

Analisa Pengaruh Pendingin Terhadap Struktur Mikro Dan Sifat Mekanik Pada Baja ST 60

**Wany Chytra Manurung¹, Parulian Siagian², Wilson Sabastian Nababan³,
Charles S.P Manurung⁴, Partahi Lumbangaol⁵, Lestina Siagian⁶**

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Mesin Universitas HKBP Nommensen, Medan

^{2,3,4,5,6}Dosen Tetap Fakultas Teknik Universitas HKBP Nommensen, Medan

Corresponding Author : parulian.nommensen@gmail.com

Abstract

The field of industry that produces human needs is growing rapidly. Encouraging increased productivity with iron metal-based machine components. Using quality materials, and certified. This research uses ST 60 steel with a carbon content of 0.48%.. The research process that will be carried out is Heat treatment is needed to minimize failure, change the structure, and form the desired properties, the rapid cooling process to produce a comparison of hardness in material variations, hardness testing to determine the hardness of a material, and observation of microstructure to observe the type of microstructure formed after heat treatment and without heat treatment. After testing, the heat treatment process greatly affects changes in the mechanical properties of the material, as evidenced by the increase in hardness values which initially before the heat treatment process amounted to 194.6 Kgrf / to 255.53 Kgrf / with SAE 40 lubricant cooling media, 220.43 Kgrf / with 50% lubricant cooling media with 50% water mixture, and 300, 7 Kgrf/ with *long life coolant* media and it is proven that in each material given heat treatment the hardness value has increased as well, before heat treatment the hardness value in ST 60 steel is only 194.6 Kgrf/, experiencing an increase in mechanical properties, namely work with SAE 40 lubricant cooling media with a value of 255.53 Kgrf/, 50% lubricant cooling media with 50% water mixture worth 220.43 Kgrf/ and long life coolant of 300.7 Kgrf/.

Keyword: Heat treatment, Quenching, ST60 steel

Abstrak

Bidang Industri Yang Memproduksi Kebutuhan Manusia Sedang Berkembang Pesat. Mendorong Peningkatan Produktivitas Dengan Komponen Mesin Berbahan Dasar Logam Besi. Menggunakan Bahan Berkualitas, Dan Tersertifikasi. Penelitian Ini Menggunakan Baja ST 60 Dengan Kandungan Karbon 0,48%. Adapun Proses Penelitian Yang Akan Dilakukan Yaitu Perlakuan Panas Diperlukan Untuk Meminimalkan Kegagalan, Mengubah Struktur, Dan Membentuk Sifat Yang Diinginkan, Proses Pendinginan Cepat Untuk Menghasilkan Perbandingan Kekerasan Pada Variasi Material, Pengujian Kekerasan Untuk Mengetahui Kekerasan Dari Suatu Material, Dan Pengamatan Struktur Mikro Ntuk Mengamati Tipe Struktur Mikro Yang Terbentuk Setelah Perlakuan Panas Dan Tanpa Perlakuan Panas. Setelah Dilakukannya Pengujian Proses Heat Treatment Sangat Mempengaruhi Perubahan Sifat Mekanik Material, Terbukti Dengan Adanya Kenaikan Nilai Kekerasan Yang Awalnya Sebelum Dilakukannya Proses Perlakuan Panas Sebesar 194,6 Kgrf/ μm^2 Menjadi 255,53 Kgrf/ μm^2 Dengan Media Pendingin Pelumas SAE 40, 220,43 Kgrf/ μm^2 Dengan

Media Pendingin Pelumas 50% Dengan Campuran Air 50%, Dan 300,7 Kgrf/ μm^2 Dengan Media *Long Life Coolant* Dan Terbukti Pada Setiap Bahan Yang Diberikan Perlakuan Panas Nilai Kekerasan Mengalami Peningkatan Juga, Sebelum Dilakukan Heat Treatment Nilai Kekerasan Yang Ada Pada Baja ST 60 Hanya Sebesar 194,6 Kgrf/ μm^2 , Mengalami Peningkatan Sifat Mekanik Yaitu Pengerjaan Dengan Media Pendingin Pelumas SAE 40 Dengan Bernilai 255,53 Kgrf/ μm^2 , Media Pendingin Pelumas 50% Dengan Campuran Air 50% Bernilai 220,43 Kgrf/ μm^2 Dan *Long Life Coolant* Sebesar 300,7 Kgrf/ μm^2 .

