

Pengaruh perlakuan panas *quenching* terhadap nilai kekerasan dan struktur mikro baja JIS SUP 9A

Andriko Nuwari Asisi *, Mohammad Badaruddin, Sugiyanto dan Harnowo Supriadi

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung

INFO ARTIKEL

Kata kunci:

Baja JIS SUP 9A, *Quenching*,
Pengujian kekerasan,
Mikrostruktur.

Keywords:

JIS SUP 9A Steel, *Quenching*,
Hardness Testing, *Microstructure*.

A B S T R A K

Baja JIS SUP 9A merupakan bahan baku dalam pembuatan pegas daun dan termasuk baja karbon paduan tinggi. Salah satu cara untuk meningkatkan sifat mekanik baja tersebut adalah dengan proses perlakuan panas (*heat treatment*) salah satunya *quenching*. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan menganalisis pengaruh *annealing* dan *quenching* terhadap kekerasan baja JIS SUP 9A serta menganalisis perubahan struktur mikro baja JIS SUP 9A setelah dilakukan perlakuan *annealing* dan *quenching*. Material diberi perlakuan panas *annealing* dan *quenching* dengan temperatur 250°C dan 350°C serta pengujian kekerasan dengan metode *rockwell*, *vickers*, dan *brinell*. Hasil penelitian menyimpulkan bahwa baja JIS SUP 9A dengan perlakuan panas *quenching* yaitu pada temperatur 250°C dan 350°C meningkatkan kekerasan baja dibandingkan dengan perlakuan panas *annealing*. Pengamatan struktur mikro baja JIS SUP 9A menggunakan alat *Optical Microscopy* (OM) yang terbentuk pada perlakuan *annealing* menunjukkan fasa ferit dan perlit yang diakibatkan oleh pendinginan yang sangat lambat serta pada perlakuan *quenching* temperatur 250°C dan 350°C menunjukkan fasa martensit dan ferit dengan martensit yang lebih dominan terbentuk dikarenakan oleh proses pendinginan secara cepat sehingga meningkatkan nilai kekerasan tinggi pada baja.

A B S T R A C T

JIS SUP 9A steel is the raw material for making leaf springs and is a medium alloy carbon steel. One way to improve the mechanical properties of steel is with a heat treatment process, one of which is quenching. This research was carried out with the aim of analyzing the effect of annealing and quenching on the hardness of JIS SUP 9A steel and analyzing changes in the microstructure of JIS SUP 9A steel after annealing and quenching treatment. The material was subjected to annealing and quenching heat treatment at temperatures of 250°C and 350°C and hardness testing using the Rockwell, Vickers and Brinell methods. The research results concluded that JIS SUP 9A steel with quenching heat treatment, namely at temperatures of 250°C and 350°C, increased the hardness of the steel compared to annealing heat treatment. Observation of the microstructure of JIS SUP 9A steel using an Optical Microscopy (OM) tool which was formed during the annealing treatment showed ferrite and pearlite phases which were caused by very slow cooling and during the quenching treatment temperatures of 250°C and 350°C showed martensite and ferrite with martensite phases, which is more dominant is formed due to the rapid cooling process, thereby increasing the high hardness value of the steel.

Received: 11 June 2024

Revised: 23 Agustus 2024

Online published:

28 September 2024

1. Pendahuluan

Komponen utama pada bagian suspensi kendaraan adalah pegas yang berfungsi sebagai peredam beban dinamis yang berasal dari permukaan jalan. Pada kendaraan berat seperti truk, pegas yang banyak digunakan adalah jenis pegas daun (*leaf spring*). Material yang digunakan haruslah memiliki sifat mekanik tertentu agar dapat memenuhi spesifikasi sebagai baja pegas. Baja JIS SUP 9A merupakan bahan baku dalam pembuatan pegas daun dan termasuk baja karbon paduan tinggi. Salah satu cara untuk meningkatkan sifat mekanik baja tersebut adalah dengan proses perlakuan panas (*heat treatment*).

Proses *quenching* dilakukan dengan tujuan untuk meningkatkan nilai kekuatan maupun kekerasan baja dengan cara memanaskan baja tersebut pada temperatur tertentu (biasanya berkisar antara 845-870°C), lalu dilakukan pendinginan secara cepat pada media pendingin tertentu. *Quenching* dilakukan agar mencegah terjadinya pembentukan struktur perlit dan memudahkan

pembentukan struktur bainit atau martensit serta untuk menghasilkan baja dengan kekerasan yang tinggi [1].

Menurut penelitian Ouchi., (2001), Lee *et al.*, (2000), Yoo *et al.*, (1995) perlakuan panas pada baja karbon dengan double *quenching-tempering* (DQT) lebih menguntungkan dengan menghasilkan keseimbangan kekuatan dan ketangguhan yang baik, pengurangan konsumsi energi, ramah lingkungan, proses yang lebih singkat dan biaya yang lebih rendah untuk pembuatan baja tahan aus [2,3].

Selanjutnya penelitian yang dilakukan Salunkhe, dkk. 2015 menyatakan bahwa kekerasan perlakuan *double austenisasi* (DA) menawarkan sifat yang relatif lebih baik dibandingkan dengan perlakuan *single austenisasi* (SA), karena karbida tak larut menurun setelah austenisasi tunggal suhu tinggi (1050°C) dibandingkan dengan perlakuan austenisasi tunggal suhu rendah (870°C) [4]. Beberapa karbida yang tidak larut tetap ada di baja setelah perawatan DA, maka ukuran butir meningkat dengan

* Corresponding author. E-mail address: andrikoasisi.wi99@gmail.com

peningkatan suhu austenisasi tunggal dari 950–1050°C sedangkan perlakuan DA menghasilkan ukuran butir sedang.

Berdasarkan uraian diatas, penulis melakukan penelitian tentang “Pengaruh Perlakuan Panas *Quenching* Terhadap Nilai Kekerasan Dan Struktur Mikro Baja JIS SUP 9A” yang bertujuan untuk menganalisis pengaruh *annealing* dan *quenching* terhadap nilai kekerasan baja JIS SUP 9A serta menganalisis perubahan struktur mikro yang terjadi setelah dilakukan perlakuan panas *annealing* dan *quenching*. Analisis parameter pengujian kekerasan menggunakan metode *rockwell*, *vickers*, dan *brinell*.

1.1 Baja pegas daun (*leaf spring steel*)

Pegas didefinisikan sebagai benda elastik yang berfungsi untuk berubah bentuk ketika dibebani dan untuk kembali ke bentuk semula ketika beban dihilangkan. Model pegas yang ada saat ini sangatlah bervariasi, diantaranya adalah pegas daun, pegas helix, pegas torsi, pegas cakram dan lain lain. Jenis-jenis pegas tersebut memiliki karakteristik yang berbeda satu sama lainnya, perbedaan itu juga terletak pada material yang digunakan dan sifat mekaniknya [5].

Baja pegas daun adalah elemen suspensi penting yang digunakan pada kendaraan penumpang ringan maupun kendaraan berat yang diperlukan untuk meminimalkan getaran vertikal, benturan dan gundukan. Pegas daun sangat luas digunakan untuk suspensi berbagai jenis mobil dan kereta api. Fungsi dari pegas daun ialah sebagai bantalan/peredam kejutan yang berfungsi untuk menyerap guncangan untuk mengurangi efek yang ditimbulkan akibat permukaan jalan yang tidak rata. Salah satu jenis material dasar yang digunakan untuk pegas daun adalah JIS SUP 9A.

