

**Pengaruh Variasi Temperatur Pemanasan dan Waktu Penahanan (*Holding Time*) terhadap Nilai Kekerasan Material *Medium Carbon Steel* (ST-60) pada Proses *Hardening***

**Yovita Agustina Hariyanto**

Program Studi Teknik Manufaktur  
Universitas Surabaya  
[S6125005@student.ubaya.ac.id](mailto:S6125005@student.ubaya.ac.id)

**Abstrak** – *Hardening* merupakan salah satu proses yang sering digunakan untuk meningkatkan kekerasan produk agar tidak mudah aus saat digunakan. Contoh produk yang membutuhkan proses *hardening* adalah poros, roda gigi, *sprocket* dan sebagainya. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi temperatur pemanasan dan waktu penahanan (*holding time*) terhadap nilai kekerasan material ST-60 pada proses *hardening*. Pada penelitian ini menggunakan metode penelitian Faktorial Desain untuk mengetahui pengaruh dari parameter yang diuji. Material dipanaskan pada temperatur 800°C, 830°C dan 860°C kemudian dilakukan *holding time* selama 15 menit, 20 menit dan 25 menit. Kemudian material didinginkan secara cepat (*Quenching*) dengan menggunakan air sebagai media pendingin. Penelitian menggunakan material ST-60/AISI 1045 yang merupakan kategori *medium carbon steel*. Setelah itu, dilakukan pengujian kekerasan dari material dengan menggunakan Rockwell C untuk mendapatkan nilai kekerasannya. Dari hasil penelitian nilai kekerasan tertinggi didapatkan pada saat temperatur 800°C dengan *holding time* 25 menit yaitu sebesar 56,27 HRC. Sedangkan untuk pengaruh dari *holding time* yaitu semakin lama *holding time* maka nilai kekerasan akan mengalami peningkatan. Namun, jika pada temperatur tinggi dilakukan *holding time* yang lama maka nilai kekerasan akan mengalami penurunan.

**Kata kunci** : Kekerasan Material, Proses Pengerasan Logam, ST-60/AISI 1045, Temperatur Pemanasan, Waktu Penahanan.

**Abstract** – *Hardening* is one of the heat treatment processes that is often used to increase the hardness number of material. The examples of products that require hardening process are shaft, gears, sprocket, etc. This study determines the effect of heating temperature and holding time variation in increasing the hardness number of material ST-60 in hardening process. This study uses factorial design method to determine the effect of these two parameters. Material will be heated to reach 800°C, 830°C and 860°C and then hold for 15 minutes, 20 minutes and 25 minutes. After that, material will be cooled rapidly (*Quenching*) by using water as the cooling medium. This study uses ST-60/AISI 1045 which is classified as medium carbon steel. To know its hardness number, the material will be tested by using Rockwell C test equipment. The highest increase of the hardness number is achieved at the heating temperature is 800°C and then hold for 25 minutes. The hardness number achieved by using this parameters is 56.27 HRC. And then, the longer the holding time will cause the increase the hardness number. But in high temperature, the longer the holding time will cause the decrease of the hardness number.

**Keyword** : *Hardening, Heating Temperature, Holding Time, Material Hardness, ST-60/AISI 1045.*

## **1. PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Pada dunia industri *hardening* dilakukan untuk merubah/mendapatkan sifat material yang sesuai dengan kebutuhan. Dengan proses *hardening* material akan mengalami peningkatan kekerasan, kekuatan dan sebagainya. Contohnya pada pembuatan poros, *sprocket*, roda gigi dan sebagainya dibutuhkan material yang memiliki nilai kekerasan tinggi sehingga tidak mudah aus. Material yang umumnya digunakan untuk membuat produk tersebut adalah baja kategori *medium carbon steel* hingga *high carbon steel*.

Menurut Pramono (2011) parameter yang mempengaruhi proses *hardening* adalah temperatur pemanasan, waktu pemanasan dan waktu penahan (*holding time*). Selain itu, menurut Purwanto (2011) peningkatan nilai kekerasan suatu material pada proses *hardening* tergantung pada temperatur pemanasan, *holding time*, laju pendingin serta tebal dari bagian yang dikeraskan. Sama seperti penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Aldo Rendra (2008) bahwa nilai kekerasan material baja SK3 Mod akan meningkat sebanding dengan lama waktu pemanasan dan waktu penahanan (*Holding Time*) serta media pendinginan yang digunakan.

Namun, dalam proses *hardening* terkadang material uji masih belum menghasilkan nilai kekerasan sesuai dengan yang diinginkan. Ketidaksiuaian tersebut dapat disebabkan suhu pemanasan belum sesuai, material belum terpanaskan secara homogen, dan fluida yang digunakan saat proses pendinginan. Parameter-parameter yang diduga memiliki pengaruh terhadap tingkat kekerasan material pada proses *hardening* antara lain temperatur pemanasan, waktu pemanasan, waktu penahanan (*holding time*), laju pendinginan, tebal bagian yang dikeraskan dan media pendingin yang digunakan. Dari banyaknya parameter tersebut parameter yang diduga lebih dominan terhadap tingkat kekerasan material adalah temperatur pemanasan dan *holding time*. Sehingga, akan dilakukan penelitian tentang pengaruh temperatur pemanasan dan lama waktu penahanan (*holding time*) terhadap nilai kekerasan pada proses *hardening* dengan menggunakan material *medium carbon steel* (ST-60).