Kata Kunci: Baja ST 60, Perlakuan panas, Proses pendinginan cepat,

1. PENDAHULUAN

Permintaan pasar yang sangat tinggi mendorong bidang industri untuk meningkatkan produktifitas perusahaan. Dalam industri besar komponen mesin diambil dari bahan yang memiliki kualitas yang baik dan tersertifikasi sehingga terjamin kualitas dan ketahanannya. Dalam industri kecil biasanya menggunakan proses perlakuan panas (heat treatment) untuk meningkatkan kekuatan, kualitas, dan ketahanan masa pakai komponen mesin tersebut[1]. Berkaitan dengan pemilihan material, baja ST 60 adalah baja yang sering digunakan pada as propeller, transmisi gardan pada mobil dan konstruksi bangunan kapal, karena memiliki sifat pengerjaan dan kekuatan yang baik. Pada baja tersebut sering juga terjadi kegagalan mekanis salah satunya yaitu beban kejut. Faktor yang menyebabkan beban kejut tersebut adalah pemakaian yang dilakukan terus menerus sehingga terjadi patahan. Proses mengubah struktur baja menjadi sifat yang diinginkan yaitu dengan memanaskan hingga austenit, kemudian quenching. Fasa hasil quenching adalah martensit (keras, getas), ferit (lunak, ulet), perlit (baik ketahanannya [2]). Proses quenching adalah proses pendinginan cepat, yaitu dilakukan dengan cara mencelupkan baja pada media pendingin[3]. Media pendingin yang digunakan adalah pelumas dengan SAE 40, pelumas 50% dengan campuran air 50% dan long life coolant. Dengan melakukan variasi media pendingin diharapkan dapat memperoleh perbandingan nilai kekerasan pada masing-masing variasi pada material baja ST 60. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kekerasan dan struktur mikro baja ST 60 setelah heat treatment dengan pelumas SAE 40, pelumas 50% air, dan long life coolant (LLC).

2. METODE PENELITIAN

Adapun metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu menggunakan metode *quenching* yang terdiri dari 2 tahap yaitu proses pemanasan dan proses pendinginan serta metode uji kekerasan untuk mendapatkan nilai kekerasan spesimennya

2.1. Langkah Kerja Proses Penelitian

Adapun proses penelitian dilakukan sebagai berikut :

1. Mempersiapkan Bahan Spesimen
Plat baja spesifikasi ST 60 dipotong dengan ukuran 50 mm x 50 mm dengan ketebalan 10 mm. Spesimen dipotong menjadi 10 bagian untuk 3 spesimen x 3 variasi media pendingin dengan perlakuan panas dan 1 tanpa perlakuan panas
2. Proses perlakuan panas (heat treatment)

Tungku atau dapur pemanas dinyalakan dan dipanaskan sampai pada temperatur 980°C setelah itu benda kerja dimasukkan ke dalam tungku atau dapur pemanas dengan penahanan waktu selama 25 menit.

3. Pendinginan Cepat (Quenching)

Dilakukan pencelupan cepat ke dalam media pendingin dengan 3 variasi yaitu pelumas dengan SAE 40, pelumas 50% dengan campuran air 50% dan long life coolant (LLC).

4. Pengujian Kekerasan (Hardness Test)

dilaksanakan dengan cara menekan benda uji atau spesimen dengan indentor intan yang berbentuk piramida dengan alas segi empat dan besar sudut dari permukaan-permukaan yang berhadapan 136°. Penekanan oleh indentor akan menghasilkan suatu jejak atau lekukan pada permukaan benda uji.

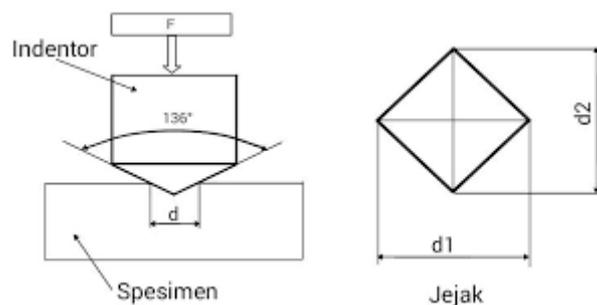
5. Pengamatan struktur mikro

Untuk mengamati tipe struktur mikro yang terbentuk setelah perlakuan panas dan tanpa perlakuan panas. Sebelum pengamatan dilakukan terlebih dahulu spesimen di polish sampai halus dengan urutan amplas 320-400-600-800-1000-1200-1500 dan mengkilap dengan mengoleskan autosol. Spesimen kemudian dicelupkan pada larutan etsa 88 ml *Ethanol*, 10 ml HNO_3 , dan 5 ml HCl dalam waktu 2 menit 30 detik kemudian di keringkan setelah itu dilakukan foto struktur mikro pada permukaan yang telah di etsa.

6. Analisis data.

2.2. Metode pengujian kekerasan Vickers

Dilaksanakan dengan cara menekan benda uji atau spesimen dengan indentor intan yang berbentuk piramida dengan alas segi empat dan besar sudut dari permukaan-permukaan yang berhadapan 136°. Penekanan oleh indentor akan menghasilkan suatu jejak atau lekukan pada permukaan benda uji.



Gambar 1. Metode Vickers

Nilai kekerasan hasil pengujian metode Vickers disebut juga dengan kekerasan HV atau HVN (*Vickers Hardness Number*) yang besarnya :

$$\begin{aligned} \text{VHN} &= \frac{2 \sin \frac{\theta}{2} P}{d} \\ &= \frac{2 \sin \frac{136^\circ}{2} P}{d} \\ \text{VHN} &= \frac{1.8544 P}{d^2} \end{aligned}$$

Adapun langkah-langkah untuk melakukan pengujian kekerasan dengan metode mikro vickers ini adalah :

1. Menghaluskan permukaan material dengan cara diampelas.
2. Spesimen diletakkan pada dudukan.
3. menentukan besar pembebanan yaitu 20 grf.
4. menekan tombol untuk menggerakkan indenter.
5. mengukur bebas injakan indenter dengan mistar yang diliht pada lensa.
6. menentukan nilai kekerasan dari diameter bekas injakan.

3. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

3.1. Uji Komposisi

Berdasarkan hasil uji komposisi diketahui bahwa spesimen mempunyai kandungan karbon sebesar 0,48% sehingga material tersebut tergolong dalam medium carbon steel atau baja karbon sedang. Presentase kandungan karbon tersebut dijadikan sebagai dasar pengambilan suhu quenching.

Tabel 1. Hasil analisa komposisi kimia

C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	A08	Cr
%	%	%	%	%	%	%	%	%
0,48	0,27	0,74	0,008	0,0005	0,01	0,01	0,34	0,33

3.2. Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan yang dilakukan menggunakan mesin Universal Hardness Tester yang bekas injakannya dapat dilihat dengan mikroskop logam. Setiap spesimen dikenai tiga titik injakan yang menghasilkan data harga kekerasan dari spesimen.

Tabel 2. Hasil Pengukuran Kekerasan menggunakan Metode Vickers sebelum dilakukan perlakuan panas.

Bahan Pendingin	Beban (kgrf)	A (μm)	B (μm)	$d = a+b/2$ (μm)	HV ($\text{kgrf}/\mu\text{m}^2$)	Hvrata rata ($\text{kgrf}/\mu\text{m}^2$)
Original	1	98,6	97,8	98,2	192	194,6
		98,8	98,8	98,8	190	
		96,7	95,0	95,85	202	

Tabel 3. Hasil pengukuran kekerasan menggunakan Metode Vickers setelah dilakukan perlakuan panas dengan media pendingin Pelumas.

No	Bahan Pendingin	Beban (kgrf)	A (μm)	B (μm)	$d = a+b /2$ (μm)	HV ($\text{kgrf}/\mu\text{m}^2$)	Hvrata rata ($\text{kgrf}/\mu\text{m}^2$)
1	Oli	1	84,9	86,3	85,6	253	246,6
			86,4	85,2	85,8	252	
			88,7	89,1	88,9	235	
2	Oli	1	84,3	82,7	83,5	266	267
			84,3	83,1	83,7	264	
			82,3	83,1	82,7	271	

3	Oli	1	84,6 86,1 86,0	83,8 86,1 86,9	84,2 86,1 86,45	261 250 248	253
---	-----	---	----------------------	----------------------	-----------------------	-------------------	-----

Tabel 4. Hasil pengukuran kekerasan menggunakan Metode Vickers setelah dilakukan perlakuan panas dengan media pendingin Pelumas 50% dengan campuran air 50%.

No	Bahan Pendingin	Beban (kgrf)	A (μm)	B (μm)	d = a+b /2 (μm)	HV (kgrf/ μm^2)	Hvrata rata k(grf/ μm^2)
1	Air dan Oli	1	92,6 93,0 95,6	91,5 90,7 96,4	92,05 91,85 96	219 219 201	213
2	Air dan Oli	1	94,4 92,5 92,6	95,1 93,5 93,6	94,75 93 93,1	206 214 214	211,3
3	Air dan Oli	1	89,3 87,4 88,8	87,8 88,9 88,0	88,55 88,15 88,4	236 238 237	237

Tabel 5. Hasil pengukuran kekerasan menggunakan Metode Vickers setelah dilakukan perlakuan panas dengan media pendingin long life coolant.

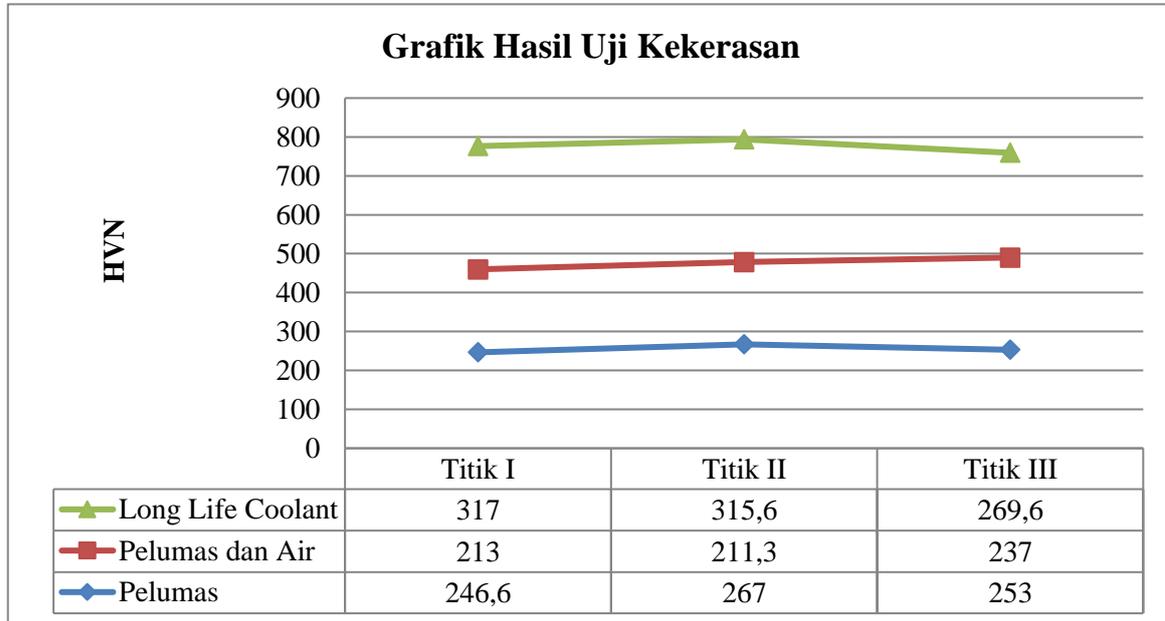
No	Bahan Pendingin	Beban (kgrf)	A (μm)	B (μm)	d = a+b /2 (μm)	HV (kgrf/ μm^2)	Hvrata rata (kgrf/ μm^2)
1	Long life Coolant	1	74,8 75,8 77,0	77,1 77,8 76,3	75,95 76,8 76,65	321 314 316	317
2	Long Life Coolant	1	73,8 77,9 79,6	75,7 75,2 77,5	74,75 76,55 78,55	331 316 300	315,6
3	Long Life Coolant	1	85,8 82,8 83,9	85,0 88,8 81,4	85,4 85,8 82,65	254 284 271	269,6

