

PENGARUH PROSES HARDENING DAN TEMPERING TERHADAP KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO PADA BAJA KARBON SEDANG JENIS SNCM 447

Sumiyanto dan Abdunnaser

Program Studi Teknik Mesin, Institut Sains dan Teknologi Nasional
Jl. Moh Kahfi II, Jagakarsa, Jakarta 12640, Indonesia
Sumiyantoistn@yahoo.com

ABSTRACT

Hardening process is the process of hardening in a material heated above the critical temperature and then cooled quickly (quenched) to reach room temperature in order to improve hardness and strength of a material. Hardening process carried out on all the tools and some equipment or machine parts that have a major benefit is to obtain a higher hardness.

This research was conducted on 447 sncm alloy steel which is a medium carbon steel grade that is equal to 0:30 to 0:38%. This type of steel can be hardened by heat treatment process that is by heating the steel at a temperature of 500°C, for 1 hour as the preheating temperature (preheated). Then proceed to the process of hardening, namely austenising temperature with 900°C with holding time 2 hours and cooled with oil and then water in tempering with holding time 1 hour at 300°C, 400°C and 500°C.

From research result obtained using the vickers hardness values that increase occurred in materials that undergo a process of hardening at 900°C cooling using water media, whereas the lowest hardness value occurs in the original material.

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Hingga saat ini terdapat berbagai jenis bahan yang dapat digunakan sebagai bahan baku industri. Jenis-jenis yang sangat beragam kadang-kadang menyulitkan kita untuk memilih mana yang tepat. Bahan yang satu mempunyai keunggulan ditinjau dari segi keuletan, lainnya tahan terhadap korosi, mulur atau suhu kerja yang tinggi namun cukup mahal. Oleh karena itu, dalam hal pemilihan sering tidak semata-mata berdasarkan pertimbangan teknis, pertimbangan ekonomis, dan ramah terhadap lingkungan memegang peran yang sangat penting pula.

Dalam industri saat ini baja merupakan material yang banyak digunakan dalam bidang teknik. Untuk penggunaan tertentu, selain baja dan besi merupakan satu-satunya material yang memenuhi persyaratan teknis maupun ekonomis, namun di beberapa bidang lainnya material ini mulai mendapat persaingan dari logam bukan besi dan bahan bukan logam. Namun baja memiliki sifat yang tidak dapat dibandingkan dengan material yang lain seperti sifat kekerasan, kekuatan, ketangguhan, dan keuletan yang baik. Dalam aplikasinya di industri, peralatan-peralatan ataupun komponen mesin yang terbuat dari baja diperlukan kekerasan permukaan dan keuletan yang tinggi. Untuk memenuhi tujuan tersebut biasanya dilakukan proses hardening terhadap peralatan dan komponen baja tersebut agar dapat dipergunakan secara optimal.

Baja SNCM 447 (Standar JIS) merupakan salah satu produk jenis baja paduan karbon sedang. Baja SNCM 447 ini banyak digunakan pada komponen permesinan sebagai bahan dasar pembuatan rangka-rangka mesin misalnya bahan dasar gear untuk kendaraan. Baja SNCM 447 memiliki sifat yang keras dan ulet, oleh karena itu baja tersebut selain digunakan sebagai bahan dasar pembuatan gear kendaraan juga digunakan sebagai alat-alat perkakas seperti martil, linggis, konstruksi permesinan, dan lain sebagainya.

Agar mendapatkan kekerasan yang diinginkan dari baja SNCM 447 ini, maka dapat dilakukan dengan cara proses hardening. Variabel-variabel yang mempengaruhi proses hardening pada baja SNCM 447 ini adalah:

- A. Proses pemanasan.
- B. Media pendingin.

1.2 Perumusan Masalah

Baja SNCM 447 banyak dipakai sebagai bahan dasar pembuatan gear mesin pada kendaraan dan komponen mesin lainnya yang memerlukan daya tahan terhadap beban yang cukup tinggi.

Permasalahan yang kerap kali terjadi adalah seringnya produk tersebut mengalami kerusakan, misalnya : terjadinya perpatahan atau produk tersebut mengalami patah akibat menerima pembebanan, terjadinya korosi dan keausan akibat gesekan. Sehingga produk tersebut mengalami rusak atau cacat. Dengan demikian pemakaian produk tersebut tidak bertahan lama. Hal ini mempengaruhi unsur pakai produk tersebut menjadi relatif pendek.

Untuk mengatasi hal tersebut maka dilakukan proses hardening, quenching, dan tempering. Proses *hardening* yaitu dimana metal dipanasi diatas suhu phase transformasi lalu kemudian didinginkan dengan cepat hingga mencapai suhu kamar. *Quenching* adalah proses pendinginan untuk meningkatkan kekerasan dari suatu material yang sudah di hardening. Sedangkan, *tempering* adalah suatu proses pemanasan kembali untuk mendapatkan sifat ketangguhan dari baja paduan karbon sedang SNCM 447.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian terhadap material baja kadar karbon sedang SNCM 447 ini dilakukan bertujuan untuk melihat pengaruh proses pengerasan baja berkarbon sedang pada berbagai kondisi temperatur dan waktu tahan yang berbeda-beda dalam proses hardening terhadap sifat kekerasan serta struktur mikro yang disebabkan oleh adanya proses perpindahan panas yang terjadi.

Dengan adanya penelitian ini dapat diketahui pada keadaan bagaimana dapat diperoleh kekerasan yang optimal dengan pertimbangan waktu yang efisien, sehingga kita dapat:

- A. Melihat dan mengamati struktur mikro baja karbon sebelum dan setelah proses hardening.
- B. Melihat dan mengetahui pengaruh temperatur temper terhadap nilai kekerasan.
- C. Mendapatkan perbandingan kekerasan pada dua media pendinginan yang berbeda.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Pada penelitian ini baja yang digunakan adalah baja karbon sedang SNCM 447. Sedangkan proses hardening yang dilakukan adalah:

Pemanasan awal (Preheating Temperature) dengan temperatur 500⁰C, selama 60 menit:

- A. Proses hardening (Austenising Temperature) dengan temperatur 900⁰C dan serlama 120 menit.
- B. Proses pendinginan: pencelupan dengan media oli sae 40 dan air, tempering (300⁰C, 400⁰C, dan 500⁰C, selama 60 menit).

Setelah rangkaian diagram alir penelitian dilaksanakan selanjutnya dilakukan pengujian dan pengamatan terhadap:

- A. Struktur mikro, dan
- B. Kekerasan vickers.

1.5 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan laporan penelitian ini adalah sebagai berikut:

Bab I. Pendahuluan

Pada bab ini merupakan pendahuluan yang berisikan latar belakang, rumusan masalah, tujuan pengujian, serta ruang lingkup.

Bab II. Tinjauan Pustaka

Dalam bab ini berisikan teori-teori dasar yang berhubungan dengan judul pengujian yaitu proses hardening pada baja paduan karbon sedang jenis SNCM 447 yang diikuti dengan proses quenching dan tempering.

Bab III. Metode Penelitian

Dalam bab ini membahas mengenai langkah-langkah dan pelaksanaan pengujian pada material yang akan diuji yaitu baja paduan karbon sedang jenis SNCM 447.

Bab IV. Hasil dan Pembahasan Data

Dalam bab ini berisikan analisa dan pengolahan data yang didapat dari proses pengujian pada material (baja SNCM 447) tersebut.

Bab V. Kesimpulan

Dalam bab ini akan disajikan secara garis besar hasil dari seluruh penelitian dan disertai oleh kesimpulan.

II. STUDI PUSTAKA

2.1 Klasifikasi Baja

Baja adalah paduan yang paling banyak digunakan, dalam dunia industri 95% menggunakan baja, baik itu industri skala kecil, menengah, maupun dalam skala besar. Bentuk dan jenisnya pun beraneka ragam sehingga penggunaannya sangat luas, oleh karena itu berbagai pihak mengklasifikasikan baja menurut keperluannya. Adapun klasifikasi yang ada yakni sebagai berikut:

- A. Menurut cara pembuatannya; Baja Bessemer, Baja Siemen Martin (Open Hearth), Baja Tanur Listrik, dll.
- B. Menurut penggunaannya; Baja Konstruksi, Baja Mesin, Baja Pegas, Baja Ketel, Baja Perkakas, dll.
- C. Menurut kekuatannya; Baja Kekuatan Rendah Dan Baja Kekuatan Tinggi.
- D. Menurut struktur mikronya; Baja Eutektoid, Baja Hipoeutektoid, Baja Hipereutektoid, Baja Austenitik, Baja Feritik, Baja Martensitik, dll.
- E. Menurut komposisi kimianya; Baja Karbon, Baja Paduan Rendah, Baja Paduan Tinggi, dll.

Baja karbon adalah baja memiliki unsur besi dan karbon serta unsur lainnya tetapi masih dalam batas-batas tertentu yang tidak banyak berpengaruh terhadap sifatnya. Unsur-unsur ini biasanya merupakan ikatan yang berasal dari proses pembuatan baja/besi, seperti mangan, silikon dan beberapa unsur pengotoran yakni Belerang, Phospor, Oksigen, Nitrogen dan lain-lain yang biasanya ditekan sampai kadarnya sangat kecil.

Secara garis besar, baja karbon terbagi menjadi 3 jenis yakni:

- A. Baja karbon rendah ($\leq 0,25\% \text{ C}$).
- B. Baja karbon sedang ($0,25\% \text{ C} - 0,55\% \text{ C}$).
- C. Baja karbon tinggi ($\geq 0,55\% \text{ C} - 1,95\% \text{ C}$).

