

Analisa Perubahan Struktur Akibat Heat Treatment pada Logam ST, FC Dan Ni-Hard 4

Herwandi dan Asrul Hidayat

Jurusan Teknik Perancangan Mekanik – Politeknik Manufaktur Timah

E-mail: zulfan@zircon.timah.ac.id

ABSTRAK

Untuk mendapatkan kualitas logam ST, FC dan Ni-Hard 4 yang sesuai dengan konstruksi mesin yang akan digunakan dapat dilakukan dengan proses heat treatment. Karena logam tersebut bila dibenahi *heat treatment* akan mengalami perubahan struktur yang mempengaruhi sifatnya. Sebelum dan sesudahnya proses *heat treatment* struktur logam diamati dengan uji metallografi, dilanjutkan dengan uji kekerasan dan uji magnetic. Hasil pengujian menunjukkan bahwa logam ST 70 terdiri dari 100% martensit, kekerasannya 49 HRC dan bersifat ferromagnetik. Logam FC 30 berstruktur lamellar, susunan A, ukuran 5-6 dan perlit 100%. Sedangkan logam Ni-Hard 4 mengandung bentuk lamellar, susunan A, ukuran 5-6 dan martensit 100%.

Kata kunci: ST, FC, Ni-Hard 4, heat treatment, metallografi, kekerasan, magnet.

ABSTRACT

To get the quality of metal ST, FC, and Ni-Hard 4 appropriate with the machine of construction will be used through the heat treatment process, because it can change the microstructure of metal. The heat treatment process is being done after analyzed by metallography test, hardness test, and magnetic test. From the result test to got metal ST 70 containing 100 % martensite, hardness 49 HRC and ferromagnetic. The metal FC 30 containing form lamellare, structure A, measure 5-6 and pearlit 100 %. While the metal Ni-Hard 4 containing form lamellare, structure A, measure 5-6 and martensite 100 %.

Keywords: ST, FC, Ni-Hard 4, heat treatment, metallography, hardness, magnetic.

PENDAHULUAN

Logam ST, FC dan Ni-Hard 4 merupakan jenis baja dan besi tuang yang sering dipergunakan untuk membuat konstruksi mesin dan peralatannya. Jenis-jenis baja dan besi tuang ini mempunyai sifat-sifat dasar yang dikandungnya. Sifat-sifat dasar logam ST, FC dan Ni-Hard 4 dapat dilihat melalui proses pengujian, diantaranya adalah uji metallografi, kekerasan dan magnetik. Ketiga pengujian tersebut merupakan dasar yang harus dilakukan sebelum melakukan proses heat treatment. Tujuan dilakukannya pengujian adalah sebagai pembandingan perubahan struktur dan sifat baja dan besi tuang sebelum dan sesudah heat treatment.

Dalam penelitian ini, penulis mengambil bahan baja ST dan besi tuang FC yang belum diketahui jenis ST dan FC berapa, sedangkan besi tuang Ni-Hard 4 sudah jelas jenisnya. Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui perubahan struktur bahan akibat proses heat treatment pada logam

tersebut. Pada makalah ini dijelaskan proses pengujian metallografi, kekerasan, dan magnetic sebelum di heat treatment dan sesudah di heat treatment, proses heat treatment, serta menganalisa pengaruh sifat struktur bahan, kekerasan dan sifat magnet dari proses yang sudah dilakukan terhadap baja dan besi tersebut.

Besi Murni

Besi murni adalah logam dasar untuk logam paduan yang penggunaannya sangat penting di dalam kalangan industri, sebagai contoh baja dan besi tuang. Besi dengan harga kemurnian tinggi dapat dihasilkan dari proses elektrolisa atau melalui proses anil (annealing process) dalam aliran zat air pada suhu 1000 – 1400 °C.

Besi Karbon

Zat karbon adalah unsur paduan besi yang sangat penting. Dengan kandungan zat karbon yang relative masih rendah, karakter dan sifat besi dapat

berubah. Bila suatu logam besi mengandung 0% - 2% unsur karbon dinamakan baja sedangkan logam besi yang mengandung lebih dari 2% karbon dinamakan besi tuang. Tanpa proses pengerjaan berikutnya seperti proses panas, baja mampu tempa rata-rata mempunyai kandungan 0% s.d 2,06% karbon. Baja dengan kandungan zat karbon sampai 0,35% praktis tidak dapat dikeraskan, kecuali unsur karbonnya ditambah dan biasanya dinamakan proses karburising.

