

## Optimasi Parameter *Second Quenching* dan *Tempering* terhadap Kekerasan dan Energi Impak Baja HRP Lokal

Yurianto<sup>1,2,\*</sup>, Pratikto<sup>1</sup>, Rudy Soenoko<sup>1</sup> dan Wahyono Suprpto<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya - Malang

<sup>2</sup>Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro - Semarang

\*Korespondensi: yurianto@undip.ac.id

**Abstrak.** *Hot Rolled Plate Steel* local merupakan bahan baku untuk pembuatan baja *armor* dan sudah bisa dibuat di Indonesia. Baja *armor* buatan Indonesia adalah dari jenis *Quenched and Tempered Steel* yang mempunyai kekerasan dan kekuatan tinggi. Adapun pengerasan baja *armor* ini oleh struktur *martensite* yang dihasilkan selama proses *quenching* dengan pendinginan air. Karena kemungkinan adanya struktur *austenite* yang tidak tertransformasi seluruhnya menjadi *martensite*, maka menyebabkan kekerasan *Quenched and Tempered Steel* tidak maksimal. Untuk itu perlu metransformasikan struktur *austenite* yang gagal menjadi *martensite* dengan cara *double quenching* (dengan pendingin air) dan dilanjutkan dengan proses *temper* agar ketelitiannya (*ductility*) meningkat. Hasil akhir dari proses ini adalah *Double Quenched and Tempered Steel*. Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah: "Berapa kekerasan dan *energy impact* yang dihasilkan pada parameter optimum *second quench* dan *temper* terhadap *HRP Steel lokal* ?". Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mencari kekerasan dan *impact energy* pada temperatur *austenite*, *austenite holding time* dan temperatur *temper* optimum terhadap *HRP Steel lokal*. Metode penelitian adalah dengan mengoptimasikan temperatur *austenite* kedua, *austnite holding time* dan temperatur *temper*. Hasil penelitian adalah 1. Parameter yang memberikan pengaruh terbesar terhadap kekerasan adalah *austenite holding time*, dengan temperatur *austenite* 900 °C; *austenite holding time* 30 menit; temperatur *temper* 125 °C; kekerasan 534.50 HVN. 2. Parameter yang memberikan pengaruh terbesar terhadap *impact energy* adalah *tempering*, dengan temperatur *austenite* 900 °C; *austenite holding time* 15 menit; temperatur *temper* 175 °C; *impact energy* 47 Joule.

**Kata kunci:** austenitization, quenching, tempering, hardness, toughness

© 2017. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

### Pendahuluan

*Hot Rolled Plate Steel (HRP Steel)* adalah bahan baku baja *armor* yang sudah dibuat di Indonesia, baja *armor* yang dihasilkan adalah *Quenched and Tempered Steel (Q&T Steel)* yang mempunyai kekerasan dan kekuatan tinggi. Di Indonesia, *Q&T Steel* digunakan terutama dibidang militer dan komersial.

*Quenching* merupakan perlakuan panas baja hingga temperatur *austenite* dan ditahan beberapa saat, kemudian didinginkan dengan cepat dengan media pendingin (dalam penelitian ini menggunakan air). Perlakuan panas ini merubah *austenite* menjadi *martensite* untuk menda-patkan kekerasan tinggi [2].

*Double quench* adalah proses *quench* ulang ketemperatur *austenite* yang dilanjutkan dengan pendinginan air, tujuannya untuk mentransformasikan ulang *austenite* sisa yang gagal tidak bertransformasi menjadi *martensite*. Proses *double quench* dapat meningkatkan kekerasan dan ketang-guhan yang *significant*, dan menghaluskan butiran *austenite* [3]. Temperatur *austenite* kedua lebih

rendah dari yang pertama dapat menghasilkan butiran yang lebih halus [4].