Adapun Jenis Baja Karbon Yakni:

2.1.1 Baja karbon rendah (*Low Carbon Steel*)

Mempunyai kadar karbon sampai 0.25% sangat luas penggunaannya, sebagai baja konstruksi umum, untuk baja profil rangka bangunan, baja tulang beton, rangka kendaraan, mur baut, pelat, pipa dan lain-lain. Baja ini kekuatannya relatif rendah, lunak, dan keuletannya tinggi, mudah untuk dibentuk atau dimachining. Baja ini tidak dapat dikeraskan kecuali dengan case hardening.

2.1.2 Baja karbon sedang (*Medium Carbon Steel*)

Mempunyai kadar karbon antara 0.25%–0.55%, bersifat lebih kuat dan lebih keras dibandingkan baja karbon rendah dan dapat dikeraskan. Penggunaannya hampir sama dengan baja karbon rendah tetapi yang memerlukan kekuatan dan ketangguhan yang lebih tinggi, juga banyak digunakan sebagai baja konstruksi mesin, seperti untuk poros, roda gigi, rantai dan lain-lain.

2.1.3 Baja karbon tinggi (*High Carbon Steel*)

Mempunyai kadar karbon lebih dari 0.55%, bersifat lebih kuat dan lebih keras lagi dibandingkan dengan kedua jenis sebelumnya, namun keuletan dan ketangguhannya rendah. Baja ini terutama digunakan untuk baja perkakas yang biasanya memerlukan sifat tahan aus, misalnya untuk mata bor, reamer, tap, perkakas tangan dan lain-lain.

Baja paduan adalah campuran antara baja karbon dengan unsur-unsur lain yang akan mempengaruhi sifat-sifat baja itu, misalnya sifat kekerasan dan sebagainya yang bertujuan memperbaiki kualitas dan kemampuannya. Bentuk dan jenisnya pun bermacam-macam sehingga penggunaannya sangat luas, karena penggunaannya sangat luas maka berbagai pihak sering membuat klasifikasi menurut keperluan masing-masing.

Sedangkan Untuk Baja Paduan Terdiri Dari:

- 1). Baja paduan rendah (**Low Alloy Steel**), merupakan baja paduan dengan kadar unsur paduan rendah yakni kurang dari 10%. Mempunyai kekuatan dan ketangguhan lebih tinggi dari pada baja karbon dengan kadar yang sama, atau mempunyai keuletan yang lebih tinggi dari pada baja karbon dengan kekuatan yang sama. Kekerasannya dan sifat tahan korosi pada umumnya lebih baik sehingga banyak digunakan sebagai baja konstruksi mesin.
- 2). Baja paduan tinggi (**High Alloy Steel**), merupakan baja paduan dengan kadar unsur paduan yang tinggi, mempunyai sifat khusus tertentu seperti baja tahan karat (Stainless Steel), baja perkakas (Tools Steel) misalnya high speed steel (HSS), baja tahan panas (Heat Resisting Steel) dan lain-lain.

2.2 Pengerjaan Mekanik Pada Baja

Baja bila dikenai pengerjaan mekanik akan menimbulkan deformasi. Selain mengubah bentuk struktur akan terjadi pula serangkaian dislokasi dan energi yang digunakan akan tersimpan dalam logam. Bila pengerjaan dilakukan pada temperatur tinggi, atom-atom akan berdifusi dengan cepat dan rangkaian dislokasi akan ditiadakan secepat pembentukannya. Oleh karena itu mengurangi penimbunan energi dislokasi dalam kristal. Bila pengerjaan dilakukan pada temperatur yang lebih rendah, struktur kristal akan pecah atau rusak dan akan menimbulkan batas butir baru. Butir baru cenderung berbentuk polyhedral dan mempunyai orientasi mengikuti arah deformasi yang disebut sebagai struktur pengerjaan dingin. Dalam kondisi ini kekuatan logam bertambah sedang keuletannya berkurang. Pengerjaan mekanik mempunyai efek yang berbeda bila dilakukan pada temperatur yang berbeda. Bila dilakukan dibawah suhu rekristalisasi, struktur yang dihasilkan terdistorsi, mengandung energi dan disebut struktur pengerjaan dingin. Bila deformasi dilakukan diatas suhu rekristalisasi, struktur yang dihasilkan lebih lunak, mempunyai sifat mekanik yang tidak jauh berbeda dengan awal dan disebut struktur pengerjaan panas.

2.3 Karakteristik Baja SNCM 447

Baja SNCM 447 termasuk baja karbon sedang dengan kadar karbon 0.30%-0.38%, merupakan baja paduan yang berkualitas tinggi, mempunyai kekuatan mekanis yang baik, dan mempunyai ketahanan yang cukup terhadap goresan. Aplikasinya baik untuk permesinan seperti untuk rantai dan bahan dasar pembuatan gear pada kendaraan dan komponen permesinan lainnya. Baja SNCM 447 ini dapat dilakukan perlakuan panas dimana terdapat proses annealing, carburizing, hardening, normalising dan tempering, dengan media pendingin berupa air, oli dan udara bebas.

2.4 Pengaruh Unsur Paduan Pada Baja

Maksud penambahan unsur paduan ke dalam baja adalah untuk mendapatkan sifat-sifat mekanis seperti kekuatan, keuletan, ketangguhan, tahan aus, dan lain-lain pada produk akhir seperti yang diinginkan. Unsur-unsur yang cukup berpengaruh pada baja SNCM 447 dalam hal ini yaitu:

2.4.1 Karbon (C)

Karbon merupakan unsur yang paling banyak selain besi (Fe) yang terdapat pada sebuah baja, unsur ini berfungsi meningkatkan sifat mekanis baja seperti kekuatan dan kekerasan yang tinggi meskipun demikian karbon dapat menurunkan keuletan, ketangguhan, dan mampu tempa, serta berpengaruh pula terhadap pengolahan baja selanjutnya seperti pada proses perlakuan panas, proses perubahan bentuk dan lain sebagainya.

2.4.2 Mangan (Mn)

Unsur ini mempunyai sifat tahan terhadap gesekan dan tahan tekanan. unsur ini mudah berubah kekerasannya pada kondisi temperatur yang tidak tetap dan juga di gunakan alloy mangan tembaga yang bersifat ferromagnetic.

2.4.3 Chrom (Cr)

Unsur ini berpengaruh pada ketahanan terhadap keausan, korosi dan nilai kekerasannya. Selain itu unsur ini dapat pula mempermudah baja untuk dikerjakan dengan mesin bila dilunakkan dan setelah itu dikerjakan dengan proses perlakuan panas.

2.4.4 Nikel (Ni)

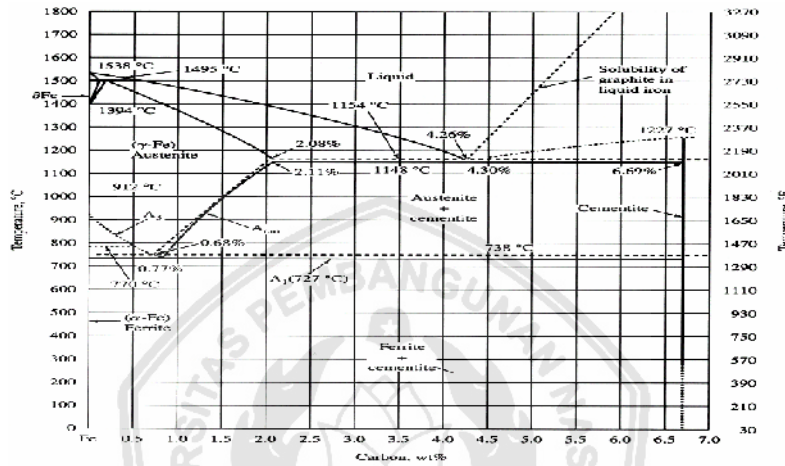
Unsur ini berpengaruh pada peningkatan nilai kekerasan, keuletan, tahan korosi, unsur ini dapat pula mempermudah baja untuk dikerjakan dengan mesin karena keuletannya.

2.4.5 Nolybdenum (Mo)

Unsur ini berpengaruh pada peningkatan nilai kekerasan, keuletan dan ketangguhan dalam hal ketahanan terhadap gesekan yang ditimbulkan hingga mengakibatkan temperturnya naik. Biasanya molybdenum dipadukan dengan unsur chrom, dengan komposisinya sebesar 0.5% untuk menghindari salah satu cacat yakni “temper kerapuhan” (Temper Brittleness) yang diinduksikan sewaktu pendinginan setelah proses temper atau setelah perendaman lanjut untuk kenaikan suhu tertentu pada peralatan uap.

2.5 Diagram Kesetimbangan Fe-Fe₃C

Diagram Fe₃C adalah diagram kesetimbangan unsur besi (α) dengan fasa cementit (Fe₃C). Awal untuk memahami proses perlakuan panas baja terlebih dahulu dalam penelitian ini harus memahami diagram kesetimbangan Fe-Fe₃C yang berfungsi untuk melihat reaksi-reaksi dari fase pembentukan yang terjadi.



Gambar 2.1 Diagram Fe – Fe₃C

Unsur karbon dalam baja dapat berupa grafit yakni karbon dalam bentuk yang stabil atau bebas sehingga dinamakan sistem paduan Fe-C yang stabil, dapat pula berupa senyawa interstiti atau sementi yakni suatu struktur yang metastabil, dan sistem paduannya dinamakan sistem paduan Fe-C yang metastabil. Diagram fasa dari kedua sistem ini dapat dilihat pada gambar 2.1.