### **1.2. Rumusan Masalah**

Masalah yang diharapkan dapat terselesaikan adalah bagaimana pengaruh dari temperatur pemanasan dan waktu penahanan ( *Holding Time* ) terhadap nilai kekerasan material *medium carbon steel* (ST-60) pada proses *hardening*.

### **1.3. Tujuan Penelitian**

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh temperatur pemanasan dan waktu penahanan ( *Holding Time* ) terhadap nilai kekerasan material *medium carbon steel* (ST-60) pada proses *hardening*.

### **1.4. Ruang Lingkup Penelitian**

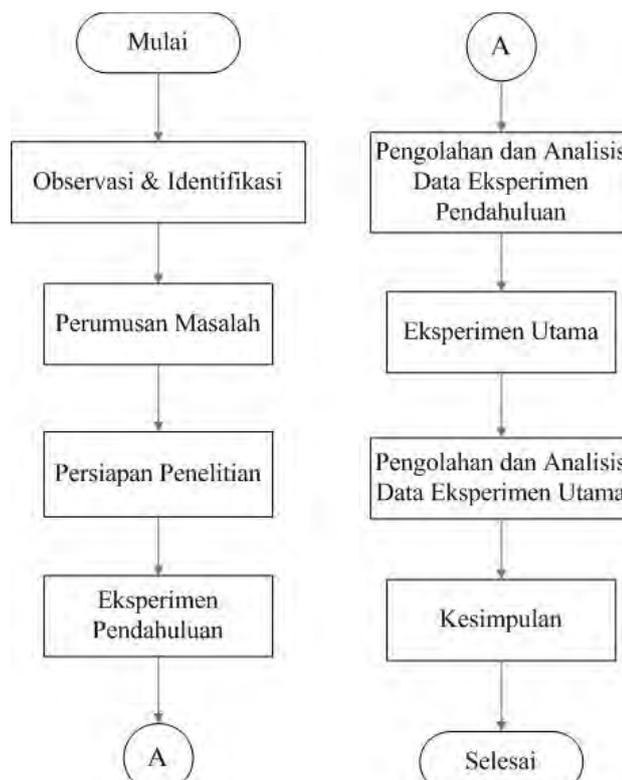
Penelitian akan dilakukan dengan menggunakan alat-alat yang tersedia pada Laboratorium dan berada pada ruang lingkup sebagai berikut:

1. Penelitian hanya menggunakan temperatur pemanasan dan *holding time* berdasarkan dari referensi atau teori yang ada.
2. Penelitian hanya menggunakan media pendingin air saja.
3. Volume media pendingin yang digunakan adalah 10 liter.

## **2. METODOLOGI PENELITIAN**

### **2.1. Urutan proses penelitian**

Urutan proses penelitian yang akan dilakukan seperti pada Gambar 1 berikut ini.



Gambar 1. Urutan Proses Penelitian

## 2.2. Prosedur Penelitian

Penelitian dilakukan 2 (dua) kali yaitu penelitian pendahuluan dan penelitian utama. Penelitian pendahuluan bertujuan untuk mencari variasi suhu target dan *holding time* yang digunakan pada penelitian utama. Berikut ini merupakan alat dan bahan yang digunakan serta prosedur penelitian yang dilakukan.

### a) Alat dan Bahan

1. Spesimen uji
2. *Furnace*/dapur pemanas
3. Termometer digital
4. *Stopwatch* digital
5. Mesin *Hardness Test* & Indentor
6. Media pendingin

### b) Prosedur Penelitian

1. Mengukur dan mencatat suhu awal serta nilai kekerasan spesimen uji yang digunakan. Setelah itu, mengukur dan mencatat suhu ruang *furnace* dengan

termometer digital serta memasukkan spesimen uji ke dalam *furnace*. Menyalakan *furnace* dan mencatat suhu yang tampil pada *display furnace*. Untuk mengatur suhu target/prosedur penggunaan *furnace* dapat dilihat pada Lampiran 2.

2. Menunggu hingga *display furnace* mencapai suhu target kemudian dilakukan *holding time* selama 15 menit dengan menggunakan *stopwatch*. Selanjutnya melakukan proses pendinginan yaitu mengambil spesimen dari *furnace* dan memasukkan ke media pendingin.
3. Melakukan pengulangan prosedur poin 2 dengan variasi suhu target dan *holding time* yang telah ditentukan.
4. Kemudian menghilangkan kerak pada permukaan spesimen uji dan melakukan pengukuran nilai kekerasan.

### **3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **3.1. Penelitian Pendahuluan**

Penelitian pendahuluan bertujuan untuk mengetahui apakah terjadi perbedaan nilai kekerasan saat material dipanaskan pada temperatur pemanasan dan dilakukan *holding time* yang diambil dari referensi dan menentukan variasi level yang digunakan untuk penelitian utama. Temperatur pemanasan adalah temperatur yang dicapai material agar struktur awal material berubah menjadi fase austenite. Pemilihan temperatur pemanasan pada penelitian pendahuluan berdasarkan pada diagram fasa Fe-Fe<sub>3</sub>C yaitu saat temperatur 800°C merupakan titik potong antara kadar karbon spesimen uji terhadap kurva daerah austenite. Sedangkan menurut rekomendasi katalog material temperatur *hardening* terjadi pada saat temperatur 820°C-860°C. Sehingga pada Penelitian Pendahuluan ini ditetapkan temperatur pemanasan dengan batas bawah adalah 800°C dan batas atas adalah 860°C.

