

## Optimasi Kekerasan Baja S45C pada Proses *Hardening Helical Gear* Menggunakan Metode Taguchi

Rikma Mila Ilmaya<sup>1\*</sup>, Pranowo Sidi<sup>2</sup>, Farizi Rachman<sup>3</sup>

Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia<sup>1,2,3</sup>  
E-mail : rikmaa.rm@gmail.com<sup>1\*</sup>

---

**Abstract** – One of the uses of steel is as a basic material for making helical gear. Helical gear is made of medium carbon steel S45C which is carbon steel for the use of machine structure. Sometimes in the production process of helical gear has a hardness values that are not in accordance with the standards of hardness that have been determined by the customer. One way to improve the nature of hardness is the hardening process. The hardening process can be done by considering the factors that affected the hardness of a material, such as heating temperature, holding time, cooling medium, and coolant media temperature. In this research, the method of analysis used is Taguchi with signal to noise ratio (RSN) nominal the best to determine the effect of factors and determine the optimal parameter combination in order for knowing the appropriate of hardness value. From the results of research, it is found the factors that influence the hardness of S45C steel in the hardening process of helical gear are the temperature of cooling medium. As for the optimum parameter combination is heating temperature 740oC, holding time 20 minutes, oil cooling medium and coolant temperature 35oC.

**Keywords:** *Hardening, Helical Gear, RSN, S45C Steel, Taguchi*

---

### 1. PENDAHULUAN

Salah satu kegunaan baja adalah sebagai bahan dasar untuk pembuatan *helical gear*. *Helical gear* ini digunakan sebagai komponen untuk struktur mesin *screw conveyor* pada proses produksi pupuk urea. Baja S45C (JIS) digunakan untuk bahan dasar pembuatan *helical gear*. Adakalanya dalam proses produksi *helical gear* memiliki variasi nilai kekerasan material yang tidak sesuai dengan standar kekerasan yang telah ditentukan oleh kosumen. Salah satu cara untuk meningkatkan sifat kekerasan adalah dengan proses pengerasan (*hardening*). Tujuan ini akan tercapai seperti apa yang diinginkan jika memperhatikan faktor – faktor pada tahapan proses *hardening*, seperti suhu pemanasan, waktu penahanan, media pendingin, dan suhu media pendingin yang digunakan. Berdasarkan permasalahan diatas maka perlu dilakukan penentuan metode perbaikan yang tepat agar dapat meningkatkan kekerasan material S45C pada *helical gear*. Maka, penelitian ini akan menggunakan *design of experiment* dengan metode Taguchi. Dibandingkan dengan metode desain eksperimen yang lain, metode Taguchi memiliki desain yang lebih sederhana dalam proses pelaksanaan eksperimennya Hal ini dapat mengefisiensi waktu dan biaya dalam melakukan percobaan kaena percobaan hanya dilakukan sepertiga dari percobaan faktorial.

### 2. METODOLOGI

#### 2.1 Alat dan Bahan Penelitian

Bahan penelitian yang dibutuhkan baja S45C, oli, air tawar, air garam dengan konsentrasi garam 5%. Alat-alat yang dibuthkan mesin *hardness tester*, *furnace*, termos untuk wadah media pendingin, *thermometer* aquarium, *stopwatch*, batu gerinda, gergaji, kertas gosok, gerinda, dan tang, kacamata, sarung tangan.

#### 2.2 Pelaksanaan eksperimen

Menyiapkan spesimen yang akan akan di panaskan dalam *furnace*. Kedua, potong spesimen dengan gergaji kemudian haluskan permukaan spesimen dengan gerinda dan kertas gosok. Selanjutnya, memanaskan spesimen tersebut dalam oven pemanas, atur suhu sesuai dengan suhu yang telah ditentukan dalam eksperimen. Setelah mencapai suhu pemanasan yang diinginkan, kemudian ditahan dengan waktu penahan (*holding time*) yang telah dipilih dalam eksperimen. Sembari menunggu proses pemanasan material selesai, siapkan media pendingin dan atur suhunya. Caranya, siapkan media pendingin yang akan digunakan dalam termos, buat suhu media pendingin agar sesuai dengan yang diinginkan, misalnya dengan memanaskan atau mendinginkannya dengan es, ukur suhunya menggunakan *thermometer* aquarium. Setelah didapatkan suhu yang sesuai, segera tutup media pendingin tersebut agar suhu stabil atau tidak terkena pengaruh oleh suhu luar. Letakkan batu gerinda pada dasar termos agar termos tidak

terbakar waktu material yang sudah dipanaskan dimasukkan kedalam termos. Setelah proses oven dan suhu media pendingin telah sesuai, angkat spesimen dengan menggunakan tang, kemudian celupkan pada media pendingin selama kurang lebih 5 menit. Terakhir, melakukan pengujian uji kekerasan dengan menggunakan mesin *hardnes tester*.

