

PENGUJIAN KEKERASAN PRODUK LOGAM FEROMAGNETIK DENGAN PENGUKURAN DERAU BARKHAUSEN MAGNETIK

M. Isnan

*Laboratorium Uji Konstruksi (LUK) - BPPT,
Kawasan Puspiptek, Serpong, Tangerang 15314*

ABSTRAK

PENGUJIAN KEKERASAN PRODUK LOGAM FEROMAGNETIK DENGAN PENGUKURAN DERAU BARKHAUSEN MAGNETIK. Untuk menjamin kualitas dari produk-produk manufaktur massal, diperlukan pengujian secara tidak merusak (*Nondestructive Testing*) yang memiliki kecepatan pengujian serta ketelitian yang tinggi. Untuk produk-produk yang telah mengalami perlakuan panas, untuk mendapatkan nilai kekerasan tertentu, misalnya komponen-komponen otomotif, perlu diuji untuk menjamin kualitas yang diinginkan. Beberapa parameter seperti koersivitas dan permeabilitas dapat digunakan untuk karakterisasi bentuk kurva histeresis. Sifat-sifat ketergantungan bentuk kurva histeresis pada kekerasan mekanik, pengerjaan panas dan keberadaan tegangan sisa, dapat dimanfaatkan untuk pengukuran kekerasan produk yang bersifat feromagnetik. Khusus untuk pengukuran kekerasan ini, parameter yang diukur hanyalah koersivitas. Nilai koersivitas diperoleh dengan pengukuran derau *Barkhausen* magnetik. Dalam tulisan ini akan dipaparkan bagaimana pengukuran harga koersivitas dapat dilakukan dengan menggunakan efek *Barkhausen*, serta kajian tentang korelasi antara harga koersivitas dengan kekerasan suatu material feromagnetik dengan menggunakan metoda analisis regresi.

Kata kunci: *Nondestructive Testing*, kekerasan, koersivitas, derau *Barkhausen* magnetik, analisis regresi.

ABSTRACT

ACCURACY OF THE HARDNESS OF FERROMAGNETIC METAL PRODUCTS BY MEASURING MAGNETIC BARKHAUSEN NOISE. To ensure the quality of manufacture mass products, NDT with high speed and accuracy is needed. For the products wick experienced heat treatment to achieve certain hardness value, for example, automotive components, should be tested to ensure the required quality. Some parameters, such as, coercivity and permeability can be used for characterization of hysteresis curve form. The relation between hysteresis curve and mechanical hardness, heat treatment and residual stress can be used to measure the hardness of ferromagnetic products. The coercivity ist the only parameter measured in this test. The coercivity value is achieve by measuring magnetic Barkhausen noise. In this article will be explained how the measurement of coercivity can be done by Barkhausen effect, and the assesment of correlation between coercivity value and hardness value of ferromagnetic material by using of regression analysis method.

Key words: *Nondestructive Testing*, hardness, coercivity, magnetic Barkhausen noise, regression analysis.

PENDAHULUAN

Pengukuran kekerasan suatu bahan logam biasanya bisa dilakukan dengan menggunakan metoda *Vickers* atau *Brinell*. Akan tetapi bila pengukuran pada objek uji dengan jumlah banyak, misalnya pengujian komponen-komponen otomotif secara massal dan harus dilaksanakan dalam tempo yang tinggi, kedua metoda konvensional tersebut tidak mungkin digunakan. Untuk mengatasi permasalahan ini perlu dikembangkan metoda pengujian yang cepat serta dengan kehandalan yang tinggi.

Karakteristik kurva histeresis dari material feromagnetik ditentukan juga oleh kekerasan mekanis dan keberadaan tegangan sisa dalam material tersebut. Berdasarkan pola kurva histeresis ini dapat dimanfaatkan untuk menentukan karakteristik suatu material

feromagnetik. Parameter-parameter yang dapat digunakan dalam karakterisasi material ini adalah harga koersivitas, *permeabilitas inkremen* dan remanensi bahan. Harga koersivitas suatu bahan feromagnetik juga sangat ditentukan oleh kekerasan mekaniknya. Semakin tinggi kekerasan mekanik, maka harga koersivitas juga semakin tinggi [1].