*Holding time* dilakukan agar panas pada spesimen merata sehingga menghasilkan daerah austenite yang sempurna. Referensi *holding time* yang digunakan pada penelitian ini didapatkan dari teori dan jurnal yang ada bahwa untuk *medium carbon steel holding time* dilakukan selama 15-25 menit. Selain itu, dari data

pengecekan *furnace* terdapat selisih suhu antara *display furnace* dengan spesimen uji yang dipanaskan. Hal ini membuktikan bahwa suhu pada spesimen uji belum mencapai suhu target, sehingga diperlukan *holding time* agar suhu pada spesimen sesuai dengan suhu target yang diinginkan.

Media pendingin yang digunakan adalah air pada suhu kamar sekitar 26°C-28°C dengan volume 10 liter. Pemilihan air sebagai media pendingin karena air memiliki kecepatan pendinginan yang paling cepat dibandingkan dengan media pendingin lainnya. Semakin cepat kecepatan pendinginan maka kemungkinan untuk mendapatkan fase martensite akan semakin besar.

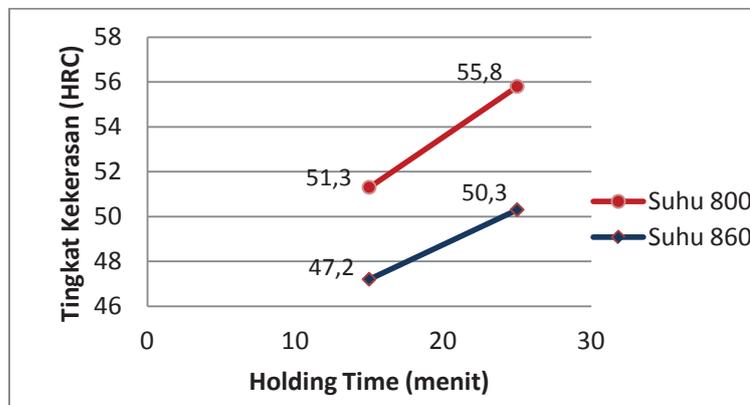
Sedangkan untuk pengukuran kekerasan akan dilakukan sebelum dan sesudah proses *hardening* sehingga dapat diketahui selisih nilai kekerasan yang terjadi. Proses pemanasan dilakukan secara bertahap hingga mencapai temperatur target. Pemanasan dilakukan secara bertahap agar panas merata keseluruhan material dan meminimalkan keretakan pada material akibat perbedaan suhu yang tinggi. Media pendingin yang digunakan adalah air karena memiliki laju pendinginan yang cepat sehingga daerah martensite dapat dicapai. Pengumpulan data nilai kekerasan dilakukan secara acak pada permukaan spesimen dan didapatkan data seperti pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Data Nilai Kekerasan Material pada Percobaan Pendahuluan

Temperatur Pemanasan	Kekerasan Material (HRC)		
	Kekerasan Awal	Holding Time	
		15 menit	25 menit
800°C	14.5	50.5	56.5
		52.5	57.5
		50	55.5
		51.5	55
		52	54.5
Rata-rata		51.3	55.8
860°C		47.5	50.5
		48.5	51.5
		46.5	51
		48.5	49.5
	45	49	
Rata-rata	47.2	50.3	

Dari data tersebut akan dilakukan perhitungan rata-rata nilai kekerasan kemudian akan disajikan dalam bentuk grafik (Gambar 2) untuk mempermudah

analisis tentang pengaruh dari temperatur pemanasan dan *holding time* terhadap nilai kekerasan.



**Gambar 2.** Grafik Tingkat Kekerasan terhadap *Holding Time* pada Penelitian Pendahuluan

Dari data dapat dilihat rata-rata nilai kekerasan mengalami kenaikan pada saat *holding time* selama 25 menit. Hal ini sesuai dengan teori yaitu semakin lama *holding time* maka material semakin homogen. Sedangkan dilihat dari temperatur pemanasan nilai kekerasan tertinggi dicapai pada saat suhu 800°C dan pada suhu 860°C nilai kekerasan mengalami penurunan. Jika menurut rekomendasi temperatur pemanasan untuk *hardening* berada pada 820°C-860°C namun nilai kekerasan tertinggi dicapai pada temperatur di luar dari *range* temperatur rekomendasi.

Jika temperatur pemanasan diturunkan dibawah 800°C maka nilai kekerasan material tidak akan mengalami kenaikan karena pada diagram fasa pada temperatur di bawah 800°C fase austenite belum terbentuk sehingga saat didinginkan fase martensite tidak dapat terbentuk. Jika fase martensite tidak terbentuk maka nilai kekerasan material tidak akan mengalami kenaikan. Sebaliknya, jika temperatur pemanasan di atas 860°C nilai kekerasan material tidak akan semakin menurun karena fase austenite sudah terbentuk secara sempurna dan jika didinginkan fase martensite sudah terbentuk dan akan mencapai nilai kekerasan tertentu.

