

## Pengaruh Media Pendinginan Pada Proses Heat Treatment Baja SUP-9

Aini Lostari<sup>1</sup>, Supardi<sup>2</sup>, Talifatim Machfuroh<sup>3</sup>, Shultoni Mahardika<sup>4</sup>

<sup>1,4</sup>Teknik Mesin, Universitas Qomaruddin  
Jl. Raya No.1 Bungah Gresik, 61152 Indonesia

<sup>2</sup>Teknik Mesin, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya  
Jl. Semolowaru 45 Surabaya

<sup>3</sup>Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang  
Jl. Soekarno Hatta no.9 Jatimulyo Lowokwaru Malang  
\*E-mail: ainims31@gmail.com

### Abstract

*The main cause of failure of a material, especially springs, was due to wear factor or material fatigue. So increasing the wear life of a steel spring was very important because wear failure will not only be catastrophic but will also cause huge economic losses. One way to increase the wear life of steel was by heat treatment. This study aims to determine how the effect of cooling on the SUP 9 steel material that has been heat treated. So that from this research will be obtained a comparison of the value of hardness and wear on the SUP 9 steel material due to the heat treatment process carried out with variations in cooling. The cooling media used in this study were water cooling, free air in the furnace, SAE 20W-50 oil, and salt water. In this study, the specimen was heated to a temperature of 850 °C and then held for 60 minutes at that temperature. From the results of the brinell hardness test, it was found that the highest average hardness value in the specimens that received water quenching treatment was 528,306 BHN.*

**Keywords:** Heat Treatment, SUP-9 Steel, Cooling Media

### Abstrak

Penyebab utama kegagalan dari suatu material khususnya pegas adalah adanya faktor keausan atau kelelahan material. Sehingga peningkatan umur keausan suatu pegas baja sangat penting dilakukan karena kegagalan aus tidak hanya akan menjadi bencana besar tetapi juga akan menyebabkan kerugian ekonomi yang besar. Salah satu cara meningkatkan umur keausan baja adalah dengan proses heat treatment. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana pengaruh pendinginan terhadap material baja SUP 9 yang telah diberi perlakuan heat treatment. Sehingga dari penelitian ini akan didapatkan perbandingan nilai kekerasan dan keausan pada material baja SUP 9 akibat proses heat treatment yang dilakukan dengan variasi pendinginan. Media pendingin yang digunakan pada penelitian ini berupa pendingin air, udara bebas di dalam furnace, oli SAE 20W-50, dan larutan air garam. Pada penelitian ini specimen dipanaskan sampai suhu 850 °C dan kemudian ditahan selama 60 menit pada temperature tersebut. Dari hasil uji kekerasan brinell didapatkan hasil nilai rata-rata kekerasan tertinggi pada spesimen yang mendapat perlakuan quenching Air yaitu 528,306 BHN.

**Kata kunci:** Heat Treatment, Baja SUP 9, Media Pendingin

### 1. Pendahuluan

Pegas merupakan salah satu komponen suspensi yang terdapat pada kendaraan berat yang berfungsi sebagai peredam getaran dan sekaligus sebagai penopang rangka kendaraan [1]. Pegas merupakan benda elastis yang terdistorsi atau membelok jika dikenai beban dan kembali ke bentuk aslinya ketika beban dihilangkan. Pegas merupakan komponen yang mampu menyimpan energi, baik sementara maupun permanen [2]. Pegas terbuat dari baja kelas khusus yang biasa dikenal dengan baja pegas (spring steel). Kandungan unsur pada baja jenis ini adalah besi, karbon, mangan, silicon, pospor, sulfur, dan vanadium sebagai unsur paduan utama [3].