*Tempering* merupakan proses pemanasan logam hingga temperatur tertentu dibawah garis *eutectoid* yang dilanjutkan dengan proses pendinginan udara atmosfer. *Tempering* dibawah temperatur akhir terbentuknya struktur *martensite (M<sub>f</sub>)* bersifat mereduksi tegangan sisa sehingga baja semakin liat (*ductile*) dan kekerasannya sedikit menurun. Penemperan 150 °C – 200 °C hanya menghilangkan tegangan sisa [5].

Sifat mekanik baja paduan rendah dapat ditingkatkan dengan penghalusan *austenite* [2], struktur ini berada diatas garis *Ar<sub>3</sub>* (titik d Gambar 1) dan dihitung dengan rumus [7],

$$Ar_3 (^\circ C) \sim 910 - (310C) - (80Mn) - (80Mo) - (55Ni) - (20Cu) - (15Cr) \quad (1)$$

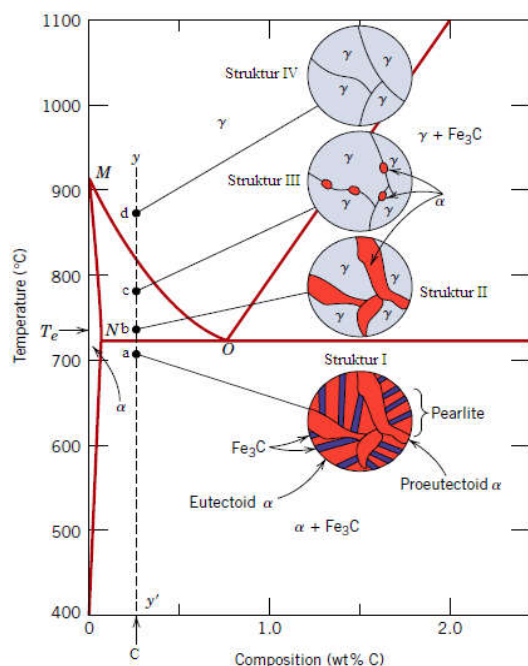
Selama *quenching* terjadi transformasi *austenite* ke *martensite*, dan temperatur mulai terbentuknya struktur *martensite* dihitung: [7],

$$M_s (^\circ C) = 561 - 474C - 33Mn - 17Ni - 17Cr - 21Mo \quad (2)$$

Rumus (2) digunakan pada baja dengan *carbon* 0.2% - 0,8%. Sementara itu, akhir pembentukan struktur *martensite* dihitung dengan [8],

$$M_f = 175 \text{ }^\circ\text{C} - 265 \text{ }^\circ\text{C} \text{ dibawah } M_s \quad (3)$$

Akhir *quenching* menghasilkan baja yang keras dan sulit di manufaktur, untuk itu perlu sedikit pelunakan dengan *tempering*.



Gambar 1. Diagram Fe<sub>3</sub>C [6]

*Tempering* menghasilkan karbida yang tersebar dalam matriks *ferritic* yang sedikit mirip dengan *martensite* asli [9], dan meningkatkan *ductility*. Akibat aktivasi panas *tempering*, struktur mikro mendekati kesetimbangan. Karena proses percepatan kesetimbangan kimia pada temperatur yang lebih tinggi, *martensite* mudah lenyap oleh panas *temper* [9].

Kecenderungan umum selama menemper *martensite* dimulai dengan penolakan kelebihan *carbon* pada endapan karbida, tetapi substitusi zat yang larut tidak berdifusi selama proses ini. *Temper* pada *quenched steels* pada 148 °C - 205 °C menghasilkan sedikit penurunan kekerasan dan mereduksi *internal stress* [9], secara praktis diindustri dilakukan pada 150 °C [10]. Profil kekerasan setelah *temper* lebih homogen karena efek *tempering* strukturmikro [11].

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah: "Berapa kekerasan dan *energy impact* pada parameter optimum *second quench* dan *temper* terhadap HRP Steel lokal ?".

Tujuan penelitian ini adalah untuk mencari kekerasan dan *impact energy* pada temperatur *austenite*, *austenite holding time* dan temperatur *temper* optimum terhadap HRP Steel lokal.