Dari data penelitian pendahuluan akan ditentukan variasi level yang digunakan pada penelitian utama. Pada penelitian utama akan digunakan *range holding time* sesuai dengan rekomendasi. Batas bawah level *holding time* yang

digunakan adalah 15 menit, lalu batas atas level *holding time* adalah 25 menit dan level tengah adalah 20 menit. Pada penelitian utama variasi level temperatur pemanasan akan digunakan temperatur 800°C sebagai batas bawah kemudian temperatur 860°C sebagai batas atas dan 830°C yang merupakan nilai tengah dari kedua batas tersebut. Pada penelitian utama batas bawah temperatur dipilih 800°C karena jika temperatur dibawah 800°C material belum berada pada daerah austenite. Sedangkan pada batas atas temperatur dipilih 860°C karena dari diagram fasa suhu tersebut sudah berada pada daerah austenite dan akan membutuhkan daya listrik yang besar untuk memanaskan material pada temperatur yang lebih tinggi.

Pada penelitian pendahuluan pengambilan data kekerasan dilakukan secara acak pada permukaan material sehingga data yang didapatkan tidak diketahui pada bagian mana yang mengalami perubahan yang signifikan. Oleh karena itu, pada penelitian utama pengambilan data kekerasan akan diambil lebih terstruktur untuk mengetahui perubahan yang terjadi.

### 3.2. Penelitian Utama

Pada penelitian utama pengambilan dilakukan dengan 3 (tiga) level berbeda tiap parameter dan pengulangan/replikasi 2 (dua) kali tiap percobaan. Untuk temperatur pemanasan akan dilakukan pada suhu 800°C, 830°C dan 860°C, sedangkan untuk *holding time* akan dilakukan selama 15 menit, 20 menit dan 25 menit. Pengambilan data akan dilakukan secara acak untuk mengetahui pengaruh dari tiap variabel urutan pengambilan data seperti pada Tabel 2 berikut ini.

**Tabel 2.** Rancangan Pengambilan Data dengan Metode Faktorial Desain

<i>Standard order</i>	<i>Run order</i>	Variasi Temperatur	<i>Holding Time</i>	Nilai Kekerasan
1	8	800	15	
2	15	800	20	
3	6	800	25	
4	16	830	15	
5	4	830	20	
6	7	830	25	

7	11	860	15	
8	1	860	20	
9	10	860	25	
10	17	800	15	
11	18	800	20	
12	13	800	25	
13	5	830	15	
14	9	830	20	
15	2	830	25	
16	12	860	15	
17	3	860	20	
18	14	860	25	

Setelah melakukan penelitian didapatkan hasil pengumpulan data nilai kekerasan yang disajikan pada Tabel 3 dibawah ini.

**Tabel 3.** Data Nilai Kekerasan pada Penelitian Utama

Suhu Target	Kekerasan Material (HRC)																		
	Kekerasan Awal Material	Holding Time																	
		15 menit						20 menit						25 menit					
		r1	r2	r3	r1	r2	r3	r1	r2	r3	r1	r2	r3	r1	r2	r3	r1	r2	r3
800°C	14.5	54.5	49.5	48.5	51.5	52	53	57	55	53.5	51.5	51.5	51	56	56	55	56.5	57	57
		54.5	55	52.5	53.5	52.5	50.5	55.5	54	53	56.5	52	52.5	57.5	58	55	57.5	55	55.5
		53	50	48	52.5	53.5	51	55	50.5	55.5	56	52	52.5	54.5	55	56.5	56	54.4	57.5
Rata-rata	51.97						53.58						56.27						
830°C	14.5	46.5	45.5	44.5	49	47.5	48.5	53.5	49	48	50.5	47	50	55	49	49.5	48	49.5	49.5
		47.5	44	47.5	48	48.5	43.5	54.5	51	52	54	50.5	52.5	55	53.5	53	48	50.5	50
		48.5	46.5	49.5	47.5	45	42.5	54	47.5	51	54.5	50.5	51.5	55.5	51.5	49	49.5	49	49.5
Rata-rata	46.67						51.19						50.81						
860°C	14.5	44.5	43.5	45.5	43.5	41	42.5	48	47	46.5	45	49	50.5	48.5	46	43.5	47	44	46
		45.5	44	44.5	41	43	42.5	45	44	47.5	51.5	47.5	52	50	49	46	46	44	47
		43	45	41.5	44.5	42.5	44	45.5	49	50.5	51	51.5	45	50.5	49	48	46.5	44.5	46
Rata-rata	43.42						48.11						46.75						

Keterangan:

r1 = jari-jari/radius 5 mm dari titik pusat

r2 = jari-jari/radius 10 mm dari titik pusat

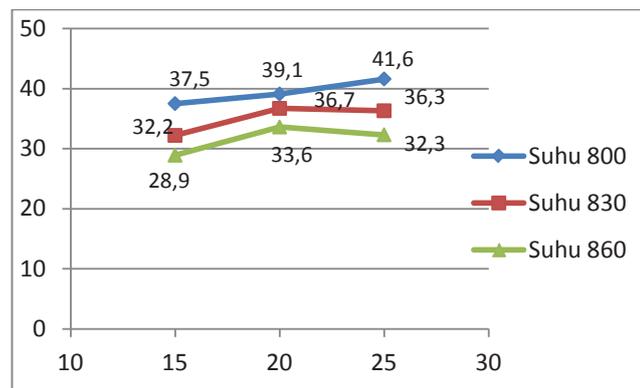
r3 = jari-jari/radius 15 mm dari titik pusat

Dari data yang telah didapatkan maka data tersebut akan disajikan dalam bentuk tabel faktorial desain seperti pada Tabel 4 berikut ini.