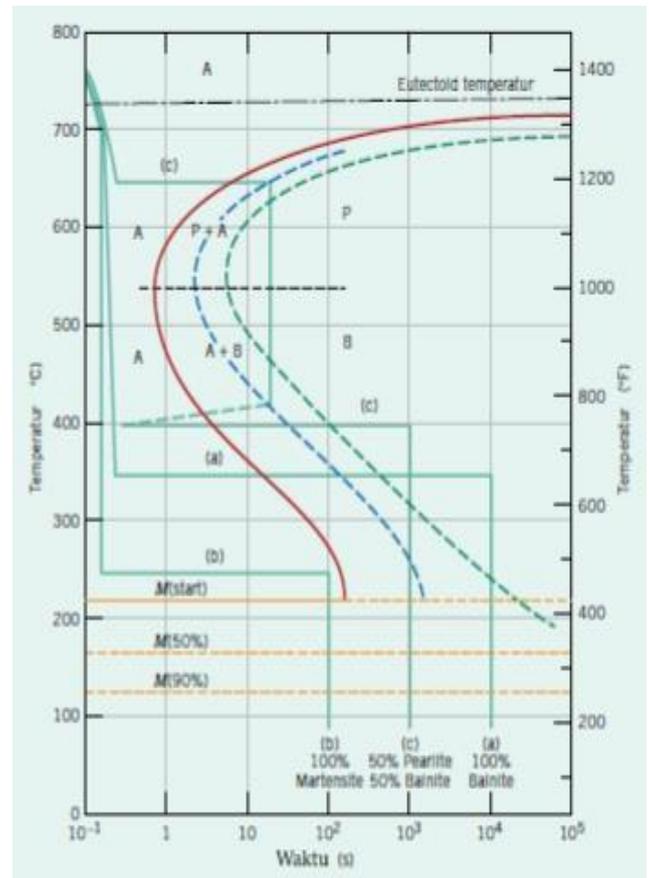
Pada buku dari Yamada et al, (2007) yang berjudul “*Material for Spring*”, bahwa material JIS SUP 9A memiliki kekuatan tarik yang tinggi, kekuatan elastis yang baik dan ketahanan terhadap korosi yang lebih baik dari pada baja karbon lainnya [6]. Ada banyak bahan baja untuk penggunaan pegas seperti baja pegas untuk pembentukan panas, kawat baja yang ditarik dengan keras, baja tahan karat, dan baja perkakas. Berikut tabel yang menunjukkan komposisi kimia baja pegas yang ditunjuk atau direkomendasikan oleh beberapa negara.

Tabel 1. Komposisi kimia baja pegas daun

Designation of Grade	C	Si	Mn	P ^[37]	S ^[37]	Cr	Mo
SUP 3	0.75-0.90	0.15-0.35	0.30-0.60	0.035 Max	0.035 Max	-	-
SUP 6	0.56-0.64	1.50-1.80	0.70-1.00	0.030 Max	0,030 Max	-	-
SUP 7	0.56-0.64	1.80-2.20	0.70-1.00	0.030 Max	0,030 Max	-	-
SUP 9	0.52-0.64	0.15-0.35	0.70-1.00	0.030 Max	0,030 Max	0.65-0.95	-
SUP 9A	0.56-0.64	0.15-0.35	0.70-1.00	0.030 Max	0,030 Max	0.70-1.00	-
SUP 10	0.47-0.55	0.15-0.35	0.65-0.95	0.030 Max	0,030 Max	0.80-1.10	-
SUP 11A	0.56-0.64	0.15-0.35	0.70-1.00	0.030 Max	0,030 Max	0.70-1.00	-
SUP 12	0.51-0.59	1.20-1.60	0.60-0.90	0.30 Max	0.30 Max	0.60-0.90-	-

1.2 Diagram TTT (*Time Temperature Transformation*)

Diagram TTT merupakan sebuah diagram yang merupakan fungsi temperatur terhadap waktu. Diagram ini dipengaruhi oleh kadar karbon dalam baja, dimana semakin besar kadar karbon maka diagramnya akan semakin bergeser ke arah kanan, begitu juga dengan unsur paduan lainnya. Jika baja dipanaskan hingga membentuk austenit maka pendinginannya akan berlangsung secara terus-menerus tidak *isothermal* walaupun dilaksanakan menggunakan berbagai media pendingin. *Isothermal* menunjukkan temperatur yang tetap, jadi perubahan fasa terjadi pada temperatur yang konstan.



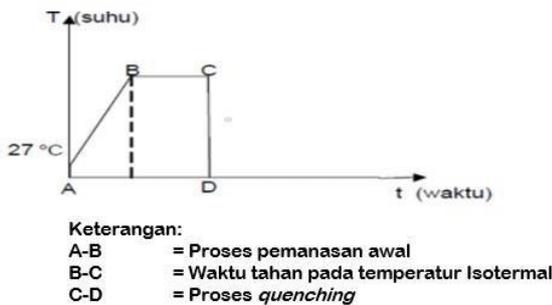
Gambar 1. Diagram TTT (*Time Temperatur Transformation*) [7]

Diagram TTT pada gambar 1 menunjukkan bentuk hidung sebagai batasan minimum waktu dimana sebelum waktu tersebut bertransformasi austenit ke perlit tidak akan terjadi. Posisi hidung pada diagram TTT tersebut dapat bergeser berdasarkan kadar karbonnya. Jika bergerak semakin ke arah kanan maka menunjukkan baja karbon semakin mudah untuk membentuk bainit atau martensit atau bahkan semakin mudah untuk dikeraskan. Diagram TTT menggambarkan hubungan waktu, temperatur dan perubahan struktur. Diagram ini memiliki skala yang tegak lurus dan mendatar. Lintasan mendatar dari sumber tegak hingga garis S pertama (kiri) menunjukkan waktu yang berlangsung sampai tercapai awal pembentukan austenit, sedangkan garis S ke dalam (kanan) menunjukkan saat berakhirnya perubahan bentuk. Jarak mendatar antara kedua garis liku menyatakan jangka waktu proses perubahan [8].

1.3 Quenching

Quenching merupakan proses perlakuan panas yang bertujuan untuk meningkatkan kekuatan maupun kekerasan baja dengan cara memanaskan baja tersebut pada temperatur tertentu (biasanya berkisar antara 845°C sampai 870°C) kemudian didinginkan secara cepat pada media pendingin untuk mendapatkan struktur martensit. Martensit adalah fasa metastabil yang terbentuk dengan laju pendinginan cepat yang 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 pergerakan difusi dan bentuk sementit. Quenching dilakukan agar mencegah terjadinya pembentukan struktur perlit atau ferit dan memudahkan pembentukan struktur bainit atau martensit serta untuk menghasilkan baja dengan kekerasan tinggi seiring bertambahnya jumlah martensitnya [9].

Untuk menjamin keberhasilan dalam metode quenching ada beberapa hal yang harus diperhatikan yaitu temperatur pengerasan, waktu tahan laju pemanasan, media pendinginan, dan hardenability. Hardenability merupakan kemampukerasan suatu material yang memiliki fungsi dari komposisi kimia dan ukuran butir pada temperatur tertentu. Karakteristik hardenability setiap material berbeda-beda hal ini dipengaruhi oleh media pendingin, komposisi, ukuran dan geometri dari material tersebut. Pada proses pengerasan quenching ini akan berhasil jika terdapat sifat-sifat kemampukerasan tersebut pada baja.



