

ANALISIS SIFAT MEKANIS BAJA DUA FASA AKIBAT VARIASI TEMPERATUR AUSTENISASI

Sumiyanto
Rudi Saputra

Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri - Institut Sains dan Teknologi Nasional
Jl. Moh Kahfi II, Jagakarsa, Jakarta 12640, Indonesia
E-mail: sumiyantoistn@yahoo.com

Abstract

Steel is called steel carbon low. Steel is use unsure C 0,186%, Si 0,025%, Mn 0,525%, Ni 0,046% and Cr 0,19%. Structure this very low because be element ferrite and pearlit, is caused steel this heat treatment in order can mechanical with cold.

Dual phase steel is possess connection in strength-strength more for using steel carbon low, because is already cold fast with from temperature aneling with consist of alloy ferrite, pearlit and martensite. Steel is have structure micro ferrite details soft with already mixed by marteniste soft and give dual phase steel.

Research is get inspect arrive as which influence heat treatment about nature mechanical dual phase steel is composition sure.

Keywords: *aneling, heat treatment*

PENDAHULUAN

Baja karbon merupakan salah satu jenis baja yang dapat diubah sifat mekanisnya dengan cara perlakuan panas (*Heat Treatment*). Perlakuan panas adalah suatu proses pemanasan dan pendinginan logam dalam keadaan padat untuk mengubah sifat-sifat mekanis logam tersebut. Melalui perlakuan panas yang tepat, tegangan dalam dapat dihilangkan, besar butiran dapat diperbesar atau diperkecil, ketangguhan dapat ditingkatkan atau dapat dihasilkan suatu permukaan yang keras pada daerah inti yang ulet.

Besi dan baja mempunyai kandungan unsur utama yang sama yaitu Fe, hanya kadar karbon yang membedakan besi dan baja, penggunaan besi dan baja dewasa ini sangat luas mulai dari peralatan yang sepele seperti jarum, peniti sampai dengan alat-alat dan mesin berat. Dalam pemakaian sering mengalami hal-hal yang tidak diinginkan seperti retak yang akan menyebabkan umur pemakaian komponen tersebut relatif pendek. Untuk mengatasi hal tersebut maka dilakukan proses perlakuan panas. Perlakuan panas pada dasarnya terdiri dari beberapa tahapan, dimulai dari pemanasan sampai temperatur dan waktu penahanan tertentu beberapa saat dilanjutkan dengan pendinginan dengan kecepatan tertentu.

STUDI PUSTAKA

Baja fasa ganda ini memiliki hubungan antara kekuatan-keuletan yang lebih baik untuk penggunaan baja karbon rendah. Baja karbon rendah yang telah didinginkan cepat dari temperatur annil, akan terdiri dari campuran ferit, perlit dan martensit. Baja jenis ini mempunyai struktur mikro ferit berbutir halus yang telah tercampur dengan

martensit halus dan diberi baja fasa ganda. Aplikasi peningkatan sifat mekanis nampak jelas dari kurva tegangan – regangan. Baja fasa ganda memiliki diskontinuitas luluh akan tetapi mengalami pengerasan pengerjaan yang cepat, sehingga kekuatannya setara dengan baja HSLA – karena bila keduanya telah mengalami deformasi perbedaan baja ini akan terlihat dari struktur ferit-perlit, laju pengerasan pengerjaan baja fasa ganda akan meningkat kekuatannya.

Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Sifat Mekanis Baja Fasa Ganda

