

OPTIMASI PARAMETER QUENCHING DAN TEMPERING PADA HRP STEEL LOKAL SEBAGAI BAJA ARMOR NASIONAL

Yurianto¹, Pratikto², Rudy Soenoko², Wahyono Suprpto²

¹Departemen Teknik Mesin FT UNDIP Jl. Prof. Sudarto, SH Semarang Jawa tengah Indonesia

²Jurusan Teknik Mesin FT UB Jl. MT. Haryono Malang Jawa Timur Indonesia

Nomor Telepon 024 7460059

E-mail: yurianto@undip.ac.id

Abstract

Armor steel is a high strength and hardness steel that used to protect against damage by an object, individual or vehicle from direct pressure of projectile. In Indonesia, this steel is made of hot rolled plate steel and heat treated by quench and temper, the result is Quenched & Tempered Steels used for military components (such as main battle tank and the like) and commercials (such as making heavy equipment and others) manufactures. The problems of this study can be formulated by "What are the optimum hardness number and toughness that can be achieved by HRP Steel made in Indonesia?". This study aims to find of optimum parameter of quenching and tempering heat treatment to hardness and toughness of HRP Steel made in Indonesia. The method of this study to combining quench and temper heat treatment by optimizing austenitization temperature; holding time of austenization; tempering temperature; holding time of tempering. Optimization are done by using Minitab 16 Software. The result of study are austenitization temperature 900 °C; holding time of austenization 45 minutes; tempering temperature 125 °C; holding time of tempering 45 minutes; hardness prediction 569,96 HVN (and hardness influenced by tempering). For austenitization temperature 900 °C; holding time of austenization 45 minutes; tempering temperature 175 °C; holding time of tempering 45 minutes; prediction of toughness 30.50 J (and toughness influenced by tempering).

Keywords: austenitization, quenching, tempering, hardness, toughness.

PENDAHULUAN

Armour steel adalah baja kekuatan dan kekerasan tinggi untuk melindungi benda dari kerusakan dari tekanan langsung proyektil selama pertempuran. Di Indonesia *armour steel* dibuat dari *hot rolled plate steel (HRP Steel)* buatan Indonesia yang diperlakukan panas *quench + temper*, dan hasilnya Q&T Steel (*Quenched & Tempered Steel*).

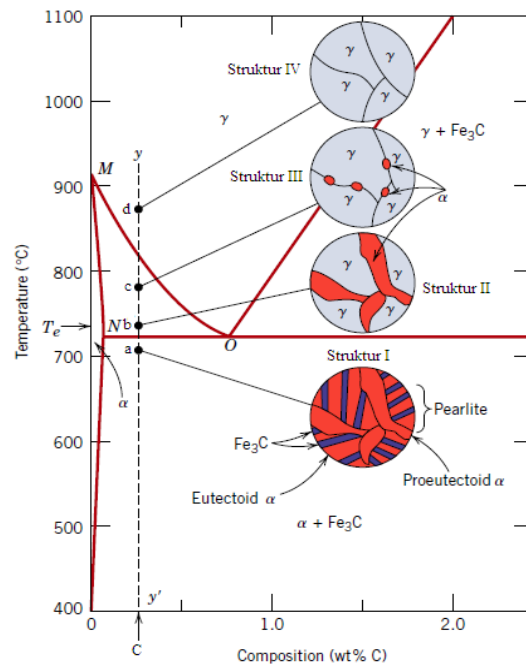
Sifat mekanik baja paduan rendah dapat ditingkatkan dengan penghalusan butir *austenite* [1]. Zona *austenite* berada diatas garis Ar_3 (kira-kira titik d Gambar 1) untuk

HRP Steel dihitung dengan rumus berikut [2],

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

Selama *quenching* terjadi transformasi struktur *austenite* ke *martensite*. Mulai terbentuknya struktur *martensite* dihitung:[2],

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



Gambar 1. Diagram Fe₃C [3]

Rumus (2) digunakan pada baja dengan *carbon* 0.2% - 0,8%.

Akhir pembentukan struktur *martensite* adalah,

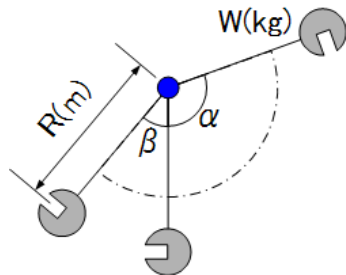
$$M_f = 175 \text{ }^\circ\text{C} - 265 \text{ }^\circ\text{C} \text{ dibawah } M_s \quad (3)$$

Akhir *quenching* menghasilkan baja yang keras oleh struktur *martensite* dan sulit di manufaktur, untuk itu perlu sedikit pelunakan (kekerasan sedikit menurun) dengan *tempering* untuk meningkatkan keliatan (*ductility*).