Tabel 6. Hasil nilai rata-rata kekerasan dengan metode vickers setelah dilakukan proses pemanasan dengan media pendingin pelumas SAE 40, pelumas 50% dengan campuran air 50% dan long life coolant.

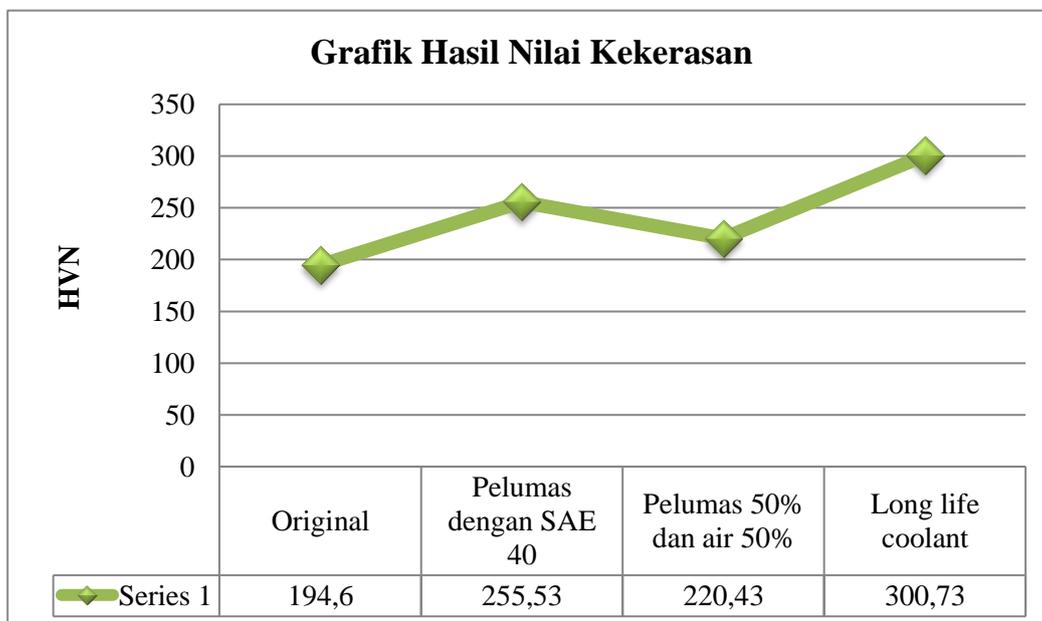
No	Bahan Pendingin	Beban (kgrf)	Hvrata-rata (kgrf/ μm^2)	Hvrata rata (kgrf/ μm^2)
1	Pelumas dengan SAE 40	1	246,6 267 253	255,53
2	Pelumas 50% dan air 50%	1	213 211,3 237	220,43
3	Long Life Coolant	1	317 315,6 269,6	300,73

Dari hasil grafik 1 dan grafik 2 secara berturut turut dapat disimpulkan bahwa nilai kekerasan tertinggi terdapat pada media long life coolant dengan nilai 317 sedangkan

terendah terdapat pada media pendingin pelumas dengan nilai 211,3 dan semakin rendah kekentalan media pendingin yang dipilih maka semakin cepat laju pendinginan dan menghasilkan nilai kekerasan yang tinggi. Dari pengujian kekerasan dengan metode vickers hasilnya mengalami peningkatan dari awal tanpa perlakuan panas sebesar 194,6 sampai dilakukan pemanasan dengan media pendingin long life coolant sebesar 300,73.



Grafik 1. Nilai kekerasan dengan metode vickers setelah dilakukan heat treatment dengan media pendingin pelumas mesran SAE 40, pelumas 50% dengan campuran air 50% dan long life coolant.



Grafik 2. Nilai kekerasan dengan metode vickers sebelum dilakukan pemanasan dan setelah dilakukan pemanasan dengan media pendingin pelumas mesran SAE 40, pelumas 50% dengan campuran air 50% dan long life coolant.