Dari diagram tersebut kadar karbonnya mencapai 6.67%, dimana terjadi tiga fase reaksi yang terbentuk. Pada temperatur 1495°C (2723°F) terjadi fase reaksi peritectic yang merupakan paduan antara besi dengan kadar karbon yang rendah. Dan pada temperatur 1147°C (2098°F) terjadi fase reaksi eutectic dengan kadar karbon yang mencapai 4.3% maka dapat disebut sebagai besi cor, dimana kadar karbon dari besi cor lebih dari 2.11%. Sedangkan pada temperatur 727°C (1341°F) terjadi fase reaksi eutectoid dengan kadar karbon 0.77%. Paduan dengan kadar karbon kurang dari 2.11% dapat mengalami transisi dari fase kesatu larutan padat (Solid Solution) menjadi campuran fase kedua atau di kenal menjadi baja.

Dengan demikian batas antara baja dan besi cor terdapat pada kadar karbon 2.11%. Pada kadar karbon 6.67% terjadi karbida (Fe₃C), dan Delta-Ferrit ($\delta + \gamma$) merupakan fase yang stabil.

Proses pembekuan besi membentuk BCC (*Body Centered Cubic*) yang padat dan kuat hingga temperatur mencapai 1394°C (2541°F). Sedangkan fcc (*Face Centered Cubic*) dengan struktur austenit (γ) terjadi dikisaran temperatur 1394°C (2541°F) sampai 912°C (1674°F) dengan daya larut karbon yang tinggi. Pada proses perlakuan panas baja dimulai dari fase kesatu austenit. Alpha-Ferrit ($\alpha + \gamma$) merupakan bentuk besi yang stabil pada temperatur dibawah 912°C (1674°F). Struktur BCC dengan kadar karbon 0.02% dalam larutan padat dan campuran fase kedua terdapat pada paduan baja.

Fase-fase yang terbentuk pada baja SNCM 447 terhadap diagram di atas:

2.5.1 Ferit (α)

Ferit adalah larutan padat interstiti dimana karbon yang larut dalam Fe (BCC) adalah maksimum 0.025 % pada temperatur 727 °C dan turun menjadi 0.008 % pada temperatur ruang. Ferit merupakan struktur yang paling lunak diantara struktur-struktur lainnya Ferit juga merupakan material Feromagnetik (mempunyai sifat magnetik kuat). Karena Ferrit mempunyai struktur BCC, jarak antara atom-atom besi adalah kecil dibandingkan dengan austenit, dan tidak

dapat dilalui secara sempurna oleh atom karbon yang kecil sekalipun. Oleh karena itu, kelarutan karbon dalam Ferit sangat rendah.

2.5.2 Perlit ($\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$)

Perlit adalah suatu struktur besi yang merupakan campuran antara besi ferrit dan sementit yang tersusun secara berselang-seling. Struktur perlit ini terjadi pada baja dengan kandungan karbon sekitar 0.8% dan terjadi pada daerah eutektoid dari dekomposisi austenit dalam pendinginan kontinyu dibawah garis eutektoid. Oleh sebab itu perlit juga disebut struktur eutektoid, sebab pada kandungan karbon 0.8% yang merupakan daerah eutektoid, kandungan perlit bisa sampai 100% dalam baja.

2.5.3 Cementit/Carbida (Fe_3C)

Dalam besi karbon, atom-atom karbon yang jumlahnya lebih dari jumlah kelarutan karbon dalam besi akan membentuk fase kedua, dan biasanya yang terbentuk adalah besi karbida (Cementit). Cementit mempunyai komposisi kimia Fe_3C . Jadi berarti kisi-kisi kristal terdiri dari atom-atom besi dan karbon dengan perbandingan 3 berbanding 1. Fe_3C mempunyai satu unit sel orthorombis dengan 12 atom-atom besi dan 4 atom karbon persel, dan mempunyai kandungan karbon 6.67%. Dibandingkan austenit dan ferrit, cementit amat keras dan getas sifatnya. Maka untuk mendapatkan kekuatan baja yang tinggi, diperlukan adanya perpaduan antara cementit dan ferrit, karena ferrit mempunyai sifat yang lebih liat dari pada cementit.

2.5.4 Austenit (γ)

Austenit adalah bentuk stabil dari besi murni dengan campuran karbon maximum 2.06% didalamnya, yang terbentuk pada temperatur antara 723°C dan 1493°C. Struktur ini biasanya tidak stabil pada temperatur ruang. Pada temperatur dimana austenit dalam keadaan stabil, austenit lunak dan liat, oleh sebab itu baja austenit cocok untuk proses pabriksi. Sebagian besar baja untuk operasi tempa dan rolling diubah bentuk pada suhu 1100°C atau lebih, dimana struktur besi adalah FCC. Austenit mempunyai sifat para magnetik (magnetik lemah). Struktur FCC pada besi mempunyai jarak antara atom lebih besar dari pada Ferrit. Walaupun demikian, pada struktur FCC celah-celah atom tersebut hampir tidak cukup untuk dilewati atom-atom karbon untuk masuk kedalam larutan padat, sehingga dengan demikian terjadilah peregangan kisi-kisi. Sebagai hasilnya tidak semua celah-celah atom dapat terisi atom karbon pada waktu yang bersamaan.

2.5.5 besi δ

Besi δ adalah perubahan bentuk austenit diatas temperatur 1394°C karena ketidakstabilannya sehingga struktur kristal kembali berubah menjadi fasa kubik pemusatan ruang. Daya larut karbon besi δ kecil akan tetapi lebih besar dari pada dalam Ferit α karena suhunya yang lebih tinggi.

2.6 Proses Pengerasan

Proses pengerasan (*hardening*) dilakukan pada logam, biasanya dilakukan untuk memperoleh sifat tahan aus yang tinggi dan mendapatkan kekerasan yang lebih tinggi, atau kekuatan (Fatigue Limit/Strength) yang lebih baik. Pengerasan merupakan salah satu proses perlakuan panas, dimana baja dipanaskan pada suhu tertentu diatas temperatur kritis (a_{e3}) dan kemudian ditahan sampai beberapa lama. Kemudian didinginkan atau dicelup kedalam air, oli atau larutan garam tergantung pada tipe baja tersebut.

Pengerasan dilakukan dengan memanaskan baja ke daerah austenit lalu mendinginkannya dengan cepat, dengan pendinginan cepat ini terbentuk martensite yang keras.

Temperatur pemanasannya (Temperatur Austenitising), lamanya holding time, dan laju pendinginan untuk pengerasan ini banyak tergantung pada komposisi kimia dari baja.

2.6.1 Prosedur Proses Pengerasan

Untuk baja hypoeutectoid dipanasi dari 30°C sampai 50°C diatas garis a_{e3} , pada baja ini struktur ferrite + pearlite dirubah menjadi struktur austenite. Sedangkan baja hypereutectoid yang dipanasi hingga diatas titik a_{e1} maka struktur pearlite + cementite juga berubah menjadi austenite. Walaupun tidak semua cementite berubah menjadi austenite, laju pendinginan yang sangat tinggi daripada kecepatan kritis akan dapat membuat austenite menjadi supercooled ke titik martensite.

Baja yang dikeraskan ini dalam kondisi mengalami tegangan dan sangat rapuh sekali, sehingga tidak dapat digunakan untuk pemakaian yang praktis. Untuk itu maka setelah baja mengalami pengerasan (Hardening), maka baja ditemper untuk menurunkan sifat rapuh, melepaskan tegangan dalam (Internal Stress) yang terjadi saat pengerasan, dan untuk memperbaiki sifat

mekanis baja tersebut. Tujuan utama proses pengerasan (Hardening) dan tempering pada baja perkakas ialah untuk meningkatkan kekerasannya dan meningkatkan daya tahan terhadap gesekan, mempertahankan sifat tangguh, sedangkan untuk baja struktural maka pengerasan dan tempering itu bertujuan untuk mendapatkan suatu kombinasi antara kekuatan tinggi, keuletan dan ketangguhannya.

2.6.2 Proses Pemanasan Mula (Pre-Heating)

pre-heating atau pemanasan mula ditujukan untuk meminimalkan efek distorsi temperatur, oleh karena itu harus dilakukan pemanasan secara bertahap sebelum akhirnya mencapai temperatur austenite. Selama tahapan inti dengan permukaannya, tahapan yang dilakukan yaitu pada temperatur 500°C

2.6.3 Austenisasi

Struktur austenit merupakan syarat untuk memperoleh struktur permukaan baja yang keras. Karena hanya austenit yang dapat bertransformasi menjadi martensit. Austenit adalah proses pemanasan baja pada daerah temperatur kritis diatas a_{e1} atau diatas temperatur a_{e3} .

Apabila pada saat pemanasan terjadi atau terdapat struktur lain maka setelah dicelup akan diperoleh struktur yang tidak sepenuhnya martensite. Struktur yang bersifat lunak adalah ferrit, sedangkan yang bersifat keras adalah karbida, yang kekerasannya maksimumnya belum tercapai. Jika masih terdapat karbida, maka berarti belum seluruh karbon larut dalam austenit, padahal kekerasan martensit sangat tergantung pada kadar karbon dalam austenit.

Dengan temperatur pemanasan yang lebih tinggi maka akan diperoleh kekerasan yang tinggi pula, oleh karena makin banyaknya karbida yang larut, maka makin besar butiran austenite.

2.6.4 Suhu Dan Waktu Tahan Pengerasan

Suhu pengerasan tergantung pada komposisi kimia dari baja tersebut, khususnya kadar karbon. Untuk pemanasan yang lebih lambat, maka akan terbentuk fasa austenite dan akan segera melewati garis a_{e3} sehingga waktu tahan tidak diperlukan lagi.