Tempering menghasilkan karbida yang tersebar dalam matriks *ferritic* yang sedikit mirip dengan *martensite* asli [4]. *Temper quenched steels* pada temperatur (148 – 205) °C akan terjadi penurunan kekerasan dan *internal stress* [4]. *Temper* praktis di industri dilakukan pada 150 °C [5]. Profil kekerasan baja setelah *temper*, struktur mikronya lebih homogen [6]. Meningkatnya waktu *temper*, penghalusan menurun secara signifikan [7].

Energi *impact Charpy* dihitung dengan rumus [3],

$$E = W \times R \times (\cos \beta - \cos \alpha) \quad (4)$$



Gambar 2. Charpy Impact

Dalam hal ini (Gambar 2),

W = Berat *hammer*, kg.

R = Jarak pusat *hammer*, m.

α = Sudut angkat sebenarnya, (°)

β = Sudut setelah kontak (°).

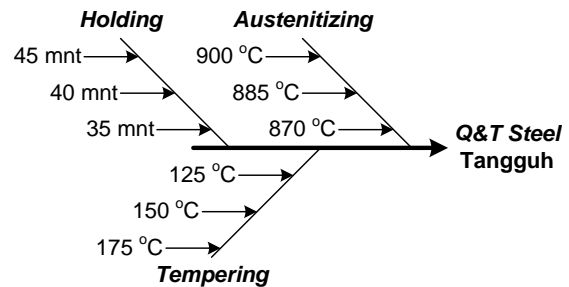
Rumusan masalah penelitian ini adalah “Berapa angka kekerasan dan ketangguhan optimum yang bisa dicapai oleh *HRP Steel* buatan Indonesia ?.

Penelitian ini bertujuan untuk mencari kekerasan dan ketangguhan optimum *HRP Steel* buatan Indonesia setelah proses *quench* dan *temper*.

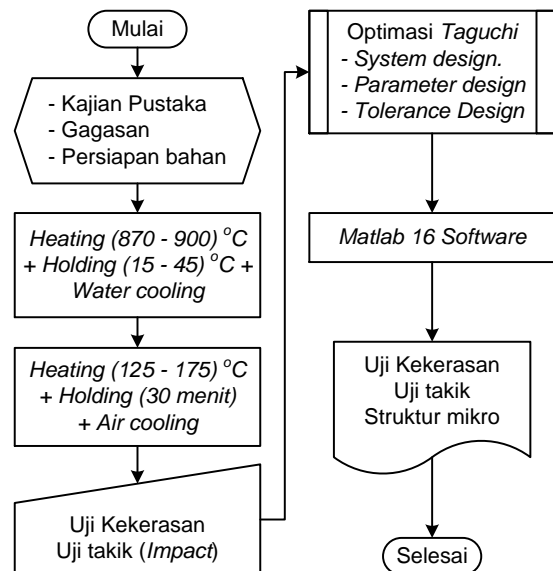
METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan adalah optimasi temperatur *austenite*, *austenite holding time* dan

temperatur *temper*. Parameter *quenching*, *tempering* dan tahapan penelitian ditunjukkan dalam Gambar 3 dan Gambar 4. Pengolahan data dilakukan dengan *Minitab 16 Software*.



Gambar 3. Pemilihan level



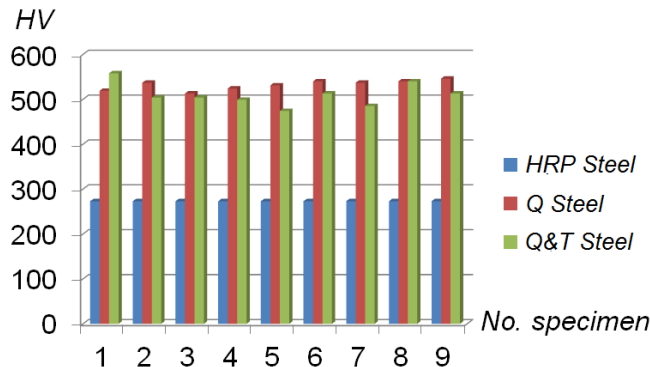
Gambar 4. Diagram alir jalannya penelitian