Penyebab utama kegagalan suatu pegas adalah faktor keausan atau kelelahan material. Kegagalan ini terjadi karena adanya pembebanan berlebih [1]. Kegagalan ini tentunya akan menghambat kegiatan transportasi. Peningkatan umur keausan suatu pegas baja sangat penting dilakukan karena kegagalan aus tidak hanya akan menjadi bencana besar tetapi juga akan menyebabkan kerugian ekonomi yang besar. Jika komponen pegas mengalami kegagalan aus maka diperlukan perbaikan yang tentunya akan memakan waktu, dan biaya pembelian komponen baru serta kerugian yang tak terduga yang lainnya [1] [3]. Berdasarkan penelitian Refngah yang terdapat dalam jurnalnya Daudpoto dijelaskan bahwa batas aus (atau daya tahan) dan kekuatan aus adalah dua ukuran yang digunakan untuk menggambarkan umur aus (kelelahan) suatu material. Batas aus adalah fluktuasi tegangan tertinggi yang dapat dialami suatu material tak hingga. Karena tidak mungkin untuk menguji pegas tak hingga, maka kekuatan aus ini adalah ukuran yang digunakan

untuk menunjukkan sifat kelelahan suatu material. Kekuatan aus ini adalah tegangan terbesar yang mungkin dialami material untuk sejumlah pembebanan siklik tanpa kegagalan [3].

Untuk meningkatkan batas dan kekuatan aus digunakan proses perlakuan panas (heat treatment). Heat treatment merupakan prosedur pemanasan dan pendinginan terkontrol dari logam dan paduan untuk menginduksi sifat tertentu ke dalamnya [4]. Perlakuan panas material dapat digunakan untuk meningkatkan sifat mekanik baja dengan mengubah ukuran dan bentuk mikrokonstituennya [5] [6] [7]. Prinsip heat treatment dapat diaplikasikan pada berbagai macam logam, salah satunya menggunakan baja SUP 9 (Stand up Paddleboard). Baja SUP 9 tergolong kedalam baja karbon tinggi dengan kadar karbon 0,60% dan silikon 0,30% [2], baja ini dapat digunakan sebagai bahan pembuatan pegas dan alat perkakas yang mempunyai tingkat kekerasan tinggi.

Media pendingin adalah bahan yang digunakan sebagai penurun suhu secara cepat. Media pendingin biasanya disesuaikan dengan kebutuhan untuk menghasilkan barang sesuai dengan keinginan. Dalam perlakuan panas (heat treatment) baja banyak media yang digunakan antara lain: air, udara, oli, air garam, udara bebas, nitrogen dan lain-lain. Berdasarkan penelitian sebelumnya, perbedaan penggunaan media pendingin dalam proses heat treatment memberikan variasi kekerasan di permukaan yang berbeda [8]. Sifat mekanis hasil perlakuan panas tergantung dari proses pemanasan, waktu tahan dan laju pendinginannya [9].

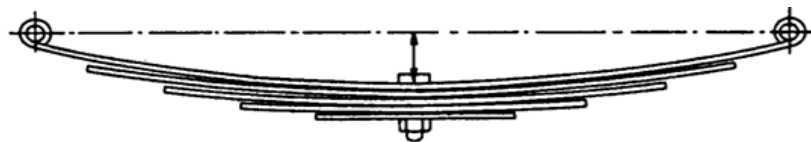
Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana pengaruh pendinginan terhadap material baja SUP 9 yang telah diberi perlakuan heat treatment. Sehingga dari penelitian ini akan didapatkan perbandingan nilai kekerasan dan keausan pada material baja SUP 9 akibat proses heat treatment yang dilakukan dengan variasi pendinginan. Media pendingin yang digunakan pada penelitian ini berupa pendingin air, udara bebas di dalam furnace, oli SAE 20W-50, dan larutan air garam. Pada penelitian ini specimen dipanaskan sampai suhu 850 oC dan kemudian di holding selama 60 menit.

## 2. Material dan metode penelitian

### 2.1 Persiapan Bahan

Penelitian ini menggunakan material jenis baja SUP 9 yang didapatkan dari pegas daun kendaraan mobil. Ukuran dari pegas daun tersebut seperti terlihat pada Tabel 1.

