.

## II. URAIAN PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan pada baja JIS S45C setara dengan AISI 1045, ASTM A510, DIN 1.1191 atau Assab 760, termasuk baja karbon sedang. Berikut komposisi kimia baja JIS S45C *as received* dengan pengujian spektrometer.

Tabel 1.  
Komposisi Kimia Baja JIS S45C

Elemen	C	Mn	P	S	Fe
%wt	0,42	0,67	0,019	0,007	98,5

Percobaan ini dilakukan dengan variasi temperatur *partitioning* 275°C, 300°C, 325°C, dan 350°C serta variasi waktu penahanan selama 10, 100 dan 1000 detik. Berikut adalah diagram alir penelitian ini.

Temperatur *austenisasi* dari baja JIS S45C adalah 880°C [2]. Untuk perlakuan panas pada penelitian ini menggunakan temperatur 900°C yang. Sementara pemilihan waktu tahan *austenisasi* selama 4 jam bertujuan untuk memperbesar butir *austenite* agar kurva pada diagram TTT bergeser ke kanan sehingga CCR (*Critical Cooling Rate*) yang dibutuhkan untuk mendapatkan fasa *martensite* juga semakin lambat.

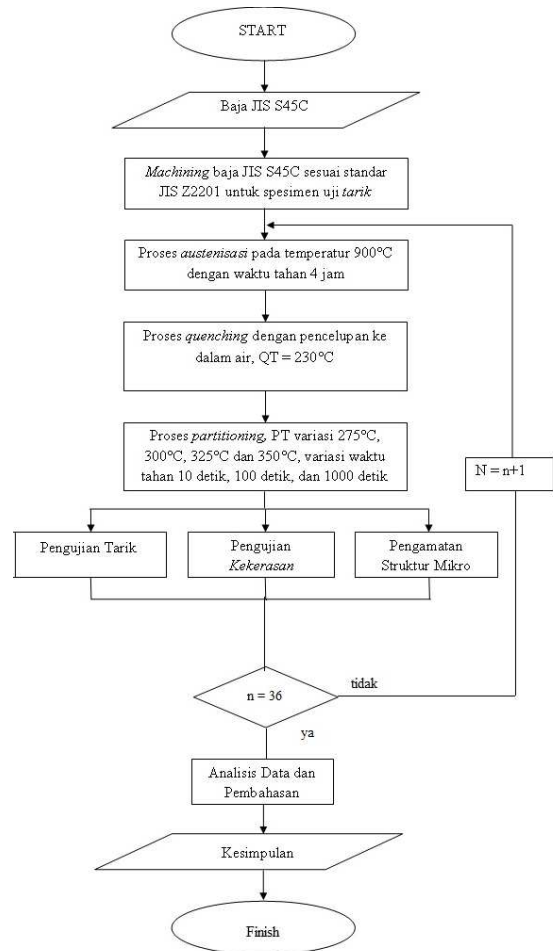
Proses *quenching* pada *quenching partitioning* dilakukan pada temperatur tertentu di antara *martensite start* ( $M_s$ ) dan *martensite finish* ( $M_f$ ). Temperatur  $M_s$  dan  $M_f$  dipengaruhi oleh komposisi kimia dari baja. Unsur-unsur paduan yang berpengaruh terhadap temperatur  $M_s$  dan  $M_f$  adalah Karbon, Nikel, Kromium, dan Molybdenum. Semakin banyak unsur-unsur tersebut di dalam baja, maka semakin rendah temperatur  $M_s$  dan  $M_f$ .

Secara kuantitatif, temperatur  $M_s$  dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

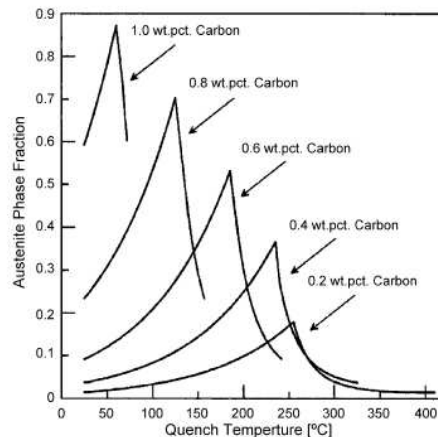
$$M_s(^{\circ}F) = 1.000 - (650 \times \%C) - (70 \times \%Mn) - (35 \times \%Ni) - (70 \times \%Cr) - (50 \times \%Mo) \dots\dots\dots(1)[4]$$

Temperatur  $M_s$  pada baja JIS S45C adalah 350°C. [5]. Dari persamaan tersebut juga didapatkan bahwa pembentukan awal dari *martensite* pada JIS S45C terjadi pada temperatur 350 C. Inilah yang mendasari pemilihan variasi temperatur *partitioning* di atas *martensite start*.