### Metode Penelitian

Metode Penelitian yang digunakan ditunjukkan dalam Gambar 2.4, dan 4 (empat) langkah optimasi *Taguchi* adalah, [12]

1. *Pemilihan karakter kualitas*. Terdapat 3 (tiga) karakter kualitas yaitu *smaller, better* dan *larger is better*.
2. *Pemilihan faktor kontrol dan bebas*. Dipilih faktor bebas sebanyak 3 (tiga) yaitu temperatur *austenite* (A), *austenite holding time* (H) dan temperatur *temper* (T). Faktor kontrol adalah kekerasan dan *Impact Energy*.
3. *Pemilihan orthogonal array*. Dalam penelitian ini ada 3 (tiga) parameter. Setiap parameter (P) memiliki level (L). Perhitungan derajat kebebasan (DK) didapat sebanyak 6 (enam) sehingga *orthogonal array* yang dipilih harus sama atau lebih dari tiga DK nya.
4. *Pelaksanaan pengujian*. Dalam penelitian ini terdapat 9 (sembilan) eksperimen (E) dengan parameter dan level yang berbeda-beda. Setiap eksperimen disesuaikan dengan kondisi *orthogonal array*. Kekerasan rata-rata spesimen yang digunakan adalah 286 HVN.

### Hasil dan Pembahasan

Agar proses *quenching* dan *tempering* bisa berjalan sesuai tujuannya, untuk itu dilakukan observasi komposisi kimia HRP Steel dengan menggunakan *Optical Emission Spectrometer Machines ARL type 3460* (Switzerland), hasilnya dalam tabel 1. Kemudian unsur kimia ini digunakan untuk menentukan nilai *Ar<sub>3</sub>*, *M<sub>s</sub>* dan *M<sub>f</sub>*.

Dalam penelitian diperoleh *Ar<sub>3</sub>*; = 665 °C; *M<sub>s</sub>* ≈ 357 °C; *M<sub>f</sub>* = 91 °C - 182 °C dibawah *M<sub>s</sub>*.

Tabel 1. HRP Steel tebal 10 mm

Unsur	C	Cr	Cu	Mn
% berat	0,29342	0,55029	0,08337	1,41218

Unsur	Mo	Ni	Fe
% berat	0,19303	0,27877	97,18894

Faktor kontrol kekerasan dan *Impact Energy* ditunjukkan dalam tabel 2, dalam bentuk diagram batang pada gambar 3 dan 4. Untuk menghindari berkurangnya struktur *martensite* oleh panas *temper*, maka temperatur *temper* harus dibawah *M<sub>f</sub>*, agar *temper* hanya bersifat mereduksi tegangan sisa.

Data penelitian diproses dengan menggunakan *Minitab Software 17*. *Design parameter* dan *level*, masing-masing disusun, dipilih dan menghasilkan *orthogonal array* seperti dalam tabel 3. Sementara *orthogonal array* ditunjukkan dalam tabel 4.

ANOVA digunakan untuk menentukan parameter yang memiliki pengaruh terhadap karakter kualitas, dan ANOVA yang digunakan adalah dua arah, karena eksperimen ini terdiri dari dua faktor atau lebih. Pada tabel 5 sd. 7 ditunjukkan hasil pengolahan data kekerasan dan *impact energy* serta pengaruh dari tiap parameter. Pada tabel 8. ANOVA dapat dilihat kontribusi masing-masing parameter, parameter perlakuan panas yang memiliki kontribusi terbesar terhadap kekerasan adalah *holding time*, sementara *impact energy* adalah *tempering*.