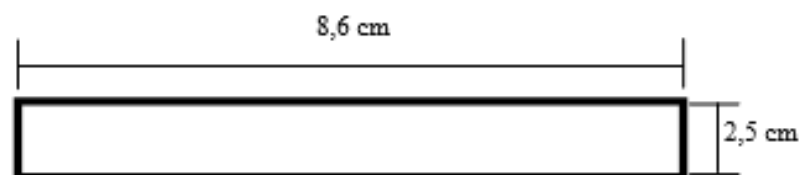
Keterangan	Panjang (cm)
Panjang pegas daun nomor 1	86
Panjang pegas daun nomor 2	72
Panjang pegas daun nomor 3	56
Panjang pegas daun nomor 4	44
Panjang pegas daun nomor 5	32
Lebar pegas daun	8,6
Tebal pegas daun	1,8



Gambar 1. Pegas daun SUP 9

Pegas yang digunakan sebagai specimen adalah pegas daun nomor 3, yaitu dengan panjang 56 cm, lebar 8,6 cm, dan tebal 1,8 cm.

Sebelum dilakukan proses heat treatment, diperlukan pembuatan specimen uji dari bahan. Bahan yang berupa pegas daun dipotong terlebih dahulu dengan ukuran panjang 8,6 cm dan lebar 2,5 cm. Diperlukan 20 spesimen uji dalam penelitian ini yang akan dilakukan proses heat treatment dan dikemudian didinginkan dengan media pendingin yang berbeda. Media pendingin yang digunakan berupa udara bebas, air garam, air, dan oli. Selain itu diperlukan juga persiapan untuk specimen row material.



Gambar 2. Desain spesimen uji.

## 2.2 Proses Heat Treatment

Dipersiapkan baja SUP 9 (*Stand up Paddleboard*) dengan kondisi belum mengalami *heat treatment (as cast)*. Baja dipotong menjadi 20 bagian dengan ukuran yang sama. 20 spesimen yang sudah disiapkan nantinya akan dibagi 5 kelompok dengan jumlah yang sama pada masing-masing kelompok. Kelompok pertama sebagai row material, kelompok kedua akan didinginkan menggunakan udara bebas, kelompok ketiga akan didinginkan menggunakan air garam, kelompok keempat akan didinginkan menggunakan air biasa, kelompok kelima akan didinginkan menggunakan oli. Kemudian dilakukan proses heat treatment pada semua specimen. Setelah itu dilakukan austenitisasi dengan memanaskan baja di dalam furnace dengan temperatur 850 °C. Ketika sudah mencapai temperatur austenitisasi, dilakukan penahanan selama 60 menit pada temperatur tersebut. Kemudian spesimen dikeluarkan dan didinginkan. Proses pendinginan dilakukan dengan media pendingin yang berbeda sesuai dengan pengelompokan.

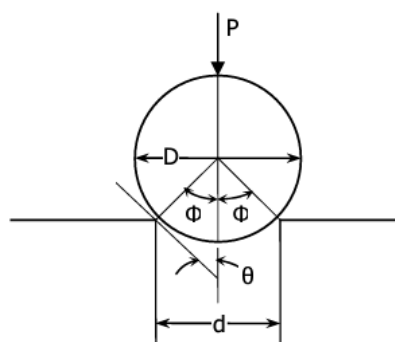
## 2.3 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan pada penelitian ini dilakukan pada semua spesimen. pengujian kekerasan ini dilakukan dengan menggunakan metode Brinell hardness yang bertujuan untuk menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap bola baja dengan kekerasan tertentu yang ditekankan pada permukaan material uji tersebut.