Penentuan temperatur *quenching* didasarkan pada penelitian serupa yang dilakukan oleh J. Speers. Pada gambar 2 dapat dilihat bahwa fraksi *austenite* maksimum untuk baja dengan 0,4% karbon didapatkan pada temperatur *quenching* 230 °C. Hal inilah yang mendasari pemilihan temperatur *quenching* pada temperatur tersebut.



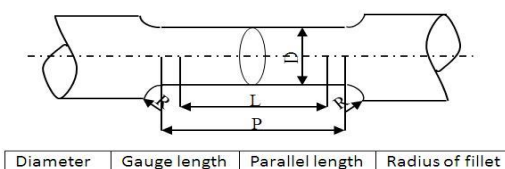
Gambar 1. Diagram Alir Penelitian



Gambar 2. Prediksi fraksi *retained austenite* setelah *partitioning* fungsi temperatur *quenching* untuk kadar karbon yang berbeda [6].

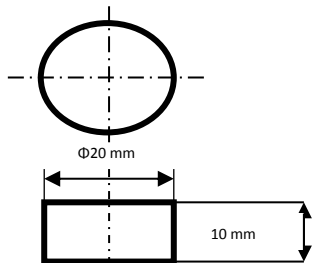
**Spesimen uji**

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah baja JIS S45C yang didapatkan dari *supplier* kemudian dilakukan proses pengerjaan untuk mendapatkan dimensi spesimen uji tarik yang diinginkan sesuai standar JIS Z2201.



Gambar 3. Spesimen uji tarik

Material hasil perlakuan panas dipotong secara melintang setelah diuji tarik sehingga didapatkan spesimen untuk pengujian kekerasan dan metalografi dengan ukuran diameter 20 mm dan tebal 10 mm.



Gambar 4. spesimen metalografi dan pengujian kekerasan

### III. ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

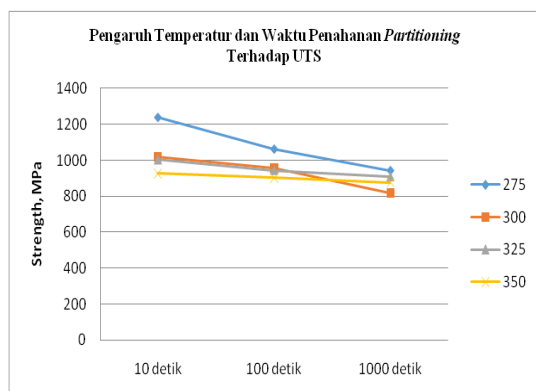
#### A. Pengujian Tarik dan Kekerasan

Dari gambar 6 diketahui rerata Kekuatan UTS tertinggi sebesar 1239 MPa diperoleh pada variasi temperatur *partitioning* 275°C dengan waktu penahanan *partitioning* 10 detik, sedangkan Kekuatan UTS terendah sebesar 818 MPa diperoleh pada variasi temperatur *partitioning* 300°C dengan waktu penahanan *partitioning* 1000 detik.

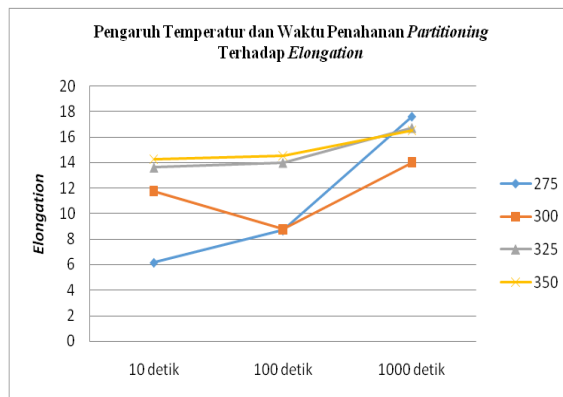
Dari gambar 7 diketahui *elongation* tertinggi sebesar 17,618% diperoleh pada variasi temperatur *partitioning* 275°C dengan waktu penahanan *partitioning* 1000 detik, sedangkan *Elongation* terendah sebesar 6,15% diperoleh pada variasi temperatur *partitioning* 275°C dengan waktu penahanan *partitioning* 10 detik.