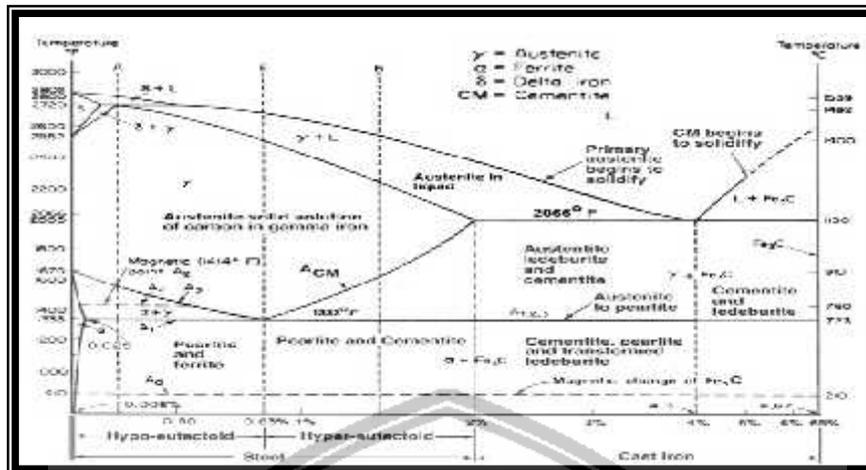
Karena fasa yang keras akan dapat mengurangi keuletan (*Ductility*) dari logam dengan ferrit sebagai matriks. Penurunan keuletan tersebut sebanding dengan besar fraksi volume martensit, namun tidak sebanding dengan besar fraksi volume martensit, karena kehilangan keuletan menjadi minimum. Fraksi volume martensit pada prinsipnya didasarkan atas asumsi bahwa suatu daerah tertentu dapat mewakili volume. Jadi fraksi volume martensit adalah jumlah titik yang memotong grid dibagi total kotak pada grid dikalikan 100 % Kandungan Karbon Dan Elemen Paduan; Mangan dan karbon adalah elemen paduan yang berguna untuk menstabilkan austenit dan meningkat sifat mampu keras. Sedangkan untuk menekan pembentukan perlit selama pendinginan dan meningkatkan kecenderungan pembentukan martensit dapat dengan menambahkan Si, Mn, Cr, V, dan Mo

Diagram Kesetimbangan Besi – Karbon (Fe-Fe₃C)

Diagram kesetimbangan besi-karbon merupakan diagram yang menjadi parameter untuk mengetahui segala jenis fasa yang terjadi pada baja, serta untuk mengetahui faktor – faktor apa saja yang terjadi pada

paduan baja serta segala perlakuan perlakuannya. Pada diagram kesetimbangan besi-karbon seperti ditunjukkan pada gambar 2.2 dapat dilihat daerah fasa yang luas pada proses larutan karbon hingga mencapai 2 % yang bekerja pada temperatur 1147° C dan merupakan daerah besi

Gamma (γ) atau biasa disebut daerah austenit. Pada kondisi ini biasanya austenit bersifat lunak, mudah dibentuk, stabil dan memiliki struktur kristal *Face Centered Cubic* (FCC)