Setiap temperatur pengerasan membutuhkan waktu tahan tertentu untuk mendapatkan hasil kekerasan maksimum yang seharusnya didapat pada pengerasan. Waktu tahan yang terlalu singkat, akan menyebabkan kekerasan yang lebih rendah karena jumlah karbida belum cukup dalam struktur baja tersebut. Waktu tahan yang terlalu lama juga akan menyebabkan kekerasan yang lebih rendah, hal ini karena besarnya ukuran butir serta jumlah austenite sisa meningkat.

2.6.5 Normalising

Proses normalising bertujuan untuk:

- 1). Membatasi struktur butir kasar yang terjadi sebagai akibat pengerjaan sebelumnya (seperti Rolling, Forging, atau Stamping) pada baja tersebut, sehingga struktur yang terjadi lebih halus.
- 2). Untuk mendapatkan struktur yang lebih merata (Uniform).
- 3). Untuk menaikkan kekuatan baja karbon menengah hingga tingkat tertentu.
- 4). Meningkatkan mampu kerja mesin pada baja karbon rendah.
- 5). Meningkatkan kemampuan mampu dilas.
- 6). Mengurangi tegangan internal yang ada (Internal Stress).
- 7). Mengeliminasi jaringan cementite pada batas butir baja hypereutectoid, dan
- 8). Secara umum untuk meningkatkan sifat engineering baja.

Jika dalam proses normalising dilakukan pendinginan cepat (pendinginan udara) akan menyebabkan dekomposisi austenite pada suhu rendah. Hal ini akan menambah penyebaran campuran ferrite-cementite (Pearlite) dan meningkatkan jumlah eutectoid.

Pendinginan udara yang dilakukan pada proses normalising baja paduan akan membuat austenite sangat stabil akibatnya dekomposisi austenite pada tingkat supercooling. Kondisi inilah yang menyebabkan terjadinya struktur baja keras seperti martensit.

2.6.6 Pencelupan (Quenching)

Proses pencelupan adalah merupakan laju pendinginan yang akan menentukan struktur, kekerasan serta kekuatan yang dihasilkan. Laju pendinginan haruslah melampaui laju pendinginan kritis, sehingga akan menghasilkan struktur martensite.

Laju pendinginan yang terjadi pada material tergantung dari beberapa faktor, yaitu : media pendingin, temperatur media pendingin dan sirkulasi pada media pendingin. Media pendingin ada beberapa macam yaitu media air, minyak atau oli, air garam dan sebagainya.

Air dan udara merupakan media pendinginan utama, sebagian besar pendinginan memakai media ini. Air memberikan kecepatan pendinginan tiga kali lebih tinggi dari pada udara dan biasanya digunakan untuk pencelupan plain carbon steel. Sedangkan udara atau oli digunakan untuk pendinginan baja paduan yang dikeraskan.

Dibawah ini akan diperlihatkan hubungan antara media pendingin, laju pendinginan, struktur yang dihasilkan serta kekerasan yang diperoleh:

Tabel 2.1 laju pendinginan

Media Quenching	Laju Pendinginan	Struktur Yang Dihasilkan
Air	Sangat cepat	Martensit
Minyak	Cepat	Pearlit halus
Udara	Sedang	Pearlit halus
Anil	Sangat lambat	Pearlit halus

Media air, menghasilkan laju pendinginan yang sangat cepat sedangkan struktur yang dihasilkan adalah martensite, pendinginan yang menggunakan media minyak atau oli, laju pendinginannya adalah cepat dengan struktur pearlite yang sangat halus.

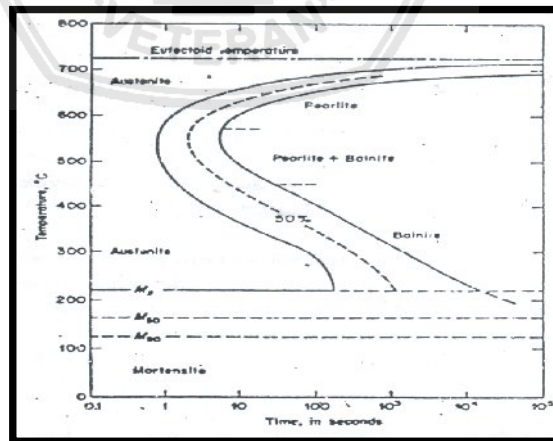
Media udara menghasilkan struktur pearlit halus dengan laju pendinginan yang relatif sedang, media brine digunakan untuk memperoleh laju pendinginan yang drastis lebih cepat dari air biasa.

2.7 Dampak Pengerasan Terhadap Sifat-Sifat Baja

Berbagai dampak quenching terhadap pengerasan baja sangat tergantung dari besarnya kadar karbon (C), baja dengan kadar karbon tinggi akan semakin keras setelah berubah menjadi struktur martensit. Semakin banyak austenit ditahan pada baja yang dikeraskan berarti kekerasannya akan turun. Meskipun kekerasannya tinggi, namun baja yang dikeraskan mempunyai kekuatan kohesive-nya rendah yang berarti tingkat elastisnya rendah. Disamping itu dengan proses pengerasan, maka mampu pukul (Impact Strength), perpanjangan relatif dan pengurangan luas penampang (Reduction Area) juga berkurang. Sedangkan tahanan listriknya semakin tinggi

2.7.1 Diagram TTT (Time Temperatur Transformation)

Dalam diagram TTT ini menunjukkan batas-batas transformasi untuk temperatur dalam waktu tertentu. Jadi dari diagram ini dapat dilihat pada temperatur dan waktu berapa suatu fase mulai dan berakhir terbentuk. Diagram ini spesifik untuk setiap baja dengan konsentrasi karbon tertentu. Dan dari diagram ini pula dapat diketahui apakah transformasi berjalan secara isothermal atau dengan pendinginan secara kontinyu. **Gambar 2.2** dengan diagram ttt menunjukkan batas awal dan akhir transformasi isothermal



Gambar 2.2 Diagram TTT

2.8 Pembentukan Martensit

Jika ingin mendapatkan kekerasan baja, maka setelah dipanaskan pada suhu austenit, baja didinginkan dengan cepat sehingga didapat struktur martensit yang keras.

Martensit terjadi pada suhu dibawah suhu eutectoid (masih diatas suhu ruang) karena struktur austenit FCC tidak stabil sehingga berubah menjadi struktur BCC secara serentak.

Beberapa karakteristik transformasi martensit:

- Transformasi martensit terjadi tanpa proses difusi, hal ini karena transformasi martensit berlangsung dengan kecepatan tinggi.
- Terjadi tanpa adanya perubahan komposisi kimia dari awal.
- Jenis martensit yang dihasilkan sangat tergantung pada jumlah kandungan karbon dalam baja. Jika lebih rendah kandungan karbonnya, maka yang terbentuk adalah lath martensit, sedangkan kandungan karbonnya tinggi, maka terbentuk plate martensit.
- Struktur kristal yang dihasilkan oleh transformasi yang dihasilkan yaitu BCT (Body Centered Tetragonal).

2.9 Penemperan (*Tempering*)

Setelah baja mengalami pencelupan (*Quenching*), maka setelah itu baja ditemper. Lamanya penemperan sesuai dengan kekuatan bahan tersebut. Spesimen akan bersifat keras tetapi rapuh. Kerapuhan tersebut karena adanya tegangan sisa yang cukup besar sebagai distorsi saat transformasi. Ada beberapa hal yang dijadikan sebagai alasan mengapa baja perlu ditemper diantaranya adalah:

- Mengurangi tegangan sisa.
- Meningkatkan kekerasan.
- Meningkatkan perpanjangan (*Elongation*).
- Meningkatkan keuletan.
- Meningkatkan ketangguhan.

Jadi secara sederhana dapat dikatakan bahwa penemperan adalah suatu proses pemanasan baja martensite pada suhu dibawah daerah transformasi maka baja menjadi lebih kuat dan ulet tanpa kehilangan sifat kekerasannya.

Dengan melakukan tempering pada berbagai temperatur dan kekerasan yang terjadi ternyata bahwa kekerasan sesudah tempering tidak hanya dipengaruhi oleh temperatur, tetapi juga waktu temper.

2.10 Kekerasan Vickers

Pada umumnya, kekerasan menyatakan ketahanan terhadap deformasi, dan untuk logam dengan sifat tersebut merupakan ukuran ketahanannya terhadap deformasi plastik atau deformasi permanen. Kekerasan suatu logam dipengaruhi oleh kadar karbon yang terkandung didalam logam tersebut. Semakin besar kadar karbon yang terkandung maka logam tersebut semakin keras dan getas. Pengukuran kekerasan suatu logam dapat dilakukan dengan cara goresan (*Scratch Hardness*), lekukan/indentasi (*Indentation Hardness*), dan pantulan (*Rebound*) atau dinamik (*Dynamik Hardness*).

Kekerasan vickers merupakan cara indentasi, menggunakan penumbuk piramida intan yang dasarnya berbentuk bujur sangkar. Besarnya sudut antara permukaan-permukaan piramid yang saling berhadapan adalah 136° Sudut ini dipilih, karena nilai tersebut mendekati sebagian besar nilai perbandingan yang diinginkan antara diameter lekukan dan diameter bola penumbuk pada kekerasan brinell. Karena bentuk penumbuknya piramid, maka pada pengujiannya sering dinamakan ***Uji Kekerasan Piramida Intan***.