Gambar 2. Diagram quenching [10]

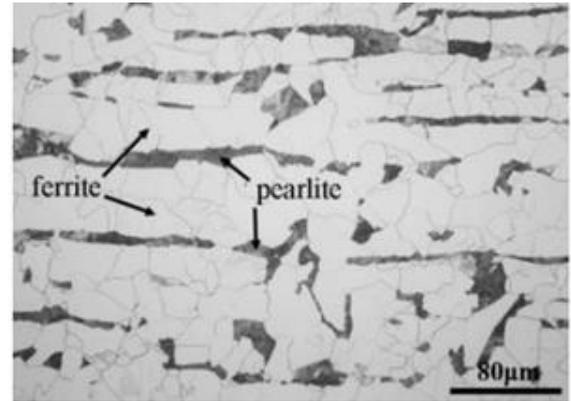
1.4 Struktur mikro

Struktur mikro merupakan gambaran pada kumpulan fasa-fasa yang dapat diamati melalui teknik metalografi. Jenis struktur mikro dipengaruhi oleh komposisi kimia, perlakuan panas dan proses pembuatan material. Adapun beberapa jenis struktur mikro yaitu sebagai berikut:

a) Ferit

Ferit merupakan suatu paduan dari karbon dan unsur paduan yang terbentuk akibat proses pendinginan yang lambat serta memiliki struktur mikro yang berwarna terang dengan ruang atomnya kecil dan rapat. Struktur mikro ferit memiliki sifat lunak dengan kekuatan rendah, keuletan tinggi dan tahan korosi medium. Struktur mikro ferit memiliki kandungan dari baja karbon rendah, dimana larutan karbon di dalam fasa sekitar 0,008% sehingga dapat dianggap besi murni. Kadar maksimum karbon sebesar 0,025% pada suhu 723°C. Ferit lunak dan liat,

kekerasan dari ferit berkisar antara 140-180 HVN (Hardness Vickers Number) [11].



Gambar 3. Struktur mikro ferit [11]

b) Perlit

Perlit merupakan campuran dari dua fasa yaitu ferit dan sementit yang tersusun sebagai pelat sejajar bolak-balik. Perlit mengandung jumlah karbon tetap 0,83% pada baja karbon dan terbentuk dari reaksi eutectoid saat austenit didinginkan, sehingga memiliki sifat yang lebih kuat dan lebih keras daripada ferit tetapi tidak magnetis dan kurang ulet.

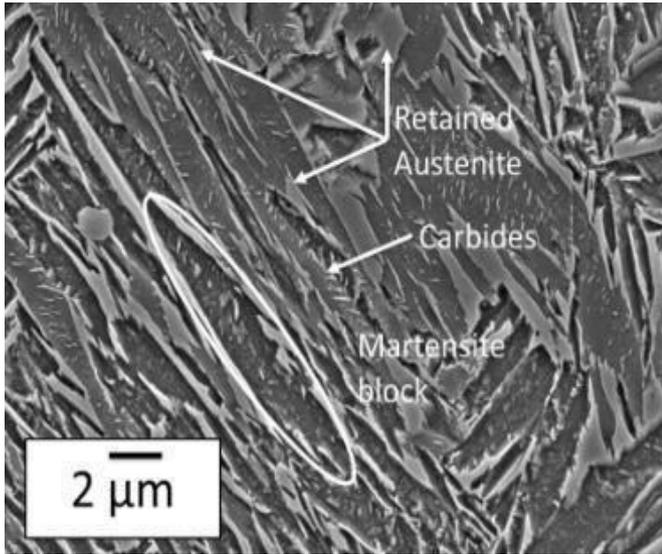


Gambar 4. Struktur mikro perlit halus dengan pembesaran 3000x [12]

c) Martensit

Martensit merupakan fasa yang terbentuk oleh proses pergeseran atom sebesar jarak atom-atomnya. Akibat dari pergeseran atom ini menyebabkan terjadinya perubahan struktur dari Body Central Cubic (BCC) menjadi Body Center Tetragonal (BCT). Transformasi martensit terjadi ketika laju pendinginan cepat untuk mencegah terjadinya difusi karbon, yang setiap difusi akan menghasilkan pembentukan ferit dan sementit. Mikrostruktur martensit terbentuk karena melalui proses pendinginan secara cepat (quenching) dari baja yang telah dirubah mikrostrukturnya menjadi austenit melalui

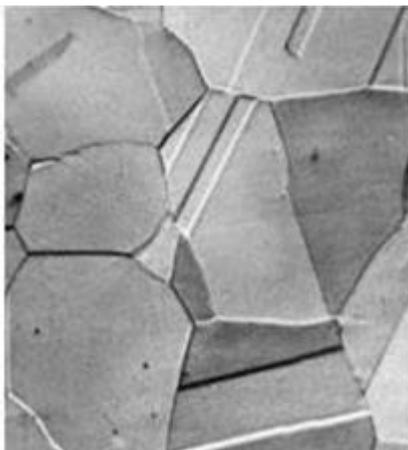
pemanasan diatas temperatur austenit. Martensit didalam baja mempunyai struktur dengan kekerasan paling tinggi.



Gambar 5. Struktur mikro martensit [13]

d) Austenit

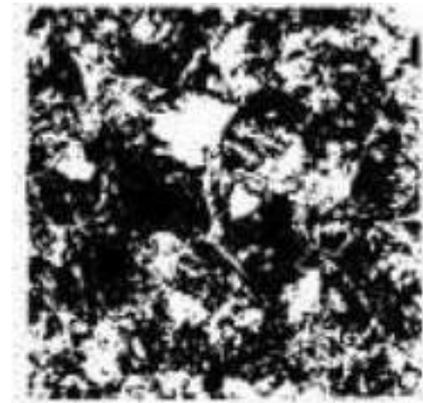
Austenit merupakan campuran besi (Fe) dan karbon (C) yang terbentuk dalam pembekuan, lalu adapun proses pendinginan selanjutnya yaitu austenit berubah menjadi ferit dan sementit. Sifat austenit adalah lentur dengan kadar karbon maksimumnya sebesar 2,14%. Kelarutan maksimal kandungan karbon sebesar ± 2,06% pada suhu 1148°C, struktur kristal FCC (*Face Center Cubic*).



Gambar 6. Struktur Mikro Austenit [12]

e) Sementit

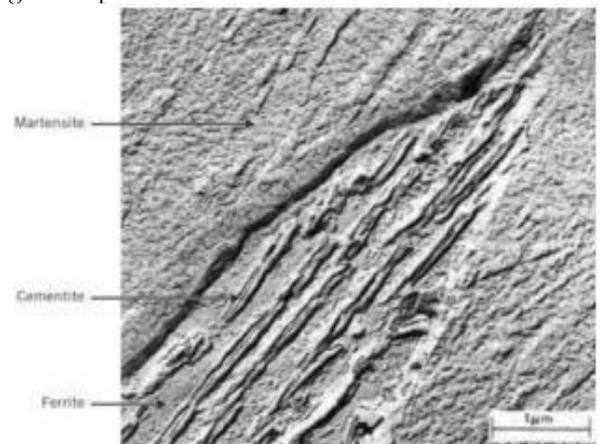
Pada paduan besi dimana kondisi karbon melebihi daya larut maka akan membentuk fasa kedua yang disebut dengan sementit atau karbida besi. Sifat dasar dari sementit itu sendiri sangat keras yaitu dengan nilai kekerasan 5 - 68 HRC, sehingga sementit dalam ferit akan meningkatkan kekerasan baja. Fasa ini sangat rapuh yang menyebabkan tidak tahan terhadap konsentrasi tegangan. Sementit memiliki komposisi kimia berupa Fe₃C, sehingga sangat keras tapi tidak terlalu kuat dan memiliki nilai kekuatan tarik yang rendah yaitu hanya sekitar 5.000 psi.



Gambar 7. Struktur Mikro Sementit [12]

f) Bainit

Bainit merupakan campuran dari dua fasa yaitu ferit dan sementit yang dapat terbentuk pada baja karbon melalui pendinginan cepat austenit.