Metode uji kekerasan yang diajukan oleh J.A. Brinell pada tahun 1900 ini merupakan uji kekerasan lekukan yang pertama kali banyak digunakan serta disusun pembakuannya [10]. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan indenter menggunakan bola baja yang diperkeras dengan beban dan waktu indentasi tertentu. Hasil penekanan berupa jejak berbentuk lingkaran yang dihitung diameternya menggunakan mikroskop khusus pengukur jejak. Untuk mendapatkan nilai yang akurat, hal-hal yang perlu diperhatikan adalah sebagai berikut: (1) Spesimen dibersihkan permukaannya; (2) Spesimen harus rata; (3) Spesimen tidak boleh terlalu tipis; (4) Setelah bersih, spesimen diletakkan pada landasan uji dan bola indenter yang digunakan adalah bola dengan diameter 10 mm; (5) Jarak antara indentasi satu dengan lainnya adalah 3 kali diameter indentasi; (6) Spesimen dinaikkan hingga menyentuh bola indenter, sampai alarm berbunyi; (7) Setting skala pada panel menunjukkan angka 1000 kg kemudian ditahan selama 15 detik; (8) Setelah 15 detik beban akan kembali ke posisi semula (0 kg); (9) Pengambilan data kekerasan diulang sebanyak 10 kali untuk masing-masing spesimen dan diambil data rata-ratanya; (10) Pengamatan diameter indentasi dilakukan dengan menggunakan tropong indenter dan data diameternya disesuaikan dengan tabel kekerasan; (11) Perhitungan manual dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$HB = 0,102 \frac{F}{\frac{\pi}{2}D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (1)$$

Dimana D adalah Diameter bola (mm), d = impression diameter (mm), F = Load (beban) (N), HB = Brinell result (HB), dan 0,102 = Special Factor (karena menggunakan indenter besi wolfram). Jika indenter yang digunakan berupa bola baja (steel ball) maka kekerasan dinyatakan dengan HBS. Atau secara umum biasanya dinyatakan dengan BHN.



Gambar 3. Parameter-parameter dasar pada pengujian Brinell [10]

## 2.4 Pengujian Struktur Mikro

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui struktur mikro yang terdapat pada spesimen dengan media pendingin yang berbeda. Agar struktur mikro dapat terlihat dengan jelas dibawah mikroskop, maka diperlukan proses menetsa. Menetsa dalam kamus dapat diartikan sebagai proses pembuatan gambar atau ukiran pada pelat tembaga yang dilapisi lilin dengan benda tajam, kemudian membiarkan garis-garis yang diperoleh itu terkena korosi cairan asam, hasil pemrosesan ini disebut etsa. Proses etsa ini dilakukan dengan larutan nital.



Gambar 4. Hasil pengetsaan

Struktur mikro pada setiap specimen diamati menggunakan mikroskop yang terhubung dengan komputer. Benda uji diletakkan di bawah lensa obyektif dari mikroskop. Kemudian program aplikasi mikroskop digital yang ada di perangkat komputer dinyalakan. Focus kasar diputar sampai muncul gambar di monitor. Untuk memperjelas gambar diputar focus halus dari mikroskop. Untuk mengarahkan pandangan mikroskop pada bagian benda uji dilakukan dengan cara memutar posisi maju-mundur dan kiri-kanan dari kedudukan lensa mikroskop. Kemudian gambar dan video yang sudah diperoleh dapat disimpan dengan tombol simpan gambar pada komputer.