Angka kekerasan piramida intan (DPH), atau angka kekerasan vickers (VHN atau VPH) dengan satuan hardness vickers (HV), didefinisikan sebagai beban dibagi luas permukaan lekukan yang dihitung dari pengukuran mikroskopik panjang diagonal jejak. DPH dapat ditentukan dari persamaan berikut:

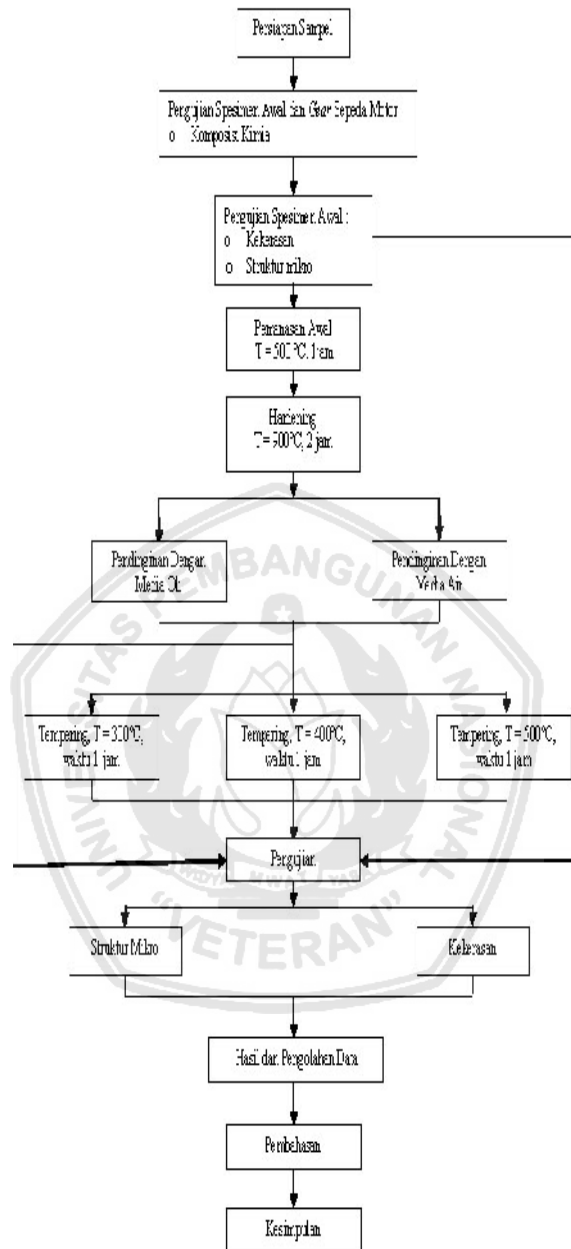
$$DPH = \frac{2P \sin(\theta / 2)}{L^2} = \frac{1.854 P}{L^2}$$

Dimana:

- DPH = angka kekerasan piramida intan (HV)
P = beban yang diterapkan (kg)
L = panjang diagonal rata-rata (mm)

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram alir penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Proses Pengujian

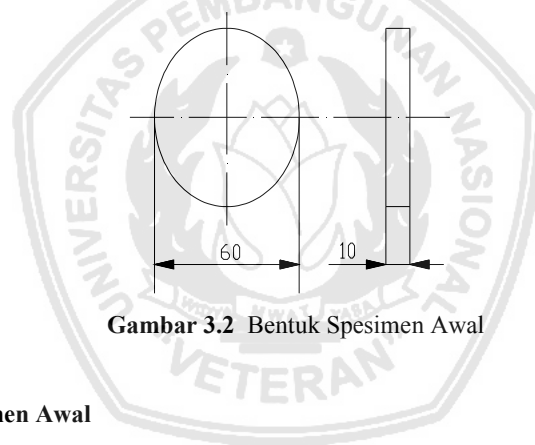
3.2 Persiapan Spesimen Penelitian

Spesimen berupa batang bulat yang dipotong menjadi 2 buah dengan diameter 60 mm dan panjang 10 mm lalu yang 1 dipecah sebanyak 9 buah dan 1 buah untuk uji komposisi kimia. Untuk memudahkan pengidentifikasian dan pengolahan data masing-masing spesimen diberi tanda sesuai dengan temperatur pemanasan, media pendingin dan proses temper yang diberikan, dengan spesimen n yang merupakan spesimen awal yang dapat dilihat pada **tabel 3.1** dibawah ini:

Tabel 3.1. Penandaan material

Nama Spesimen	Temperatur pemanasan (°C)	Waktu tahan (menit)	Media pendingin	Temperatur tempering (°C)	Waktu tempering (menit)
N	-	-	-	-	-
A1	900	120	Air	-	-
B1	900	120	Oli	-	-
A2	900	60	Air	300	60
B2	900	60	Oli	300	60
A3	900	60	Air	400	60
B3	900	60	Oli	400	60
A4	900	60	Air	500	60
B4	900	60	Oli	500	60

Mula-mula yang dilakukan pada spesimen hasil pemotongan yaitu digerinda kemudian dilanjutkan dengan proses pembubutan untuk meratakan dan memperhalus permukaan specimen lalu dipecah-pecah menjadi 9 bagian. Untuk mendapatkan data awal specimen dilakukan pengujian terhadap specimen yakni meliputi pengujian komposisi kimia, kekerasan vickers, dan struktur mikro. Adapun bentuk dari specimen awal yakni seperti pada **gambar 3.2**



Gambar 3.2 Bentuk Spesimen Awal

3.3 Pengujian Spesimen Awal

Pengujian Komposisi Kimia

Pengujian komposisi kimia ini dilakukan guna mengetahui kandungan unsur-unsur, termasuk juga unsur paduan yang terkandung dalam material uji. Pengujian ini dilakukan pada material yang belum mengalami proses *heat treatment*. Pada pengujian ini baja atau gear yang akan diperiksa terlebih dahulu dibersihkan permukaannya dengan gerinda tangan, kemudian diamplas sampai licin dan bersih, selanjutnya permukaan baja atau gear yang telah dibersihkan ditembak atau dibakar dengan gas argon murni sampai 99,99 % dengan menggunakan alat *metorex*. Alat ini menggunakan sistem *emission spectrometer*. Setelah ditembak, titik spot pada permukaan baja atau gear akan nampak terbakar dan hasil analisis komposisi kimia ditampilkan pada layar monitor alat tersebut.

3.4 Pemanasan Awal Spesimen

Pada proses pemanasan awal untuk baja SNCM 447 dilakukan dengan cara memasukan spesimen ke dalam dapur pemanas pada temperatur 500°C dan di ikuti dengan proses waktu tahan selama 60 menit lalu dipanasi kembali pada temperatur 900°C dengan waktu tahan 120 menit pemanasan awal ini berlaku untuk semua spesimen pada setiap proses hardening terdapat 8 buah spesimen untuk masing-masing temperatur yang diberikan. Proses hardening ini meliputi persiapan pemanasan dan pendinginan.

3.5 Pengujian Proses Pengerasan

3.5.1 Proses Pemanasan

Pada proses pemanasan awal untuk baja SNCM 447 dilakukan dengan cara memasukan spesimen ke dalam dapur pemanas pada temperatur 500°C dan di ikuti dengan proses waktu tahan selama 60 menit lalu dipanasi kembali pada tempratur 900°C dengan waktu tahan 120 menit yang bertujuan untuk mencegah terjadinya distorsi dan menghilangkan tegangan sisa pada specimen.



Gambar 3.3 dapur pemanas

3.5.2 Proses Pendinginan

Setelah proses hardening dilakukan, proses selanjutnya adalah proses pendinginan dengan cara mengeluarkan spesimen dari dalam dapur pemanas kemudian didinginkan dengan media yang akan digunakan. Pada proses ini terdapat 4 buah spesimen yang menggunakan media pendingin oli dan air.



Gambar 3.4 Media Pendinginan

3.5.3 Proses Temper

Setelah proses pendinginan dilakukan, salah satu spesimen dari temperatur 500°C dan 900°C dilakukan proses temper dengan temperatur 300°C, 400°C, dan 500°C dengan waktu tahan selama 60 menit didalam dapur pemanas. Kemudian spesimen-spesimen tersebut didinginkan didalam dapur dengan membuka penutup dapur pemanas agar udara sekeliling masuk.

3.6 Proses Pengujian Spesimen

Langkah selanjutnya setelah semua proses dilakukan adalah proses pengujian untuk mendapatkan data. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian kekerasan vickers, dan pengujian struktur mikro. Pengujian ini dilakukan terhadap masing-masing spesimen sesuai dengan variasi temperatur, media pendinginan dan proses temper.

3.6.1 Pengujian Struktur Mikro



Gambar 3.5 Foto Mikroskop Optik

Pengujian struktur mikro dilakukan untuk mengamati struktur mikro setelah proses pemanasan untuk variabel temperatur dan waktu yang berbeda. Pengujian struktur mikro meliputi tahapan-tahapan sebagai berikut:

- 1). Pemotongan: spesimen yang telah tersedia dipotong secara melintang dengan mesin potong sesuai dengan kebutuhan pemotretan untuk pengujian stuktur mikro pada bagian permukaan pemotongan.
- 2). Mounting: mounting menggunakan bahan dari resin polyester 2504 yang berwarna putih transparan dan dicampur cairan katalis sebesar 1.5% untuk mempercepat pengerasan.
- 3). Pengamplasan: pengamplasan dilakukan menggunakan kertas amplas dengan tingkat kekasaran yang kasar sampai dengan tingkat kekasaran yang paling halus secara berurut, yaitu amplas No 180, 240, 360, 800, 1000, dan 1200. Selama pengamplasan yang dilakukan harus selalu dialiri air untuk menghilangkan geram-geram yang terjadi serta untuk mencegah panas yang berlebihan yang akan mempengaruhi struktur mikro yang diperoleh. Pengamplasan ini dilakukan hingga didapat permukaan logam yang sangat halus dengan mesin polishing.
- 4). Pemolesan: pemolesan ini dilakukan untuk menghilangkan sisa-sisa goresan dalam proses pengamplasan dengan menggunakan alumia polis sehingga permukaan sampel menjadi licin dan mengkilap.
- 5). Pengetsaan: dengan memberikan larutan etsa ke permukaan spesimen yang telah dipoles sebelumnya sehingga akan dapat menampakkan struktur mikro yang dihasilkan dari proses perlakuan panas. Zat etsa yang digunakan adalah nital sebesar 10 % (NHO_3). Kemudian spesimen dibersihkan dengan alkohol dan dikeringkan.
- 6). Pemotretan: pemotretan dilakukan pada masing-masing spesimen dan diamati struktur mikro yang dihasilkan dari bagian permukaannya. Pemotretan dilakukan dengan menggunakan perbesaran 100 kali dan 500 kali, dengan alat mikroskop optik seperti terlihat pada gambar 3. Dalam hal pemotretan ini perlu diperhatikan dengan baik ketika bentuk yang didapat, yakni usahakan gambar yang akan dipotret se jelas mungkin.