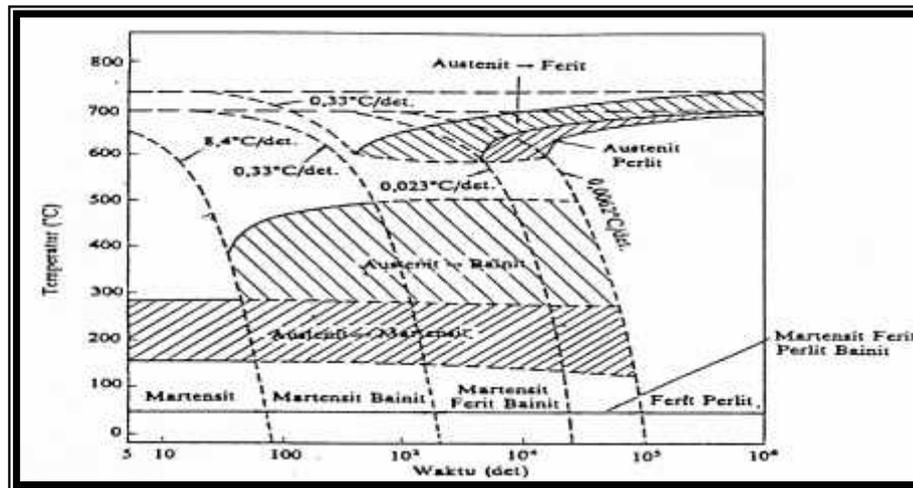
Gambar 1. Diagram Fasa Fe₃C

Besi murni pada suhu dibawah 910° C mempunyai struktur kristal *Body Centered Cubic* (BCC). Besi BCC dapat melarutkan karbon dalam jumlah yang sangat rendah yaitu 0,02 % maksimum pada suhu 723° C. Larutan pada intensitas dari karbon di dalam besi ini juga disebut juga besi Alpha (α) atau biasa disebut fasa Ferrite. Pada suhu diantara 910° C sampai 1390° C, atom-atom besi menyusun diri menjadi kristal FCC atau besi Gamma (γ) atau fasa austenit. Besi Gamma ini dapat melarutkan karbon dalam jumlah yang besar yaitu sekitar 2,06 % maksimum yang bekerja pada suhu sekitar 1147° C. Penambahan karbon ke dalam besi FCC ditransformasikan dalam struktur BCC dari 910° C menjadi 723° C dan suhu cair 1534° C, besi Gamma diubah menjadi susunan BCC kembali yang disebut besi delta (δ). Diagram fasa Fe₃C merupakan dasar-dasar baja karbon sampai pada kadar 1,7%C. Namun diatas 1,7%C mempunyai sistem besi karbon sudah termasuk dalam kategori daerah besi tuang.

★ **Diagram TTT dan CCT**

Untuk menentukan laju reaksi perubahan fasa yang terjadi dapat diperoleh dari diagram TTT (*Time Temperature Transformation*). Diagram TTT untuk baja karbon dengan C kurang dari 0,8% (*hipoeutectoid*) ditunjukkan dalam gambar 2.6, sedangkan diagram TTT untuk baja C sama dengan 0,8% (*eutectoid*) Dari gambar diatas menunjukkan bentuk hidung (*nose*) sebagai batasan waktu minimum dimana sebelum waktu tersebut bertransformasi austenit ke perlit tidak akan terjadi. Posisi hidung dari diagram TTT dapat bergeser menurut kadar karbon. Posisi hidung bergeser berarti baja karbon itu makin mudah untuk membentuk bainit/martensit atau makin mudah untuk dikeraskan. Sedangkan M_s merupakan temperatur awal mulai terbentuknya fasa martensit dan M_f merupakan temperatur akhir martensit masih bisa terbentuk.

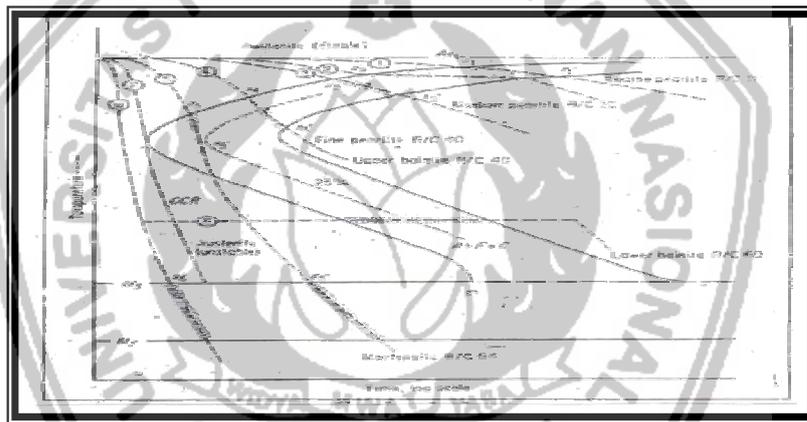
Untuk mendapatkan hubungan antara kecepatan pendinginan dan struktur mikro (fasa) yang terbentuk biasanya dilakukan dengan menggabungkan diagram kecepatan pendinginan kedalam diagram TTT yang dikenal dengan diagram CCT (*Continuous Cooling Transformation*)



Gambar 2. Diagram CCT (*Continuous Cooling Transformation*)

Pada contoh gambar diagram menjelaskan bahwa bila kecepatan pendinginan naik berarti bahwa waktu pendinginan dari suhu austenit turun, struktur akhir yang terjadi berubah dari campuran ferit-perlit ke campuran

ferit-perlit-bainit-martensit, ferit-bainit-martensit, kemudian bainit-martensit dan akhirnya pada kecepatan yang tinggi sekali struktur yang terjadi adalah martensit