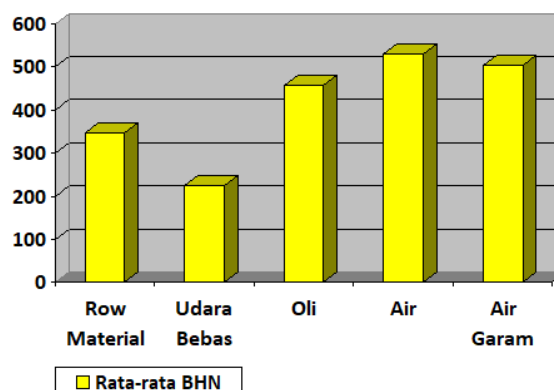
Gambar 5. Mikroskop yang terhubung dengan perangkat komputer

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan metode Brinell yang bekas pengujiannya dapat dilihat dengan mikroskop. Setiap 1 spesimen dikenakan 10 titik pengujian yang menghasilkan data harga kekerasan dari spesimen Quenching air garam, Quenching air, Quenching oli, Normalizing udara bebas dan Row Material. Data nilai kekerasan akibat perbedaan media pendinginan pada penelitian ini dapat dilihat pada table 1.

Dari hasil pengujian pada tabel 1 didapatkan rata-rata nilai kekerasan pada tiap posisi dari permukaan setiap spesimen. Spesimen uji tanpa perlakuan (raw material) memiliki nilai rata-rata kekerasan 347.109 BHN pada permukaan. Spesimen dengan pendinginan udara bebas (normalizing) memiliki nilai rata-rata kekerasan 223.917 BHN pada permukaan. Spesimen uji dengan metode celup oli SAE 20W-50 menghasilkan nilai rata-rata kekerasan 456.675 BHN. Spesimen uji dengan media celup air menghasilkan nilai rata-rata kekerasan sebesar 528.306 BHN. Spesimen uji dengan media celup air garam menghasilkan nilai rata-rata kekerasan sebesar 503.365 BHN. Kelima spesimen uji ini memiliki angka kekerasan yang berbeda karena laju pendinginan yang dihasilkan juga berbeda.



Gambar 6. Grafik rata-rata nilai kekerasan

**Tabel 2.** Nilai rata-rata kekerasan pada spesimen uji

Benda uji	No Jejak	Nilai BHN				
		Row Material	Udara Bebas	Oli	Air	Air Garam
A	1	338.883	229.49	527.195	520.416	488.397
A	2	346.086	225.562	488.397	500.843	476.406
A	3	346.086	223.635	470.575	494.561	482.346
A	4	328.49	229.49	470.575	488.397	464.849
A	5	331.901	229.49	464.849	507.243	470.575
A	6	325.131	229.49	513.767	494.561	527.195
A	7	321.822	219.853	482.346	555.668	507.243
A	8	282.999	216.165	482.346	548.339	488.397
A	9	315.353	221.732	470.575	527.195	488.397
A	10	309.075	227.513	422.56	548.339	476.406
B	1	349.773	227.513	448.281	448.281	448.281
B	2	346.086	225.562	417.679	459.227	453.705
B	3	365.119	217.997	342.456	476.406	488.397
B	4	353.518	223.635	349.773	534.106	500.843
B	5	346.086	227.513	381.489	494.561	507.243
B	6	346.086	212.567	417.679	500.843	448.281
B	7	357.324	217.997	437.72	520.416	459.227
B	8	369.112	219.853	427.525	611.326	464.849
B	9	357.324	217.997	453.705	494.561	482.346
B	10	357.324	229.49	448.281	555.668	494.561
C	1	385.752	225.562	427.525	534.106	520.416
C	2	377.296	221.732	464.849	548.339	534.106
C	3	381.489	217.997	507.243	470.575	527.195
C	4	385.752	223.635	437.72	602.878	602.878
C	5	369.112	227.513	476.406	602.878	555.668
C	6	365.119	212.567	470.575	619.951	695.996
C	7	369.112	217.997	427.525	611.326	488.397
C	8	369.112	219.853	500.843	611.326	563.145
C	9	385.752	217.997	459.227	464.849	534.106
C	10	385.752	217.997	464.849	507.243	541.152
D	1	357.324	227.513	448.281	520.416	476.406
D	2	342.456	227.513	442.954	534.106	494.561
D	3	342.456	231.492	470.575	527.195	527.195
D	4	346.086	229.49	488.397	541.152	534.106
D	5	335.365	231.492	520.416	427.525	527.195
D	6	315.353	227.513	482.346	611.326	482.346
D	7	357.324	223.635	459.227	520.416	470.575
D	8	315.353	227.513	464.849	534.106	476.406
D	9	321.822	223.635	470.575	541.152	476.406
D	10	282.999	231.492	464.849	520.416	488.397
<b>Rata-rata</b>		<b>347.109</b>	<b>223.917</b>	<b>456.675</b>	<b>528.306</b>	<b>503.365</b>