3.6.2 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan mikro bertujuan untuk mengetahui distribusi kekerasan lapisan hardenisasi dari permukaan sampai ketengah. Proses pengujian kekerasan vickers menggunakan indenter/penumbuk piramida intan yang dasarnya berbentuk bujur sangkar. Besarnya sudut antara permukaan-permukaan piramid yang saling berhadapan adalah 136° . Spesimen hasil hardenisasi dipotong melintang abrasive cutter, kemudian di mounting dan dihaluskan.



Gambar 3.6 Alat Uji Kekerasan

Perhitungan nilai kekerasan:

$$HV = \frac{1.854 \times P}{d^2}$$

dimana: P = beban (gr)

d = diagonal jejak rata-rata (mikron) dengan melakukan pengetasan dengan nital 3%. Pengukuran dilakukan dengan beban 5 kg dan jarak antar titik 200 μ m.

Spesimen yang sudah dihardenisasi lalu diuji nilai kekerasannya, untuk mengetahui pengaruh proses hardenisasi terhadap nilai kekerasan spesimen dari permukaan sampai kebagian inti. Dengan temperatur yang bervariasi dan perbedaan proses perlakuan panas yang diberikan selanjutnya dilakukan proses pengujian kekerasan vickers dengan tahap-tahap sebagai berikut:

- 1). Pemotongan: spesimen yang telah tersedia dipotong secara melintang dengan gergaji mesin atau dengan mesin potong lainnya, lalu diambil secukupnya sesuai dengan kebutuhan pengujian pada bagian permukaan potongannya.
- 2). Mounting: mounting menggunakan bahan dari resin polyester 2504 yang berwarna putih transparan dan dicampur cairan katalis sebesar 1.5% untuk mempercepat pengerasan.
- 3). Pengamplasan: pengamplasan dilakukan menggunakan kertas amplas dengan tingkat kekasaran yang kasar sampai dengan tingkat kekasaran yang paling halus secara berurut, yaitu amplas No 180, 240, 360, 800, 1000, dan 1200. Selama pengamplasan yang dilakukan harus selalu dialiri air untuk menghilangkan geram-geram yang terjadi. Pengamplasan ini dilakukan hingga didapat permukaan logam yang sangat halus dengan mesin polishing.
- 4). Pemolesan: pemolesan ini dilakukan untuk menghilangkan sisa-sisa goresan dalam proses pengamplasan dengan menggunakan alumia polis sehingga permukaan sampel menjadi licin dan mengkilap.
- 5). Pastikan benda uji/spesimen dalam keadaan terpasang dengan baik sebelum dilakukan pengujian.
- 6). Uji spesimen sampai di dapat diagonal yang signifikan dengan menekan tombol start pada monitor, lalu lakukan pengukuran d_1 dan d_2 pada ujung diagonal dan atur jarak antara jejak, hal ini dilakukan untuk spesimen yang berikutnya. Perlu diperhatikan bahwa pengujian kekerasan vickers memerlukan persiapan permukaan spesimen yang baik, agar didapat diagonal jejak yang sempurna dengan bentuk bujur sangkar. Selain itu diperlukan ketelitian dalam mengukur diagonal jejak agar menghasilkan nilai kekerasan yang akurat.
- 7). Setelah itu catatlah besarnya angka kekerasan yang didapat dan atur untuk jarak yang berikutnya sampai kedalaman inti, lakukan cara yang sama untuk spesimen berikutnya.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN DATA

Proses pengerasan yang telah dilakukan pada material baja paduan sedang SNCM 447, sesuai dengan diagram alir penelitian yakni dengan perbedaan variabel temperatur, pendinginan lalu proses temper yang dilakukan hingga akhirnya dilakukan proses pengujian. Setelah diperoleh data dari hasil pengujian, selanjutnya dilakukan analisa dan pembahasan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh proses hardening agar dapat merubah sifat-sifat material tersebut terhadap kekerasan vickers, dan struktur mikro.

4.1. Analisa Dan Pembahasan Pengujian

4.1.1 Analisa Komposisi Kimia

Hasil komposisi kimia material baja jenis SNCM 447 dan gear sepeda motor yang sudah diteliti ini adalah sesuai dengan data komposisi kimia yang sudah ada dapat di lihat dari tabel di bawah ini:

Tabel 4.1. Komposisi Kimia Baja SNCM 447 Data Pabrik

C	Cr	Mn	Ni	Mo
0.40 – 0.50	0.60 – 1.00	0.60 – 0.90	1.60 – 2.00	0.15 – 0.35

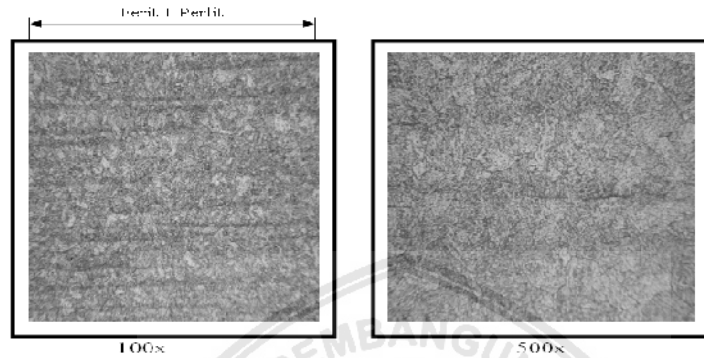
Tabel 4.2. Hasil Pengujian Komposisi Kimia Baja SNCM 447 Bahan Uji

C	Cr	Mn	Ni	Mo
0.41	0.76	0.80	1.68	0.19

Tabel 4.3. Hasil Pengujian Komposisi Kimia Gear Sepedah Motor

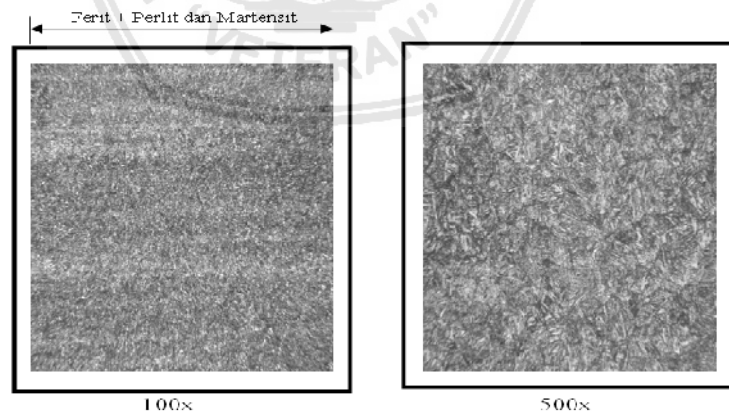
C	Cr	Mn	Ni	Mo
0.44	0.81	0.74	1.62	0.21

4.1.2 Analisa Struktur Mikro



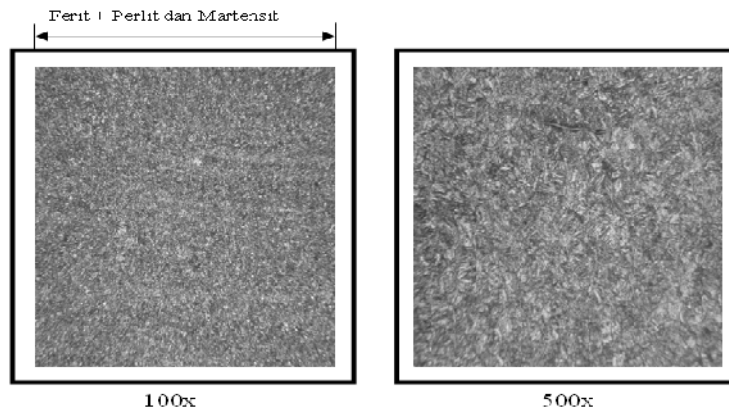
Gambar 4.1 Struktur Mikro Spesimen Awal

Pada **Gambar 4.1** merupakan struktur mikro material asli dari baja SNCM 447 dengan kadar karbon sedang. Dari gambar tersebut dapat dilihat struktur mikro yang ada, yakni ferrite dan perlit. Bentuk dari masing-masing struktur ini terlihat pada perbesaran 100x dan diperjelas lagi pada perbesaran 500x yaitu struktur yang berwarna gelap merupakan bentuk dari perlit. Sedangkan yang berwarna terang adalah struktur ferrite yang mempunyai sifat lunak dan liat. Memiliki ukuran butir yang besar, dan tampak terlihat kasar dan mempunyai nilai rata-rata kekerasan vickers sebesar 216 HV.