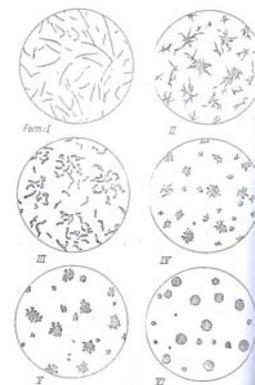
Ni - Fe

Apabila diperhatikan dalam diagram fasa antara besi dan nikel, maka dapat disimpulkan bahwa nikel dapat memperluas daerah Fe- γ , yaitu mirip dengan mangan. Secara langsung bahwa titik E bergeser ke bawah, yaitu Fe- γ dapat terbentuk sampai suhu kamar. Pada sekitarr 75% Ni, melalui kecepatan pendinginan rendah terjadi transformasi dari Fe- γ menjadi Ni₃Fe. Adapun garis putus-putus pada diagram yang terjadi dari suhu 400 °C adalah titik Curie, maka perlu diperhatikan bahwa austenit yang terjadi pada suhu kamar dari paduan besi nikel adalah ferromagnetis. Pada paduan dengan kandungan 6-7% Ni, melalui proses pendinginan lambat akan terjadi transformasi dari austenit ke martensit (bukan dari austenit ke ferrit).

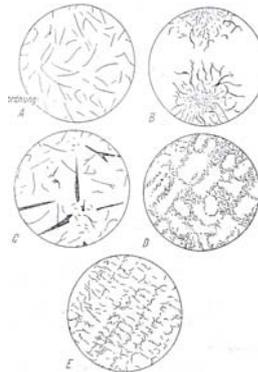
Besi Tuang

Besi tuang adalah logam paduan dari besi dengan kandungan zat karbon di atas 2%. Sifatnya mampu cor yang baik dan rapuh, sehingga proses pengerjaannya hanya melalui proses pengecoran dan permesinan tidak melalui proses pengerolan. Besi tuang mempunyai kandungan di dalamnya elementer zat karbon yang dinamakan grafit. Elementer zat karbon (grafit) ini terdiri dari:

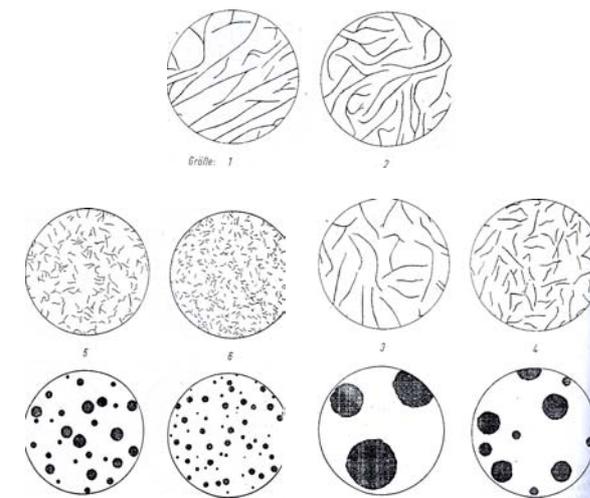
- Bentuk grafit = Serpih/lamelare (I), Fitting (II), Cacing (III), Temper 1 (IV), Temper 2 (V), Nodular (VI). (lihat gambar 1)
- Susunan grafit = A, B, C, D, E. (lihat gambar 2)
- Ukuran grafit = 1, 2, 3, 4, 5, 6. (lihat gambar 3)



Gambar 1. Bentuk Grafit [1]



Gambar 2. Susunan Grafit [1]



Gambar 3. Ukuran Grafit [1]

Hardening

Hardening dilakukan untuk memperoleh sifat tahan aus yang tinggi, kekuatan dan fatigue limit atau strength yang lebih baik. Kekerasan yang dapat dicapai tergantung pada kadar karbon dalam baja dan kekerasan yang terjadi akan tergantung pada temperature pemanasan (temperature *autenitising*), holding time dan laju pendinginan yang dilakukan, serta seberapa tebal bagian penampang yang menjadi keras banyak tergantung pada hardenability (dikutip dari jurnal natur Indonesia II, Pengaruh perbedaan waktu penahanan suhu stabil (holding time) terhadap kekerasan logam [2]).