Gambar 8. Struktur mikro bainit [12]

1.5 Uji kekerasan

Uji kekerasan adalah pengujian yang paling efektif untuk menguji kekerasan dari suatu material, karena dengan pengujian ini kita dapat dengan mudah mengetahui gambaran sifat mekanis suatu material. Kekerasan suatu bahan didefinisikan sebagai ketahanan suatu bahan terhadap penetrasi material lain pada permukaannya. Untuk logam kekerasan lekukan (*indentation hardness*) yang sering dipergunakan memiliki beberapa jenis pengujian kekerasan lekukan yaitu :

a) Uji kekerasan *brinell*

Uji kekerasan *brinell* merupakan suatu penekanan bola baja (*indentor*) pada permukaan benda uji. Bola baja berdiameter 10 mm, sedangkan untuk material uji yang sangat keras *indentor* terbuat dari paduan karbida tungsten, untuk menghindari distorsi pada *indentor*. Beban uji untuk logam yang keras adalah 3000 kg, sedangkan untuk logam yang lebih lunak beban dikurangi sampai 500 kg untuk menghindari jejak yang dalam. Lama penekanan 20-30 detik dan diameter lekukan diukur dengan mikroskop daya rendah, setelah beban tersebut dihilangkan. Adapun rumus dari pengujian kekerasan Brinell (Pers. 1) sebagai berikut:

$$BHN = \frac{P}{\left(\frac{\pi D}{2}\right)\left(D - \sqrt{D^2 - d^2}\right)} \tag{1}$$

b) Uji kekerasan *vickers*

Uji kekerasan *Vickers* menggunakan indentor yang berbentuk piramid intan yang dasarnya berbentuk bujur sangkar dengan sudut 136°. Adapun rumus dari pengujian kekerasan *Vickers* (Pers.2) sebagai berikut:

$$VHN = \frac{2P \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{L^2} = \frac{1.854P}{d^2} \tag{2}$$

c) Uji kekerasan *Rockwell*

Pada pengujian kekerasan metode *Rockwell* diukur kedalaman pembenaman (t) penekan. Sebagai penekan pada baja yang dikeraskan akan menggunakan sebuah kerucut intan. Untuk menyeimbangkan ketidakrataan yang diakibatkan oleh permukaan yang tidak bersih, maka kerucut intan ditekan keatas bidang uji, pertama dengan beban pendahuluan 10 kg, lalu beban ditingkatkan menjadi 150 kg sehingga tercapai kedalaman pembenaman terbesar.

Pengujian kekerasan dengan metode *Rockwell* bertujuan menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap benda uji (*speciment*) yang berupa bola baja ataupun kerucut intan yang ditekan pada permukaan material uji tersebut [14].

Skala yang umum dipakai dalam pengujian kekerasan *Rockwell* ada beberapa jenis yaitu :

1. HRA (Untuk material yang sangat keras).
2. HRb (Untuk material yang lunak). Indentor berupa bola baja dengan diameter 1/16 Inchi dan beban uji 100 kgf.
3. HRC (Untuk material dengan kekerasan sedang). Indentor berupa kerucut intan dengan sudut puncak 120 derajat dan beban uji sebesar 150 kgf.

Adapun rumus dari pengujian kekerasan *Rockwell* a(Pers./ 3) sebagai berikut:

$$HRC = 100 - \frac{t}{0.002} \tag{3}$$

2. Metode penelitian

Spesimen yang digunakan pada penelitian ini yaitu baja JIS SUP 9A yang sudah berbentuk persegi panjang dengan ukuran yang telah ditentukan yaitu panjang = 55 mm, lebar = 25 mm, dan tebal = 15 mm.



Gambar 9. Baja JIS SUP 9A

Tabel 2. Komposisi kimia baja JIS SUP 9A [15]

No	Unsur	Kadar Sample (%)
1	Carbon (C)	0,56 – 0,64%
2	Silikon (Si)	0,15 – 0,35%
3	Mangan (Mn)	0,70 – 1,00%
4	Fosfor (P)	Max 0,030%
5	Sulfur (S)	Max 0,030%
6	Chromium (Cr)	0,70 – 1,00%

Tabel 3. Sifat mekanik baja JIS SUP 9A [15]

Nama	Nilai
<i>Tensile Strength</i>	≥ 1226 N/mm ² (Mpa)
<i>Yield Strength</i>	≥ 1079 N/mm ² (Mpa)
<i>Elongation</i>	≥ 9%
<i>Hardness</i>	363-429 HB

2.1 Proses *Annealing*

Proses perlakuan panas *annealing* dilakukan untuk mengembalikan sifat mekanik baja pada kondisi semula saat sebelumnya pada pembentukan baja sudah terlebih dahulu melalui proses *hot forging*, yaitu dengan cara memanaskan baja dari temperatur ruang (30°C) ke temperatur 800°C selama 120 menit, kemudian spesimen baja JIS SUP 9A ditahan temperatur nya di temperatur 800°C selama 120 menit, selanjutnya baja didinginkan ke temperatur ruang yaitu 30°C selama 960 menit di dalam tungku pemanas (*furnace*).



Gambar 10. Proses *annealing* baja JIS SUP 9A

2.2 Proses *quenching*

Spesimen baja JIS SUP 9A pada penelitian ini diberi perlakuan *single quenching* 250°C dan 350°C dengan menggunakan dua buah dapur salt bath. Proses *quenching* 250°C dan 350°C dengan memanaskan baja sampai temperatur austenit dengan memanaskan baja menggunakan alat pemanas induksi selama 10 menit. Setelah itu spesimen dicelupkan kedalam larutan garam pada alat dapur salt bath

(50% NaNO₃ + 50% KNO₃) dan ditahan pada temperatur 250°C selama 60 menit



Gambar II. Proses *austenisasi* baja JIS SUP 9A

Setelah waktu penahanan tersebut terlewati kemudian spesimen dicelupkan ke dalam media pendinginan air sampai mencapai temperatur ruangan, setelah itu dibersihkan. Kemudian larutan garam kembali dipanaskan dan dinaikkan temperaturnya sebesar 100°C untuk *single quenching* spesimen 350°C, lalu spesimen dicelupkan ke dalam larutan garam dan dilakukan penahanan selama 60 menit. Setelah waktu penahanan terlewati spesimen kembali dicelupkan ke dalam media pendinginan air sampai mencapai temperatur ruangan, lalu dibersihkan.

2.3 Proses pengujian kekerasan

Spesimen baja JIS SUP 9A pada penelitian ini diuji kekerasannya untuk mendapatkan nilai kekerasan setelah mendapat perlakuan *annealing* dan *quenching* 250°C dan 350°C. Adapun langkah-langkah nya adalah sebagai berikut:

1. Membersihkan permukaan benda uji dan amplas sehingga kedua permukaan tersebut rata dan sejajar.
2. Memasang penetrator *diamond/steel ball* sesuai dengan jenis material yang akan diuji.
3. Memastikan *handle* dalam posisi *unholding*.
4. Memutar *exchanging handle proper weight* sesuai pengujian kekerasan.
5. Memasang spesimen yang akan diuji yaitu baja JIS SUP 9A setelah dilakukannya proses *single quenching* 250°C dan 350°C pada kedudukannya (*anvil*) lalu mengencangkan dengan memutar *handwheel* hingga spesimen menyentuh penetrator dan jarum kecil pada dial indikator menuju garis merah.
6. Mengatur dial indikator sehingga jarum besar tepat pada garis indikator C dan B.
7. Menarik *handle* ke depan untuk pengetesan pembebanan utama. Pada saat itu jarum panjang akan berputar *anticlockwise* dan *handle* bergerak ke depan secara perlahan. Ketika jarum panjang berhenti, lalu mendorong *handle* untuk menghilangkan pengetesan pembebanan utama (saat menarik *handle* dan mendorong *handle* diharapkan dilakukan dengan perlahan dan hati-hati).
8. Melakukan pembacaan pada indikator (untuk pengujian dengan *diamond* penetrator, membaca pada garis bagian luar indikator yaitu garis berwarna hitam, dan untuk

9. Memutar *handwheel* berlawanan jarum jam untuk menurunkan spesimen.
10. Melakukan pengujian sampel selanjutnya sesuai prosedur 1 sampai 10 sebanyak 3 kali di titik berbeda pada spesimen dengan metode *vickers*, *brinell*, dan *rockwell*.