Dari gambar 8 diketahui rerata Ketangguhan tertinggi sebesar 166,1003 J/mm<sup>3</sup> diperoleh pada variasi temperatur *partitioning* 350°C dengan waktu penahanan *partitioning* 100 detik, sedangkan ketangguhan terendah sebesar 68,44J/mm<sup>3</sup> diperoleh pada variasi temperatur *partitioning* 275°C dengan waktu penahanan *partitioning* 10 detik.

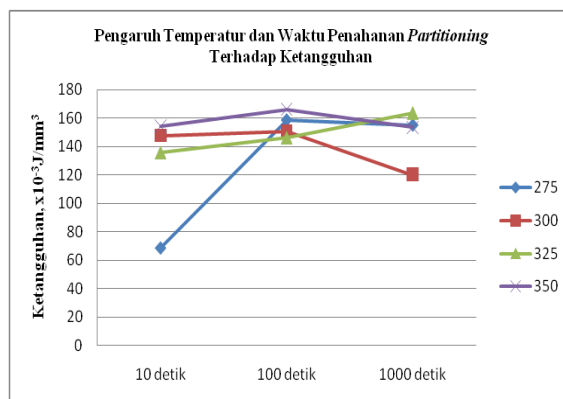
Dari gambar 9 diketahui rerata kekerasan tertinggi sebesar 47,8HRC diperoleh pada variasi temperatur *partitioning* 275°C dengan waktu penahanan *partitioning* 10 detik, sedangkan kekerasan terendah sebesar 35,4 HRC diperoleh pada variasi temperatur *partitioning* 350°C dengan waktu penahanan *partitioning* 1000 detik.



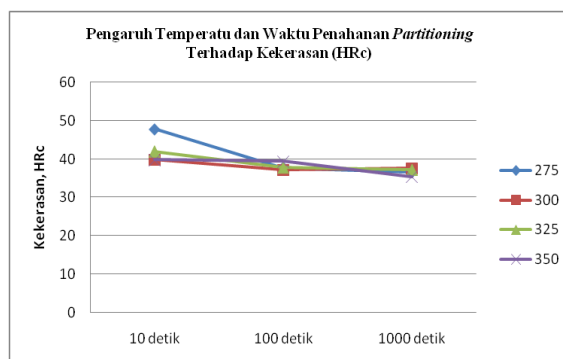
Gambar 6. Pengaruh temperatur dan waktu penahanan *partitioning* terhadap kekuatan UTS



Gambar 7. Pengaruh temperatur dan waktu penahanan *partitioning* terhadap *elongation*



Gambar 8. Pengaruh temperatur dan waktu penahanan *partitioning* terhadap ketangguhan



Gambar 9. Pengaruh temperatur dan waktu penahanan *partitioning* terhadap kekerasan

#### B. Pengujian Statistik

Pengujian statistik dilakukan untuk mengetahui pengaruh temperatur dan waktu penahanan *partitioning* serta interaksi keduanya terhadap sifat mekanik baja hasil perlakuan panas berdasarkan *two-way annova factorial* dengan *confidence level* sebesar 95% ( $\alpha = 0,05$ ) menggunakan *software* statistik. Pada *software* dimasukkan variabel berupa temperatur dan waktu penahanan *partitioning* dengan respon berupa UTS, %*elongation*, dan ketangguhan.

Pengujian dilakukan dengan  $H_0$ , yakni “tidak ada pengaruh perubahan temperatur *partitioning*” dan  $H_1$

“minimal ada sepasang temperatur *partitioning* yang berpengaruh” serta  $\alpha = 0,05$ .

Tabel 2.

Tabel pengujian statistik *two-way annova factorial* dengan respon UTS

Source	Type III Sum of Squares	Df	Mean Square	F	p value
Model	33966207,148 <sup>a</sup>	12	2830517,262	555,030	0,000
Temperatur	170255,459	3	56751,820	11,128	0,000
Waktu	154076,436	2	77038,218	15,106	0,000
Temperatur * Waktu	60099,930	6	10016,655	1,964	0,111
Error	122394,160	24	5099,757		
Total	34088601,308	36			

Berdasarkan tabel 2 dapat dilihat nilai p value untuk temperatur dan waktu sebesar 0,000, karena p value lebih kecil daripada  $\alpha$  maka disimpulkan bahwa pengujian statistik pengaruh temperatur dan waktu penahanan *partitioning* terhadap UTS menolak  $H_0$ . Hal ini menunjukkan bahwa temperatur dan waktu penahanan

Berdasarkan tabel 2 dapat dilihat nilai p value untuk temperatur dan waktu sebesar 0,000, karena p value lebih kecil daripada  $\alpha$  maka disimpulkan bahwa pengujian statistik pengaruh temperatur dan waktu penahanan *partitioning* terhadap UTS menolak  $H_0$ . Hal ini menunjukkan bahwa temperatur dan waktu penahanan *partitioning* berpengaruh terhadap UTS. Sedangkan interaksi antara temperatur dan waktu penahanan *partitioning* tidak berpengaruh terhadap UTS karena memiliki nilai p value lebih besar daripada  $\alpha$  sebesar 0,111.