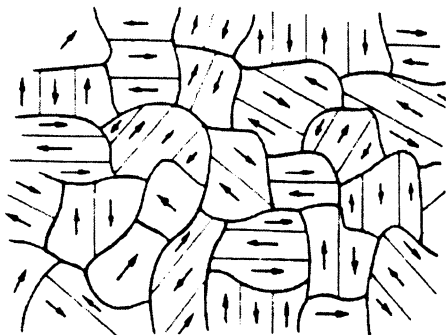
Sebenarnya dari hasil rekaman alat *hystrometer*, harga koersivitas suatu bahan bisa langsung dihitung dengan melihat perpotongan kurva histeresis pada sumbu absis. Tapi untuk pengukuran massal yang harus diotomatisasi serta dengan kecepatan yang tinggi, diperlukan teknik pembacaan harga koersivitas yang cepat dan memiliki ketelitian yang tinggi. Untuk teknik pengukuran harga koersivitas ini, derau magnetik dari

efek *Barkhausen* dapat dimanfaatkan sebagai alat indikator pada saat tercapainya kondisi koersivitas. Dalam tulisan ini akan dipaparkan bagaimana pengukuran harga koersivitas dapat dilakukan dengan menggunakan efek *Barkhausen*, serta kajian empiris tentang korelasi antara harga koersivitas dengan kekerasan suatu material ferromagnetik dengan menggunakan metoda regresi.

Korelasi yang diperoleh pada tahap kalibrasi selanjutnya dapat digunakan untuk penentuan kekerasan aktual dari suatu material ferromagnetik yang telah mengalami perlakuan panas (*heat treatment*) tertentu, yang merupakan tujuan dari penelitian ini. Teknik penentuan kekerasan dengan metoda NDT ini dapat dilakukan dengan kecepatan dan akurasi yang tinggi bila dibandingkan dengan metoda pengukuran kekerasan konvensional, misalnya metode *Vickers* atau *Brinell*. Teknik penentuan kekerasan ini diharapkan dapat dimanfaatkan pada proses sortir ataupun pengukuran kekerasan secara massal, misalnya dari komponen-komponen manufaktur otomotif.

TEORI

Secara mikroskopis, di dalam material ferromagnetik terdapat domain-domain *Weiss* yang berukuran sekitar 10 μm , lihat Gambar 1. Di dalam setiap domain terkumpul atom-atom dengan arah magnetisasi yang sama. Walaupun di dalam masing-masing domain *Weiss* yang merupakan domain yang termagnetisasi secara utuh, akan tetapi karena distribusi yang acak dari domain-domain dengan arah magnetisasi tertentu, sehingga *resultat* secara makroskopis, suatu bahan ferromagnetik bersifat tidak magnetis, seperti yang telah terlihat pada Gambar 1.

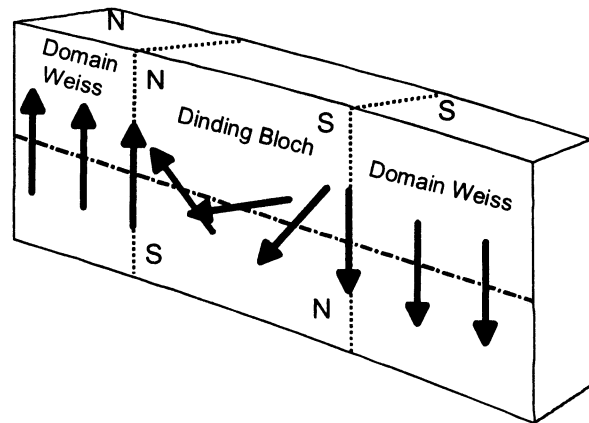


Gambar 1: Domain-domain *Weiss*

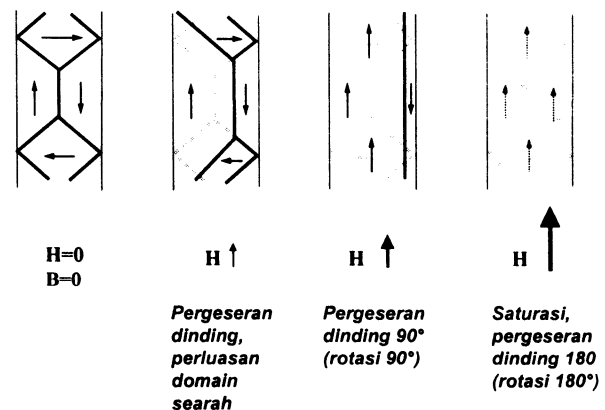
Domain-domain *Weiss* yang bertetangga dipisahkan oleh dinding-dinding *Bloch*. Di dalam dinding *Bloch* ini spin-spin dari domain-domain yang bertetangga mengubah arahnya bertahap secara kontinyu ke arah magnetisasi domain tetangga, seperti yang terlihat pada Gambar 2.