2.4 Observasi mikrostruktur

Observasi *mikrostruktur* ini dilakukan untuk mengetahui perubahan struktur mikro serta mempelajari fasa-fasa dengan menggunakan alat *Optical Microscopy* (OM). Data yang dihasilkan berupa data kuantitatif maupun data kualitatif dan digunakan untuk mengamati fasa-fasa melalui perubahan *mikrostruktur* setelah proses *annealing* dan *quenching* temperatur 250°C dan 350°C.

3. Hasil dan pembahasan

3.1 Data hasil pengujian kekerasan *rockwell*

Pengujian kekerasan *rockwell* dilakukan setelah baja JIS SUP 9A diberikan perlakuan panas *annealing* dan perlakuan panas *quenching* pada temperatur 250°C dan 350°C dengan menggunakan alat uji kekerasan *rockwell*. Dimana parameter yang digunakan pada pengujian *rockwell* yaitu dengan dimensi panjang 55 mm dan lebar 25 mm dan tebal 15 mm. Adapun data yang diperoleh adalah sebagai berikut:

Tabel 4. Data hasil pengujian kekerasan *rockwell*

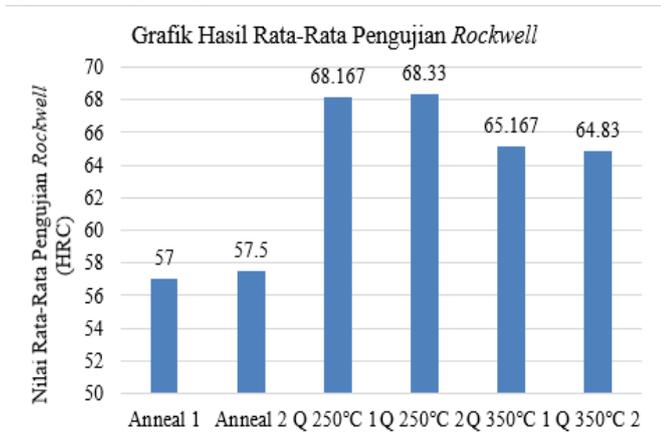
Variasi Spesimen	Titik	Hasil Pengujian (HRC)		Nilai Rata Rata Kekerasan Rockwell (HRC)	
		Spesimen I	Spesimen II	Spesimen I	Spesimen II
<i>Annealing</i>	1	57	58.5	57	57.5
	2	57.5	57		
	3	56.5	57		
<i>Quenching 250°C</i>	1	68	68	68.167	68.33
	2	68	68.5		
	3	68.5	68.5		
<i>Quenching 350°C</i>	1	65	64.5	65.167	64.83
	2	65	64.5		
	3	65.5	65.5		

Tabel 4 menunjukkan hasil pengujian kekerasan *rockwell* baja JIS SUP 9A dari spesimen yang diberi perlakuan panas *annealing* dan diberi perlakuan panas *quenching* dengan temperatur 250°C dan 350°C masing masing dilakukan pada tiga titik pengujian *rockwell* yang memperoleh nilai yang berbeda. Pada kondisi baja JIS SUP 9A spesimen 1 Setelah perlakuan panas *annealing* menghasilkan nilai kekerasan *rockwell* sebesar 57 HRC, 57,5 HRC, dan 56,5 HRC dengan nilai rata-rata kekerasan sebesar 57 HRC. Sedangkan pada spesimen 2 setelah perlakuan panas *annealing* menghasilkan nilai kekerasan sebesar 58,5 HRC, 57 HRC, dan 57 HRC dengan nilai rata-rata kekerasan sebesar 57,5 HRC.

Pada kondisi baja JIS SUP 9A spesimen 1 setelah perlakuan panas *quenching* 250°C menghasilkan nilai kekerasan *rockwell* sebesar 68 HRC, 68 HRC, dan 68,5 HRC dengan nilai rata-rata kekerasan sebesar 68,167 HRC. Sedangkan pada spesimen 2 setelah perlakuan panas *quenching* 250°C menghasilkan nilai kekerasan *rockwell* sebesar 68 HRC,

68,5 HRC, dan 68,5 HRC dengan nilai rata-rata kekerasan sebesar 68,33 HRC.

Pada kondisi baja JIS SUP 9A spesimen 1 setelah perlakuan panas *quenching* 350°C menghasilkan nilai kekerasan *rockwell* sebesar 65 HRC, 65 HRC, dan 65,5 HRC dengan nilai rata-rata kekerasan sebesar 65,167 HRC. Sedangkan pada spesimen 2 setelah perlakuan panas *quenching* 350°C menghasilkan nilai kekerasan *rockwell* sebesar 64,5 HRC, 64,5 HRC, dan 65,5 HRC dengan nilai rata-rata kekerasan sebesar 64,83 HRC. Adapun grafik hasil rata-rata pengujian *rockwell* dapat dilihat pada gambar 12.



Gambar 12. Grafik hasil rata-rata pengujian *rockwell*

3.2 Data hasil pengujian kekerasan *vickers*

Pengujian kekerasan *vickers* dilakukan setelah baja JIS SUP 9A diberikan perlakuan panas *annealing* dan perlakuan panas *quenching* pada temperatur 250°C dan 350°C dengan menggunakan alat uji kekerasan *vickers*. Dimana parameter yang digunakan pada pengujian *vickers* yaitu dengan dimensi panjang 55 mm dan lebar 25 mm dan tebal 15 mm. Adapun data yang diperoleh adalah sebagai berikut:

Tabel 5 menunjukkan hasil pengujian kekerasan *vickers* baja JIS SUP 9A dari spesimen yang diberi perlakuan panas *annealing* dan diberi perlakuan panas *quenching* dengan temperatur 250°C dan 350°C dan masing masing dilakukan pada tiga titik pengujian *vickers* yang memperoleh nilai yang berbeda.

Tabel 5. Data hasil pengujian kekerasan *vickers*

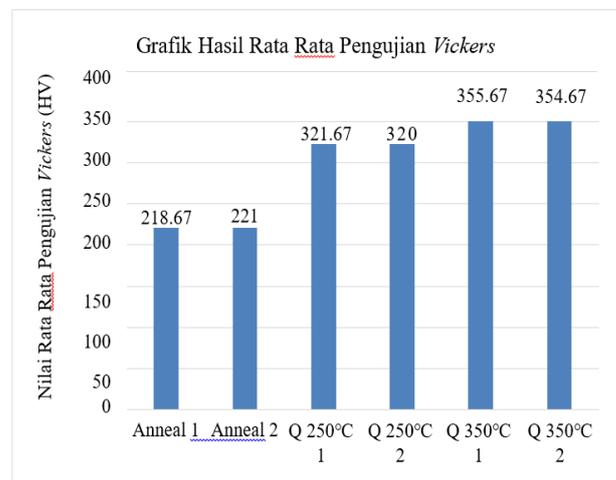
Variasi Spesimen	Titik	Hasil Pengujian (HV)		Nilai Rata-Rata Kekerasan Vickers (HV)	
		Spesimen I	Spesimen II	Spesimen I	Spesimen II
Annealing	1	223	218	218.67	221
	2	220	220		
	3	213	225		
Quenching 250°C	1	358	358	355.67	354.67
	2	348	350		
	3	361	356		
Quenching 350°C	1	325	316	321.67	320
	2	322	322		
	3	318	322		

Pada kondisi baja JIS SUP 9A spesimen 1 setelah perlakuan panas *annealing* menghasilkan nilai kekerasan

vickers sebesar 223 HV, 220 HV, dan 213 HV dengan nilai rata-rata kekerasan sebesar 218,67 HV. Sedangkan pada spesimen 2 setelah perlakuan panas *annealing* menghasilkan nilai kekerasan sebesar 218 HV, 220 HV, dan 225 HV dengan nilai rata-rata kekerasan sebesar 221 HV.