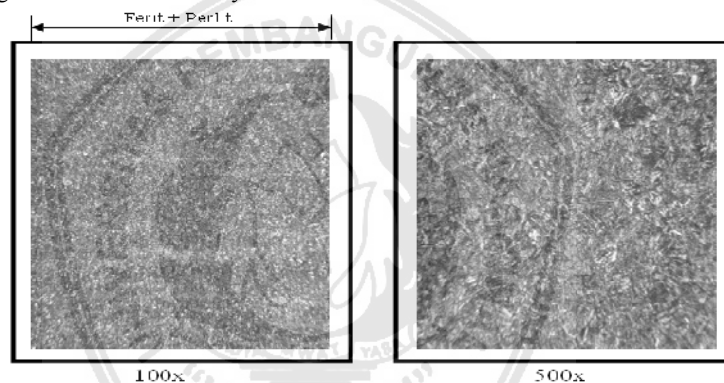
Gambar 4.2 Struktur Mikro Pada Temperatur 900°C, Dengan Pendinginan Menggunakan Air.

Pada **gambar 4.2** terlihat daerah yang putih adalah ferrite, sedangkan yang berwarna gelap adalah perlit dan berwarna hitam menyerupai jarum adalah martensit. Hal ini menyebabkan nilai rata-rata kekerasannya naik sebesar 658 HV daripada nilai rata-rata kekerasan pada material asli karena proses pendinginan air yang cepat sehingga struktur yang terbentuk martensit menyebar ke permukaan mikro juga struktur perlit yang terbentuk sangat sedikit dan ferrite juga mempengaruhi nilai kekerasannya karena ferrite bersifat lebih lunak.



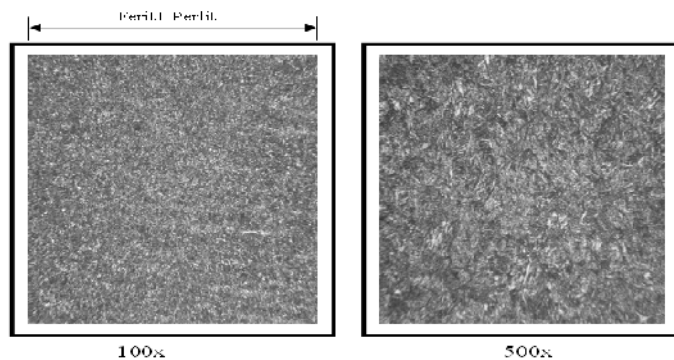
Gambar 4.3 Struktur Mikro Pada Temperatur 900°C, Pendinginan Menggunakan Oli.

Pada **gambar 4.3** perbesaran 500x terlihat daerah yang putih adalah ferit dan berwarna gelap adalah perlit sedangkan berwarna hitam menyerupai jarum disebut martensit. Hal ini menyebabkan nilai rata-rata kekerasan vickersnya naik sebesar 504 HV daripada nilai rata-rata kekerasan pada material asli karena proses pendinginan oli yang cepat sehingga struktur yang terbentuk martensit tetapi tidak sekasar pada pendinginan air sehingga kekerasannya lebih rendah dari pada air juga struktur perlit halus yang terbentuk sangat banyak dan ferit juga yang mempengaruhi nilai kekerasannya karena ferit bersifat lebih lunak.



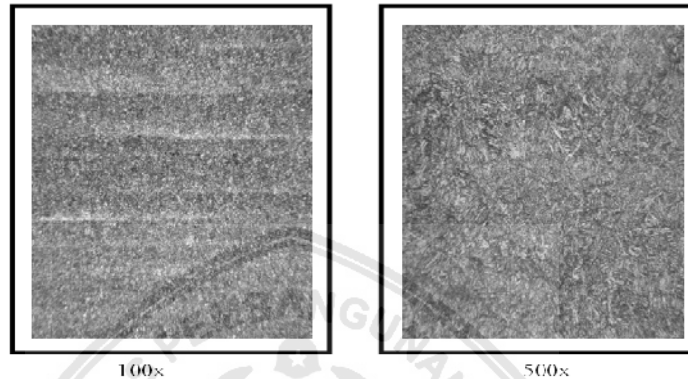
Gambar 4.4 Struktur Mikro Spesimen Hardening Pada Temperatur 900°C, Pendinginan Menggunakan Air Dilanjutkan Proses Temper 300°C.

Pada **gambar 4.4** merupakan bentuk dari struktur mikro spesimen dengan temperatur 900°C kemudian di quenching dengan media air dan ditemper pada temperatur 300°C selama 1 jam memperlihatkan struktur martensit yang lebih banyak sehingga menghasilkan kekerasan yang cukup tinggi. Struktur yang terbentuk ferrite yang memiliki sifat lunak, austenit dan mulai terlihat struktur martensit temper yang berwarna abu-abu terang dan mempunyai nilai rata-rata kekerasan vickers sebesar 637 HV.



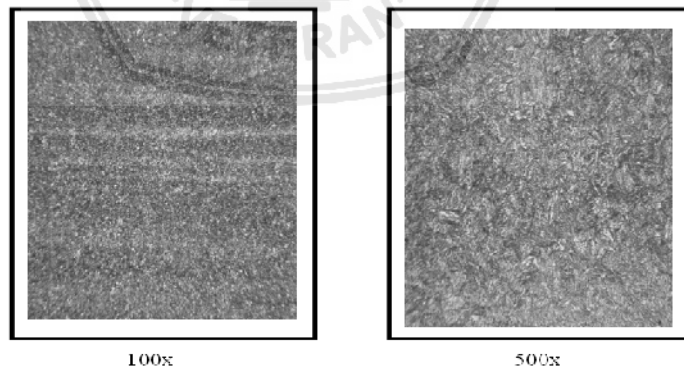
Gambar 4.5 Struktur Mikro Spesimen Hardening Pada Temperatur 900°C, Pendinginan Menggunakan Oli Dilanjutkan Proses Temper 300°C.

Pada **Gambar 4.5** merupakan bentuk dari struktur mikro spesimen dengan temperatur 900°C kemudian di quenching dengan media oli sae 40 dan ditemper pada temperatur 300°C selama 1 jam. Memerlihatkan struktur martensit yang lebih banyak sehingga menghasilkan kekerasan yang cukup tinggi dimana dari temperatur 900°C lalu diquenching dan ditemper terjadi transformasi dari austenit menjadi martensit temper, dan mempunyai nilai rata-rata kekerasan vickers sebesar 548 HV walaupun belum mencapai kekerasan maksimum karena masih terdapat karbida maka berarti masih belum seluruh karbon larut dalam austenit. Pada umumnya semua unsur paduan akan menyebabkan terhambatnya dekomposisi martensit bila dipanaskan kembali. Jadi adanya unsur paduan dalam baja selain mempermudah pembentukan martensit temper juga akan menghambat terjadinya kekerasan akibat pemanasan kembali (tempering). Terlihat pada gambar diatas martensit temper yang terbentuk berwarna abu-abu muda dan memiliki ukuran butir yang halus.



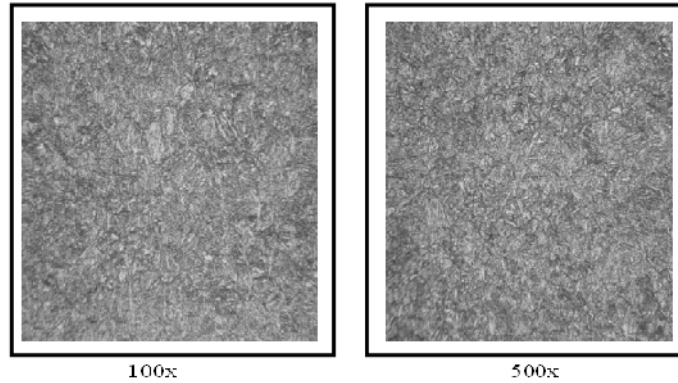
Gambar 4.6 Struktur Mikro Spesimen Hardening Pada Temperatur 900°C, Pendinginan Menggunakan Air Dilanjutkan Proses Temper 400°C.

Pada **gambar 4.6** merupakan bentuk dari struktur mikro spesimen dengan temperatur 900°C kemudian di quenching dengan media air dan ditemper pada temperatur 400°C selama 30 menit. Struktur yang terbentuk ferit, martensit temper dan austenit sisa berwarna abu-abu, mengalami penurunan kekerasan sebesar 530 HV dikarenakan oleh dekomposisi dari austenit yang tertinggal.



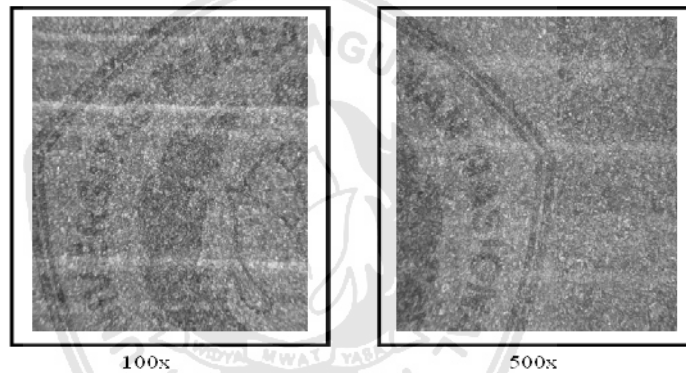
Gambar 4.7 Struktur Mikro Spesimen Hardening Pada Temperatur 900°C, Pendinginan Menggunakan Oli Dilanjutkan Proses Temper 400°C.