Bila kemudian sebuah bahan uji ferromagnetik dimasukkan ke dalam medan magnetik yang membesar secara bertahap dan perlahan-lahan, maka domain-domain *Weiss* yang memiliki arah orientasi yang lebih

mendekati medan magnetik luar (orientasi yang lebih menguntungkan), akan membesar. Sedangkan domain-domain *Weiss* yang memiliki orientasi magnetisasi yang kurang menguntungkan, akan mengecil (lihat Gambar 3). Mekanisme pembesaran (pertumbuhan) domain-domain *Weiss* berlangsung dengan proses pergeseran dinding-dinding *Bloch*. Proses pergeseran ini akan tertahan atau terhalangi oleh keberadaan deformasi, batas butiran dan tegangan sisa. Halangan-halangan ini dapat diruntuhkan (tercabik) oleh peningkatan medan magnetisasi lebih lanjut dan akhirnya dinding-dinding *Bloch* tersebut lenyap. Pada keadaan saturasi magnetik, bahan uji secara keseluruhan terdiri hanya atas domain *Weiss* tunggal.



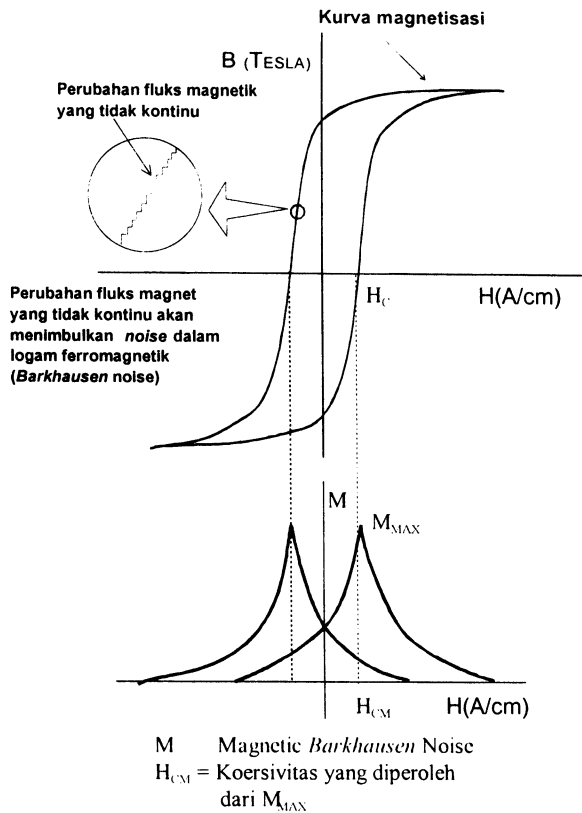
Gambar 2: Gambaran skematis dari dinding *Bloch*



Gambar 3: Mekanisme perubahan arah momen magnetik dari magnet-magnet elementer dibawah pengaruh perubahan medan magnetik H.

Pergeseran dinding-dinding *Bloch* tidaklah berlangsung dalam proses mekanik yang kontinyu, tapi akan mengalami proses percepatan, pengereman, tertahan dan runtuhnya dinding *Bloch*. Proses perubahan yang tidak kontinyu ini dapat terlihat adanya loncatan seperti anak tangga pada kurva histerisis dengan jendela pembesaran (lihat Gambar 4), mekanisme perubahan ini yang dikenal dengan efek *Barkhausen*. Proses yang tidak kontinyu ini akan menimbulkan perubahan magnetisasi

lokal yang cepat, dan selanjutnya akan menginduksikan arus pusar (*eddy current*) dengan pita frekuensi yang lebar. Arus pusar ini selanjutnya akan menghasilkan medan magnetik yang dapat diukur dengan menggunakan sensor kumparan *tape head* pada permukaan bahan uji. Medan magnetik yang dihasilkan oleh efek *Barkhausen* ini dinamakan derau *Barkhausen* magnetik. Intensitas derau ini mencapai maksimum pada saat koersivitas tercapai, seperti yang terlihat pada Gambar 4.