Perubahan Struktur Mikro Berakibat Terhadap Sifat Mekanis Logam

Perubahan struktur mikro dari fasa tembaga dan fasa niobium pada kawat Cu-18%Nb, dari bentuk coran sampai dengan bentuk kawat, sebagai fungsi dari tingkat deformasi kawat (ϵ_d), suhu pemanasan (T) dan waktu pemanasan (t), serta pengaruh perubahan struktur mikro tersebut terhadap kekuatan tarik (tensile strength) dan kekerasan (hardness) daripada kawat (dikutip dari

jurnal ilmu pengetahuan dan teknologi, Pengamatan evolusi struktur mikro pada kawat tembaga-niobium dan pengaruhnya terhadap sifat mekanis [3].

METODE PENELITIAN

Persiapan Bahan

Bahan logam yang digunakan berbentuk balok segi empat. Jenis bahan yang digunakan 3 buah, yaitu: ST, FC dan Ni-Hard 4. Jumlah bahan yang digunakan dalam penelitian ini masing-masing jenis bahan adalah 2 buah, 1 buah untuk penelitian sebelum di heat treatment dan 1 lagi untuk penelitian setelah di heat treatment.

Persiapan Pengujian Bahan Sebelum Proses Heat treatment

Persiapan pengujian metallografi sebelum menggunakan mikroskop

1. Peralatan yang digunakan diantaranya : mesin gerinda tangan, mesin gerinda meja, mesin amplas dan polishing, wadah air, pengering (drier), botol air pencuci, botol alcohol dan cawan keramik.
2. Bahan yang diperlukan : kertas amplas, air, alcohol, media polesh, dan bahan etsa.
3. Langkah persiapan benda uji
 - a. Buat benda uji dengan ukuran cukup ideal (15 x 15 x 10 mm)
 - b. Lakukan pengamplasan kering (no. 40) pakai wadah air untuk pendinginan benda uji
 - c. Lakukan proses pengamplasan basah yaitu mulai amplas no. 120 s.d no. 1000.
 - d. Setelah permukaan benda uji halus dan mengkilat tanpa goresan, bersihkan permukaan benda uji dengan air mengalir, kemudian dengan alcohol.
 - e. Proses pengetsaan benda uji dengan mencelupkan permukaan uji ke dalam cairan etsa yang berada dalam cawan keramik selama 5 – 10 detik. Bahan etsa yang dipakai adalah:

No.	Bahan Etsa	Benda Uji	Keterangan Etsa
1.	Nital	- FC - ST	Setengah permukaan Seluruh permukaan
2.	Vilella	- Ni-Hard 4	Seluruh permukaan

Persiapan pengujian metallografi menggunakan mikroskop:

1. Peralatan yang digunakan diantaranya : mikroskop lengkap, plat landasan, perata, kamera foto Polaroid, kamera video dan tv, video printer.
2. Bahan yang diperlukan: malam untuk landasan, tissue, film Polaroid / kertas video printer.
3. Proses pengujian

- a. Siapkan benda uji, pastikan permukaan benda uji bersih dan telah dietsa.
- b. Letakkan benda uji di bawah lensa obyektif dari mikroskop.
- c. Hidupkan lampu mikroskop.
- d. Fokuskan pandangan sehingga struktur terlihat dengan jelas.

Persiapan Pengujian kekerasan

- a. Pengujian Brinell
Pengujian brinell ini hanya dilakukan untuk menguji bahan ST yang belum dikeraskan, menguji bahan FC yang belum dikeraskan, dan bahan Ni-Hard 4 yang belum dikeraskan. Batas uji dengan pengujian brinell ini adalah kekerasan bahan yang kurang dari 450 HB.
- b. Pengujian Rockwell
Pengujian rockwell ini hanya dilakukan untuk menguji bahan ST dan FC yang sudah dikeraskan, dan bahan Ni-Hard 4 yang belum dikeraskan dan sudah dikeraskan. Batas uji dengan pengujian rockwell ini adalah kekerasan bahan antara 20 HRC sampai 70 HRC.

Persiapan Pengujian Magnetis

Persiapan pengujian magnetis ini dengan mempersiapkan magnet dan kain pembersih. Proses pengujian pertama kali yang harus dilakukan adalah membersihkan benda uji dengan kain pembersih. Setelah itu mendekatkan magnet ke benda uji, bila benda uji tertarik maka logam tersebut bersifat ferromagnetic dan bila sebaliknya maka bersifat paramagnetic.