**Tabel 4.** Data Nilai Kekerasan dengan Metode Faktorial Desain

<i>Standard order</i>	<i>Run order</i>	Variasi Temperatur (°C)	<i> Holding Time (menit)</i>	Nilai kekerasan (HRC)
1	8	800	15	51,72
2	15	800	20	54,33
3	6	800	25	55,94
4	16	830	15	46,67
5	4	830	20	51,17
6	7	830	25	52,33
7	11	860	15	44,11
8	1	860	20	47,00
9	10	860	25	47,83
10	17	800	15	52,22
11	18	800	20	52,83
12	13	800	25	56,27
13	5	830	15	46,67
14	9	830	20	51,22
15	2	830	25	49,28
16	12	860	15	42,72
17	3	860	20	49,22
18	14	860	25	45,67

Pada penelitian utama pengambilan data nilai kekerasan dilakukan pada 3 radius yang berbeda yaitu r1, r2 dan r3 dengan tujuan untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan nilai kekerasan pada tiap radius yang disebabkan oleh perbedaan *holding time*. Sedangkan untuk pengolahan data lebih lanjut akan digunakan selisih nilai kekerasan yang terjadi. Untuk rata-rata selisih nilai kekerasan yang terjadi akan disajikan dalam bentuk grafik seperti Gambar 3.



**Gambar 3.** Grafik Peningkatan Kekerasan terhadap  *Holding Time*  pada Penelitian Utama

Dari data dapat dilihat pada saat *holding time* selama 15 menit dan 20 menit rata-rata nilai kekerasan mengalami kenaikan namun, pada saat *holding time* selama 25 menit kekerasan pada temperatur 830°C dan 860°C mengalami penurunan. Hal ini dapat disebabkan karena butir yang terbentuk semakin halus sehingga akan menurunkan nilai kekerasan. Sedangkan dilihat dari temperatur pemanasan nilai kekerasan tertinggi dicapai pada saat suhu 800°C dan pada suhu 860°C nilai kekerasan mengalami penurunan. Jika temperatur semakin ditingkatkan maka nilai kekerasan tidak akan semakin turun namun akan berada pada nilai tertentu dan tetap pada nilai tersebut meskipun temperatur semakin meningkat. Sebaliknya, nilai kekerasan material tidak akan semakin tinggi jika suhu semakin diturunkan namun akan berada pada titik tertentu dan tetap pada nilai tersebut karena fase martensite yang terbentuk sudah sempurna dan memiliki nilai kekerasan tertentu. Pada saat *holding time* dinaikkan maka nilai kekerasan juga akan meningkat. Sedangkan pada saat temperatur pemanasan dinaikkan maka nilai kekerasan yang dicapai justru mengalami penurunan. Pada temperatur pemanasan yang tinggi maka semakin lama *holding time* tidak akan meningkatkan nilai kekerasan material namun membutuhkan *holding time* yang singkat untuk menghasilkan nilai kekerasan yang tinggi.

Penurunan nilai kekerasan diduga karena struktur martensite yang terbentuk memiliki ukuran butir yang halus atau terdapat fase lain selain martensite yaitu ferrite, *retained austenite* (austenite sisa) atau perlite. Seperti pada penelitian yang

pernah dilakukan Li dan Hu (2012) yaitu saat temperatur pemanasan dinaikkan maka nilai kekerasan material tersebut mengalami penurunan karena butir martensite yang terbentuk berupa butir yang halus dan terdapat sedikit fase ferrite yang terbentuk dan terdistribusi diantara fase martensite yang halus sehingga nilai kekerasan material akan mengalami penurunan. Sebaliknya pada suhu 800°C kekerasan material memiliki nilai yang tinggi karena membentuk fase martensite yang kasar dan sedikit fase ferrite susah untuk terbentuk sehingga kekerasan material akan meningkat.

Pada diagram fasa seharusnya temperatur pemanasan pada daerah austenite tidak mempengaruhi tingkat kekerasan material karena fase austenite akan berubah menjadi fase martensite dan tidak ada fase lain yang terbentuk. Namun, pada penelitian nilai kekerasan justru mengalami penurunan walaupun dipanaskan pada temperatur daerah austenite. Hal ini dapat terjadi karena pada TTT diagram saat pendinginan grafik laju pendinginan memotong kurva sehingga dapat terbentuk fase lain selain fase martensite menyebabkan nilai kekerasan material mengalami penurunan. Saat suhu dinaikkan maka nilai kekerasan material setelah proses *hardening* mengalami penurunan. Kenaikan kekerasan tertinggi dicapai pada saat suhu 800 °C dengan *holding time* 25 menit yaitu sebesar 41,6 HRC. Jika dilihat dari data lama *holding time* mempengaruhi pemerataan angka nilai kekerasan pada material. Hal ini sesuai dengan teori bahwa *holding time* dilakukan agar panas merata ke seluruh permukaan material.

### **3.2.1. Analisis dengan Menggunakan Software Minitab**

Dari data yang telah didapat data tersebut akan diolah menggunakan *Minitab* untuk mengetahui seberapa besar pengaruh dari parameter uji. Analisis dengan *minitab* akan menggunakan  $\alpha = 0,05$  kemudian akan dibandingkan dengan *P-Value* yang didapat dari hasil analisis seperti pada Gambar 4. Jika dari hasil analisa didapatkan *P-Value*  $< \alpha$  maka hipotesa awal  $H_0$  akan ditolak dan sebaliknya jika didapatkan *P-Value*  $> \alpha$  maka, hipotesa awal  $H_0$  akan diterima. Pengajuan hepotesa awal adalah sebagai berikut:

$H_0$ : Tidak ada pengaruh dari temperatur pemanasan dan *holding time* terhadap tingkat kekerasan material.

