



PENGARUH KARAKTER BAJA S45C PADA PROSES *QUENCH* – *TEMPER***Veny Selviyanty. YH**

Universitas Eka Sakti

Email: venyselviyanty@gmail.com

Abstract

S45C steel is widely used in the industrial world, one of which is machining construction. problems that often occur in the engine components are worn out, broken, cracks that can be caused due to overload (over load), so the construction design is not as expected. With *S45C steel is widely used in the industrial world, one of which is machining construction. problems that often occur in the engine components are worn out, broken, cracks that can be caused due to overload (over load), so the construction design is not as expected. With the above problems, it is desirable for a construction material that is hard and also resilient to prevent damage. Then in order to obtain good results, the components of the machines are then given heat treatment such as hardening which aims to improve the properties of the metal.*

From the results of testing the hardness obtained the highest value on the quenching test. In impact testing for raw material specimens with an average value of 0.811 J / mm², in the quenching pesimen the average value was 0.483 J / mm² and in the tempering tempering was 1.282 J / mm². From the results of the impact testing, the highest values were found in the tempering templates. The microstructure of JIS S45C steel after heating undergoes a change in microstructure wherein the specimens of tempering ferrite and pearlite structures get smaller and spread, this is due to slow cooling, in contrast to specimens quenching because heat treatment is carried out through temperature and rapid cooling with water media so that the structure does not have enough time to diffuse.

Keywords: Carbon steel, micro photographs, impact, hardness, tempering, quenching.

1. Pendahuluan

Perlakuan panas pada baja memegang peranan penting dalam upaya meningkatkan kekerasan baja sesuai kebutuhan. Proses ini meliputi pemanasan baja pada suhu tertentu, dipertahankan pada waktu tertentu dan didinginkan pada media tertentu pula. Perlakuan panas mempunyai tujuan untuk meningkatkan keuletan, menghilangkan tegangan internal, menghaluskan butir kristal, meningkatkan kekerasan, meningkatkan ketangguhan dan sebagainya. Tujuan ini akan tercapai seperti apa yang diinginkan jika memperhatikan faktor yang mempengaruhinya, seperti suhu pemanasan dan media pendingin yang digunakan.

Pengerjaan logam untuk mendapatkan komponen pada umumnya diawali dengan pengerjaan mesin yang kemudian diberikan perlakuan panas sebagai salah satu upaya untuk memperbaiki sifat dan kualitas komponen seperti *annealing*, *normalizing*, *hardening* atau *tempering*.

Hardening merupakan proses pemanasan baja sampai suhu di daerah atau di atas daerah kritis disusul dengan pendinginan yang cepat yang dinamakan *quenching* (Djafrie, 1995). Akibat proses *hardening* pada baja, maka timbul tegangan dalam (*internal stresses*), dan rapuh (*brittles*) yang menyebabkan baja tersebut belum cocok untuk segera digunakan sehingga baja tersebut perlu dilakukan proses lanjut yaitu temper.

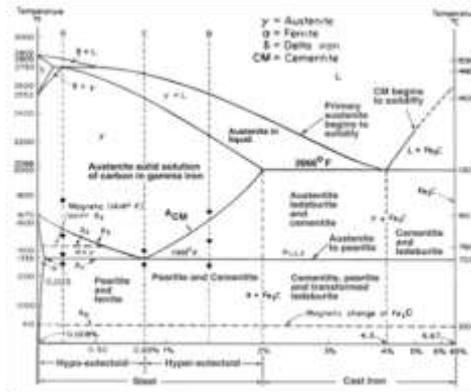
Cara yang dipakai ialah memanaskan logam sehingga terbentuk satu fase, kemudian diikuti dengan pendinginan cepat. Dengan cara ini pada temperatur kamar akan terbentuk satu fase yang kelewat jenuh. Bila logam dalam keadaan tersebut dipanaskan maka fase–fase yang larut akan mengendap.