Tabel 1 HRP Steel tebal 10 mm

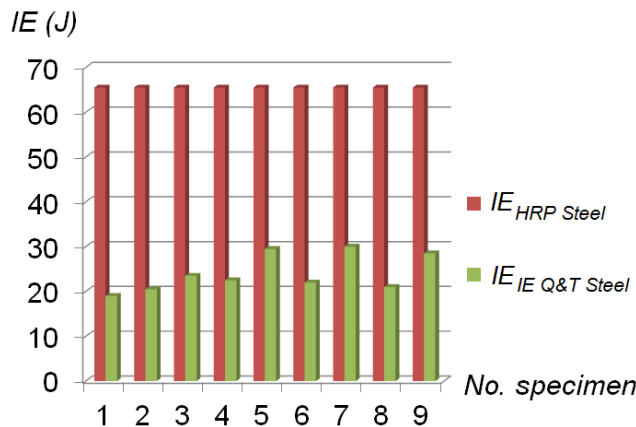
Unsur	% berat	Unsur	% berat
Al	0,03785	Pb	0,00825
C	0,29342	Si	0,32985
Cr	0,55029	S	0,00810
Cu	0,08337	Tin	0,00339
Fe	96,7625	Ti	0,00439
Mn	1,41218	V	0,01473
Mo	0,19303	W	0,00951
Ni	0,27877	Zn	0,00378
P	0,01425	Zr	0,00116

HASIL DAN PEMBAHASAN

Unsur yang terkandung



Gambar 5. Perbandingan kekerasan *HRP Steel*, *Q Steel* dan *Q&T Steel*



Gambar 6. Perbandingan energi yang diserap *HRP Steel*, *Q Steel* dan *Q&T Steel*

Hasil observasi *spectrometer* pada *HRP Steel* (Tabel 1). Unsur carbon (C) 0,292342%, baja adalah *heat treatable steel*.

Berdasarkan unsur kimia yang terkandung, mulai dan berakhirnya terbentuk struktur *martensite* dapat dicari. Struktur *martensite* sangat penting dalam pengerasan baja.

Temperatur A_{r3} $T_{Ar3} \approx 665$ °C, austenitisasi diatas 665 °C. Temperatur M_s , ≈ 357 °C. Temperatur $M_F = 91$ °C sd. 182 °C dibawah M_s . *Temper* dibawah M_s , dan bersifat mereduksi tegangan sisa dan tidak mengurangi struktur *martensite*.

Kekerasan

Setelah *quench* dan *temper*, kekerasan hanya oleh struktur *matensite*, atau kekerasan metalurgis.

Pengerasan lain juga terjadi karena adanya pemuaiian ketika pemanasan ke temperatur *austenite* dan penyusutan ketika *quenching*

kedalam air yang menghasilkan tegangan sisa tekan, atau pengerasan mekanis.

Setelah *quenching* dilakukan *temper* dengan temperatur yang divariasikan. Temperatur *temper* dipilih dibawah M_F , hal ini dimaksudkan untuk menghindari berkurangnya struktur *martensite* dan hanya mereduksi tegangan sisa yaitu 125 °C, 150 °C dan 175 °C.

Hasil observasi kekerasan terhadap *specimen* sebelum dan sesudah perlakuan panas *quench* dan *temper*, masing-masing diplot dalam bentuk diagram batang (Gambar 5). Nampak perbedaan kekerasan *HRP Steel*, *Q Steel* dan *Q&T Steel* setelah proses *tempering*.

Impact Energy (IE)

Oleh karena yang diinginkan adalah *Q&T Steel*, maka *impact energy* dibandingkan dengan *HRP Steel* (lokal). Artinya dengan cara mengoptimasikan 3 (tiga) titik temperatur pemanasan (*heating*) diatas garis A_{r3} .

Pada Gambar 6 nampak bahwa *HRP Steel* setelah mengalami perlakuan panas *quench* dan setelah selesai dilanjutkan dengan perlakuan panas *temper* (yang menghasilkan *Q&T Steel*) mengalami penurunan *impact energy (IE)* yang cukup *significant*.

Tabel 2 desain parameter dan level taguchi

P	L		
	1	2	3
A	870	885	900
H	15	30	45
T	125	150	175

Tabel 3 Orthogonal array L₉

P	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

Tabel 4 . Kekerasan dan signal / noise

E	Replikasi			\bar{H}	S/N Rasio
	H ₁	H ₂	H ₃		
1	571	552	561	561,67	54,9819
2	533	533	542	536,00	54,5825
3	551	533	524	536,00	54,5776
4	524	533	533	530,00	54,4847
5	515	505	490	503,33	54,0316
6	542	542	551	545,00	54,7217
7	515	515	515	515,00	54,2361
8	571	581	571	574,33	55,1824
9	542	551	542	545,00	54,7271

Catatan:

E = Eksperimen.