Gambar 3. Kurva Pendinginan pada Diagram TTT

Dari diagram pendinginan diatas dapat dilihat bahwa dengan pendinginan cepat (kurva 6) akan menghasilkan struktur martensite karena garis pendinginan lebih cepat daripada kurva 7 yang merupakan laju pendinginan kritis (*critical cooling rate*) yang nantinya akan tetap terbentuk fase austenite (*unstable*). Sedangkan pada kurva 6 lebih cepat daripada kurva 7, sehingga terbentuk struktur martensite yang keras, tetapi bersifat rapuh karena tegangan dalam yang besar. Jadi dapat disimpulkan bahwa dengan proses hardening pada baja karbon sedang akan meningkatkan kekerasannya. Dengan meningkatkan kekerasan, maka efeknya terhadap kekuatan adalah sebagai berikut: 1). Kekuatan impact (*impact strength*) akan turun karena dengan meningkatnya kekerasan, maka tegangan dalamnya akan meningkat. Karena pada pengujian impact beban yang bekerja adalah beban geser dalam satu arah, maka tegangan dalam akan mengurangi kekuatan impact; 2).

Kekuatan tarik (*tensile strength*) akan meningkat. Hal ini disebabkan karena pada pengujian tarik beban yang bekerja adalah secara aksial yang berlawanan dengan arah dari tegangan dalam, sehingga dengan naiknya kekerasan akan meningkatkan kekuatan tarik dari suatu materia

SIFAT-SIFAT MEKANIS

Berikut ini akan diberikan penjelasan tentang dasar-dasar dari struktur kristal, struktur mikro, faktor-faktor yang mempengaruhi struktur logam dan hubungannya dengan beberapa sifat mekanis yang penting.

Struktur Mikro

Struktur mikro baja fasa ganda terdiri dari martensit yang menyebar secara berkelompok pada daerah matriks ferit halus berbentuk equixed. Kandungan martensit merupakan factor yang penting untuk mengatur sifat

mekanik dari baja ini. Kekuatan baja fasa ganda ini mempengaruhi oleh adanya martensit sedangkan keuletan ditentukan oleh matriks ferit idealnya ferit merupakan butir yang halus dan jika dibutuhkan dapat ditingkatkan kekuatannya melalui penambahan paduan yang tidak mempengaruhi sifat ulet.

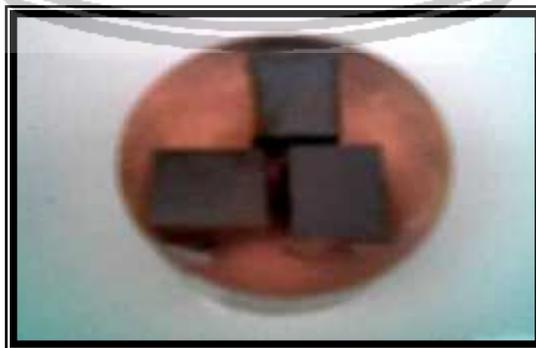
Struktur fasa ganda mudah dihasilkan melalui perlakuan panas interkritis dimana akan terbentuk sekumpulan kecil austenit ferit pada temperatur interkritis dan dilanjutkan dengan pendinginan pada kecepatan yang dapat mempromosikan terbentuknya martensit halus dan menyebar yang dibutuhkan untuk mendapatkan sifat mekanik tertentu yaitu kekuatan tinggi dan mampu bentuk yang baik. Kandungan karbon dalam martensit relative rendah (0,3-0,6) dan ferit dikarakteristikan oleh kerapatan dislokasi yang tinggi pada antara muka ferit-martensit yang menyebabkan baja ini mempunyai sifat luluh kontinu