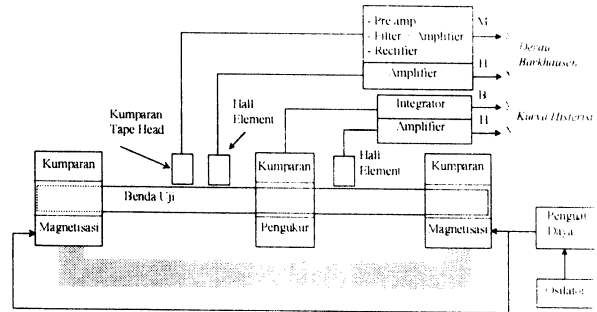
Gambar 4: Efek *Barkhausen*

Harga koersivitas dari suatu bahan uji yang bersifat ferromagnetik sangat ditentukan oleh sifat-sifat mekanis dari bahan tersebut. Semakin keras suatu bahan maka juga semakin tinggi harga koersivitasnya.

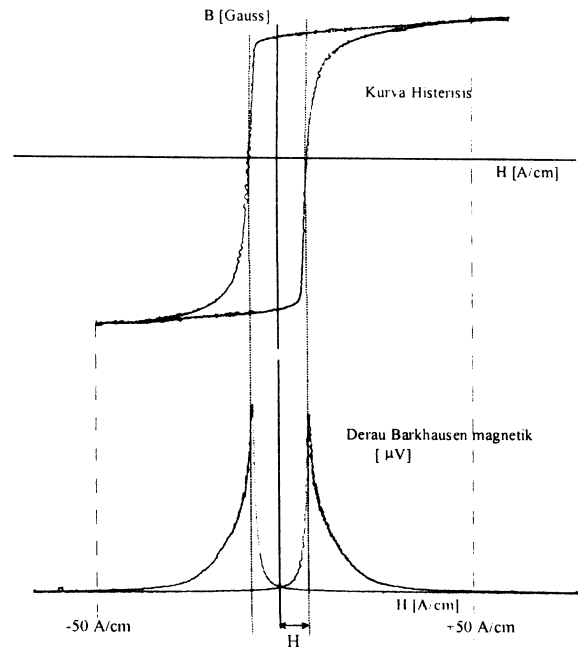
HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 5 memperlihatkan susunan peralatan *Hystrometer* yang dilengkapi dengan peralatan pengukur derau *Barkhausen* magnetik. 7 buah benda uji yang akan diukur satu persatu, berbentuk silinder baja yang terbuat dari Nickel-Moly-Chrom (22 NiMoCr 3 7) dengan panjang 50 mm dan diameter 8 mm. Ketujuh benda uji ini telah menerima perlakuan panas yang berbeda-beda, sehingga memiliki kekerasan yang bervariasi.

Gambar 6 memperlihatkan kurva histeresis dari benda uji no. 1, yang dirangkaikan dengan kurva derau *Barkhausen* magnetik, derau mencapai harga maksimal pada saat harga koersivitas tercapai. Pada proses



Gambar 5: Susunan peralatan *Hystrometer* yang dilengkapi dengan peralatan pengukur derau *Barkhausen* magnetik.



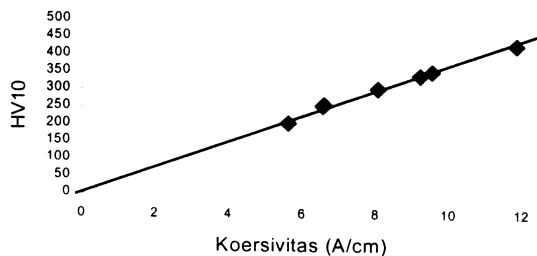
Gambar 6: Kurva histeresis dan derau *Barkhausen* magnetik dari benda uji no. 1

magnetisasi kuat medan magnetik H yang digunakan adalah 50 A/cm. Besar harga koersivitas ditentukan dengan melihat besar kuat medan magnetik pada saat derau mencapai maksimum (lihat Gambar 7). Berikut ini dilampirkan Tabel 1 yang berisikan kekerasan mekanis (HV10) yang diperoleh dari pengukuran kekerasan dengan metoda *Vickers* serta harga koersivitas magnetik dari ketujuh benda uji tersebut.

Tabel 1: Tabel Pengukuran Kekerasan dan Harga Koersivitas

Benda Uji No.	Kekerasan (HV10)	Koersivitas (A/cm)
1	433	11,86
2	356	9,55
3	344	9,23
4	305	8,07
5	258	6,61
6	256	6,58
7	205	5,64

Pada Tabel 1 diatas dapat terlihat bahwa ada relasi antara kekerasan mekanik dengan koersivitas (selanjutnya koersivitas dapat dikatakan sebagai kekerasan magnetik). Semakin besar kekerasan mekanik (HV10) maka harga koersivitas (H_c) juga akan semakin besar. Karakteristik hubungan antara nilai kekerasan mekanis (HV10) dengan nilai kekerasan magnetik (koersivitas) dapat terlihat lebih jelas bila diplotkan kedalam bentuk diagram, seperti yang terlihat pada Gambar 7.