Persiapan Proses Heat treatment

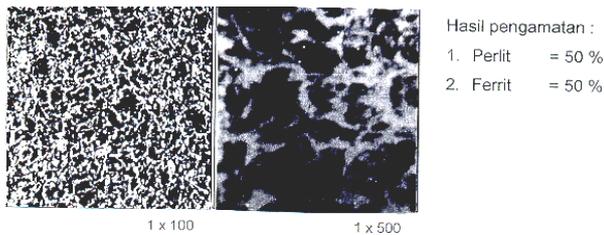
1. Peralatan yang digunakan diantaranya : oven, tang penjepit, tang pemotong, sarung tangan, kawat, kaleng.
2. Bahan yang diperlukan : air (untuk ST), Oli (untuk FC), udara (untuk Ni-Hard 4).
3. Proses heat treatment
 - a. Oven dipanaskan sampai suhu 800 °C untuk logam ST dan FC, sedangkan logam Ni-Hard 4 dipanaskan sampai 850 °C.
 - b. Holding time atau waktu pemanasan untuk logam ST dan logam FC sekitar 2 jam. Sedangkan untuk logam Ni-Hard 4 sekitar 8 jam.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Struktur Mikro

Struktur Mikro ST Sebelum Heat Treatment

Dari hasil pengujian metallografi terhadap logam ST sebelum diheat treatment diperoleh foto seperti gambar 4.

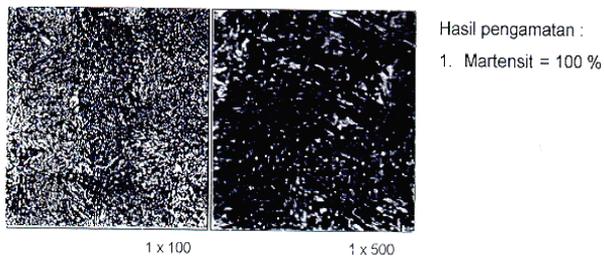


Gambar 4. Logam ST sebelum di Heat Treatment

Pada gambar ditampilkan bahwa kandungan Perlit 50% dan kandungan Ferritnya 50%. Struktur perlit merupakan campuran struktur ferrit (besi α) 88% dengan sementit (Fe_3C) 12%. Warna hitam pada gambar menunjukkan kandungan ferrit sedangkan warna putih menunjukkan perlit. Perbedaan warna hitam dan putih karena factor pencahayaan dari mikroskop. Struktur perlit dapat berwarna putih karena perlit mengandung sementit. Pada saat dietsa dengan cairan HNO_3 (Nital) struktur ferrit mudah terkorosi dibandingkan struktur sementit (Fe_3C), sehingga struktur ferrit tenggelam dan struktur sementit tetap pada posisinya jadi yang kena pencahayaan cuma struktur sementit sehingga kelihatan putih sedangkan struktur ferrit tidak kena pencahayaan, otomatis warna struktur ferrit jadi hitam.

Struktur Mikro ST Sesudah Heat Treatment

Dari hasil pengujian metallografi terhadap logam ST sesudah diheat treatment diperoleh foto seperti gambar 5.

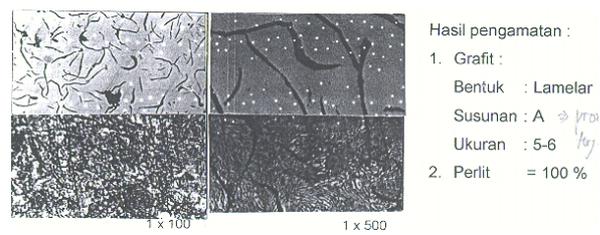


Gambar 5. Logam ST sesudah di Heat Treatment

Dalam pengamatan didapat bahwa logam ST mengalami perubahan struktur yang tadinya tempat tersebut diisi oleh perlit dan ferrit, sekarang sudah diganti oleh struktur martensit dengan kandungan 100%. Struktur martensit ini merupakan struktur logam yang berbentuk jarum pada paduan Fe-C, yang terbentuk langsung dari austenit sebagai akibat dari perubahan FCC menjadi BCT (Body Centered Tetragonal).