Proses pengerasan baja merupakan salah satu dari proses perlakuan panas yang bertujuan untuk meningkatkan kekerasan baja, hal ini dilakukan dengan memanaskan suatu baja karbon ke dalam

daerah temperatur yang dianjurkan untuk pengerasan baja.

Proses pengerasan baja dilakukan dalam 2 tahap pengerjaan :

1. Pengerjaan pertama dalam pengerasan baja adalah memanaskan baja sampai pada temperatur yang lebih tinggi dari temperatur kritis. Suhu ini dipengaruhi oleh kandungan karbon. Berdasarkan kandungan karbon baja JIS S45C yang sebesar 0,47%, *quenching* dilakukan pada suhu 860⁰C.



Gambar 1: Diagram Fasa Fe – Fe₃C

(Sumber : <https://sites.google.com/site/teknikpengeroranreza0128/home/material-balance/sifat-aplikasi-dan-pemrosesan-logam-ferro>)

Tujuan pemanasan untuk mengubah baja dari keadaan normal dan tipe struktur perlit lunak ke struktur larutan padat yang disebut austenit. Pemanasan harus dilakukan secara bertahap (*preheating*) dan perlahan-lahan untuk memperkecil deformasi ataupun resiko retak. Setelah temperatur pengerasan (*austenitizing*) tercapai, ditahan dalam selang waktu tertentu (*holding time*).

2. Pengerjaan kedua adalah baja dipanaskan tersebut kemudian didinginkan secara cepat (*quenching*). Pada dasarnya pengerjaan kedua dalam pengerasan baja adalah mendinginkan atau melindungi suatu perubahan austenit dari pendinginan lain sampai temperature ±790⁰C. Jika berhasil mendinginkan

Pada waktu pendinginan yang cepat pada fase *austenit* tidak sempat berubah menjadi *ferit* atau perlit karena tidak ada kesempatan bagi atom-atom karbon yang telah larut dalam *austenit* untuk mengadakan gerakan difusi dan bentuk *sementit* oleh karena itu terjadi fase lalu yang *martensit*, ini berupa fase yang sangat keras dan bergantung pada keadaan karbon.

Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dalam penelitian ini menggunakan metode *Brinell* dengan beban 187,5 kgf dan *Rockwell* tipe C dengan beban 150 kgf dan waktu penekanan 30 detik didapatlah data hasil pengujian kekerasan dengan satuan HB dan HRC. Setiap proses dilakukan pengujian guna melihat adakah perubahan nilai kekerasannya, data hasil pengujiannya adalah sebagai berikut :

Tabel 2. Data hasil pengujian kekerasan Brinell pada *raw material*



No	Material Uji	Spesimen	P (mm)	D (mm)	d ₁ (mm)	d ₂ (mm)
1			187.3	2.5	1.09	1.07
2			187.3	2.5	1.10	1.03
3	JIS S45C	Raw Material	187.3	2.5	1.05	1.10
4			187.3	2.5	1.05	1.10
5			187.3	2.5	1.06	1.05

Untuk mengetahui kekerasan *Brinell* (*BHN*) baja JIS S45C pada kondisi tanpa perlakuan (*raw material*) dapat dianalisa dengan perhitungan sebagai berikut:

Dari perhitungan data hasil pengujian *raw material* pada titik indentasi kelima maka didapat kekerasan *Brinell* = 200,642 kg/mm².

Setelah dilakukan perhitungan pada spesimen pengujian tanpa perlakuan (*raw material*), maka didapat harga kekerasan *Brinell* dari bahan yang telah diuji secara keseluruhan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel di bawah ini

Tabel 3. Data hasil pengujian dan perhitungan kekerasan *Brinell* dan *Rockwell*

No	Material Uji	Spesimen	Indentasi	Kekerasan Brinell (kg/mm ²)	Kekerasan Rockwell (HRC)	Kekerasan Rata-rata (kg/mm ²)
1.			1	194.908		
2			2	200.642		
3	JIS S45C	Raw Material	3	196.541		197.834
4			4	196.541		
5			5	200.642		
6			1		54.5	
7	JIS S45C	Quenching	2		55.3	
8			3		56	57.1
9			4		58.5	
10			5		58	
11			1		23	
12			2		25.5	
13	JIS S45C	Tempering	3		26.5	26.16
14			4		26.8	
15			5		27	