Nilai rata-rata kekerasan paling tinggi dihasilkan oleh spesimen dengan media pendingin air. Sedangkan nilai rata-rata kekerasan yang paling rendah dihasilkan oleh spesimen uji dengan proses normalisasi atau media pendingin udara bebas yaitu sebesar 223.917 BHN. Proses normalizing pada umumnya tidak akan meningkatkan kekerasan yang terlalu signifikan [11]. Pada pengujian ini, nilai rata-rata kekerasan setelah dinormalisasi cenderung menurun.

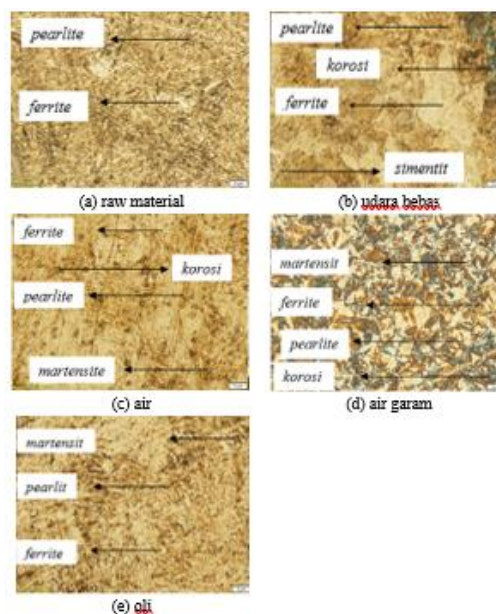
### 3.2 Hasil Analisa Struktur mikro

Pengujian truktur mikro dilakukan untuk melihat bagaimana struktur mikro pada permukaan specimen. Hasil pengujian struktur mikro (metalografi) permukaan dapat dilihat pada gambar 7. Pengujian struktur mikro dilakukan dengan perbesaran sampai 1000 kali.

Gambar 7 (a) menunjukkan hasil pengujian struktur mikro pada raw material dari baja SUP 9. Dari hasil uji metalografi pada spesimen row material terdapat beberapa struktur mikro yang terlihat sangat dominan, diantaranya yaitu struktur ferrite dan pearlite. Susunan dari ferrite dan pearlite pada permukaan baja SUP 9 terlihat cukup merata. Butiran ferrite cenderung lebih halus dan berwarna putih (keabu-abuan) sedangkan butiran pearlite cenderung kasar dan berwarna gelap atau hitam [12] [13].

Gambar 7 (b) menunjukkan hasil dari uji metalografi pada specimen yang didinginkan dengan udara bebas. Pendinginan dengan media udara atau biasa dikenal dengan istilah normalizing tidak terbentuk struktur martensit pada permukaannya [8]. Pada permukaan specimen ini terdapat beberapa struktur mikro yang terlihat yaitu pearlite, ferrit, sementit, dan korosi. Struktur pearlite cenderung lebih dominan. Struktur perlit merupakan campuran dari ferrit dan sementit yang berlapis lapis [8].