Struktur Mikro FC Sebelum Heat Treatment

Dari hasil pengujian metallografi terhadap logam FC sebelum diheat treatment diperoleh foto seperti gambar 6.

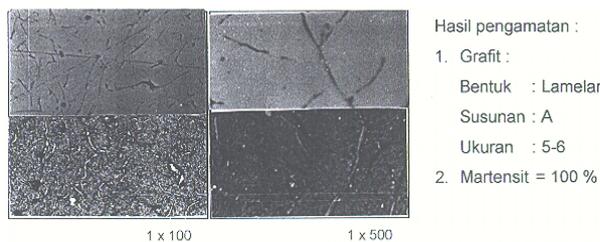


Gambar 6. Logam FC sebelum di Heat Treatment

Gambar bagian atas keduanya yang sudah dietsa sehingga kelihatan lebih jelas, sedangkan bagian gambar yang di bawah belum dietsa sehingga kelihatan gelap. Struktur yang diamati didapat bahwa FC tersebut memiliki bentuk lamellar, susunan A, ukuran grafit 5-6, dan 100% perlit.

Struktur Mikro FC Sesudah Heat Treatment

Dari hasil pengujian metallografi terhadap logam FC Sesudah diheat treatment diperoleh foto seperti gambar 7.

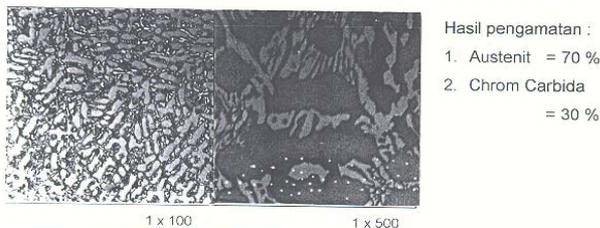


Gambar 7. Logam FC sesudah di Heat Treatment

Gambar bagian atas keduanya yang sudah dietsa sehingga kelihatan lebih jelas, sedangkan bagian gambar yang di bawah belum dietsa sehingga kelihatan gelap. Struktur yang diamati didapat bahwa FC tersebut memiliki bentuk lamellar, susunan A, ukuran grafit 5-6, dan 100% martensit.

Struktur Mikro Ni-Hard 4 sebelum Heat Treatment

Dari hasil pengujian metallografi terhadap logam Ni-Hard 4 sebelum diheat treatment diperoleh foto seperti gambar 8.

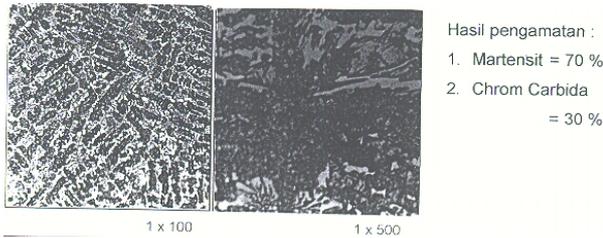


Gambar 8. Logam Ni-Hard 4 sebelum di Heat Treatment

Struktur yang diamati dari hasil pengujian, didapatkan bahwa Ni-Hard 4 tersebut memiliki 70 % austenit dan 30 % chrom carbide. Austenit atau besi γ merupakan modifikasi besi dengan struktur pemusatan sisi (FCC). Warna hitam pada gambar menunjukkan struktur austenit sedangkan warna putih menunjukkan struktur chrom carbide. Kejelasan warna tersebut akibat permukaan logam Ni-Hard 4 sudah dietsa dengan vilella.

Struktur Mikro Ni-Hard 4 Sesudah Heat Treatment

Dari hasil pengujian metallografi terhadap logam Ni-Hard 4 Sesudah diheat treatment diperoleh foto seperti gambar 9.



Gambar 9. Logam Ni-Hard 4 Sesudah di Heat Treatment

Struktur yang diamati dari hasil pengujian, didapatkan bahwa Ni-Hard 4 tersebut memiliki 70 % martensit dan 30% chrom carbide. Struktur martensit ini merupakan struktur logam yang berbentuk jarum pada paduan Fe-C, yang terbentuk langsung dari austenit sebagai akibat dari perubahan FCC menjadi BCT (Body Centered Tetragonal). Warna hitam pada gambar menunjukkan struktur martensit sedangkan warna putih menunjukkan struktur chrom carbide. Kejelasan warna tersebut akibat permukaan logam Ni-Hard 4 sudah dietsa dengan vilella.