Kekerasan

Pada umumnya kekerasan menyatakan ketahanan material terhadap deformasi plastis atau permanen. Pada umumnya ada tiga cara menentukan kekerasan material yaitu: 1). Cara goresan, Cara ini sering dilakukan dengan menggoreskan bahan logam yang lebih keras kepada bahan yang lebih lunak. Mohs telah membuat skala yang terdiri dari 1 s/d 10 standard material yang disusun menurut kemampuan dari bahan yang terkeras, yaitu intan dengan skala 10 sampai bahan yang ter lunak yaitu talk dengan angka 1. logam-logam umumnya ada pada skala 4 sampai dengan 8, 2). Cara dinamik, Cara ini adalah dengan cara menjatuhkan bola baja pada permukaan logam, tinggi pantulan logam menyatukan energi benturan sebagai kekerasan logam, 3). Cara Penekanan, Pengukuran kekerasan dengan cara ini dilakukan dengan menggunakan indentor yang ditekan pada benda uji dengan beban tertentu. Penekanan tersebut akan menyebabkan logam mengalami deformasi plastis. Apabila penekanan oleh indentor diteruskan,

Pengujian Sifat Mekanis

Pengujian Stuktur Mikro (*Metallografi*)



Pengujian *metallografi* dilakukan untuk mengetahui dan mempelajari bentuk struktur mikro dari pada logam, termasuk besaran butiran dan arah struktur. Struktur mikro tersebut sangat menentukan sifat mekanis logam

deformasi pada benda uji akan terus berlangsung. Kemampuan benda uji menahan tekanan indentor inilah yang diartikan sebagai kekerasan dari material, beban yang diberikan dalam uji kekerasan adalah konstan. Oleh karena itu nilai kekerasan dari benda uji akan tergantung pada luas permukaan bekas benda uji yang mengalami penekanan. Makin luas bekas penekanan tsb maka makin rendah sifat kekerasan material tersebut atau dengan kata lain material tersebut bersifat lunak.

METODOLOGI PENELITIAN DAN DATA

Pada penelitian ini benda uji yang dipilih adalah baja ST- 41. Bahan ini merupakan baja karbon rendah dengan paduan Chromium (Cr) = 0,019 dan kadar karbon (C) = 0,186 seperti terlihat pada tabel 3.1, hasil komposisi kimia menunjukkan bahwa baja ST- 41 ini yang sebagian besar dipengaruhi oleh unsur-unsur paduannya dan dapat digunakan untuk bahan benda uji penelitian karena memenuhi standar bahan baja karbon rendah dengan tipe ST-41

Persiapan Material Benda Uji

Untuk mendapatkan kondisi pengujian dan hasil terbaik, maka dilakukan persiapan-persiapan percobaan dan pengujian di laboratorium. Pada proses ini akan diuraikan mengenai persiapan bahan (*spesimen*), diantaranya beberapa percobaan perlakuan panas (*Heat Treatment*), pengujian kekerasan mikro, dan struktur mikro.

Bahan yang digunakan dalam percobaan ini adalah material baja karbon rendah dengan tipe St-41 berbentuk kotak berdiameter 2 meter dan dengan panjang 2 meter. Untuk menyesuaikan dengan mesin-mesin penguji dan alat yang digunakan dalam percobaan, batang baja bulat tersebut dipotong-potong kemudian dibuat batang spesimen. Kemudian batang spesimen dikelompokkan sesuai dengan proses perlakuan

yang di uji tersebut. Metode pengujian ini memerlukan persiapan yang cukup teliti dan cermat, agar dapat diperoleh hasil pengujian metallografi yang baik. Oleh

karena itu, diperlukan beberapa tahap dalam persiapannya, yaitu:

Pemotongan Benda Uji (*Sample*)

Agar dapat mengetahui bentuk struktur pada benda uji dengan menggunakan mikroskop optik dengan baik, maka benda uji harus dipotong – potong sesuai dengan alat uji metallografi dengan arah memanjang

Pembuatan Pemegang (*Mounting*)

Setelah benda uji dipotong kemudian di mounting yang bertujuan untuk memudahkan pegeoperasian selama proses preparasi (*grinding* dan *polishing*)

Pengamplasan (*Grinding*)

Setelah benda uji di mounting, kemudian dilakukan pengamplasan dengan menggunakan amplas dari 180, 240, 400, 600, 800, 1000 dan 1200 dan 1500 atau berurutan dari amplas kasar sampai amplas yang halus. Kertas amplas tersebut dari bahan *Aluminium Oxide* (*Water Proof*). Dan di dalam proses pengamplasan (*grinding*) harus selalu dialiri air bersih secara terus menerus dengan tujuan untuk menghindari timbulnya panas dipermukaan benda uji yang mengalami kontak langsung dengan kertas amplas dan juga bertujuan untuk menghilangkan partikel-partikel bahan abrasif yang menempel pada permukaan benda uji