Pada tabel 3. didapat harga kekerasan *Brinell* dari hasil perhitungan dengan rumus pada spesimen tanpa perlakuan (*raw material*). Pada spesimen *quenching* dan *tempering* telah didapat juga harga kekerasannya dengan pengujian kekerasan *Rockwell*. Jadi alasan kenapa pengujian kekerasan tersebut menggunakan metode yang berbeda yaitu pada spesimen *raw material* jika menggunakan metode kekerasan *Rockwell* alat ujinya tidak dapat membaca atau hasilnya eror karena pada tabel konversi kekerasan hanya dapat membaca 20 HRC atau 226 HB. Sedangkan hasil pengujian *Brinell* pada *raw material* tersebut maksimal hanya 200,642 HB.

Jadi agar hasil pengujian kekerasan pada semua spesimen seragam, maka kita akan konversikan hasil pengujian spesimen *quenching* dan *tempering* dari HRC ke HB dengan cara interpolasi dengan pedoman tabel konversi kekerasan.

Tabel 4. Konversi Kekerasan



Rockwell			Superficial			Vickers	Knoop	Brinell	Tensile Strength	Micro-ficial	
C	A	D	C	15-N	30-N	45-N	HV	HK	HB	KSI	WMN
150 kg Brate	60 kg Brate	100 kg Brate	150 kg 1/16" ball	15 kg N	30 kg N	45 kg N	10 kg	500 gm over	3000 lb ball	1000 lb/sq in	1000 sq
50	92.0	86.5		96.5	92.0	87.0	1865	-	-	-	-
49	91.5	85.7		96.3	91.5	86.5	1797	-	-	-	-
70	91.0	84.5		96.0	91.0	85.5	1710	-	-	-	-
77	90.5	84.0		95.8	90.5	84.5	1633	-	-	-	-
76	90.0	83.0		95.5	90.0	84.0	1556	-	-	-	-
75	89.5	82.5		95.3	89.0	82.5	1476	-	-	-	-
74	89.0	81.5		95.0	88.5	81.5	1400	-	-	-	-
73	88.5	81.0		94.8	88.0	80.5	1323	-	-	-	-
72	88.0	80.0		94.5	87.0	79.5	1245	-	-	-	-
71	87.0	79.5		94.3	86.5	78.5	1160	-	-	-	-
70	86.5	78.5		94.0	86.0	77.5	1076	972	NA	NA	953
69	86.0	78.0		93.8	85.0	76.5	1004	946	NA	NA	949
68	85.5	76.9		93.2	84.4	75.4	940	920	NA	NA	945
67	85.0	76.1		92.9	83.6	74.2	900	895	NA	NA	942
66	84.5	75.4		92.5	82.8	73.3	865	870	NA	NA	938
65	83.9	74.8		92.2	81.9	72.0	832	845	739	NA	934
64	83.4	73.8		91.8	81.1	71.0	800	822	722	NA	930
63	82.8	73.0		91.4	80.1	69.9	772	798	706	NA	926
62	82.3	72.2		91.1	79.3	68.8	746	776	688	NA	922
61	81.8	71.5		90.7	78.4	67.7	720	754	670	NA	917
60	81.3	70.7		90.2	77.5	66.6	697	732	654	NA	913
59	80.7	69.9		89.8	76.6	65.5	674	710	634	NA	909
58	80.1	69.2		89.3	75.7	64.3	653	690	615	NA	904
57	79.4	68.5		88.9	74.8	63.2	633	670	598	NA	900
56	79.0	67.7		88.3	73.9	62.0	613	650	577	NA	896
55	78.5	66.9		87.9	73.0	60.9	595	630	560	NA	891
54	78.0	66.1		87.4	72.0	59.8	577	612	543	NA	887
53	77.4	65.4		86.9	71.2	58.6	560	594	525	NA	883
52	76.8	64.6		86.4	70.2	57.4	544	576	512	NA	879
51	76.3	63.8		85.9	69.4	56.1	528	559	496	NA	874
50	75.9	63.1		85.5	68.5	55.0	513	542	481	NA	870