Kekerasan dan Magnetik

Kekerasan dan Magnetik ST Sebelum Heat Treatment

Hasil uji kekerasan pada logam ST didapatkan:

Sistem Shore (LD)	Sistem Brinell (HB)	Sistem Rockwell (HRC)
540	204	-

Pada bahan logam ST tidak perlu dilakukan uji dengan system Rockwell karena system ini khusus untuk kekerasan yang tinggi (20 HRC – 70 HRC). Sedangkan saat dilakukan pengujian magnet terhadap logam ST ternyata dapat ditarik oleh magnet maka logam tersebut bersifat ferromagnetic. Dari data-data di atas, disimpulkan bahwa logam ST tersebut adalah jenis baja ST 70, karena dari system brinell diperoleh kekerasan 204 HB, sehingga diperoleh kekuatan patah (RM = Resistance Maximum) adalah $204 \times 3,5 = 714 \text{ N/mm}^2$.

Kekerasan dan Magnetik ST Sesudah Heat Treatment

Hasil uji kekerasan pada logam ST didapatkan:

Sistem Shore (LD)	Sistem Brinell (HB)	Sistem Rockwell (HRC)
650,5	-	49

Pada bahan logam ST dilakukan uji dengan system Rockwell karena logam ST ini sudah melalui proses pengerasan. Logam ST yang digunakan ini sama dengan logam ST sebelum pengerasan, jadi logam ST yang digunakan dalam proses heat treatment ini termasuk baja ST. 70 dimana kekerasan yang diperoleh setelah dipanaskan ternyata mengalami peningkatan kekerasan sebesar 49 HRC. Sedangkan saat dilakukan pengujian magnet terhadap logam ST.70 ternyata dapat ditarik oleh magnet maka logam tersebut masih bersifat ferromagnetic biarpun sudah melalui proses heat treatment.

Kekerasan dan Magnetik FC Sebelum Heat Treatment

Hasil uji kekerasan pada logam FC didapatkan:

Sistem Shore (LD)	Sistem Brinell (HB)	Sistem Rockwell (HRC)
575	229	-

Pada bahan logam FC tidak perlu dilakukan uji dengan system Rockwell karena system ini khusus untuk kekerasan yang tinggi (20 HRC – 70 HRC). Sedangkan saat dilakukan pengujian magnet terhadap logam FC ternyata dapat ditarik oleh magnet maka logam tersebut bersifat ferromagnetic. Dari data-data di atas, disimpulkan bahwa logam FC tersebut adalah jenis logam FC 30, karena dari system brinell diperoleh kekerasan 229 HB, sedangkan kekerasan FC 30 berdasarkan standar kekerasan Brinell yang sudah ada sebesar 190-240 HB.

Kekerasan dan Magnetik FC Sesudah Heat Treatment

Hasil uji kekerasan pada logam FC didapatkan:

Sistem Shore (LD)	Sistem Brinell (HB)	Sistem Rockwell (HRC)
775	-	52

Pada bahan logam FC dilakukan uji dengan system Rockwell karena logam FC ini sudah melalui proses pengerasan. Logam FC yang digunakan ini sama dengan logam FC sebelum pengerasan, jadi logam FC yang digunakan dalam proses heat treatment ini termasuk logam FC 30 dimana kekerasan yang diperoleh setelah dipanas-

kan ternyata mengalami peningkatan kekerasan sebesar 52 HRC. Sedangkan saat dilakukan pengujian magnet terhadap logam FC 30 ternyata dapat ditarik oleh magnet maka logam tersebut masih bersifat ferromagnetic biarpun sudah melalui proses heat treatment.

Kekerasan dan Magnetik Ni-Hard 4 Sebelum Heat Treatment

Hasil uji kekerasan pada logam Ni-Hard 4 didapatkan:

Sistem Shore (LD)	Sistem Brinell (HB)	Sistem Rockwell (HRC)
570	291	37

Pada bahan logam Ni-Hard 4 dapat dilakukan uji dengan system Brinell dan Rockwell. Sedangkan saat dilakukan pengujian magnet terhadap logam Ni-Hard 4 ternyata tidak dapat ditarik oleh magnet maka logam tersebut bersifat paramagnetic.