**2.3 Langkah-langkah Penelitian**

- Variabel tak bebas yang digunakan dalam penelitian adalah nilai kekerasan dari baja S45C.
- Variabel bebas, dalam penelitian ini diambil 4 faktor atau variabel bebas diantaranya temperatur pemanasan, *holding time*, media pendingin, dan temperatur media pendingin.
- Menghitung derajat kebebasan
- Pemilihan matriks ortogonal  
 Derajat kebebasan= (banyaknya faktor) x (banyaknya level-1)  
 $L_9(3^4) = 4 \times (3-1) = 8$  derajat kebebasan  
 Jadi matriks orthogonal yang dipilih adalah  $L_9(3^4)$ .
- Pengambilan data, hasil eksperimen diukur dengan menggunakan alat uji kekerasan (*hardnes tester*) dalam satuan HB.
- Analisa data

**3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**3.1 Data Hasil Pengujian**

Data hasil pengujian kekerasan menggunakan dengan matriks ortogonal yang sudah direncanakan sebelumnya sebagai berikut.

Tabel 1: Data Hasil Uji Kekerasan

Eks	Faktor dan Interaksi				Hasil Pengujian Nilai Kekerasan (HB)			
	A	B	C	D	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Mean
1	740	10	air tawar	15	188	190	201	193
2	740	20	air garam	25	182	182	188	184
3	740	30	Oli	35	202	203	207	204
4	795	10	air garam	35	245	234	241	240
5	795	20	oli	15	244	235	247	242
6	795	30	air tawar	25	225	225	234	228
7	850	10	oli	25	198	201	195	198
8	850	20	air tawar	35	290	284	284	286
9	850	30	air garam	15	240	242	262	248

Sumber: Hasil Eksperimen, 2018

**3.2 Analisa**

**3.2.1 Perhitungan Rasio S/N**

Karakteristik rasio S/N yang digunakan untuk respon kekerasan adalah tertuju pada nilai tertentu / *Nominal is The Best*. Berikut ini rumus rasio S/N tertuju pada nilai tertentu.

$$S/N = 10 \log \left( \frac{y^2}{s^2} \right)$$

Dengan :

y = rata-rata respon

s = variansi sampel

$$= \frac{\sum(X-\mu)^2}{n-1}$$

Tabel 2: Hasil Perhitungan Nilai S/N

Eks	Faktor dan Interaksi				Nilai Kekerasan (HB)			S/N
	A	B	C	D	R1	R2	R3	
1	740	10	air tawar	15	188	190	201	28,809
2	740	20	air garam	25	182	182	188	34,505
3	740	30	oli	35	202	203	207	37,742
5	795	20	oli	15	244	235	247	31,766
6	795	30	air tawar	25	225	225	234	32,845
7	850	10	oli	25	198	201	195	36,391
8	850	20	air tawar	35	290	284	284	38,336
9	850	30	air garam	15	240	242	262	26,186
Jumlah								299,269
Rata-rata								33,252

Sumber: Hasil Perhitungan, 2018

Perhitungan pengaruh variasi level masing-masing faktor terhadap nilai kekerasan berdasarkan nilai rasio S/N dilakukan untuk mengetahui level mana yang optimal untuk setiap faktor dari perhitungan tersebut didapatkan tabel seperti berikut.

Tabel 3: Pengaruh Level dan Faktor

Pengaruh	A	B	C	D	Keterangan:
Level 1	33,685	32,630	33,330	28,920	
Level 2	32,434	34,869	31,127	34,580	
Level 3	33,638	32,258	35,299	36,256	
Selisih	1,251	2,611	4,172	7,335	
Rank	4	3	2	1	

Sumber: Hasil Perhitungan, 2018

Berdasarkan tabel tersebut kemudian di ambil level faktor yang paling berpengaruh terhadap berat. Untuk memperoleh karakteristik yang sesuai yaitu tertuju pada nilai tertentu, maka kombinasi level faktor optimum dicapai pada nilai rata-rata rasio S/N level faktor tertinggi dari setiap faktor, yaitu:

$\bar{A}_1$  = temperatur pemanasan, 740 °C

$\bar{B}_2$  = *holding time* 20 menit

$\bar{C}_3$  = media pendingin oli

$\bar{D}_3$  = temperatur media pendingin 35 °C

### 3.2.2 Analysis of Varians

Tabel 4: Hasil Analisis Varians Rasio S/N

Source of Varians	Sum of Square (SS)	Degrees of Freedom (DF)	Means of Square (MS)
Temperatur Pemanasan	3,017	2	1,509
Holding Time	11,966	2	5,983
Media Pendingin	26,138	2	13,069
Suhu Media Pendingin	88,650	2	44,325
Error	0	-	-
Total	129,771	8	-

Sumber: Hasil Perhitungan, 2018

Penggabungan dilakukan karena nilai dari F hitung tidak diketahui karna error bernilai 0, sehingga perlu dilakukan strategi *pooling up*. Penggabungan tersebut mengakibatkan perubahan pada tabel anova menjadi Tabel 5 hasil analisis penggabungan.

Tabel 5: Hasil Analisis Varians Penggabungan (*Pooling Up*)

Source of Varians	Sum of Square (SS)	Degrees of Freedom (DF)	Means of Square (MS)
Temperatur Pemanasan	<i>Pooling Up</i>		
Holding Time	11,966	2	5,983
Media Pendingin	26,138	2	13,069
Suhu Media Pendingin	88,650	2	44,325
Error	3,017	2	1,509
Total	129,771	8	-

Sumber: Hasil Perhitungan, 2018

Jika nilai F-hitung lebih besar dari F-tabel maka hipotesa alternatif ( $H_1$ ) diterima. Dan jika F-hitung lebih kecil dari F-tabel maka hipotesa awal ( $H_0$ ) diterima. Data F-tabel diambil dengan tingkat kepercayaan 90% dengan level signifikan ( $\alpha$ ) 10%. F-tabel dapat dirumuskan dengan

$$F_{(\frac{\alpha}{2}; df_A; df_E)} = F_{0,05(2,2)} \text{ sehingga nilai F table adalah } 19.$$

Hipotesis untuk faktor B

$H_0$  : Tidak ada pengaruh perlakuan faktor B terhadap kekerasan baja S45C

$H_1$  : Ada pengaruh perlakuan faktor B terhadap kekerasan baja S45C

$$F \text{ hitung B} = \frac{MS_B}{MS_e} = \frac{5,983}{1,509} = 3,966$$

Kesimpulan : *holding time* tidak berpengaruh signifikan terhadap kekerasan pada proses *hardening* Baja S45C.

Hipotesis untuk faktor C

$H_0$  : Tidak ada pengaruh perlakuan faktor C terhadap kekerasan baja S45C

$H_1$  : Ada pengaruh perlakuan faktor C terhadap kekerasan baja S45C

$$F \text{ hitung C} = \frac{MS_C}{MS_e} = \frac{13,069}{1,509} = 8,663$$

Kesimpulan : media pendingin tidak berpengaruh signifikan terhadap kekerasan pada proses *hardening* baja S45C.

Hipotesis untuk faktor D

$H_0$  : Tidak ada pengaruh perlakuan faktor D terhadap kekerasan baja S45C

$H_1$  : Ada pengaruh perlakuan faktor D terhadap kekerasan baja S45C

$$F \text{ hitung D} = \frac{MS_D}{MS_e} = \frac{44,325}{1,509} = 29,381$$

Kesimpulan : suhu media pendingin berpengaruh signifikan terhadap kekerasan pada proses *hardening* baja S45C.

### 3.2.3 Output Minitab

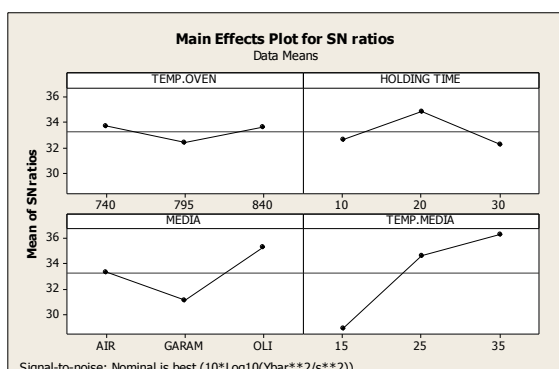
Source	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
HOLDING TIME	11.966	11.966	5.983	3.97	0.201
MEDIA PENDINGIN	26.138	26.138	13.069	8.66	0.103
SUHU MEDIA PEND.	88.650	88.650	44.325	29.38	0.0033
Error	3.017	3.017	1.509		
Total	129.771				