Hasil uji struktur mikro pada specimen yang didinginkan dengan air ditunjukkan pada gambar 7(c). pada hasil uji pendinginan dengan air atau yang biasa disebut dengan proses quenching air terdapat beberapa struktur mikro yang terlihat yaitu ferrit, simentit, perlit, dan martensite (bentuk jarum) lebih dominan di dibandingkan dengan bainite (putih) sehingga menghasilkan nilai kekerasan yang tinggi di dibandingkan dengan spesimen Normalizing Udara Bebas. Struktur martensit akan lebih memanjang serta menjadi lebih tegang, keras dan getas jika kadar karbon dalam austenit meningkat [9]. Perlakuan panas pada temperatur austenite 850°C dan di holding time selama 1 jam kemudian di quench dengan air, laju pendinginan cepat dengan quench air pada garis austenite yang memiliki struktur FCC (Face Centered Cubic) berusaha mengeluarkan atom karbon, namun karena waktu yang sangat singkat atom karbon tersebut terperangkap dan membentuk struktur baru, yaitu martensite yang memiliki struktur BCT (Body Centered Cubic), sehingga memiliki tingkat kekerasan yang lebih tinggi.



**Gambar 7.** Hasil pengujian struktur mikro pada spesimen

Dari hasil uji metalografi pada benda uji spesimen quenching air garam seperti tampak pada gambar 7(d) terdapat beberapa struktur mikro yang terlihat yaitu korosi, ferrit, pearlite, dan martensite (bentuk jarum). Keempat struktur ini terlihat lebih dominan di dibandingkan dengan struktur bainite (putih). Korosi yang terbentuk pada specimen ini terlihat sangat jelas hampir di setiap bagian. Perlakuan panas pada temperatur austenite 850°C dan di holding time selama 1 jam kemudian di quench dengan air, laju pendinginan cepat dengan quench air pada garis austenite yang memiliki struktur FCC (Face Centered Cubic) berusaha mengeluarkan atom karbon, namun karena waktu yang sangat singkat atom karbon tersebut terperangkap dan membentuk struktur baru, yaitu martensite yang memiliki struktur BCT (Body Centered Cubic), sehingga memiliki tingkat kekerasan yang lebih tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak unsur karbon, maka struktur martensit yang akan terbentuk juga akan semakin banyak. Karena martensit terbentuk dari austenite yang didinginkan secara cepat, disebabkan atom karbon tidak sempat berdifusi keluar dan terjebak dalam struktur kristal, maka membentuk struktur tetragonal ruang kosong yang mana antara atomnya kecil, hal ini yang menyebabkan nilai kekerasannya meningkat [1] [9] [14].



Dari hasil uji metalografi pada gambar 7(e), pada benda uji spesimen quenching oli terdapat beberapa struktur mikro yang terlihat yaitu ferrit, pearlite, dan martensite (bentuk jarum). struktur martensit yang terbentuk dari specimen ini berbeda dengan struktur martensit pada specimen dengan quench air dan air garam, pada struktur mikro quench oli ini strukturnya berupa martensit yang lebih halus dan lebih banyak austenit sisa yang terbentuk. Hal inilah yang menyebabkan nilai kekerasan yang dihasilkan lebih lunak dibandingkan dengan spesimen Quenching air dan air garam [8]. Perlakuan panas pada temperatur austenite 850°C dan di holding time selama 1 jam kemudian di quench dengan oli, sehingga memiliki tingkat kekerasan yang lebih rendah. Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak unsur karbon, maka struktur martensit yang akan terbentuk juga akan semakin banyak. Karena martensit terbentuk dari austenite yang didinginkan secara cepat, disebabkan atom karbon tidak sempat berdifusi keluar dan terjebak dalam struktur kristal, maka membentuk struktur tetragonal ruang kosong yang mana antara atomnya kecil, hal ini yang menyebabkan nilai kekerasannya meningkat.

#### 4. Kesimpulan

Dari hasil uji kekerasan brinnel didapatkan hasil nilai rata-rata kekerasan tertinggi pada spesimen yang mendapat perlakuan quenching Air yaitu 528,306. Hal ini juga diperkuat dengan adanya pengujian struktur mikro yang memperlihatkan struktur martensit yang terbentuk pada spesimen ini yang semakin memanjang, tegang, keras, dan getas seiring dengan meningkatnya kadar karbon dalam austenit. Struktur martensit inilah yang menyebabkan tingkat kekerasan dari spesimen ini lebih besar dibandingkan dengan spesimen yang lain.