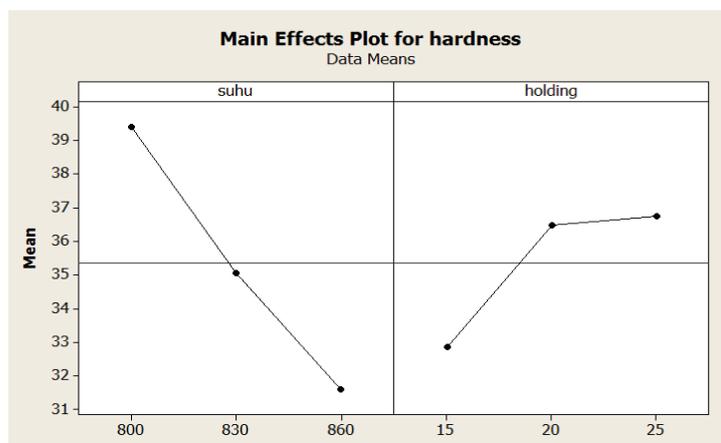
$H_1$ : Ada pengaruh dari temperatur pemanasan dan *holding time* terhadap tingkat kekerasan material.

Two-way ANOVA: hardness versus suhu, holding					
Source	DF	SS	MS	F	P
suhu	2	91.636	45.8178	38.63	0.002
holding	2	27.982	13.9911	11.80	0.021
Error	4	4.744	1.1861		
Total	8	124.362			

S = 1.089    R-Sq = 96.18%    R-Sq(adj) = 92.37%

**Gambar 4.** Hasil Analisis ANOVA dengan *Minitab*.

Dari hasil analisa dengan menggunakan *minitab* pada parameter temperatur pemanasan didapatkan nilai *P-Value*:  $0,002 < \alpha: 0,05$  dan pada parameter *holding time* didapatkan nilai *P-Value*:  $0,021 < \alpha: 0,05$ . Dari hasil analisa pada kedua parameter didapatkan *P-Value*  $< \alpha$  maka hipotesa awal  $H_0$  akan ditolak sehingga, dapat disimpulkan bahwa kedua parameter uji memiliki pengaruh terhadap tingkat kekerasan material. Sedangkan untuk efek atau pengaruh yang ditimbulkan dari perubahan perlakuan dapat dilihat dengan *main effect plot* seperti pada Gambar 5. Pada grafik *main effects plot* semakin lama *holding time* maka akan menyebabkan kenaikan nilai rata-rata pada kekerasan material. Sedangkan semakin tinggi temperatur pemanasan maka nilai rata-rata kekerasan material mengalami penurunan.



**Gambar 5.** *Main Effect Plot* pada Nilai Kekerasan Material

Sedangkan untuk mengetahui pengaruh dari temperatur pemanasan data yang dihitung adalah data pada baris 800°C dan 860°C. Perhitungan akan dilakukan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Pengaruh HT} &= \frac{1000 - 1000}{860 - 800} \\ &= \frac{1000 - 1000}{60} \\ &= \frac{1000 - 1000}{60} = 1,948 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pengaruh T} &= \frac{1000 - 1000}{860 - 800} \\ &= \frac{1000 - 1000}{60} \\ &= \frac{1000 - 1000}{60} = -3,936 \end{aligned}$$

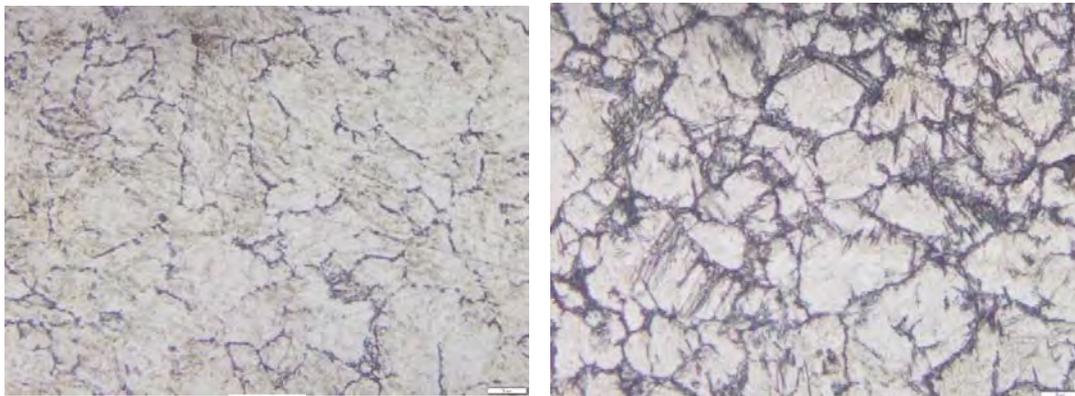
Dari perhitungan di atas, didapatkan bahwa pengaruh temperatur pemanasan terhadap nilai kekerasan adalah sebesar -3,936 setiap kenaikan satu level temperatur pemanasan. Nilai negatif dari hasil perhitungan memiliki arti bahwa nilai kekerasan mengalami penurunan jika temperatur dinaikkan. Sedangkan untuk *holding time* memberikan pengaruh sebesar 1,948 terhadap nilai kekerasan setiap kenaikan satu level *holding time*. Nilai positif memiliki arti bahwa nilai kekerasan mengalami kenaikan jika *holding time* dinaikkan.