Kekerasan dan Magnetik Ni-Hard 4 Sesudah Heat Treatment

Hasil uji kekerasan pada logam Ni-Hard 4 didapatkan:

Sistem Shore (LD)	Sistem Brinell (HB)	Sistem Rockwell (HRC)
583	-	44

Pada bahan logam Ni-Hard 4 dilakukan uji dengan system Rockwell karena logam Ni-Hard 4 ini sudah melalui proses pengerasan. Sedangkan saat dilakukan pengujian magnet terhadap logam Ni-Hard 4 ternyata dapat ditarik oleh magnet maka logam tersebut bersifat ferromagnetic.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang sudah dilakukan terhadap baja ST, besi tuang FC dan besi tuang Ni-Hard 4 diperoleh kesimpulan :

- Baja ST yang digunakan ternyata jenis baja ST.70. Jenis material ST.70 ini dapat ditentukan dari hasil test kekerasan brinell sebesar 204 HB, sehingga bila dikalikan dengan 3,5 akan diperoleh kekuatan patah sebesar 714 N/mm². Angka tersebut kita bulatkan menjadi 700 N/mm², sehingga kita simpulkan bahwa baja ST tersebut termasuk baja ST 70. Sedangkan pengamatan mikro struktur hanyalah untuk memastikan logam tersebut merupakan baja ST dan untuk melihat komposisi mikro strukturnya.
- Besi tuang FC yang digunakan adalah jenis besi tuang FC 30. Hal ini diperoleh dari uji kekerasannya sebesar 229 HB, sedangkan kekerasan

FC 30 berdasarkan standarnya antara 190 – 240 HB. Jadi disimpulkan dengan harga 229 HB memastikan bahwa besi tuang FC yang digunakan merupakan jenis besi tuang FC 30.

- Struktur mikro dari ST.70 sebelum diheat treatment terdiri dari 50 % perlit dan 50 % ferrit, sedangkan yang sudah diheat treatment didapat 100 % martensit. Jadi dengan pemanasan 800 °C dan pendinginan yang cepat dengan media air selama 2 jam ternyata terjadi transformasi struktur dari perlit dan ferrit menjadi struktur martensit.
- Kemagnetan baja ST.70 sebelum diheat treatment bersifat ferromagnetik. Sedangkan setelah di heat treatment tetap bersifat ferromagnetik dan kekerasannya adalah 49 HRC.
- Struktur mikro dari FC 30 sebelum diheat treatment mempunyai kandungan grafit dengan bentuk lamellar, susunan A, ukuran grafit 5-6, dan 100 % perlit. sedangkan yang sudah diheat treatment mempunyai kandungan grafit dengan bentuk lamellar, susunan A, ukuran grafit 5-6, dan 100 % martensit. Jadi dengan pemanasan 800 °C dan pendinginan dengan media oli selama 2 jam ternyata terjadi transformasi struktur dari perlit menjadi struktur martensit.
- Kemagnetan besi tuang FC 30 sebelum diheat treatment bersifat ferromagnetik. Setelah di heat treatment tetap bersifat ferromagnetik dan kekerasannya 52 HRC.
- Struktur mikro dari Ni-Hard 4 sebelum diheat treatment mempunyai kandungan Austenit 70% dan 30 % chrom carbide. sedangkan yang sudah diheat treatment mempunyai kandungan 70 % martensit dan 30% chrom carbide. Jadi dengan pemanasan 800 °C dan pendinginan dengan media udara selama 8 jam ternyata terjadi transformasi struktur dari austenit menjadi struktur martensit.
- Kekerasan dan kemagnetan besi tuang Ni-Hard 4 sebelum diheat treatment 291 HB, 37 HRC dan bersifat paramagnetik. Sedangkan setelah di heat treatment 44 HRC dan bersifat ferromagnetik.

DAFTAR PUSTAKA

1. Soedihono, *Metallographie I, II, III*, Politeknik Mekanik Swiss-ITB, 1989.
2. M. Dalil, Adhy P., Ismet I., Pengaruh Perbedaan Waktu Penahanan Suhu Stabil (Holding Time) Terhadap Kekerasan Logam, *Jurnal Natur Indonesia II* (1): 12-17, 1999.
3. Andika Widya Pramono, Pengamatan Evolusi Struktur Mikro Pada Kawat Tembaga-Niobium Dan Pengaruhnya Terhadap Sifat Mekanis, *Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi*, Vol. 24 No. 0201, 2004.