3.3. Uji struktur mikro

Pengamatan struktur mikro pada masing-masing spesimen sebelum di heat treatment dan setelah di heat treatment pada suhu 900°C dengan media pendingin yang berbeda yaitu pelumas mesran SAE 40, pelumas 50% dengan campuran air 50%, dan long life coolant ditunjukkan pada Gambar dibawah ini. Untuk keperluan analisa struktur mikro disajikan dua foto dengan pembesaran yang berbeda, agar supaya fasa yang terbentuk lebih tampak jelas.



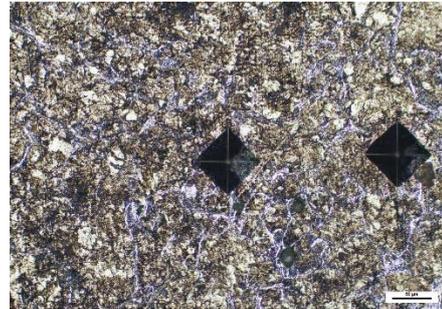
Gambar 2. Struktur mikro tanpa pemanasan dengan larutan etsa 85 ml ethanol, 10 ml HNO_3 dan 5 ml HCL pada perbesaran 200x.



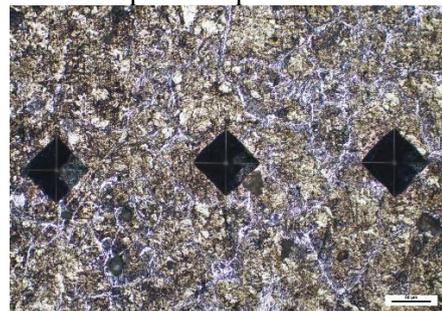
Gambar 3. Struktur mikro tanpa pemanasan dengan larutan etsa 85 ml ethanol, 10 ml HNO_3 dan 5 ml HCL pada perbesaran 200x



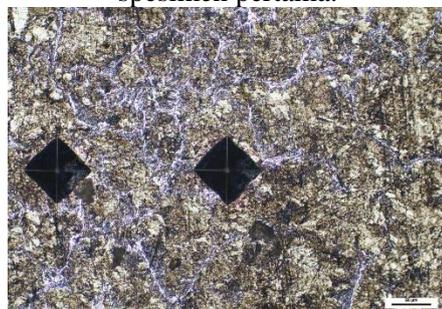
Gambar 4. Struktur mikro tanpa pemanasan dengan larutan etsa 85 ml ethanol, 10 ml HNO_3 dan 5 ml HCL pada perbesaran 200x



Gambar 5. Struktur mikro dengan media pendingin pelumas SAE 40 dengan larutan etsa 85 ml ethanol, 10 ml HNO_3 dan 5 ml HCL pada perbesaran 200x untuk spesimen pertama.



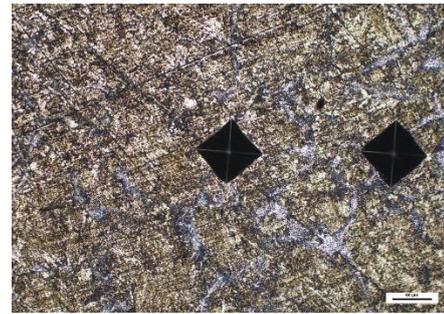
Gambar 6. Struktur mikro dengan media pendingin pelumas SAE 40 dengan larutan etsa 85 ml ethanol, 10 ml HNO_3 dan 5 ml HCL pada perbesaran 200x untuk spesimen pertama.



Gambar 7. Struktur mikro dengan media pendingin pelumas SAE 40 dengan larutan etsa 85 ml ethanol, 10 ml HNO_3 dan 5 ml HCL pada perbesaran 200x untuk spesimen pertama.



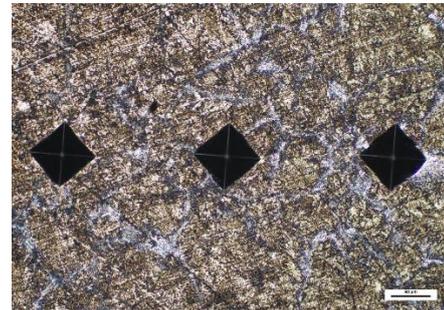
Gambar 8. Struktur mikro dengan media pendingin pelumas SAE 40 dengan larutan etsa 85 ml ethanol, 10 ml HNO_3 dan 5 ml HCL pada perbesaran 200x untuk spesimen pertama.



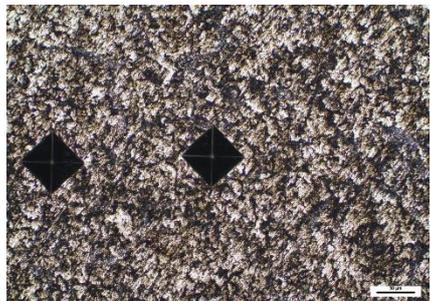
Gambar 11. Struktur mikro dengan media pendingin pelumas SAE 40 dengan larutan etsa 85 ml ethanol, 10 ml HNO_3 dan 5 ml HCL pada perbesaran 200x untuk spesimen ketiga.