49	75.2	62.1		85.0	67.6	53.8	498	526	469	NA	865
48	74.7	61.4		84.5	66.7	52.5	484	510	455	NA	861
47	74.1	60.8		83.9	65.8	51.4	471	495	443	NA	856
46	73.6	60.0		83.5	64.8	50.3	456	480	432	NA	851
45	73.1	59.2		83.0	64.0	49.0	446	466	421	NA	847
44	72.5	58.5		82.5	63.1	47.8	434	452	409	NA	842
43	72.0	57.7		82.0	62.2	46.7	423	439	400	NA	837
42	71.5	56.9		81.5	61.3	45.5	412	426	390	NA	832
41	70.9	56.2		80.9	60.4	44.3	402	414	381	NA	827
40	70.4	55.4		80.4	59.5	43.1	392	402	371	NA	822
39	69.9	54.6		79.9	58.6	41.9	382	391	362	NA	817
38	69.4	53.8		79.4	57.7	40.8	372	380	353	NA	812
37	68.9	53.1		78.8	56.8	39.6	363	370	344	NA	807
36	68.4	52.3		78.3	55.9	38.4	354	360	336	NA	802
35	67.9	51.6		77.7	55.0	37.2	345	351	327	NA	798
34	67.4	50.8		77.2	54.2	36.1	336	342	319	NA	793
33	66.9	50.0		76.6	53.3	34.9	327	334	311	NA	788
32	66.3	49.2		76.1	52.1	33.7	318	326	301	NA	783
31	65.8	48.4	NA	75.6	51.3	32.5	310	318	294	NA	778
30	65.3	47.7	92.0	75.0	50.4	31.3	302	311	286	NA	773
29	64.8	47.0	91.0	74.5	49.5	30.1	294	304	279	NA	768
28	64.3	46.1	90.0	73.9	48.6	28.9	286	297	271	NA	762
27	63.8	45.3	89.0	73.3	47.7	27.8	278	289	264	NA	757
26	63.3	44.6	88.0	72.8	46.8	26.7	272	284	258	NA	751
25	62.8	43.9	87.0	72.2	45.9	25.5	266	278	253	NA	746
24	62.4	43.1	86.0	71.6	45.0	24.3	260	272	247	NA	741
23	62.0	42.1	84.5	71.0	44.0	23.1	254	266	243	NA	736
22	61.5	41.6	83.5	70.5	43.2	22.0	248	261	237	NA	730
21	61.0	40.9	82.5	69.9	42.3	20.7	243	256	231	NA	725
20	60.5	40.1	81.0	69.4	41.5	19.6	238	251	226	NA	720

(Sumber : <https://shop.buehler.com/sites/default/files/images/WilsonConversionChart%20astm.pdf>)

Dari pedoman tabel konversi kekerasan diatas maka kita dapat menggunakan rumus interpolasi dari HRC ke HB. Adapun cara perhitungannya adalah sebagai berikut :

1. Spesimen *Quenching*

Pada spesimen *quenching* ini dilakukan pengujian dengan metode kekerasan *Rockwell*, dari hasil pengujian kekerasan *Rockwell* tersebut kita akan mengkonversikan ke harga kekerasan *Brinell* dengan cara interpolasi setiap indentasi pengujian tersebut dengan pedoman tabel diatas.

- a. Indentasi pertama
54,5 HRC = 551,5HB
- b. Indentasi kedua
55,5 HRC = 568,5HB
- c. Indentasi ketiga
59 HRC = 634 HB
- d. Indentasi keempat
58,5 HRC = 624,5HB
- e. Indentasi kelima
58 HRC = 615 HB

2. Spesimen *Tempering*

Pada spesimen *tempering* ini dilakukan pengujian dengan metode kekerasan *Rockwell*, dari hasil pengujian kekerasan *Rockwell* tersebut kita akan mengkonversikan ke harga kekerasan *Brinell* dengan cara interpolasi setiap indentasi pengujian tersebut dengan pedoman tabel diatas.