Pada **gambar 4.7** merupakan bentuk dari struktur mikro spesimen dengan temperatur 900°C kemudian di quenching dengan media oli sae 40 dan ditemper pada temperatur 400°C selama 1 jam. Struktur yang terbentuk ferit dan martensit temper dan austenit sisa berwarna abu-abu, mengalami penurunan kekerasan sebesar 486 HV dikarenakan oleh dekomposisi dari austenit yang tertinggal.



Gambar 4.8 Struktur Mikro Spesimen Hardening Pada Temperatur 900°C, Pendinginan Menggunakan Air Dilanjutkan Proses Temper 500°C.

pada **Gambar 4.8** merupakan bentuk dari struktur mikro spesimen dengan temperatur 900°C kemudian di quenching dengan media air dan ditemper pada temperatur 500°C selama 1 jam. Struktur yang terbentuk ferit, martensit, mengalami penurunan kekerasan akibat temperatur pemanasan dan temper yang lebih tinggi yang akan menimbulkan kegetasan kekerasannya sebesar 429 HV. Dimana martensite temper yang terbentuk bertransformasi menjadi perlit.



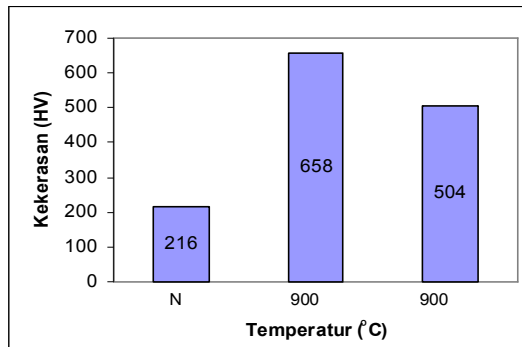
Gambar 4.9 Struktur Mikro Spesimen Hardening Pada Temperatur 900°C, Pendinginan Menggunakan Oli Dilanjutkan Proses Temper 500°C.

Pada **Gambar 4.9** merupakan bentuk dari struktur mikro spesimen dengan temperatur 900°C kemudian di quenching dengan media oli sae 40 dan ditemper pada temperatur 500°C selama 1 jam. Struktur yang terbentuk ferit, martensit temper dan austenit sisa berwarna putih, mengalami penurunan kekerasan sebesar 403 HV akibat temperatur pemanasan dan temper yang lebih tinggi yang akan menimbulkan kegetasan.

4.1.3 Analisa Kekerasan Vickers

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Kekerasan

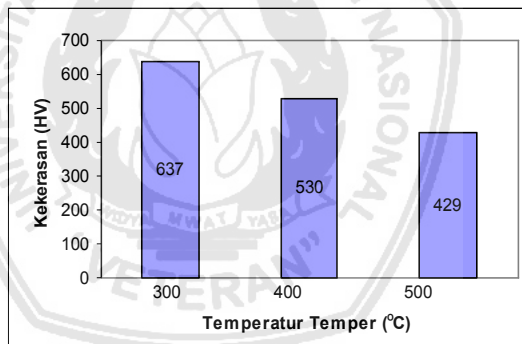
Nama Spesimen	Temperatur Pemanasan (°C)	Temperatur Tempering (°C)	DPII (Angka kekerasan piramida intan)					
			Hv					Rata-rata
			1	2	3	4	5	
N	0	.	204	208	220	223	225	216
A1	900	.	550	585	665	712	781	658
B1	900	.	473	447	487	501	613	504
A2	900	300	594	613	634	655	689	637
B2	900	300	603	566	566	501	508	548
A3	900	400	509	525	533	525	558	530
B3	900	400	480	486	486	486	494	486
A4	900	500	429	418	435	441	423	429
B4	900	500	412	412	412	401	381	403



N	Spesimen awal
900°C	Pendinginan air
900°C	Pendinginan oli

Gambar 4.10 Grafik Kekerasan Vickers Antara Material Asli Dengan Temperatur 900°C Pada Pendinginan Oli Dan Air.

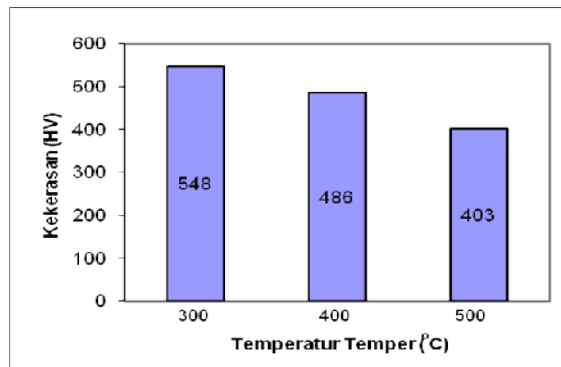
Dari **Gambar Grafik 4.1** dapat dilihat yaitu temperatur 900°C dengan media pendingin air dan oli tingkat kekerasan lebih tinggi yaitu sebesar 658 HV dan 504 HV dari material asli sebesar 216 HV. Dikarena pendinginan air membutuhkan waktu yang cukup cepat untuk mencapai temperatur kamar juga struktur yang terbentuk adalah martensit sehingga mempunyai nilai kekerasan lebih dari pada pendinginan oli dan unsur pearlite halus mengakibatkan nilai kekerasan akan lebih rendah karena sifatnya yang lunak dan liat.



300°C	Pendinginan air
400°C	Pendinginan air
500°C	Pendinginan air

Gambar 4.11 Grafik Kekerasan Vickers Pada Temperatur 900°C Dengan Pendinginan Air Pada Proses Tempering 300°C, 400°C Dan 500°C.

Dari **Gambar Grafik 4.2** dapat dilihat yaitu pada temperatur 900°C, dengan proses quenching pada media air dan ditemper pada temperatur 300°C diperoleh nilai rata-rata kekerasan maksimum sebesar 637 HV. Hal ini disebabkan terjadinya transformasi dari austenite menjadi martensite temper, dimana martensite temper memiliki sifat kekerasan yang cukup tinggi sehingga didapat suatu kombinasi antara kekuatan tinggi, keuletan dan ketangguhannya pada baja SNCM 447. Dibandingkan pada temper dengan suhu 400°C, dan 500°C mengalami penurunan nilai kekerasan vickers sebesar 530 HV dan 429 HV.



300°C	Pendinginan oli
400°C	Pendinginan oli
500°C	Pendinginan oli

Gambar 4.12 Grafik Kekerasan Vickers Pada Temperatur 900°C Dengan Pendinginan Oli Pada Proses Tempering 300°C, 400°C Dan 500°C.

Dari grafik pengujian diatas dapat dilihat yaitu pada temperatur 900°C, dengan proses quenching media oli dan ditemper pada temperatur 300°C diperoleh nilai rata-rata kekerasan yang cukup tinggi sebesar 548 HV, karena terjadinya transformasi dari austenite menjadi martensite temper, dimana martensite temper memiliki sifat kekerasan yang cukup tinggi sehingga didapat suatu kombinasi antara kekuatan tinggi, keuletan dan ketangguhannya pada baja SNCM 447 serta didapat ukuran butir yang merata. Sedangkan pada temperatur 400°C diperoleh nilai rata-rata kekerasan sebesar 486 HV, dan pada temperatur 500°C diperoleh nilai rata-rata kekerasan sebesar 403 HV mengalami penurunan kekerasan. Hal ini disebabkan terjadinya perubahan struktur mikro dimana martensite bertransformasi menjadi pearlite, akibatnya terjadi penurunan kekerasan dan ketangguhan sehingga nilai kekerasannya menurun.

V. KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa yang diperoleh dari hasil penelitian proses hardening yang dilakukan pada baja paduan karbon sedang SNCM 447, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai rata-rata kekerasan vickers tertinggi terjadi pada temperatur 900°C dengan pendinginan air sebesar 658 HV dimana struktur yang terbentuk martensit, sedangkan nilai rata-rata kekerasan vickers terendah adalah pada specimen awal sebesar 216 HV dimana struktur yang terbentuk adalah Ferrit dan Perlit.
2. Pada rata-rata nilai kekerasan vickers tersebut juga bisa disimpulkan bahwa semakin tinggi temperature temper maka baja semakin lunak dikarenakan struktur martemper yang lunak dan tangguh banyak terdapat pada temperature temper yang tinggi.
3. Struktur mikro yang terbentuk dari media pendinginan air terlihat lebih kasar sedangkan pada media pendinginan oli struktur mikro yang terbentuk lebih halus. Struktur yang terbentuk pada media pendinginan air dan oli hampir sama hanya pada pendinginan air lebih banyak struktur austenit sisa yang tidak sempat berubah menjadi struktur martensit.
4. Hasilnya masih bervariasi, dikarenakan besaran temperatur dan waktu yang di gunakan berubah.

DAFTAR PUSTAKA

1. ASM Hand Book, *"Materials Characterization"*, Volume x, 1996, The Materials Information Society.
2. Adnyana, D.N Dr. Ir. *"Logam Dan Paduan"*, 1989, Jakarta.
3. Eugene A, Avallone, And Baumeister, Theodore, *"Standard Handbook For Mechanical Engineers"*, Tenth Edition, 1916, Mcgraw Hill, New York.
4. Lawrence H, Van Vlack, Alih Bahasa Sriati Djaprie, *"Ilmu Dan Teknologi Bahan"*, 1992, Erlangga, Jakarta.
5. Sitompul, Tunggul M Ir. SE. MSc. MM. *"perlakuan panas pada logam"*, 1998, jakarta.
6. Surdia, Tata Prof. Ir. MS. Met.E. Dan Saito, Shinroku. Prof. Dr, *"Pengetahuan Bahan Teknik"*, edisi iv, 1999, Pradnya Paramita, Jakarta.