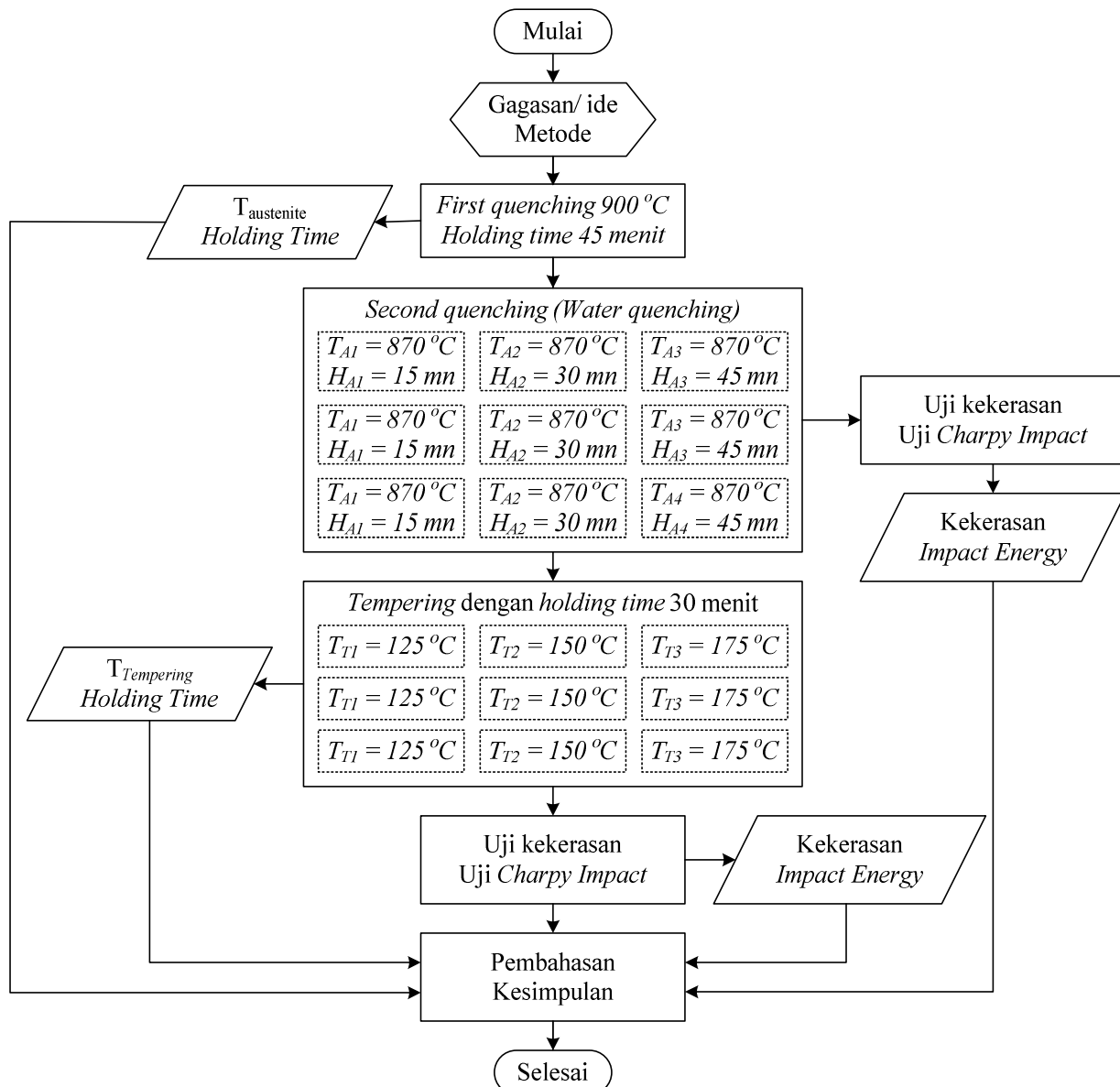
Tabel 3. Desain parameter dan level

P (Parameter)	L (level)		
	1	2	3
Austenite - A (°C)	870	885	900
Holding - H (menit)	15	30	45
Temper - T (°C)	125	150	175

F hitung ( $F_h$ ) sebagai pembanding F table ( $F_t$ ) sehingga kedua kolom total dan *error* tidak dihitung. Jika  $F_h > F_t$ , maka hipotesa diterima. Jika  $F_h < F_{tot}$ , maka parameter eksperimen tidak memiliki pengaruh pada respon.