Untuk mencari pasangan temperatur dan waktu penahanan *partitioning* yang berpengaruh dilanjutkan dengan uji perbandingan ganda dengan metode *Duncan*.

Dari pengujian perbandingan ganda tersebut diperoleh bahwa respon terbagi ke dalam dua kelompok data. Temperatur 275°C menghasilkan UTS dengan nilai tertinggi sedangkan variasi temperatur 300°C, 325°C, dan 350°C cenderung menghasilkan UTS yang hampir sama. UTS terendah dihasilkan oleh variasi temperatur 350 °C. Dapat dilihat pada tabel 3

Tabel 3.

Tabel pengujian perbandingan ganda temperatur terhadap UTS

T	N	Subset	
		1	2
350	9	901,10759	
300	9	930,03526	
325	9	951,29888	
275	9		1080,87724
Sig.		0,171	1,000

Berdasarkan pengujian perbandingan ganda dapat dilihat bahwa respon terbagi ke dalam tiga kelompok data. Ketiganya menghasilkan efek yang berbeda. Waktu penahanan 10 detik menghasilkan UTS dengan nilai tertinggi sedangkan waktu penahanan 1000 detik menghasilkan UTS dengan nilai terendah.

Tabel 4.

Tabel pengujian perbandingan ganda waktu penahanan terhadap UTS

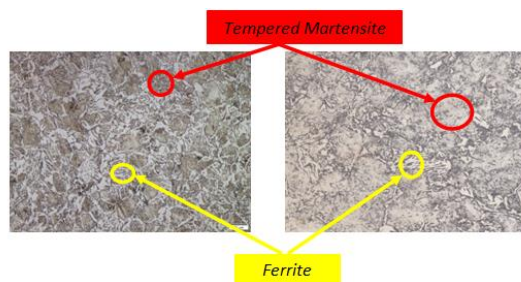
Waktu	N	Subset		
		1	2	3
1000	12	885,98150		
100	12		965,28110	
10	12			1046,22663
Sig.		1,000	1,000	1,000

Pengujian yang sama juga dilakukan untuk *elongation*, ketangguhan, dan kekerasan. Untuk respon *elongation* yang berpengaruh signifikan adalah waktu penahanan, semakin lama waktu penahanan *elongation* semakin meningkat. Untuk respon ketangguhan kedua variabel yakni temperatur dan waktu penahanan berpengaruh signifikan begitu juga dengan respon kekerasan menunjukkan fenomena yang serupa.

C. Pengamatan Struktu Mikro

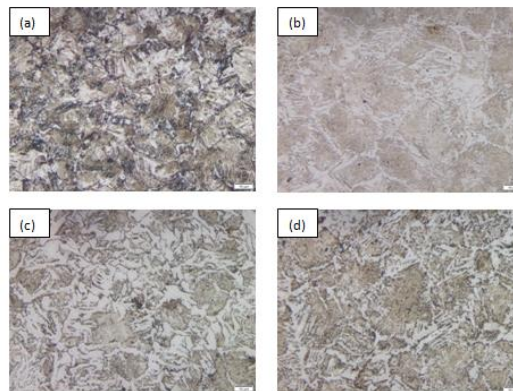
Pengamatan struktur mikro dilakukan untuk mengamati fasa dan struktur mikro yang terbentuk dari spesimen hasil perlakuan panas. Pengamatan ini menggunakan larutan nital sebagai cairan etsa.