Tabel 5 . Ketangguhan dan signal / noise

E	Replikasi		\bar{H}	S/N Rasio
	H ₁	H ₂		
1	20,00	18,00	19,00	25,54
2	20,00	21,00	20,50	26,23
3	22,00	25,00	23,50	27,37
4	21,00	24,00	22,50	26,99
5	29,00	30,00	29,50	29,39

6	23,00	21,00	22,00	26,82
7	29,00	30,00	29,50	29,39
8	22,00	20,00	21,00	26,41
9	28,00	29,00	28,50	29,09

Tabel 6 Respon kekerasan rata rata

L	A	H	T
1	544,44	535,44	560,11
2	526,00	537,89	537,00
3	544,78	541,89	518,11
Selisih	18,78	6,44	42,00
Rank	2	3	1

Tabel 7 Respon ketangguhan rata rata

L	A	H	T
1	21,00	23,67	20,67
2	24,67	23,67	23,83
3	26,33	24,67	27,50
Selisih	5,33	1,00	6,83
Rank	2	3	1

Tabel 8 respon S/N rasio kekerasan

L	A	H	T
1	54,7140	54,56758	54,96202
2	54,4127	54,59885	54,59810
3	54,7152	54,67551	54,28181
Selisih	0,30250	0,10790	0,68020
Rank	2	3	1

Tabel 9 Respon S/N rasio kekerasan

L	A	H	T
1	26,38	27,31	26,26
2	27,73	27,34	27,44
3	28,30	27,76	28,72
Selisih	1,92	0,46	2,46
Rank	2	3	1

Optimasi

Dalam penelitian ini metode yang digunakan adalah metode Taguchi. Terdapat 4 langkah dalam metode Taguchi sebagai berikut.[8]

1. Pemilihan karakter kualitas.
Terdapat tiga macam karakter kualitas dalam metode Taguchi yaitu *smaller*, *better* dan *larger* adalah lebih baik.
2. Pemilihan faktor kontrol dan bebas.
Dalam penelitian ini dipilih faktor bebas se banyak 3 yaitu austenisasi (A), *holding*

(H) dan *tempering* (T). Sedang faktor kontrolnya adalah kekerasan dan ketangguhan.

3. Pemilihan *ortogonal array*.

Ada tiga pa-rameter dalam penelitian ini. Setiap parameter (P) memiliki tiga level (L). Perhitungan derajat kebebasan (DK) didapat derajat kebebasan sebanyak 6 sehingga *orthogonal array* yang dipilih harus sama atau lebih dari tiga.

Besar dari derajat kebebasannya. *Ortogonal array* yang memenuhi adalah L9 (33).

4. Pelaksanaan pengujian. Terdapat 9 eksperimen dalam penelitian ini dengan para-meter dan level yang berbeda-beda. Pengujian dilakukan pada mesin furnace. Setiap ekspe-rimen di sesuaikan dengan kondisi pada *orto-gonal array*. Spesimen yang digunakan ada-lah *HRP Steel* dengan kekerasan awal 286 HVN.

Pada tabel anova dapat dilihat persen kontribusi di masing-masing parameter, untuk kekerasan (Tabel 10) dan ketangguhan (Tabel 11) yang memiliki kontribusi terbesar adalah *tempering*. F_{hitung} sebagai pembanding dengan F tabel sehingga ada kedua kolom tersebut total dan error tidak dihitung. Jika F_{hitung} lebih besar dari F tabel maka hipotesa bisa diterima.

Anova

Tabel 10. Anova kekerasan

L	SS	DK	SM	F _H	F _{Tot}	K
A	2066,074	2,00	1033,037	9,45	3,49	16,54
H	191,630	2,00	95,815	0,88	3,49	1,53
T	8051,852	2,00	4025,926	36,85	3,49	64,44
Err.	2185,185	20,00	109,259			17,49
Tot.	12494,741	26,00				100,00

Catatan:

F_H = Fungsi hitung; F_{Tot} = Fungsi total; K = Kontribusi

Tabel 11. Anova ketangguhan

L	SS	DK	SM	F _H	F _{Tot}	K
A	89,333	1,00	89,333	24,85	4,60	31,46
H	4,000	1,00	4,000	1,11	4,60	1,41
T	140,333	1,00	140,333	39,03	4,60	49,41
Err	50,333	14,00	3,595			17,72
Tot	284,000	17,00				100,00

Prediksi performa optimal

Pada perhitungan ANOVA, didapatkan hasil optimal dari tiap parameter. Kemudian berda-sarkan hasil yang didapat, maka dilakukan per-hitungan nilai prediksi optimal untuk mengukur apakah uji konfirmasi masih dalam batas tole-ransi atau tidak.