Tabel 4. Orthogonal Array L<sub>9</sub>

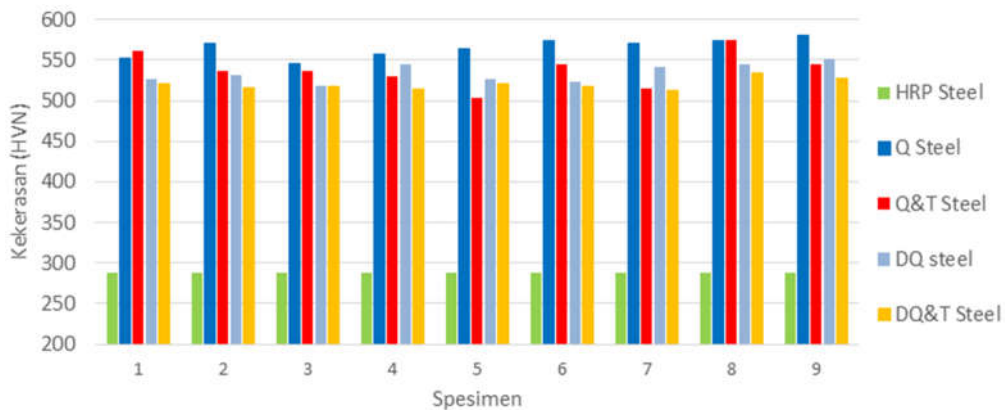
E	Faktor		
	A	H	T
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2



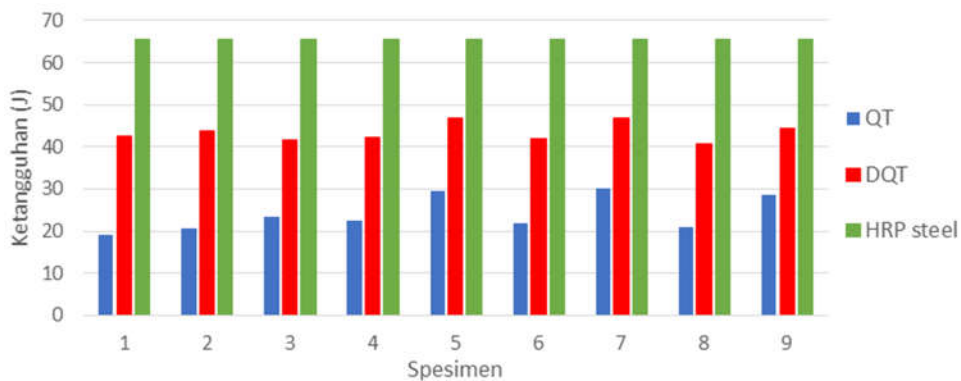
Gambar 2. Metode penelitian

**Tabel 2.** Faktor Kontrol. (E = eksperimen)

E	Kekerasan (VHN)					Impact Energy - IE (Joule)		
	HRP Steel	Q Steel	Q&T Steel	D&Q Steel	DQ&T Steel	HRP Steel	Q&T Steel	DQ&T Steel
1	287,7	552	561	527	521,2	65,5	19,00	42,70
2	287,7	571	536	531,5	516,5	65,5	20,50	43,70
3	287,7	545	536	518	518,0	65,5	23,50	41,70
4	287,7	557	530	545	513,7	65,5	22,50	42,30
5	287,7	564	503	527	521,2	65,5	29,50	47,00
6	287,7	574	545	524	518,2	65,5	22,00	42,00
7	287,7	571	515	542	512,3	65,5	30,00	47,00
8	287,7	574	574	544	534,5	65,5	21,00	40,70
9	287,7	581	545	551	527,0	65,5	28,50	44,30