Struktur mikro yang terbentuk pada baja hasil perlakuan panas terdiri dua jenis, area berwarna kelabu adalah *tempered martensite*, area putih adalah *ferrite*. Struktur mikro baja hasil perlakuan panas (variasi temperatur *partitioning* 325°C dengan waktu penahanan 10 detik) dibandingkan dengan struktur mikro baja AISI 1045 yang diaustenisasi pada temperatur 913°C selama setengah jam kemudian *quenching-tempering* pada temperatur 204°C [7]



Gambar 10. Struktur mikro baja hasil perlakuan panas (kiri) dan struktur mikro baja AISI 1045 yang setelah *quenching-tempering* (kanan) [7]

Pengaruh Temperatur dan Waktu Penahanan *Partitioning* Terhadap Struktur Mikro



Gambar 11. Struktur mikro baja hasil perlakuan panas *quenching-partitioning* perbesaran 1000x dengan variasi waktu penahanan *partitioning* 10 detik dengan variasi temperatur *partitioning*(a) 275°C, (b) 300°C, (c) 325°C, dan (d) 350°C





Gambar 12. Struktur mikro baja hasil perlakuan panas perbesaran 1000x dengan variasi temperatur *partitioning* 325°C dengan variasi waktu penahanan *partitioning*(a) 10 detik, (b) 100 detik, dan (c) 1000 detik

Kedua variabel penelitian ini menghasilkan pengaruh yang sama, semakin tinggi temperatur dan semakin lama waktu penahanan *partitioning* menyebabkan *martensite* berubah menjadi *tempered martensite*, seiring peningkatan tersebut tegangan sisa dalam *martensite* semakin berkurang dikarenakan karbon berdifusi keluar dari *martensite*. Dari pengamatan struktur mikro terlihat dengan semakin banyaknya bagian berwarna putih, matriks *ferrite*. Keluarnya karbon dari *martensite* inilah yang menyebabkan penurunan kekuatan UTS, dan kekerasan, sedangkan *elongation*, dan *ketangguhan* meningkat.

#### IV. KESIMPULAN

Dari serangkaian penelitian dan analisa data yang telah dilakukan pada perlakuan panas *quenching-partitioning* baja JIS S45C, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan pengujian tarik, kekerasan, pengamatan struktur mikro, serta uji data statistik diperoleh kesimpulan bahwa peningkatan Temperatur *Partitioning* pada proses *quenching-partitioning* baja JIS S45C berpengaruh terhadap peningkatan *elongation*, dan *ketangguhan* baja JIS S45C setelah di-*quench* namun mengakibatkan penurunan kekuatan UTS dan kekerasan.
2. Berdasarkan pengujian tarik, kekerasan, pengamatan struktur mikro, serta uji data statistik diperoleh kesimpulan bahwa peningkatan Waktu Penahanan *Partitioning* pada proses *quenching-partitioning* baja JIS S45C berpengaruh terhadap peningkatan *elongation*, dan *ketangguhan* baja JIS S45C setelah di-*quench* namun mengakibatkan penurunan kekuatan UTS, dan kekerasan.
3. Baja JIS S45C yang di-*partitioning* pada temperatur tinggi dengan waktu penahanan singkat setelah di-*quench* hingga temperatur di antara *martensite start*

dan *martensite finish* akan menghasilkan kecenderungan yang sama dengan baja yang di-*partitioning* pada temperatur rendah setelah di-*quench* namun dengan waktu penahanan yang cukup lama.

Beberapa saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah :

1. Untuk mengamati fenomena *partitioning* karbon lebih jelas sebaiknya menggunakan material dengan CCR yang jauh lebih lambat daripada *plain carbon steel*, contohnya AISI 4340 (Baja paduan Ni-Cr-Mo).
2. Untuk mengamati fenomena *partitioning* lebih dalam dapat lebih baik menggunakan spesimen material tipis berpenampang luas seperti koin lalu dilakukan pengujian XRD, dan SEM-EDX.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis K.S. mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) – ITS atas penyediaan dana penelitian ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] ASM Handbook vol.1, "Irons, Steels, and High Performance Alloys." ASM, Ohio, 1990.
- [2] ASM Handbook 2<sup>nd</sup>ed "Heat Threater's Guide: Practice and Procedures for Irons and Steels", ASM International, 1995.;
- [3] J. Speer, et al., "Carbon Partitioning into Austenite After Martensite Transformation," *Acta Materialia*, vol. 51, pp.2611 – 2622, 2003.
- [4] S. H. Avner, *Introduction to Physical Metallurgy*, 2<sup>nd</sup>ed.: McGraw Hill, 1974.J.
- [5] ASM Handbook "Atlas of Time-Temperature Diagrams for Irons and Steels", ASM International, 1991.
- [6] J.G. Speer, et al., "Austenite Formation and Decomposition," in TMS/ISS, Warrendale, PA, USA, pp. 505 – 522, 2003.
- [7] ASM Handbook vol.7 "Atlas of Microstructures of Industrial Alloys", ASM International, 1972.