Gambar 1. Anova untuk Rasio S/N dengan *Pooling Up*

Response Table for Signal to Noise Ratios  
 Nominal is best ( $10 \cdot \log_{10}(\bar{Y}_{bar}^{**2}/s^{**2})$ )

Level	TEMP. OVEN	HOLDING TIME	MEDIA PENDING	TEMP. MEDIA
1	33.69	32.63	33.33	28.92
2	32.43	34.87	31.13	34.58
3	33.64	32.26	35.30	36.26
Delta	1.25	2.61	4.17	7.34
Rank	4	3	2	1

Gambar 2. Hasil Respon untuk Rasio S/N

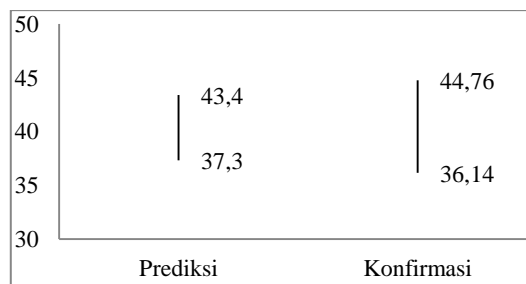


Gambar 3. Plot Rasio S/N

Hasil perhitungan menggunakan software minitab menunjukkan hasil yang sama dengan hasil perhitungan secara manual.

### 3.3 Eksperimen Konfirmasi

Eksperimen konfirmasi dilakukan berdasarkan kombinasi optimum hasil dari perhitungan sebelumnya yaitu temperatur pemanasan 740°C, holding time 20 menit, media pendingin oli, dan temperature media pendingin 35°C. Tujuan dari eksperimen konfirmasi adalah untuk memverifikasi dugaan atau prediksi yang telah didapatkan sebelumnya.



Gambar 4. Grafik Perbandingan Interval Kepercayaan

Berdasarkan grafik tersebut dapat diketahui interval kepercayaan prediksi beririsan dengan interval kepercayaan konfirmasi, sehingga data bisa diterima.

## 4. KESIMPULAN

Dari hasil eksperimen dan *Analysis of Varians* pada interval kepercayaan 90% diperoleh hasil:

1. Parameter - parameter yang berpengaruh terhadap kekerasan baja S45C pada proses *hardening helical gear* adalah temperatur media pendingin.
2. Konfigurasi parameter yang optimum terhadap kekerasan baja S45C pada proses *hardening helical gear* adalah temperatur pemanasan 740°C, holding time 20 menit, media pendingin oli dengan temperatur 35°C.

## 5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ardiansyah, Y.(2016). Pengaruh Temperatur Proses Hardening dengan Media Air Terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan Baja Karbon Sedang. **Skripsi, Jurusan Teknik Mesin**, Universitas Negeri Semarang, Semarang.
- [2] Baihaqi, M.Y.(2017). Pengaruh Penambahan Seng (Zn) Terhadap Sifat Kekerasan Paduan Tembaga-Seng (Cu-Zn) Untuk Aplikasi Elektoda Las. **Skripsi, Jurusan Teknik Material dan Metalurgi**, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- [3] Dimu, R.J.(2014). *Optimasi Hardening Baja Karbon Sedang dengan Fluida Getah Pohon Pisang Menggunakan Metode Taguchi*. **Jurnal Rekayasa Mesin**, Vol. 5, No.2, Universitas Brawijaya, Malang.
- [4] Effendi, S.(2009). *Pengaruh Perbedaan Waktu Penahan Suhu Stabil Terhadap Kekerasan Logam*. **Jurnal Austenit**, Vol. 1, No. 1, Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang.

- [5] Fatoni, Z.(2015). *Pengaruh Kontruksi Baja yang Terbakar Diberi Perlakuan Pendinginan Air*. **Jurnal Desiminasi Teknologi**, Vol. 3, No. 1, Universitas Tridanti Palembang, Palembang.
- [6] Firman, M. (2016). *Analisa Kekerasan Baja ST 42 Dengan Perlakuan Panas Menggunakan Metode Taguchi*. **Jurnal Teknik Mesin UNISKA**, Vol. 01, No. 02, Universitas Islam Kalimantan Muhammad Arsyad Al Banjari, Banjarmasin.
- [7] Fitria, N.(2006). *Pengaruh Metode Desain Eksperimen Taguchi Dalam Optimasi Karakteristik Mutu*. Jurusan Matematika Fakultas Sains dan Teknologi, **Skripsi, Jurusan Matematika**, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim, Malang.