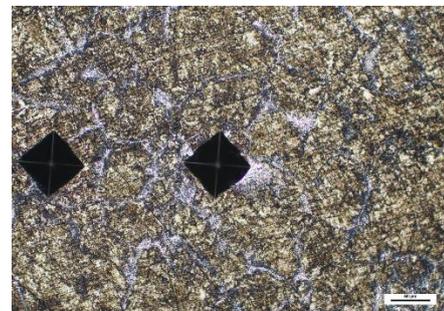
Gambar 9. Struktur mikro dengan media pendingin pelumas SAE 40 dengan larutan etsa 85 ml ethanol, 10 ml HNO_3 dan 5 ml HCL pada perbesaran 200x untuk spesimen kedua.



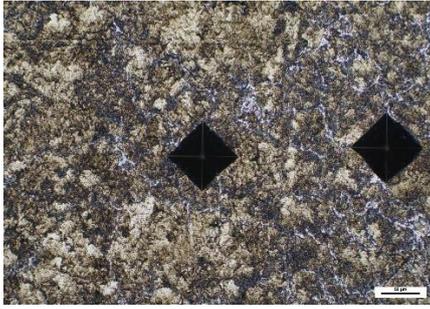
Gambar 12. Struktur mikro dengan media pendingin pelumas SAE 40 dengan larutan etsa 85 ml ethanol, 10 ml HNO_3 dan 5 ml HCL pada perbesaran 200x untuk spesimen ketiga.



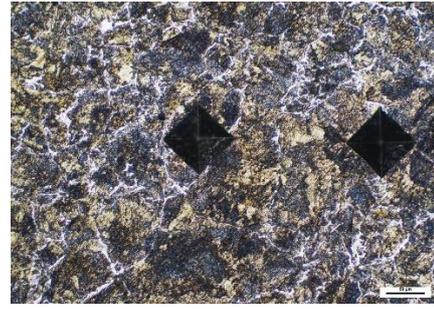
Gambar 10. Struktur mikro dengan media pendingin pelumas SAE 40 dengan larutan etsa 85 ml ethanol, 10 ml HNO_3 dan 5 ml HCL pada perbesaran 200x untuk spesimen kedua.



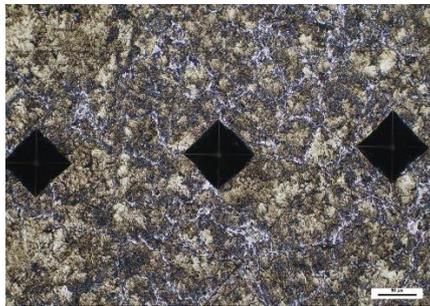
Gambar 13. Struktur mikro dengan media pendingin pelumas SAE 40 dengan larutan etsa 85 ml ethanol, 10 ml HNO_3 dan 5 ml HCL pada perbesaran 200x untuk spesimen ketiga.



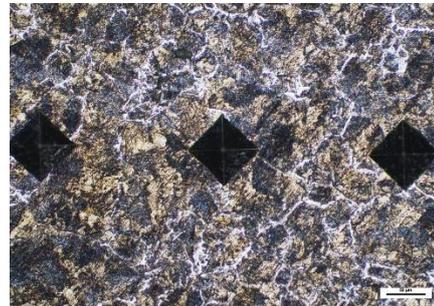
Gambar 14. Struktur mikro dengan media pendingin pelumas 50% dengan campuran air 50% dengan larutan etsa 85 ml ethanol, 10 ml HNO_3 dan 5 ml HCL pada perbesaran 200x untuk spesimen pertama.



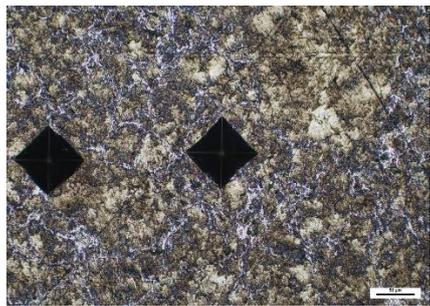
Gambar 17. Struktur mikro dengan media pendingin pelumas 50% dengan campuran air 50% dengan larutan etsa 85 ml ethanol, 10 ml HNO_3 dan 5 ml HCL pada perbesaran 200x untuk spesimen kedua.



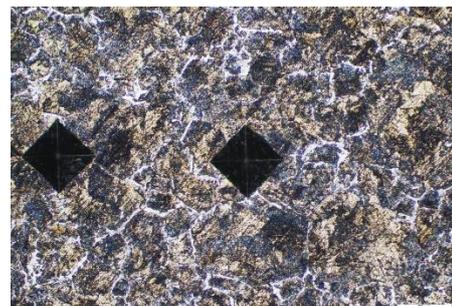
Gambar 15. Struktur mikro dengan media pendingin pelumas 50% dengan campuran air 50% dengan larutan etsa 85 ml ethanol, 10 ml HNO_3 dan 5 ml HCL pada perbesaran 200x untuk spesimen pertama.



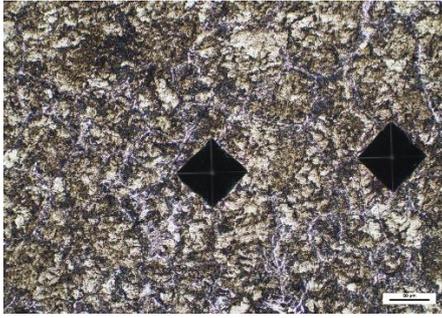
Gambar 18. Struktur mikro dengan media pendingin pelumas 50% dengan campuran air 50% dengan larutan etsa 85 ml ethanol, 10 ml HNO_3 dan 5 ml HCL pada perbesaran 200x untuk spesimen kedua.