Pada kondisi baja JIS SUP 9A spesimen 1 setelah perlakuan panas *quenching* 350°C menghasilkan nilai kekerasan *vickers* sebesar 325 HV, 322 HV, dan 318 HV dengan nilai rata-rata kekerasan sebesar 321,67 HV. Sedangkan pada spesimen 2 setelah perlakuan panas *quenching* 350°C menghasilkan nilai kekerasan *vickers* sebesar 316 HV, 322 HV, dan 322 HV dengan nilai rata-rata kekerasan sebesar 320 HV.

Pada kondisi baja JIS SUP 9A spesimen 1 setelah perlakuan panas *quenching* 250°C menghasilkan nilai kekerasan *vickers* sebesar 358 HV, 348 HV, dan 361 HV dengan nilai rata-rata kekerasan sebesar 355,67 HV. Sedangkan pada spesimen 2 setelah perlakuan panas *quenching* 250°C menghasilkan nilai kekerasan *vickers* sebesar 350 HV, 358 HV, dan 356 HV dengan nilai rata-rata kekerasan sebesar 354,67 HV.



Gambar 13. Grafik hasil rata-rata pengujian *vickers*

3.3 Data hasil pengujian kekerasan *brinell*

Pengujian kekerasan *brinell* dilakukan setelah baja JIS SUP 9A diberikan perlakuan panas *annealing* dan perlakuan panas *quenching* pada temperatur 250°C dan 350°C dengan menggunakan alat uji kekerasan *brinell*. Dimana parameter spesimen yang digunakan pada pengujian *brinell* yaitu dengan dimensi panjang 55 mm, lebar 25 mm dan tebal 15 mm.

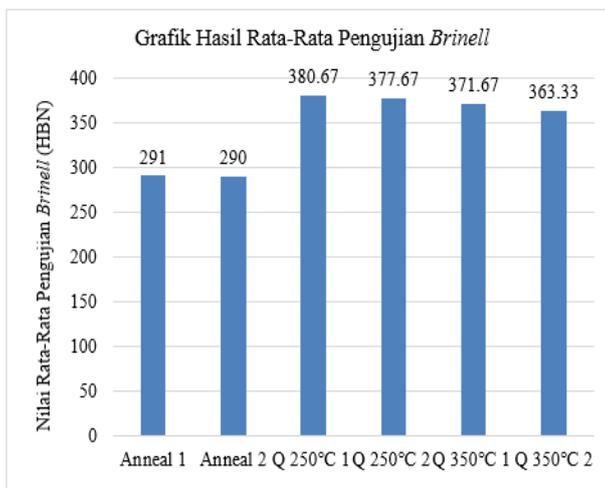
Tabel 6 menunjukkan hasil pengujian kekerasan *brinell* baja JIS SUP 9A dari spesimen yang diberi perlakuan panas *annealing* dan diberi perlakuan panas *quenching* dengan temperatur 250°C dan 350°C dan masing masing dilakukan pada tiga titik pengujian *brinell* yang memperoleh nilai yang berbeda. Pada kondisi baja JIS SUP 9A spesimen 1 setelah perlakuan panas *annealing* menghasilkan nilai kekerasan *brinell* sebesar 291 HBN, 295 HBN, dan 287 HBN dengan nilai rata-rata kekerasan sebesar 291 HBN. Sedangkan pada spesimen 2 setelah perlakuan panas *annealing* menghasilkan nilai kekerasan sebesar 289 HBN, 286 HBN, dan 295 HBN dengan nilai rata-rata kekerasan sebesar 290 HBN. Adapun data yang diperoleh adalah sebagai berikut:

Tabel 6. Data hasil pengujian kekerasan *brinell*

Variasi Spesimen	Titik	Hasil Pengujian (HBN)		Nilai Rata-Rata Kekerasan Brinell (HBN)	
		Spesimen I	Spesimen II	Spesimen I	Spesimen II
Annealing	1	291	289	291	290
	2	295	286		
	3	287	295		
Quenching 250°C	1	380	378	380.67	377.67
	2	381	376		
	3	381	379		
Quenching 350°C	1	367	368	371.67	363.33
	2	365	357		
	3	363	365		

Pada kondisi baja JIS SUP 9A spesimen 1 setelah perlakuan panas *quenching* 350°C menghasilkan nilai kekerasan *brinell* sebesar 367 HBN, 365 HBN, dan 383 HBN dengan nilai rata-rata kekerasan sebesar 371,67 HBN. Sedangkan pada spesimen 2 setelah perlakuan panas *quenching* 350°C menghasilkan nilai kekerasan *brinell* sebesar 368 HBN, 357 HBN, dan 365 HBN dengan nilai rata-rata kekerasan sebesar 363,33 HBN.

Pada kondisi baja JIS SUP 9A spesimen 1 setelah perlakuan panas *quenching* 250°C menghasilkan nilai kekerasan *brinell* sebesar 380 HBN, 381 HBN, dan 381 HBN dengan nilai rata-rata kekerasan sebesar 380,67 HBN. Sedangkan pada spesimen 2 setelah perlakuan panas *quenching* 250°C menghasilkan nilai kekerasan *brinell* sebesar 378 HBN, 376 HBN, dan 379 HBN dengan nilai rata-rata kekerasan sebesar 377,67 HBN. Adapun hasil pengujian *brinell* dapat dilihat pada gambar 14.



Gambar 14. Grafik hasil rata-rata pengujian *brinell*

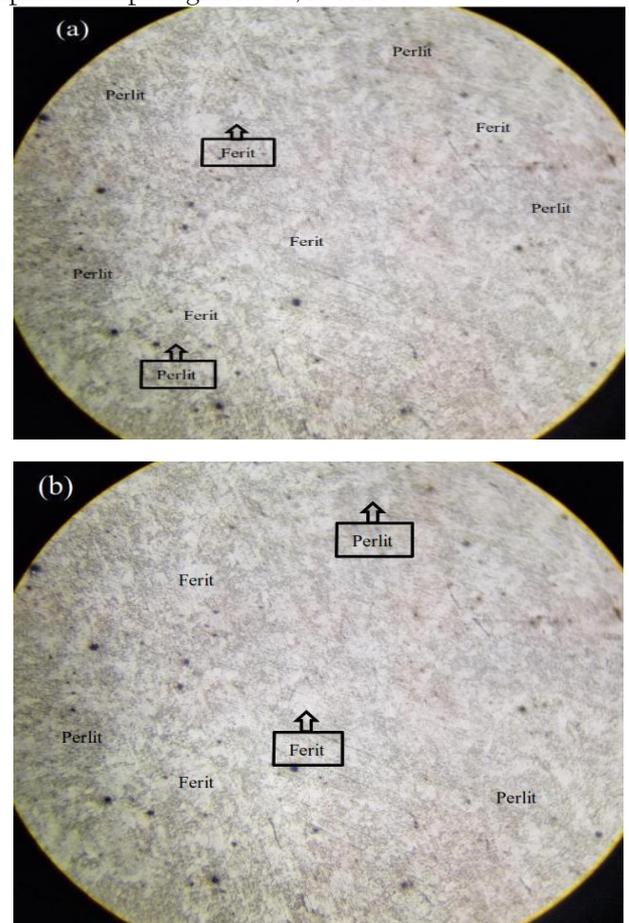
Berdasarkan data diatas dari gambar 14 sampai 16 pada setiap metode pengujian kekerasan di masing masing titik baja JIS SUP 9A menunjukkan perbedaan hasil nilai kekerasan baik pada perlakuan *annealing* dan perlakuan *quenching* 250°C dan 350°C yang dimana nilai rata-rata kekerasan proses *quenching* 250°C lebih tinggi dari pada proses *quenching* 350°C dan proses *annealing*. Hal ini dipengaruhi oleh temperatur pada proses *quenching* yang berbeda dan pada proses *quenching* memiliki laju pendinginan yang cepat dibandingkan pada proses *annealing* yang memiliki laju

pendinginan yang lambat sehingga pada proses *quenching* memiliki kekerasan yang lebih tinggi dari pada proses *annealing*.