### 3.2.2. Analisis Mikrostruktur

Menurut Thelning (1984) terdapat dua tipe fase martensite yaitu *lath* martensite yang dapat terbentuk pada material yang memiliki kadar karbon kurang dari 0,6% dan *plate* martensite yang dapat terbentuk pada material yang memiliki kadar karbon lebih dari 0,6%. Sama seperti penelitian Bramfitt (1997) bahwa *lath* martensite terbentuk pada material yang memiliki kadar karbon kurang dari 0,6% dan *plate* martensite terbentuk pada kadar karbon lebih dari 1% sedangkan kadar karbon antara 0,6%-1% akan terbentuk fase campuran antara *lath* dan *plate* martensite. Sehingga dapat diperkirakan martensite yang terbentuk adalah *lath* martensite karena kadar karbon pada material sebesar 0,4%-0,5%.

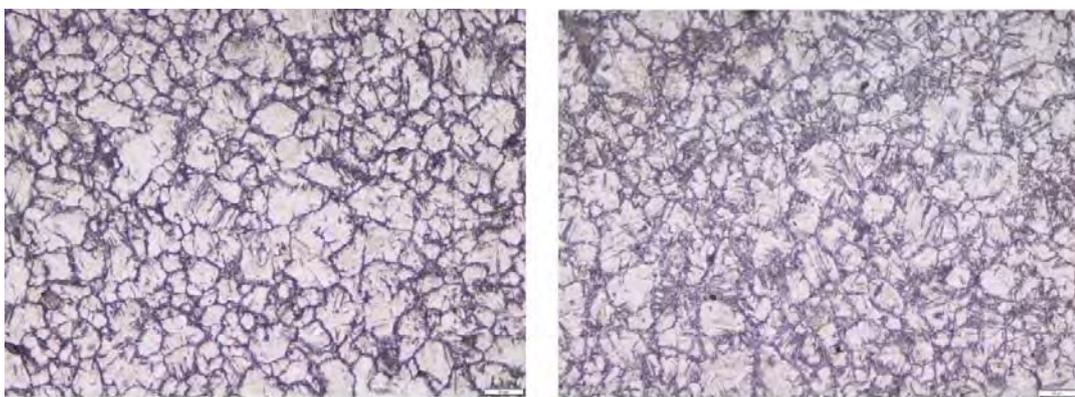
Semakin lama *holding time* maka akan menghasilkan lebih banyak fase austenite. Fase austenite yang terbentuk ditunjukkan dengan warna hitam yang lebih

banyak seperti pada Gambar 6. Semakin banyak austenite yang terbentuk maka nilai kekerasan yang dihasilkan akan semakin meningkat karena semakin besar peluang fase austenite yang akan berubah fase menjadi martensite.

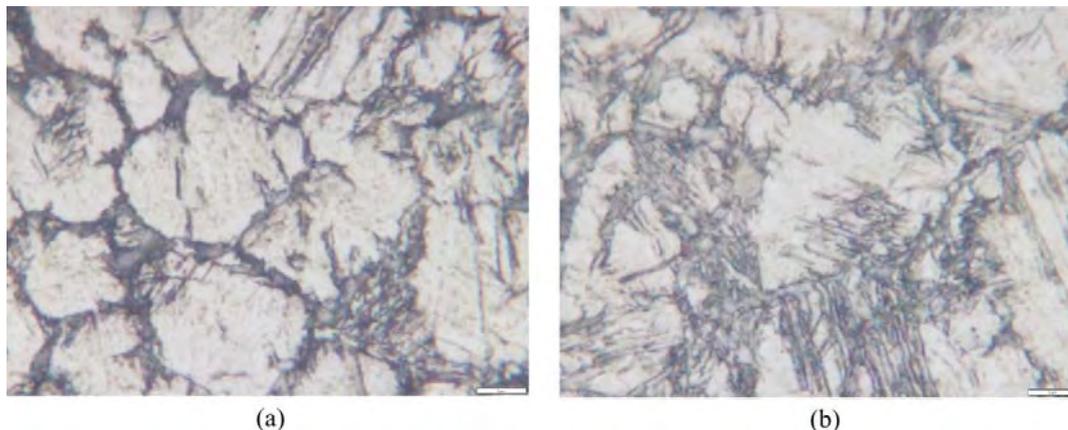


**Gambar 6.** Pengaruh  *Holding Time* terhadap Mikrostruktur Material Pembesaran 1000x.  
(a) 800°C,15 menit; (b) 800°C,25 menit.

Sedangkan semakin tinggi temperatur pemanasan maka akan menghasilkan struktur/butiran yang lebih halus. Pada perbesaran 500 kali seperti pada Gambar 7 terlihat bahwa pada temperatur 860°C struktur yang dihasilkan lebih halus dibanding pada temperatur 800°C.