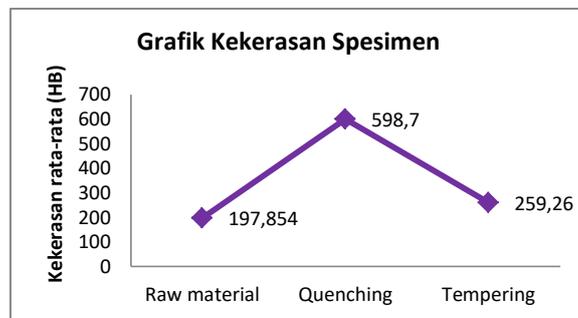
- a. Indentasi pertama



- 25 HRC = 253 HB
- b. Indentasi kedua
25,5 HRC = 255,5 HB
- c. Indentasi ketiga
26,5 HRC = 261 HB
- d. Indentasi keempat
26,8 HRC = 262,8 HB
- e. Indentasi kelima
27 HRC = 264 HB

Tabel 5. Data Hasil Perhitungan Konversi Kekerasan

No	Material Uji	Spesimen	Indentasi	Kekerasan Brinell (kg/mm ²)	Kekerasan rata-rata (kg/mm ²)
1			1	184.808	
2			2	200.642	
3		Raw	3	198.541	197.854
4		Material	4	198.541	
5			5	200.642	
6			1	543.5	
7			2	548.5	
8	ISI 545C	Quenching	3	624	598.7
9			4	624.5	
10			5	625	
11			1	255	
12			2	255.5	
13		Tempering	3	261	259.26
14			4	262.8	
15			5	264	



Gambar 16. Grafik Hasil Pengujian Kekerasan *Brinell*

1. Hasil Uji Ketangguhan (*Impact*)

Pengujian ketangguhan ini bertujuan untuk mengetahui tingkat keuletan atau ketangguhan suatu bahan pada material penelitian. Data hasil pengujian ketangguhan dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Data Awal Pengujian Ketangguhan (*Impact*)



No	Material Uji	Spesimen	a	b	A (mm ²)	G (kg)	H (mm)
1	Raw Material	I	130	103.5	77.77	20	0.8
2		II	130	103.5	81	20	0.8
3	JIS S45C Quenching	I	130	114.5	71	20	0.8
4		II	130	114	80.08	20	0.8
5	Tempering	I	130	89	78	20	0.8
6		II	130	90	81.9	20	0.8

Untuk mengetahui energi yang diserap (W) dan harga *impact* (K) pada baja JIS S45C pada kondisi tanpa perlakuan (raw material) maupun setelah dilakukan proses *quenching* dan *tempering* dapat dianalisa dengan perhitungan sebagai berikut:

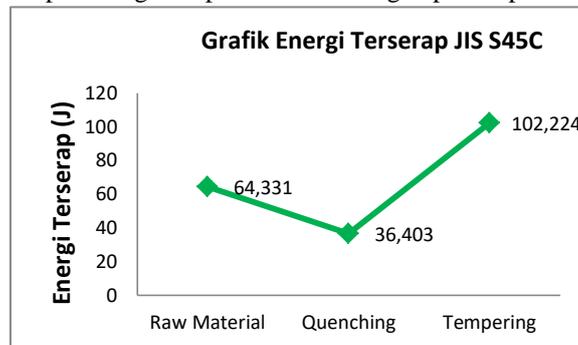
1. Tanpa Perlakuan (Raw Material) Spesimen I didapat energi serap (W) sebesar 64,331 Joule dan harga *impactnya* (K) 0,827 J/mm².
2. Tanpa Perlakuan (Raw Material) didapat energi serap (W) sebesar 64,331 Joule dan harga *impactnya* (K) 0,794 J/mm².
3. *Quenching* Spesimen I didapat energi serap (W) sebesar 35,775 Joule dan harga *impactnya* (K) 0,504 J/mm².
4. *Quenching* Spesimen II didapat energi serap (W) sebesar 37,03 Joule dan harga *impactnya* (K) 0,462 J/mm².
5. *Tempering* Spesimen I didapat energi serap (W) sebesar 103,558 Joule dan harga *impactnya* (K) 1,328 J/mm².
6. *Tempering* Spesimen II didapat energi serap (W) sebesar 100,891 Joule dan harga *impactnya* (K) 1,236 J/mm².