Menurut Yunaidi (2016) tujuan utama proses *quenching* adalah meningkatkan kekerasan suatu baja, faktor-faktor penting dalam *quenching* adalah media pendingin, konsentrasi pendingin, temperatur bak, dan laju pendinginan. Sedangkan faktor utamanya adalah pengaturan laju pendinginan pada baja. Jika laju pendinginan terlalu lambat, maka baja menjadi lebih getas dan kekerasan akan berkurang [16].

3.4 Hasil observasi mikrostruktur baja JIS SUP 9A

Observasi *mikrostruktur* (OM) dilakukan untuk mengetahui perubahan struktur mikro yang terjadi pada baja JIS SUP 9A setelah diberi perlakuan panas *annealing* dan *quenching* 250°C dan 350°C. Pengamatan hasil struktur mikro dapat dilihat pada gambar 15, 16 dan 17.

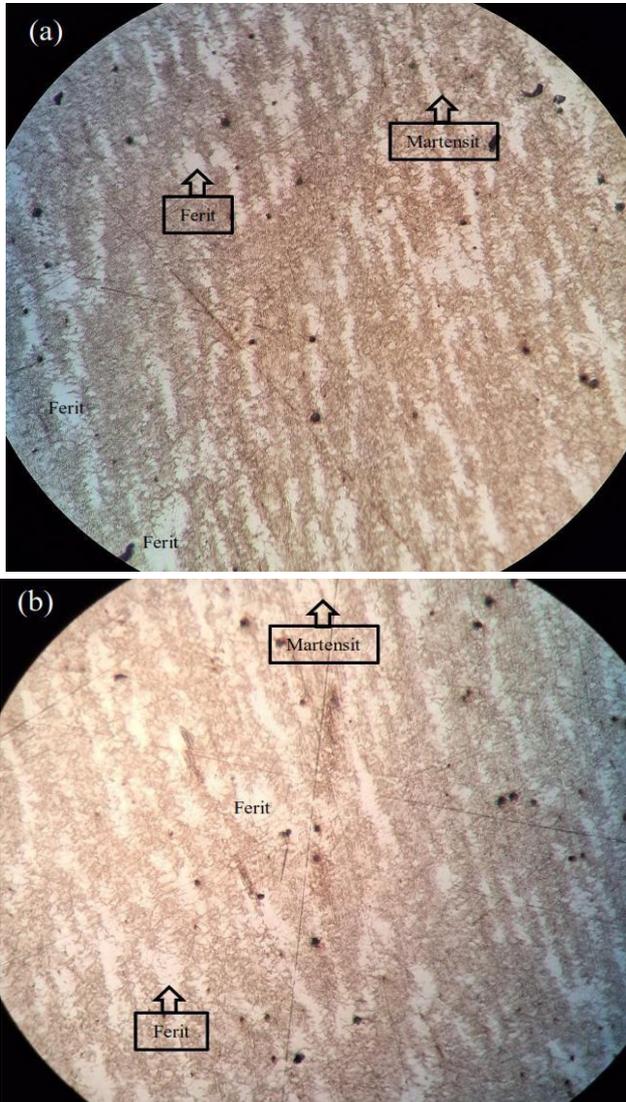


Gambar 15. Struktur mikro baja JIS SUP 9A (a) dan (b) perbesaran 200x setelah perlakuan *annealing*

Pengamatan hasil struktur mikro baja JIS SUP 9A (a) dan (b) yang diberi perlakuan *annealing* dilakukan dengan menggunakan alat mikroskop optik masing-masing dengan perbesaran 200x. Pada pengamatan baja JIS SUP 9A tersebut setelah perlakuan *annealing* menghasilkan struktur mikro ferit dan perlit yang diakibatkan oleh pendinginan yang sangat lambat. Struktur mikro ferit terlihat lebih terang dan memiliki sifat sangat lembut sehingga ferit relatif lemah, lunak dan ulet sedangkan struktur mikro perlit terlihat lebih gelap sehingga

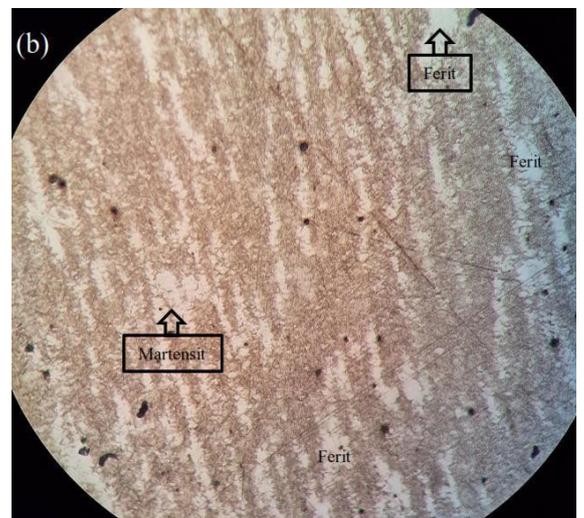
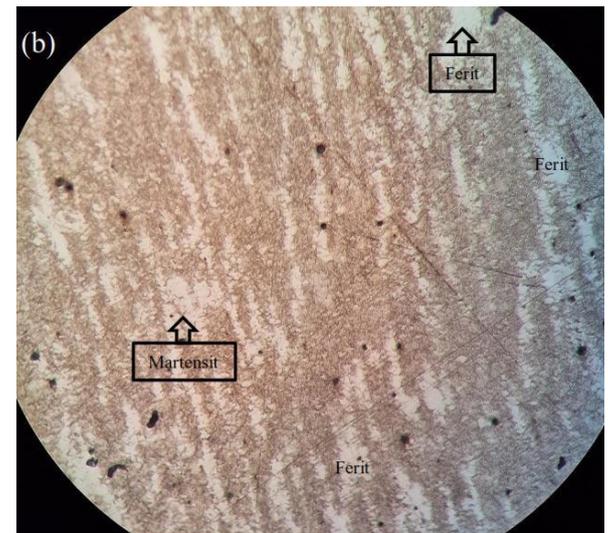
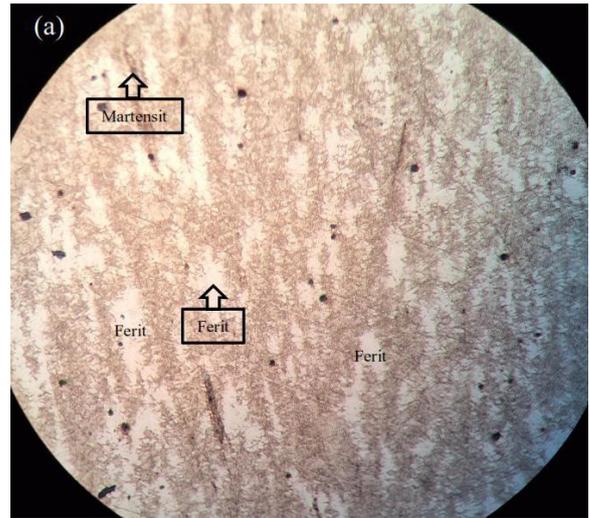
memiliki sifat yang lebih kuat dan lebih keras dari pada ferit tetapi kurang ulet.