Pemolesan (*Polishing*)

Media pemolesan (*Polishing*) yang sering dimanfaatkan adalah kain poles bludru dan mesin poles. Kain brudu ditempelkan pada piringan yang berputar pada mesin poles, kemudian kain diberi pasta alumina berupa partikel abrasif yang sangat halus. Tujuan dari proses *polishing* ini adalah untuk mendapatkan permukaan sample yang memenuhi syarat untuk diperiksa dibawah mikroskop, antara lain: 1). Bebas dari goresan akibat proses *grinding* (sehingga permukaan benda uji seperti cermin atau kaca), 2). Bebas dari flek-flek atau cacat lain yang ditimbulkan selama proses *grinding*, 3). Tidak ada perubahan logam, khususnya pada permukaan logam preparasi yang akan di uji.

Etsa

Untuk melihat fasa-fasa yang terbentuk dalam benda uji pada saat pengetsaan dengan menggunakan larutan kimia. Benda uji yang telah dicuci bersih dengan air dan alkohol kemudian dikeringkan dengan pengering selanjutnya benda uji di etsa dengan maksud untuk membuat karakteristik-karakteristik struktur bahan agar dapat terlihat.

Untuk mengidentifikasi dari fasa-fasa yang terdapat didalam logam sangat penting untuk mengetahui jenis fasa dan juga dapat memperkirakan sifat mekanis dari baja tersebut atau dapat mengetahui daya tahan korosi daripada baja tersebut dan juga dapat mendeteksi berapa banyak kandungan fasa tertentu yang terdapat pada baja tersebut setelah melalui perlakuan panas. Larutan etsa yang dilakukan dalam pengujian ini adalah larutan nital 2 %.

Berikut ini ada beberapa dasar terjadinya perubahan struktur mikro selama proses etsa hal tersebut antara lain, sebagai berikut: 1). Perbedaan warna akibat distribusi struktur mikro, 2). Jenis kekasaran yang berbeda, akibat perbedaan orientasi kisi – kisi kristalnya, 3). Terbentuknya elemen lokal secara elektro kimia pada perbatasan kristal- kristal sebelum media etsa bereaksi dengan permukaan kristal tersebut.

Pada pengujian ini akan didapat mikrosrtuktur masing- masing sample, dimana dilakukan dengan dua tahapan yaitu sebelum proses perlakuan panas dan sesudah perlakuan panas.

Analisa struktur mikro ini dilakukan dengan cara meletakkan pada meja pemegang yang telah diberikan bahan plastis, setelah itu contoh bersama meja pemegang diletakan pada *hand press* untuk memperoleh permukaan sample yang rata, baru kemudian sample siap dianalisa dibawah mikroskop dan secara otomatis terbentuknya bayangan sturktur, berhasil tidaknya dalam mengidentifikasi dan menganalisa struktur mikro sample logam ditentukan oleh pengetahuan dan pengalaman mengenai struktur berbagai logam dan paduannya.

Pemeriksaan Struktur Mikro

Benda uji yang akan difoto harus benar-benar telah menampilkan struktur mikro yang jelas. Pertama diatur pembesaran yang diinginkan lalu diatur pembesaran okuler dan obyektifnya. Dalam pembesaran ada faktor kelipatannya, adalah pembesaran antara pembesaran okuler, obyektif dan kelipatannya sedangkan pembesaran dalam foto adalah perkalian antara pembesaran dari film ke foto dikalikan pembesaran dalam film. Pembesaran mikroskop dalam penelitian ini adalah 100 dan 500 kali.