Setelah dilakukan perhitungan pada semua spesimen pengujian, maka didapat besar energi yang diserap dan harga *impact* dari bahan yang telah diuji secara keseluruhan.

Tabel 7. Data Hasil Perhitungan Energi yang Diserap.

No	Material Uji	Spesimen	a	B	Energi Terserap (Joule)	Energi Terserap (J) Rata-rata
1	Raw Material	I	130	103.5	64.331	64.331
2		II	130	103.5	64.331	
3	JIS S45C Quenching	I	130	114.5	35.775	36.403
4		II	130	114	37.030	
5	Tempering	I	130	89	103.556	102.224
6		II	130	90	100.891	

Dari hasil analisa perhitungan dapat dilihat hubungan proses perlakuan panas dengan energi.



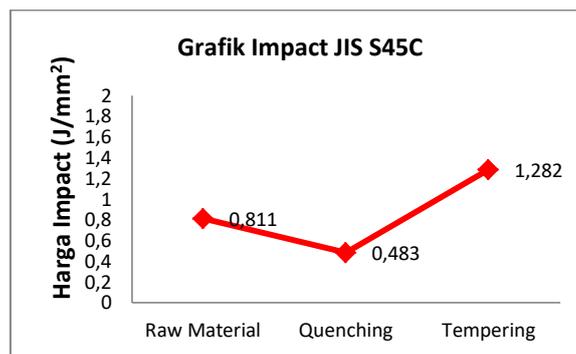
Gambar 17. Grafik Hubungan Antara Proses Perlakuan Dengan Energi yang Diserap Baja JIS S45C

Berdasarkan grafik terlihat hubungan antara proses perlakuan dengan energi yang diserap. Sehingga terlihat bahwa energi serap yang tertinggi terdapat pada proses *tempering* 600 °C sebesar 102,224 Joule. Sedangkan energi serap yang terendah terdapat pada proses *quenching* yaitu sebesar 36,403 Joule.

Tabel 8. Data Hasil Perhitungan Harga *Impact*.

No	Material Uji	Spesimen	n	β	Harga Impact (J/mm ²)	Harga Impact (J/mm ²) Rata-rata	
1	Raw Material	I	130	103.3	0.827	0.811	
2		II	130	103.3	0.794		
3	JIS S45C	Quenching	I	130	114.5	0.504	0.483
4			II	130	114	0.482	
5	Tempering	I	130	80	1.328	1.282	
6		II	130	80	1.236		

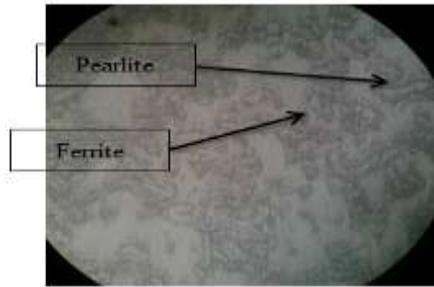
Dari hasil analisa perhitungan dapat dilihat hubungan proses perlakuan panas dengan harga *impact* .