**Gambar 3.** Perbandingan kekerasan HRP Steel, Q Steel; Q&T Steel; DQ Steel; DQ&T Steel



**Gambar 4.** Perbandingan impact energy HRP Steel, QT Steel dan DQT Steel

**Tabel 5.** Hasil rata-rata dan signal to noise (S/N) untuk kekerasan (H) dan Impact Energy (IE). R = replikasi;  $\bar{H}$  = kekerasan rata-rata;  $\bar{IE}$  = Impact Energy rata-rata

E	Kekerasan					Impact Energy				
	R			$\bar{H}$	S/N Rasio	R			$\bar{IE}$	S/N Rasio
	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>			IE <sub>1</sub>	IE <sub>2</sub>	IE <sub>3</sub>		
1	515	507	542	521,17	54,33	41	45	42	42,67	32,58
2	515	520	515	516,50	54,26	43	44	44	43,67	32,80
3	515	515	524	518,00	54,29	39	43	43	41,67	32,37
4	511	515	515	513,67	54,21	43	41	43	42,33	32,53
5	533	520	511	521,17	54,34	47	49	45	47,00	33,43
6	524	516	515	518,17	54,29	43	40	43	42,00	32,45
7	515	507	516	512,33	54,19	50	46	45	47,00	33,42
8	547	524	533	534,50	55,56	41	41	40	40,67	32,18
9	515	533	533	527,00	54,43	49	42	42	44,33	32,87

**Tabel 6.** Respon. SF adalah sifat mekanik.

SF	Kekerasan rata-rata			Impact Energy rata-rata		
	A	H	T	A	H	T
<i>L</i>						
1	518,56	515,72	524,61	42,67	44,00	41,78
2	517,67	524,06	519,06	43,78	43,78	43,44
3	524,61	521,06	517,17	44,00	42,67	45,22
<i>Selisih</i>	6,94	8,33	7,44	1,33	1,33	3,44
<i>Rank</i>	3	1	2	3	2	1

**Tabel 7.** Respon S/N rasio

SF	Kekerasan			Impact Energy		
	A	H	T	A	H	T
<i>L</i>						
1	54,29189	54,24000	54,39000	32,58367	32,84000	32,40000
2	54,28000	54,38000	54,30000	32,80000	32,80000	32,73000
3	54,39269	54,33569	54,27052	32,82183	32,56158	33,06983
<i>Selisih</i>	0,113474	0,139822	0,120288	0,238161	0,279779	0,665037
<i>Rank</i>	3	1	2	3	2	1

**Tabel 8.** ANOVA; SS = sum of square; SM = square of mean; F<sub>tot</sub> = F total; K = kontribusi.

SF	ANOVA Kekerasan						ANOVA Impact Energy					
	SS	DK	SM	F <sub>h</sub>	F <sub>tot</sub>	K	SS	DK	SM	F <sub>h</sub>	F <sub>tot</sub>	K
<i>A</i>	257,056	2,00	128,528	1,37	3,49	9,43	9,185	2,00	4,593	0,68	3,49	4,44
<i>H</i>	320,667	2,00	160,333	1,71	3,49	11,76	9,185	2,00	4,593	0,68	3,49	4,44
<i>T</i>	269,556	2,00	134,778	1,44	3,49	9,89	53,407	2,00	26,704	3,96	3,49	25,83
<i>Error</i>	1878,389	20,00	93,919			68,91	134,963	20,00	6,748			65,28
<i>Total</i>	2725,667	26,00				100,00	206,741	26,00				100,00

**Prediksi performa optimal**

Pada perhitungan ANOVA, hasil optimal didapat dari tiap parameter. Kemudian dilakukan perhitungan nilai prediksi optimal untuk mengukur apakah uji konfirmasi masih didalam batas toleransi atau tidak.