Pengujian Kekerasan

Pengujian ini bertujuan untuk dapat mengetahui nilai kekerasan dari material yang diuji, yaitu sebelum dan sesudah proses perlakuan panas. Pengujian kekerasan adalah pengujian mekanis yang bertujuan untuk mendapatkan nilai kekerasan suatu material akibat proses perlakuan panas dan metode pengujian kekerasan mikro yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan menggunakan metode pengujian kekerasan Vickers. Pengujian kekerasan ini menggunakan indenter yang ditekan pada benda uji dengan besar beban tertentu. Penekanan tersebut akan menyebabkan logam mengalami deformasi plastis. Deformasi ini akan terus berlangsung dan kemampuan dari benda uji untuk menahan tekanan dari indenter inilah yang dimaksud dengan kekerasan material.

Beban yang diberikan pada benda uji ini haruslah konstan, oleh sebab itu nilai kekerasan dari benda uji akan tergantung pada luas permukaan benda uji yang mengalami penekanan. Apabila makin luas daerah penekanan maka makin rendah sifat kekerasan dari benda uji tersebut. Pengujian kekerasan ini dilakukan dengan dua cara yaitu sebelum perlakuan panas dan sesudah perlakuan panas.

Daerah Penetrasi (Penekanan)

Daerah penetrasi diambil secara vertikal, sebanyak tiga titik untuk masing – masing material benda uji.

Parameter Dasar Uji Kekerasan Vickers.

Prinsip pengujian dengan metode vickers adalah sama dengan metode brinell, perbedaan dari kedua metode ini

$$HV = \frac{2 P \sin \frac{\alpha}{2}}{L^2} \quad \text{atau} \quad HV = \frac{1,854 P}{L^2}$$

Dimana

HVN = nilai kekerasan vickares (Hardness Vickers Number)

P = beban penekanan (1 s/d 120 kg)

L = panjang diagonal rata-rata = $L = \frac{L_1 + L_2}{2}$

= sudut antara permukaan intan yang berlawanan dengan sudut 136 °

Hal – hal yang perlu diperhatikan pada waktu pengujian adalah: 1). Permukaan benda uji harus dibuat sehalus dan serata mungkin, agar pengukuran jarak diagonal bekas penekanan menjadi mudah, 2). Tebal minimum benda uji harus 1,5 x jarak diagonal bekas penekanan (d), 3). Jarak penekanan dari tepi benda uji dan jarak antara tiap titik pengukuran minimum 3x jarak diagonal bekas penekanan (d), 4). Pada waktu mengukur diagonal bekas penekanan (d), harus menggunakan mikroskop yang pembesarannya sedemikian rupa hingga jarak sebesar 2µm dapat diukur dengan jelas.

terletak pada indentornya, indentor vickers menggunakan material intan (Diamond) yang berbentuk *pyramid* dengan sudut puncak 136° C Dimana nilai kekerasan vickers ditentukan oleh hasil bagi gaya p (N) dengan luas permukaan bekas penekanan A (mm²), jadi nilai dari kekerasan vickers adalah :

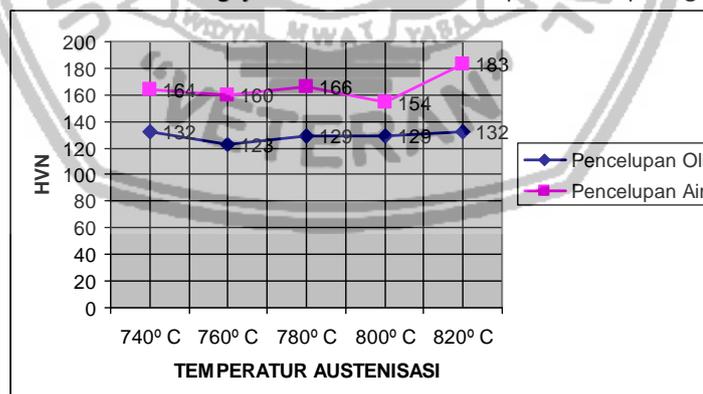
Daerah Pemakaian System Vickers

Metode pengujian system Vickers dapat digunakan untuk mengatur kekerasan material yang sangat keras, bekas penekanan yang dihasilkan akan sangat kecil dan pengukuran diagonal dalam satuan µm, maka benda uji haruslah dibuat sehalus dan serata mungkin.