Gambar 7: Hubungan kekerasan mekanis dengan kekerasan magnetis

Dengan menggunakan metoda *regresi* (*least square*), diperoleh sebuah persamaan *regresi*:

$$HV10 = 3,66 \cdot Hc - 1,74$$

Persamaan *regresi* diatas menyatakan kaitan antara kekerasan mekanik (HV10) dan kekerasan magnetik (H_c). Persamaan diatas dapat juga dikatakan sebagai fungsi alih (*transfer function*) yang dapat digunakan sebagai konverter dari besaran koersivitas menjadi besaran mekanik, sehingga harga koersivitas yang terukur akan dapat langsung dikonversikan menjadi harga kekerasan mekanik.

Dimulai dari proses pengukuran koersivitas sampai diperolehnya persamaan *regresi*, dapat disebut sebagai tahap kalibrasi dari suatu pengujian NDT. Selanjutnya persamaan *regresi* yang berfungsi sebagai fungsi alih akan dimanfaatkan dalam pengukuran kekerasan aktual pada objek uji dengan bahan yang sama pada tahap kalibrasi.

KESIMPULAN

Pada percobaan ini telah digunakan dua kacamata untuk melihat bahan feromagnetik, yaitu dengan kajian magnetik dan kajian mekanik. Kedua bidang ini dapat dihubungkan satu sama lainnya secara empiris dengan menggunakan metoda *regresi*. Dalam bidang magnetik, logam feromagnetik terdiri dari dari magnet-magnet elementer (atau domain-domain *Weiss*) yang dibatasi oleh dinding-dinding *Bloch*. Sedangkan dalam bidang mekanik, logam terdiri dari butiran-butiran kristal yang diantarai oleh batas butiran. Kekerasan magnetis sangat ditentukan oleh mobilitas atau fleksibilitas pergerakan dari dinding *Bloch*, sedangkan kekerasan mekanik ditentukan oleh fleksibilitas pergerakan dari butiran-butiran kristalnya.

Proses pergerakan dinding *Bloch* dan pergerakan butiran akan terhalangi dengan mekanisme yang mirip, misalnya oleh batas butiran, *dislocation*, *displacement* dan tegangan sisa.

Pengukuran kekerasan mekanik dari produk logam feromagnetik dengan memanfaatkan pengukuran derau *Barkhausen* magnetik, pada prinsipnya adalah salah metoda pengujian material tanpa merusak (*Nondestructive Testing of Material*, NDT) yang dimasukkan kedalam kelompok NDT mikromagnetik [6]. Sistem peralatan NDT efek *Barkhausen* ini dapat dirangkaikan dengan sistem ban berjalan, dimana benda-benda uji dapat dilewatkan kedalam seperangkat sensor magnetik. Kekerasan benda uji langsung bisa terukur sewaktu melewati seperangkat sensor tersebut. Metoda NDT ini dapat digunakan pada industri manufaktur komponen-komponen otomotif, misalnya komponen rem dan tuas *stabilizer*. Nanti bila pada suatu saat di tanah air, kelak komponen-komponen vital tertentu dari mobil harus diuji secara 100% dengan NDT (di negara Masyarakat Ekonomi Eropa peraturan ini sudah berlaku sejak 1997), maka metoda NDT ini dapat sangat berperan dalam pengujian produk komponen otomotif secara massal.

DAFTAR ACUAN

- [1] LUTZ, B, Elektromagnetische gleichzeitige Messung mehrerer Werkstoffkenngrößen. *Proceedings of Nondestructive Characterization of Materials*, Hrsg. P. Hoeller et al, Springer Verlag (1988).
- [2] JILES, D, *Introduction to Magnetism and Magnetic Materials*, Chapman and Hall, (1989).
- [3] PAPADAKIS, E.P, *Correlations and Functions for Determining Nondestructive Tests for Material Properties*, Material Evaluation/May, (1993).
- [4] KNELLER, E., *Ferromagnetismus*, Springer Verlag, Berlin (1962).
- [5] BLITZ, J., *Electrical and Magnetic Methods of NDT*, Adam Hilger, (1989).
- [6] PITSCH, H., HOELLER, P., JONCK, R, 3MA-Verfahrensansätze zur zerstörungsfreien Klassierung von Staehlen, DGZfP-Jahrestagung, Siegen. S., (1988) 197-209