1) Prediksi kekerasan

$$H_{prediksi} = A_3 + B_1 + C_3 - 2y$$

$$H_{prediksi} = 424,61 + 524,05 + 524,61 - 2 (520)$$

$$n_{eff} = \frac{\text{jumlah total eksperimen}}{1 + \text{jumlah DK}}$$

$$n_{eff} = \frac{9 \times 3}{1 + 6} = 3,86$$

$$CI = \pm \sqrt{F_{0,05;2;20} \times MS_e \times \left(\frac{1}{n_{eff}}\right)}$$

$$= \pm \sqrt{3,49 \times 93,9 \times \left(\frac{1}{3,86}\right)} = \pm 9,22$$

$$H_{prediksi} = 532,72 \pm 9,22$$

2) Prediksi Impact Energy (IE)

$$IE_{prediksi} = 44 + 44 + 45,22 - 2 \times (43)$$

$$= 46,26$$

Interval kepercayaan

$$n_{eff} = \frac{9 \times 3}{1 + 3} = 6,75$$

$$CI = \pm \sqrt{3,49 \times 6,748 \times \left(\frac{1}{3,86}\right)} = \pm 2,47$$

$$IE_{prediksi} = 46,26 \pm 2,47$$

**Kesimpulan**

Hasil penelitian ini disimpulkan berikut:

1. Parameter *Second Quenching dan Tempering* optimum adalah temperatur *austenite* 900 °C, *austenite holding time* 30 menit, dan temperatur *temper* 125 °C dengan nilai prediksi kekerasan 534.50 HVN. Parameter yang memberikan pengaruh terbesar terhadap kekerasan adalah *austenite holding*.
2. Parameter *Second Quenching dan Tempering* optimum adalah temperatur *austenite* 900 °C, *austenite holding time* 15 menit, dan temperatur

*temper 175 °C dengan nilai prediksi impact energy 47 Joule. Parameter yang memberikan pengaruh terbesar terhadap impact energy adalah tempering.*

[12] Soejanto, Irwan, 2009, *Desain Eksperimen dengan Metode Taguchi*, Jogjakarta, 2009.

#### DaftarPustaka

- [1] Avner, H, S. 1974. *Introduction to Physical Metallurgy*, 2nd edition, New York; McGrawHill International Editions.
- [2] Sanij, M.H. Khani, Banadkouki, Ghasemi S.S., Mashregi, A.R., Moshrefifar, M., 2012, The effect of single and double quenching and tempering heat treatments on the microstructure and mechanical properties of AISI 4140 steel, *Materials and Design* 42 (2012), 339–346.
- [3] Liu, Jian, Yu hao, Shong C, Zhang Kai, 2104, Effect of double quenching and tempering heat treatment on the microstructure and mechanical properties of a novel 5Cr steel processed by electro-slag casting, *Materials Science & Engineering A* 619 (2014), 212-220.
- [4] Totten, GE, Bates, CE, Clinton, NA, *Handbook of Quenchant and Quenching Technology*, ASM International, USA, 1993.
- [5] ASM International, 2006. *Practical Heat Treating Second Edition*. Chapt. 2 Fundamental of the Heat Treating Steel.
- [6] Callister, William D. Jr., 2007, *Materials Science and Engineering (An Introduction)*, John Wiley & Son, Inc., hal. 160.
- [7] Sampath, 2007, How to Choose Electrodes for Joining High-Strength Steels, *Welding Journal*, hal 26 – 28.
- [8] Messler, Robert W., Jr., 2004, *Principle of Welding (Processes, Physics, Chemistry, and Metallurgy)*, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, hal. 547.
- [9] Bhadesia, H.K.D.H. & Honeycombe, Robert, 2006, *Steels (Microstructure and Properties)*, 3rd ed., Elsevier, Ltd. Oxford, hal. 116.
- [10] Krauss, George.,1999, Martensite in steel: strength and structure, *Materials Science and Engineering A*273–275 (1999): 40–57.
- [11] G. Luxenburger, M. Bockelmann, P. Wolf, F. Hanus, R. Cawelius, J. Buchholz, High strength quenched and tempered (Q & T) steels for pressure vessels, *International Journal of Pressure Vessels and Piping* 81 (2004) 159–171.