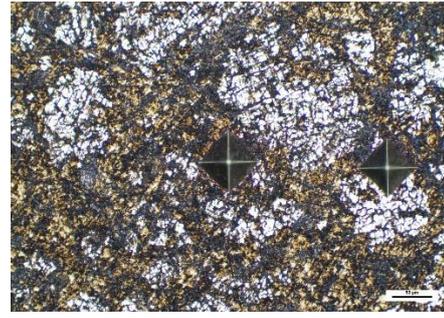
Gambar 16. Struktur mikro dengan media pendingin pelumas 50% dengan campuran air 50% dengan larutan etsa 85 ml ethanol, 10 ml HNO_3 dan 5 ml HCL pada perbesaran 200x untuk spesimen pertama.



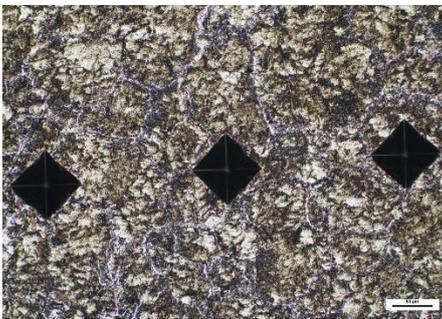
Gambar 19. Struktur mikro dengan media pendingin pelumas 50% dengan campuran air 50% dengan larutan etsa 85 ml ethanol, 10 ml HNO_3 dan 5 ml HCL pada perbesaran 200x untuk spesimen kedua.



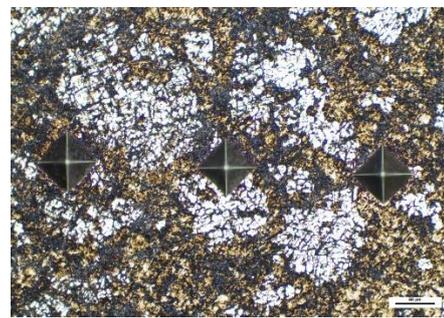
Gambar 20. Struktur mikro dengan media pendingin pelumas 50% dengan campuran air 50% dengan larutan etsa 85 ml ethanol, 10 ml HNO_3 dan 5 ml HCL pada perbesaran 200x untuk spesimen ketiga.



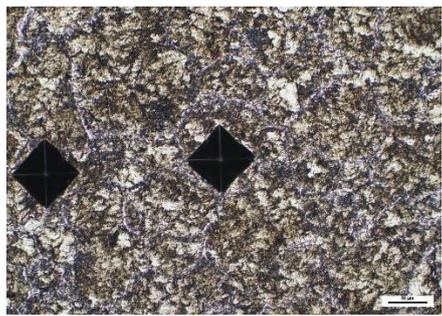
Gambar 23. Struktur mikro dengan media pendingin *long life coolant (LLC)* dengan larutan etsa 85 ml ethanol, 10 ml HNO_3 dan 5 ml HCL pada perbesaran 200x untuk spesimen pertama.



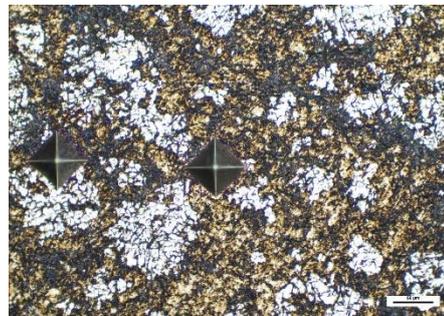
Gambar 21. Struktur mikro dengan media pendingin pelumas 50% dengan campuran air 50% dengan larutan etsa 85 ml ethanol, 10 ml HNO_3 dan 5 ml HCL pada perbesaran 200x untuk spesimen ketiga.



Gambar 24. Struktur mikro dengan media pendingin *long life coolant (LLC)* dengan larutan etsa 85 ml ethanol, 10 ml HNO_3 dan 5 ml HCL perbesaran 200x untuk spesimen pertama.



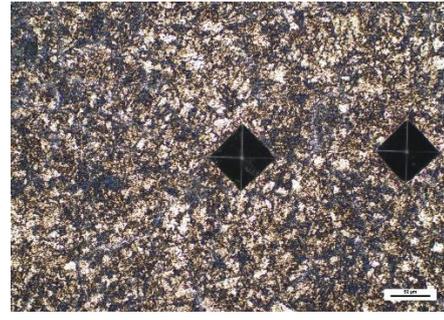
Gambar 22. Struktur mikro dengan media pendingin pelumas 50% dengan campuran air 50% dengan larutan etsa 85 ml ethanol, 10 ml HNO_3 dan 5 ml HCL pada perbesaran 200x untuk spesimen ketiga.



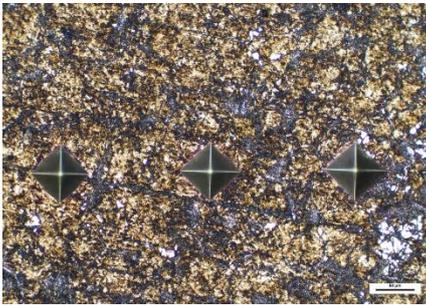
Gambar 25. Struktur mikro dengan media pendingin *long life coolant (LLC)* dengan larutan etsa 85 ml ethanol, 10 ml HNO_3 dan 5 ml HCL perbesaran 200x untuk spesimen pertama.