**Gambar 7.** Pengaruh Temperatur Pemanasan terhadap Mikrostruktur Material Pembesaran 500x.  
(a) 800°C; (b) 860°C.



**Gambar 8.** Pengaruh Temperatur Pemanasan terhadap Mikrostruktur Material Pembesaran 2500x. (a) 800°C; (b) 860°C.

Jika dilihat dari struktur mikro pada Gambar 8 material membentuk struktur *lath* martensite dan memiliki butir yang halus. Pada penelitian yang dilakukan oleh Murtiono (2012) hubungan antara ukuran butiran dengan kekerasan adalah semakin kecil ukuran butir maka material akan semakin keras. Jika dilihat pada perbesaran 2500x (Gambar 8) pada temperatur pemanasan 800°C memiliki ukuran butir yang lebih kecil daripada saat temperatur 860°C. Namun, jika dilihat secara keseluruhan seperti pada Gambar 6 struktur pada temperatur 860°C lebih halus tetapi memiliki ukuran butir yang lebih besar. Menurut Pramono (2011), lamanya waktu penahanan (*holding time*) akan menimbulkan pertumbuhan butir yang dapat menurunkan nilai kekerasan material. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan yaitu pada saat temperatur 860°C dengan *holding time* 25 menit kekerasan mengalami penurunan karena pertumbuhan butir yang lebih besar. Sedangkan pada temperatur 800°C dengan *holding time* 25 menit didapatkan nilai kekerasan paling tinggi hal ini disebabkan karena pada temperatur 800°C yang merupakan titik temu pada kurva daerah austenite sehingga fase austenite baru akan bertumbuh dan membutuhkan *holding time* yang lebih lama untuk merubah semua fase menjadi austenite. Jika dibandingkan saat temperatur 860°C yang lebih tinggi dan merupakan temperatur rekomendasi maka membutuhkan *holding time* yang lebih singkat untuk membentuk fase austenite sehingga *holding time* 25 menit justru menurunkan nilai kekerasan

material. Pada saat temperatur 860°C nilai kekerasan tertinggi dicapai pada saat *holding time* selama 20 menit yaitu sebesar 48,11 HRC sedangkan saat 25 menit sebesar 46,75 HRC. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pada saat temperatur pemanasan yang lebih tinggi maka diperlukan *holding time* yang lebih singkat untuk mencapai kekerasan tertinggi dan sebaliknya.

Pada hasil mikrostruktur dapat diprediksi fase yang dihasilkan berupa fase martensite dan terdapat fase lain yaitu antara *ferrite* atau *retained austenite*. Hasil mikrostruktur masih belum dapat memastikan fase apa yang terbentuk selain martensite karena diperlukan pengujian *microvickers* agar mengetahui nilai kekerasan dari fase tersebut.

#### **4. KESIMPULAN**

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Temperatur pemanasan dan waktu pemanasan ( *Holding Time*) mempengaruhi tingkat kekerasan dari material *medium carbon steel* ST-60/AISI 1045. Dalam *range* temperatur pemanasan 800°C hingga 860°C, semakin tinggi temperatur pemanasan maka nilai kekerasan material akan mengalami penurunan. Sedangkan semakin lama *holding time* maka nilai kekerasan material akan mengalami peningkatan namun, jika pada temperatur tinggi dilakukan *holding time* yang lama maka nilai kekerasan material akan mengalami penurunan.
2. Nilai kekerasan tertinggi dicapai saat temperatur pemanasan 800°C dengan *holding time* 25 menit yaitu sebesar 56,27 HRC. Sedangkan nilai kekerasan tertinggi pada temperatur 830°C dan 860°C dicapai pada saat *holding time* 20 menit yaitu sebesar 51,19 HRC dan 48,11 HRC.

- Avner, Sidney H. 1974. *Introduction to Physical Metallurgy Second Edition*. Singapore:McGraw-Hill Book Co.
- Bramfitt, Bruce L. 1997. *Structure/Property Relationships in Irons and Steel*. Materials Selection and Design, Volume 20, ASM Handbook.
- Djoenaedy, Aldo Rendra. 2010. *Studi Pengaruh Temperatur dan Holding Time pada Proses Hardening Baja SK3 Mod terhadap Kekerasan Material dengan Metode Respon Surface*. Surabaya: Universitas Surabaya.
- Li, A.M., Hu, M.J. 2012. *The Influence of Sub-Temperature Quenching Temperature on The Microstructure and Properties of 60Si2Mn Steel*. Engineering Review Vol.32, Issue 3.
- Margono. 2008. *Pengaruh Perbedaan Waktu Penahanan Suhu Stabil (Holding Time) terhadap Kekerasan Logam*. Jurnal Litbang Provinsi Jawa Tengah, Vol.6, No2.
- Murtiono, Arief. 2012. *Pengaruh Quenching dan Tempering terhadap Kekerasan dan Kekuatan Tarik serta Struktur Mikro Baja Karbon Sedang untuk Mata Pisau Pemanen Sawit*. Jurnal e-Dinamis, Volume II, No.2.
- Pramono, Agus. 2011. *Karakteristik Mekanik Proses Hardening Baja Aisi 1045 Media Quenching untuk Aplikasi Sprochet Rantai*. Jurnal Ilmiah Teknik Mesin CakraM Vol.5, No.1.
- Purwanto, H. 2011. *Analisa Quenching pada Baja Karbon Rendah dengan Media Solar*. Momentum, Vol.7, No.1. Semarang: Universitas Wahid Hasyim.
- Santoso, Singgih. 2010. *Kupas Tuntas Riset Eksperimen dengan Excel 2007 dan Minitab 15*. Jakarta: Elex Media Komputindo.
- Thehning, Karl-Erik. 1984. *Steel and Its Heat Treatment Second Edition*. Butterworth.
- Katalog Material Hitachi Metals