Menurut Ronald (2021) perlit merupakan campuran antara ferit dan sementit dengan kandungan karbon sebesar 0,8%. Struktur perlit mempunyai kristal ferit tersendiri dari serpihan sementit halus yang saling berdampingan dalam lapisan tipis mirip lamel [17]. Sedangkan ferit yaitu besi murni (Fe) yang terletak rapat saling berdekatan tidak teratur baik bentuk maupun besarnya.



Gambar 16. Struktur mikro baja JIS SUP 9A (a) dan (b) Perbesaran 200x setelah perlakuan *quenching* 250°C

Selanjutnya pada gambar 18 dan 19 didapat hasil pengamatan struktur mikro baja JIS SUP 9A (a) dan (b) yang diberi perlakuan *quenching* di temperatur 250°C dan 350°C dilakukan dengan menggunakan alat mikroskop optik masing-masing dengan perbesaran 200x. Pada pengamatan tersebut setelah melakukan perlakuan *quenching* 250°C dan 350°C menghasilkan struktur mikro martensit dan ferit. Struktur mikro martensit dominan terbentuk karena melalui proses pendinginan secara cepat (*quenching*) dari baja yang telah dirubah mikrostrukturnya menjadi austenit melalui pemanasan diatas temperatur austenit (berkisar 845-870°C) sehingga meningkatkan nilai kekerasan tinggi pada baja.



Gambar 17. Struktur mikro baja JIS SUP 9A (a) dan (b) Perbesaran 200x setelah perlakuan *quenching* 350°C

Menurut penelitian Gunawan, dkk (2021) pada proses perlakuan panas *quenching*, ketika baja dipanaskan hingga melewati temperatur *eutectoid* dan didinginkan secara cepat, maka fase austenit berubah menjadi martensit, hal ini terjadi

dikarenakan difusi antar atom-atom secara serentak dalam waktu yang sangat cepat [18]. Transformasi martensit terjadi ketika pada pendinginan secara cepat dan pada suhu tinggi. Perbedaan variasi temperatur *quenching* dan komposisi yang terdapat pada baja akan mempengaruhi jumlah martensit yang terbentuk. Struktur mikro martensit yang dominan ditunjukkan pada gambar 18 (a) dan (b) pada *quenching* 250°C sehingga memiliki tingkat kekerasan yang lebih tinggi dari pada *quenching* 350°C.

4. Kesimpulan

1. Hasil penelitian yang dilakukan menyimpulkan bahwa baja JIS SUP 9A dengan perlakuan panas *quenching* yaitu pada temperatur 250°C dan 350°C dengan waktu penahanan selama 60 menit pada masing-masing temperatur meningkatkan kekerasan baja dibandingkan pada perlakuan panas *annealing* yaitu : pada metode pengujian *rockwell* kekerasan meningkat sebesar 116,37% ; pada metode pengujian *vickers* kekerasan meningkat sebesar 153,75% dan pada metode pengujian *brinell* kekerasan meningkat sebesar 128,51%.
2. Hasil penelitian yang dilakukan menyimpulkan bahwa struktur mikro baja JIS SUP 9A yang terbentuk setelah dilakukan perlakuan *annealing* adalah struktur mikro ferit dan perlit yang diakibatkan oleh pendinginan yang sangat lambat dan perlakuan *quenching* temperatur 250°C dan 350°C adalah struktur mikro martensit dan ferit dengan martensit yang lebih dominan terbentuk dikarenakan oleh proses pendinginan secara cepat sehingga meningkatkan nilai kekerasan tinggi pada baja.

Daftar Pustaka

- [1] Razak, A. H. dan Tangkemanda, A. 2017. *Quenching Bertingkat Pada Proses Hardening Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Baja AISI 4140*. Politeknik Negeri Ujung Pandang Makassar.
- [2] C. Ouchi. 2001. "Development of Steel Plates by Intensive Use of TMCP and Direct Quenching Processes". *ISIJ Int.* 41 5428.
- [3] C.S. Lee and W.Y. Choo. 2000. "Effects of Austenite Conditioning and Hardenability on Mechanical Properties of B-Containing High Strength Steels". *ISIJ Int.* 40 189.
- [4] Salunkhe, S ; Fabijanic, D ; Nayak, J ; and Hodgson, P. 2015. *Effect of Single and Double Austenitization treatments on the Microstructure and Hardness of AISI D2 Tool Steel*. Department of Mechanical Engineering, Gokaraju Rangaraju Institute of Engineering and Technology, Hyderabad, Telangana, India.
- [5] Chaudari, Mayuri A. 2015. "Design and Analysis of Leaf Spring of Tanker Trailer Suspension System". Department of Mechanical Eng. S.S.V.P.S's B.S.Deore COE Dhule (MS). India.
- [6] Yamada, Yosiro. 2007. *Material for Spring*. New York.
- [7] Callister, Jr and William, D Jr. 2009. "Material Science and Engineering An Introduction-8th Edition". New Jersey: John Wiley and Sons.
- [8] Haryadi, Gunawan Dwi. 2006. Pengaruh Suhu *Tempering* Terhadap Kekerasan, Kekuatan Tarik dan Struktur Mikro Pada Baja K-460. Universitas Diponegoro. Semarang
- [9] Fendri, R., Darmawi, Syahrul, Jasman. 2018. Analisis Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Baja AISI 4140 Akibat Perbedaan Temperatur Pada Perlakuan Panas *Tempering*. Universitas Negeri Padang, Padang.
- [10] Djaprie, Sriati. 1995. *Metallurgi Mekanik, Mechanical Metallurgy*. Jakarta: Erlangga.
- [11] Sumiyanto dan Abdunnaser. 2015. Pengaruh Media Pendingin Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Plat Baja Karbon ASTM A-36. *Bina Teknika*, Volume II Nomor 2, 155-170.
- [12] Callister, Jr and William, D Jr. 2007. "Material Science and Engineering An Introduction-7th Edition". New Jersey: John Wiley and Sons.
- [13] Anwar, Z. 2021. Analisa Pengaruh Perlakuan Panas *Quench-Temper* Terhadap Nilai Kekerasan dan Kekuatan Tarik Baja JIS SUP 9. Program Studi Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Nasional. Jambi.
- [14] Penghui Ma, Lihe Qian, Jiangying Meng, Shuai Liu, Fucheng Zhang. 2014. "Fatigue Crack Growth Behavior of a Course and a Fine Grained High Manganese Austenitic Twin Induced Plasticity Steel". *Material Science and Engineering: A* Volume 605, 160-166.
- [15] ASM Handbook Committee. 1991. *Metals Handbook, Volume 4, Heat Treating*. American Society for Metals Internasional. New York.
- [16] Yunaidi. 2016. Pengaruh Jumlah Konsentrasi Larutan Pada Proses *Quenching* Baja Karbon Sedang S45C. Program Studi Teknik Mesin. Politeknik LPP. Yogyakarta.
- [17] Ronald, N. 2021. Analisis Struktur Mikro dan Kekerasan Terhadap Perbedaan Media Pendingin Pada Proses Pengerasan Baja. Program Studi Teknik Mesin, Akademi Teknik Deli Serdang Sumatera Utara.
- [18] Claesson, Erik. 2014. *Development of Heat Treatment Method To Form A Duplex Microstructure Of Lower Bainite And Martensite In AISI 4140 Steel*. Royal Institute of Technology. Swedia.