1. Prediksi kekerasan

$$H \text{ prediksi} = A_3 + B_3 + C_1 - 2y. \tag{5}$$

$$H \text{ prediksi} = 544,78 + 541,89 + 560,11 - 2 \times (538,41)$$

$$H \text{ prediksi} = 569,96 \text{ (HVN)}$$

Interval kepercayaan.

$$\eta_{eff} = \frac{\text{Jumlah total eksperimen}}{1 + \text{jumlah } DOF} \tag{6}$$

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

$$CI = \pm \sqrt{F_{0,05;2;20} \times MS_e \times \left(\frac{1}{\eta_{eff}}\right)} \tag{7}$$

$$CI = \pm \sqrt{3,49 \times 110,43 \times \left(\frac{1}{3,86}\right)}$$

$$CI = \pm 10$$

$$H_{prediksi} = 569,96 \pm 10 \text{ (HVN)}$$

2. Prediksi ketangguhan

$$H \text{ prediksi} = A_3 + B_3 + C_1 - 2y. \tag{8}$$

$$H \text{ prediksi} = 26,33 + 24,67 + 27,50 - 2 \times (24)$$

$$H \text{ prediksi} = 30,40 \text{ (J)}$$

Interval kepercayaan

$$\eta_{eff} = \frac{\text{Jumlah total eksperimen}}{1 + \text{jumlah } DOF} \tag{9}$$

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

$$CI = \pm \sqrt{F_{0,05;1;1,4} \times MS_e \times \left(\frac{1}{\eta_{eff}}\right)} \tag{10}$$

$$CI = \pm \sqrt{4,60 \times 3,595 \times \left(\frac{1}{3,86}\right)}$$

$$CI = \pm 1,57$$

$$H_{prediksi} = 30,50 \pm 1,57 \text{ (J)}$$

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan menunjukkan bahwa *HRP Steel* lokal tebal 10 mm bisa dikeraskan dengan mengacu pada kekerasan dan ketangguhan yang diinginkan, dan ini merupakan nilai optimum yang bisa dicapai.

Selanjutnya hasil penelitian dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Kondisi parameter optimum yang berpengaruh pada nilai kekerasan adalah austeni-sasi pada temperatur 900 °C, *holding time* selama 45 menit, dan *tempering* pada 125 °C dengan nilai prediksi kekerasan sebesar 569,96 HVN. Parameter yang memberikan pengaruh terbesar pada kekerasan adalah *tempering*.
2. Kondisi optimal parameter yang berpengaruh pada nilai ketangguhan adalah austeni-sasi pada temperatur 900 °C, *holding time* selama 45 menit, dan *tempering* pada 175 °C dengan nilai prediksi ketangguhan sebesar 30,50 J. Parameter yang memberikan pengaruh terbesar pada ketangguhan adalah *tempering*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kepada Ir. Amung Somantri PT. Krakatau Steel (Persero), Cilegon, Banten, Indonesia atas ijin observasi dan bantuan bahan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. O. Lee, S. K. Hong, Y. K. Kang, H. J. Yoon and S. S. Kang, 2009, *Grain Refinement In Bearing Steels Using A Double Quenching, Heat-Treatment Process*, International Journal of Automotive Technology, Vol. 10, No. 6, pp. 697–702.
- [2] Sampath, 2007, *How to Choose Electrodes for Joining High-Strength Steels*, Welding Journal, hal 26 – 28.
- [3] Messler, Robert W., Jr., 2004, *Principle of Welding (Processes, Physics, Chemistry, and Metallurgy)*, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, hal. 547.
- [4] Bhadesia, H.K.D.H. & Honeycombe, Robert, 2006, *Steels (Microstructure and Properties)*, 3rd edition, Elsevier, Ltd. Oxford, hal. 116.
- [5] Krauss, George.,1999, *Martensite in steel: strength and structure*, Materials Science and Engineering A273–275 (1999): 40–57.
- [6] G. Luxenburger, M. Bockelmann, P. Wolf, F. Hanus, R. Cawelius, J. Buchholz, 2004, *High strength quenched and tempered (Q+T) steels for pressure vessels*, International Journal of Pressure Vessels and Piping 81, 159 – 171.
- [7] C. Revilla, B. López, J.M. Rodriguez-Ibabe, 2014, *Carbide size refinement by controlling the heating rate during induction tempering in a low alloy steel*, Materials and Design 62 (2014) 296–304.
- [8] Soejanto, Irwan, 2009, *Desain Eksperimen dengan Metode Taguchi*, Jogjakarta, 2009.