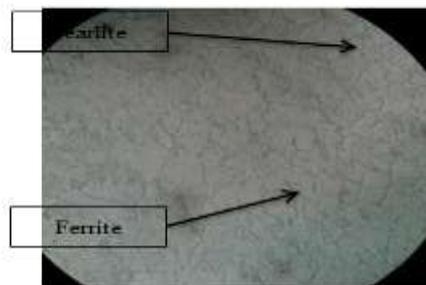
Gambar 18. Grafik Hubungan Antara Proses Perlakuan Dengan Harga *Impact* Baja JIS S45C

Berdasarkan grafik tampak harga *impact* pada setiap proses mengalami peningkatan. Harga *impact* yang tertinggi terdapat pada proses *tempering* 600 °C sebesar 1,282 J/mm². Sedangkan harga *impact* terendah terdapat pada proses *quenching* yaitu sebesar 0,483 J/mm². Peningkatan harga *impact* terjadi karena spesimen hasil proses *quenching* dan dilanjutkan dengan proses *tempering*. Dengan meningkatnya harga *impact* dapat dipastikan bahwa ketangguhan serta keuletan material semakin bagus.

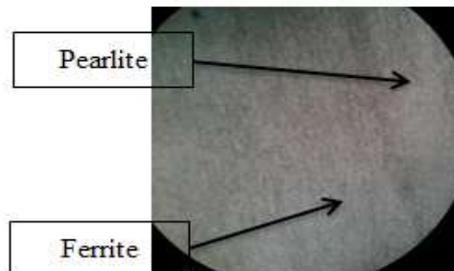
Pengujian foto mikro bertujuan untuk mengetahui struktur yang terkandung dalam spesimen penelitian. Struktur mikro yang berbeda akan memberikan pengaruh yang berbeda pada sifat mekanis bahan. Bentuk penampang mikro untuk tiap jenis spesimen dengan perbesaran 100 kali adalah sebagai berikut :



Gambar 11. Foto mikro spesimen tanpa perlakuan (raw material).



Gambar 11. Foto mikro spesimen *quenching*.



Gambar 12. Foto mikro spesimen *tempering*.

Hasil pengujian mekanis yang telah disajikan dalam bentuk tabel dan diagram garis diketahui ada perbedaan antara spesimen *raw materials*, spesimen *quenching* dan spesimen *tempering*. Pada pengujian kekerasan ini kita menggunakan dua metode pengujian yaitu dengan metode *Brinell* untuk spesimen *raw material* dan metode *Rockwell* untuk spesimen *quenching* dan *tempering*. Alasan mengapa pada *raw material* menggunakan metode *Brinell* yaitu karena pada metode *Rockwell* mesin ujinya tidak dapat membaca hasil karena pada tabel konversi kekerasan hanya dapat membaca 20 HRC atau 226 HB. Sedangkan hasil pengujian *Brinell* pada raw material tersebut maksimal hanya 200,642 HB. Dari hasil pengujian yang didapat kemudian dilakukan konversi hasil dari HRC ke HB dengan menggunakan pedoman tabel dan rumus interpolasi.

Hasil pengujian kekerasan menunjukkan bahwa spesimen *quenching* mempunyai kekerasan yang lebih tinggi yaitu 598,7 HB dibandingkan spesimen *raw material* 197,854 HB dan spesimen *tempering* 259,26 HB. Kekerasan yang terjadi pada spesimen *quenching* diakibatkan karena proses perlakuan panas yang dilakukan sudah mulai mendekati suhu rekristalisasi ditambah pendinginan cepat sehingga nilai kekerasan semakin meningkat.



Hasil pengujian *impact* menunjukkan bahwa spesimen *tempering* mempunyai ketangguhan yang lebih tinggi yaitu 1,282 J/mm² dibandingkan spesimen *raw material* 0,811 J/mm² dan spesimen *quenching* 0,483 J/mm². Dari data tersebut bahwa spesimen *tempering* lebih ulet dari pada spesimen *quenching* dan *raw material*. Kenaikan keuletan pada spesimen *tempering* disebabkan karena lamanya proses pendinginan material sehingga strukturnya mempunyai cukup waktu untuk berdifusi, oleh sebab itu energi yang diserap spesimen terhadap beban *impact* semakin tinggi.