Perubahan fasa yang terjadi pada proses normalizing adalah pearlite, ferrite dan sementite, meskipun pearlite yang terbentuk lebih banyak. Pada proses quenching air perubahan fasa yang terjadi adalah ferrite, sementite, pearlite, dan martensite lebih dominan. Pada quenching air garam adalah ferrite, pearlite, dan martensite. Dan pada Quenching oli adalah ferrite, pearlite, dan martensite.

#### Referensi

- [1] Permana, E. R., & Rasyid, A. H. A. (2018). Studi Eksperimen Pengaruh Suhu Tempering Pada Baja Pegas JIS SUP 9 Terhadap Impact. *Jurnal Teknik Mesin*, 6(1).
- [2] Peddinti, R., & Mohammed, R. Studies on effect of tempering temperatures on corrosion behaviour of spring steel grades SUP9 and SUP11A.
- [3] Daudpoto, J., Soother, D. K., Shaikh, S. A., Hussain, T., & Memon, Z. A. (2021). Fatigue failure of SUP-9 spring steel. *Materials Research Express*, 8(6), 066509.
- [4] U. P. M, B. H. E and K. J.J. (1003). *Heat Treater's Guide: Standard Practices and Procedures for Steel*, 9639 Kinsman Road Materials Park, OH44073-0002: Heat Treating Society (HTS) ASM International.
- [5] Owais, M., Mehdi, M., Hassan, M. A., Jokhio, M. H., & Raza, G. (2019). The Synergetic Effect of Hot Rolling and Heat Treatment on Mechanical Properties: AISI-1045 and JIS-SUP 9 Steel. *Journal of Testing and Evaluation*, 48(4), 3300-3311.
- [6] Jeong, S. M., Kim, S. Y., Kim, D. R., Jo, S. C., Nam, K. C., Ahn, D. U., & Lee, S. C. (2004). Effect of heat treatment on the antioxidant activity of extracts from citrus peels. *Journal of agricultural and food chemistry*, 52(11), 3389-3393.
- [7] Bhardwaj, B. P. (2014). *The complete book on Production of Automobile Components & allied products*. NIIR Project Consultancy Services.
- [8] Septianto, B. A., & Setiyorini, Y. (2013). Pengaruh Media Pendingin pada Heat Treatment Terhadap Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Friction Wedge AISI 1340. *Jurnal Teknik ITS*, 2(2), F342-F347.
- [9] Thelning, K. E. (2013). *Steel and its heat treatment*. Butterworth-heinemann.
- [10] Dieter, G. E., & Djaprie, S. (1987). *Metalurgi mekanik*. Erlangga.
- [11] Avner, S. H. (1974). *Introduction to physical metallurgy* (Vol. 2, pp. 481-497). New York: McGraw-hill.
- [12] Nugroho, F. (2017). Studi Komparasi Pengaruh Variasi Arus Pengelasan terhadap Kekuatan Impak, Kekerasan, dan Struktur Mikro Sambungan Las Pegas Daun Baja Sup 9 pada Proses Las Smaw. *Angkasa*, 9(2), 57-66.
- [13] Halimi, A. D. (2017). Uji eksperimen tingkat kekerasan dan ketangguhan baja pegas jis sup 9 dengan metode laku panas hardening dan tempering. *Jurnal Teknik Mesin*, 5(03).
- [14] Syaifullah, M., Subhan, M., & Juanda, J. (2021). Pengaruh Air Garam Sebagai Media Pendingin Terhadap Nilai Kekerasan Pada Proses Pengerasan Baja ST 60. *Jurnal Syntax Admiration*, 2(8), 1555-1569.