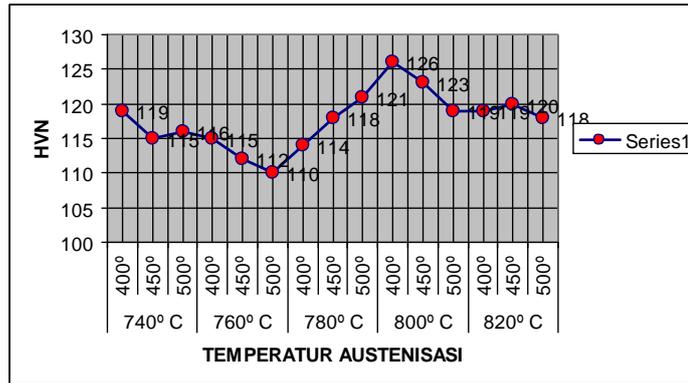
Metode ini juga dapat digunakan untuk mengukur kekerasan yang tipis dan keras. Untuk itu gaya pada penekan harus dipilih sedemikian rupa kecilnya, sehingga persyaratan bahwa tebal lapisan atay benda uji bisa minimum 1,5 x dari panjang diagonal bekas penekan.

ANALISIS DAN PENGOLAHAN DATA

Tabel 1. Hasil Pengujian kekerasan sebelum proses tempering.



Tabel 2. Hasil Pengujian kekerasan sesudah proses tempering.



Hasil Pengujian Metalografi



Struktur Mikro Material Dasar



Suhu tempering 400°C



Suhu tempering 450°C



Suhu tempering 500°C

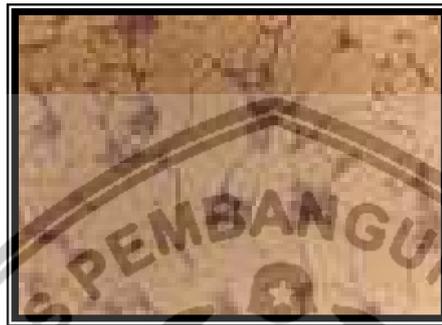
Gambar 4. Foto struktur mikro dengan suhu heat treatment 740°C



Suhu tempering 400°C



Suhu tempering 450°



Suhu tempering 500°C

Gambar 5. Foto struktur mikro dengan suhu heat treatment 760°C



Suhu tempering 400°C



Suhu tempering 450°C



Suhu tempering 500°C

Gambar 6. Foto struktur mikro dengan suhu heat treatment 780°C



Suhu tempering 400°C



Suhu tempering 450°C



Suhu tempering 500°C

Gambar 7. Foto struktur mikro dengan suhu heat treatment 800°C



Suhu tempering 400°C



Suhu tempering 450°C



Suhu tempering 500°C

Gambar 8. Foto struktur mikro dengan suhu heat treatment 820°C

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang dilakukan pada baja karbon rendah ini dengan melakukan pengaruh variasi perlakuan panas sampai suhu austenisasi dan variasi temper terhadap material tersebut, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut: 1). Struktur fasa ganda ferit-perlit dapat diperoleh dengan mengatur parameter temperatur dan waktu penahanan didalam daerah + , 2). Hasil penelitian ini hampir sama disebabkan karena akibat *holding time* yang hanya selama 15 menit, 3). Struktur fasa ganda tersebut didapat pada waktu tahan 15 menit

DAFTAR PUSTAKA

- Adnyana.D.N "*Spesifikasi Pemilihan Material*", Institut Sains dan Teknologi Nasional, Jakarta 1994
- B.H Amstead PHILLIP F. OSTWALD MYRON L. BEGEMAN Sriati Djaprie "*Teknologi Mekanik*", Jilid 1, Jakarta 1986
- George E. Dieter, Sriati Djaprie, "*Metalurgi Mekanik*", Edisi Ketiga, Jilid 1 Erlangga, Jakarta
- Shinroku Saito, Surdia Tata, "*Pengetahuan Bahan Teknik*", Jilid Ke Empat, PT. Pradnya Paramitha, Jakarta 1984
- Sriati Djaprie, Van Vlack, Lawrence H "*Ilmu Logam dan Bukan Logam*", Edisi Kelima, Jakarta 1985