Berdasarkan data pengujian *metalografi* dapat diamati bahwa pada foto struktur mikro dengan perbesaran 100 kali terlihat pada spesimen *raw material* struktur mikronya lebih dominan *ferrite* dan membentuk susunan yg besar. Hal ini berbeda jika dibandingkan dengan struktur mikro yang telah dilakukan pemanasan seperti spesimen *quenching* dan *tempering*. Dimana pada spesimen *quenching* struktur *pearlite* dan *ferrite* kuantitasnya hampir berimbang dan pada tahap ini susunan kristalnya juga berubah dari kubus pusat ruang (*BCC*) menjadi kubus pusat bidang (*FCC*).

Pada spesimen *tempering* dimana struktur *pearlite* dan *ferrite* butir-butirnya semakin halus dan tersebar merata. Semakin kecilnya butiran pada spesimen *tempering* diakibatkan oleh pendinginan lambat sehingga tersedianya cukup waktu untuk berdifusi dan susunan kristalnya menjadi kubus pusat ruang (*BCC*).

A. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian yang dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Nilai kekerasan pada spesimen *raw material* adalah 197,854 HB, pada spesimen *quenching* adalah 598,7 HB, dan pada spesimen *tempering* adalah 259,26 HB. Nilai ketangguhan (*impact*) pada spesimen *raw material* adalah 0,811 J/mm², pada spesimen *quenching* adalah 0,483 J/mm² dan pada spesimen *tempering* adalah 1,282 J/mm². Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa spesimen *tempering* mempunyai kekerasan yang tinggi tetapi juga mempunyai keuletan yang tinggi sedangkan spesimen *quenching* mempunyai kekerasan yang sangat tinggi tetapi keuletannya rendah.
2. Hasil foto mikro memperlihatkan pada spesimen *tempering* struktur *ferrite* dan *pearlite* tersebar merata dan mempunyai butiran-butiran yang halus dibandingkan spesimen *quenching*.

DAFTAR PUSTAKA

1. Schonmetz .Alois dan Gruber. Karl, 2013, “Pengetahuan Bahan Dalam Pengerjaan Logam”, Angkasa Bandung, Bandung.
2. Bondan T. Sofyan. 2011, “Material Teknik”, Salemba Teknika. Jakarta Selatan.
3. Diagram Fasa *Fe-Fe₃C*, dari : <https://sites.google.com/site/teknikpengecoranreza/0128/home/materialbalance/sifat-aplikasi-dan-pemrosesan-logam-ferro>
4. Dwipayana, I Made Widiyarta, Made Sucipta. 2018. Kekerasan Baja Karbon Sedang dengan Variasi Suhu Permukaan Material. Jurnal METTEK. Vol: 4 No: 2. Bali: Universitas Udayana
5. George F.Vander Voort, Metal HandBook Ninth Edition, ASM Metal Park, OHIO
6. Najamudin, 2016 “Pengaruh Perlakuan Quenching- Tempering Terhadap Kekuatan Impack Pada Baja Karbon Sedang “Jurnal Teknik Mesin” VOL 2 NO 1, Universitas Bandar Lampung, Bandar Lampung.
7. Pengujian Kekerasan. [Online]. Tersedia : <http://staff.uny.ac.id/sites/default/files/Bab%201%20Kekerasan%20edisi%202009.pdf>
8. Najamudin, 2016 “ Peningkatan Kualitas Bahan Pelat Dinding Corong Tuang (Hopper) Melalui Proses Chrome Untuk Meningkatkan Jumlah Produksi Batu Bara”, Jurnal Teknik Mesin, Vol 2



NO 1, Universitas Bandar Lampung, Bandar Lampung..

9. Susetyo, F.B.; Basori, I.; Maryanto, D. Pengaruh Direct Dan In-Direct Quenching Dengan Media Air Terhadap Kekerasan Hasil Hardfacing Baja Karbon: Jurnal Asimetrik. 2020; 2: 125–131..
10. Tabel Konversi Kekerasan. [Online]. Tersedia : <https://shop.buehler.com/sites/default/files/images/WilsonConversionChart%20astm.pdf>
11. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval/article/view/16295>
12. Hadi, Syamsul. 2016, “Teknologi Bahan”, Andi, Yogyakarta.