Gambar 26. Struktur mikro dengan media pendingin *long life coolant (LLC)* dengan larutan etsa 85 ml ethanol, 10 ml HNO_3 dan 5 ml HCL pada perbesaran 200x untuk spesimen kedua.



Gambar 29. Struktur mikro dengan media pendingin *long life coolant (LLC)* dengan larutan etsa 85 ml ethanol, 10 ml HNO_3 dan 5 ml HCL pada perbesaran 200x untuk spesimen ketiga.



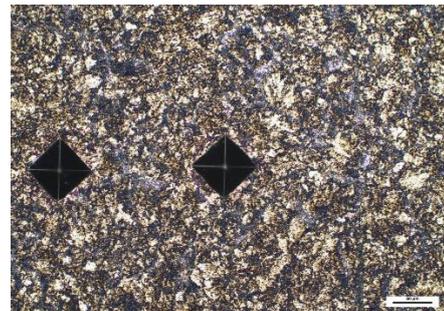
Gambar 27. Struktur mikro dengan media pendingin *long life coolant (LLC)* dengan larutan etsa 85 ml ethanol, 10 ml HNO_3 dan 5 ml HCL pada perbesaran 200x untuk spesimen kedua.



Gambar 30. Struktur mikro dengan media pendingin *long life coolant (LLC)* dengan larutan etsa 85 ml ethanol, 10 ml HNO_3 dan 5 ml HCL pada perbesaran 200x untuk spesimen ketiga.



Gambar 28. Struktur mikro dengan media pendingin *long life coolant (LLC)* dengan larutan etsa 85 ml ethanol, 10 ml HNO_3 dan 5 ml HCL pada perbesaran 200x untuk spesimen kedua.



Gambar 31. Struktur mikro dengan media pendingin *long life coolant (LLC)* dengan larutan etsa 85 ml ethanol, 10 ml HNO_3 dan 5 ml HCL pada perbesaran 200x untuk spesimen ketiga.

4. KESIMPULAN

Proses heat treatment sangat mempengaruhi perubahan sifat mekanik material, terbukti dengan adanya kenaikan nilai kekerasan sebelum dilakukan proses perlakuan panas sebesar 194,6 Kgrf/ μm^2 dan setelah dilakukan Pengerjaan heat treatment dengan media pendingin pelumas SAE 40 dengan bernilai 255,53 Kgrf/ μm^2 , media pendingin pelumas 50% dengan campuran air 50% bernilai 220,43 Kgrf/ μm^2 dan *long life coolant* sebesar 300,7 Kgrf/ μm^2 dan terbukti pada setiap bahan yang diberikan perlakuan panas nilai kekerasan mengalami peningkatan. Sebelum dilakukan heat treatment nilai kekerasan yang ada pada baja ST 60 hanya sebesar 194,6 Kgrf/ μm^2 , dan mengalami perubahan peningkatan sifat mekanik yaitu pengerjaan dengan media pendingin pelumas SAE 40 dengan bernilai 255,53 Kgrf/ μm^2 , media pendingin pelumas 50% dengan campuran air 50% bernilai 220,43 Kgrf/ μm^2 dan *long life coolant* sebesar 300,7 Kgrf/ μm^2 .

5. REFERENSI

- [1] H. E. Davis, G. E. Troxell, and G. F. Hauck, "The testing of engineering materials," 1982.
- [2] B. A. Permana and M. Badaruddin, "Karakterisasi Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Baja Carbon Rendah Untuk Cane Cutter Blade Pada PT Gunung Madu Plantation," *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, vol. 1, no. 3, 2013.
- [3] A. Murtiono, "Pengaruh quenching dan tempering terhadap kekerasan dan kekuatan tarik serta struktur mikro baja karbon sedang untuk mata pisau pemanen sawit," *Jurnal e-Dinamis*, vol. 2, no. 2, pp. 57–70, 2012.
- [4] M. D. Sacks, C.-A. Wang, Z. Yang, and A. Jain, "Carbothermal reduction synthesis of nanocrystalline zirconium carbide and hafnium carbide powders using solution-derived precursors," *Journal of Materials Science*, vol. 39, pp. 6057–6066, 2004.
- [5] H. A. Daryanto, "Ilmu bahan," *Jakarta: PT Bumi Aksara*, 1999.
- [6] B. V. Rahim, "PENGARUH VARIASI PENDINGIN PADA BAJA ST 60 DENGAN UJI KEKERASAN DAN MIKROSTRUKTUR PADA PROSES QUENCHING," 2019.
- [7] E. Koswara, "Pengujian Bahan Logam," *Humaniora Utama Press, Bandung*, 1999.
- [8] G. Krauss and D. Hudok, "Properties and selection: Iron, steel and high performance alloys," *ASM Metals Hand Book, Materials*, vol. 1, 1991.
- [9] H. Wiryosumarto, "Teknologi pengelasan logam," (*No Title*), 1979.
- [10] G. E. Doan, "The principles of physical metallurgy," (*No Title*), 1953.