Jurnal Sains Materi Indonesia
Indonesian Journal of Materials Science

Volume 3 No. 2, Pebruari 2002, hal : 106 - 109
ISSN : 1411-1098

PROTOTIPE INSTRUMEN PENGUKUR KERUGIAN INTI MATERIAL KOMPONEN INDUKTIP

Idris Novianto dan A. Manaf
Jurusan Fisika Universitas Indonesia,
Kampus UI Depok
e-mail : easy_phy@hotmail.com,manaf@makara.cso.ui.ac.id

ABSTRAK

PROTOTIPE INSTRUMEN PENGUKUR KERUGIAN INTI MATERIAL KOMPONEN INDUKTIP. Telah dilakukan studi mengenai pengukuran kerugian inti lembaran material komponen induktip FeSiC *non-oriented* menggunakan metoda AC Epstein, melalui proses demagnetisasi sinyal bolak-balik dengan frekuensi 50 Hz. Pengembangan awal suatu metode pengukuran standar juga dilakukan, yaitu dengan mengintegrasikan personal komputer dengan rangkaian penguji Epstein. Keadaan saturasi dicapai sekitar 2T, dimana harga kerapatan fluks eksternal yang diberikan sangat kecil, sehingga harga polarisasi magnet hampir sama dengan harga kerapatan fluks total. Pengukuran kerugian inti difokuskan pada kondisi kerapatan fluks diatas 1,5 T hingga mencapai keadaan saturasi. Kerugian inti pada 1,53 T sekitar 6,22 W/kg pada pengukuran manual dan 5,59 W/kg dengan personal komputer. Studi juga membuktikan bahwa material magnet lunak ini mempunyai kerugian inti yang kecil, ditandai dengan hanya sebagian kecil persentase arus eksitasi yang hilang karena kerugian inti.

Kata kunci : FeSiC, metoda *AC Epstein*

ABSTRACT

INSTRUMENT PROTOTYPE OF CORELOSS MEASUREMENT FOR NON-ORIENTED INDUCTIVE COMPONENT MATERIALS. Study of coreloss measurement for non-oriented inductive component materials sheet FeSiC by means of AC Epstein method have been conducted, using 50 Hertz alternating signal demagnetization process. with realization by design prototype scale of magnetic instrument under personal computer. Such research is the first step development of standard measurement method, for efficiency in research process. Saturation condition of total fluks density reached at approximately 2T. In this case, the magnetic polarization has fairly close value with total flux density because of very small external density flux. Coreloss measurement is focused upon 1.5T to saturation. Manually, the coreloss at 1.5T is about 6.22W/kg, and 5.59W/kg by personal computer. And have been proved that this soft magnet material has small core losses due to only a little of primary current absorbed by such material.

Key words : FeSiC, AC Epstein method

PENDAHULUAN

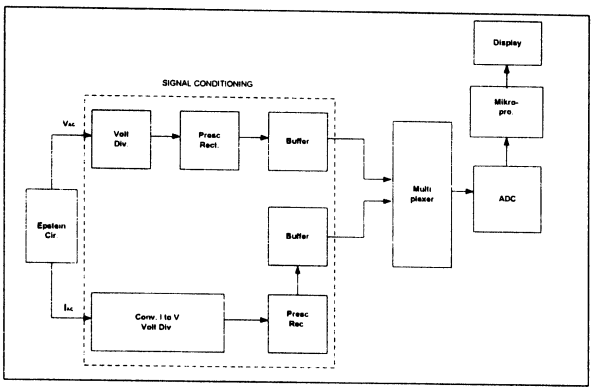
Kehilangan energi pada suatu sistem transformator *real* merupakan fenomena fisis yang secara teoretis dan eksperimen telah diteliti, bahwa sebagian besar kehilangan tersebut diakibatkan oleh proses magnetisasi dan demagnetisasi material inti. Kehilangan energi tersebut dikenal sebagai kerugian inti (*coreloss*), yang secara teoritis disebabkan oleh adanya *eddy current* pada material inti akibat perubahan kerapatan fluks, *eddy current* mikroskopis pada domain inti dalam dinding domain yang bergerak, dan deformasi magnetostriktif yang menimbulkan *accoustic losses* [1]. Fenomena pergerakan dinding domain saat terjadi perubahan fluks telah diteliti, dan ternyata memberikan pengaruh yang signifikan pada kerugian histeresis dan kerugian arus pusar. Pergerakan dinding domain tersebut juga menimbulkan *intrinsic damping loss* [2]. Efek ketebalan suatu sampel material *silicon steel* dengan kandungan 3% Si terhadap kerugian inti perlu diperhitungkan, sehingga desain transformator dapat dibuat dengan biaya yang rendah [3].

Kerugian inti dapat dikalkulasi secara akurat jika sistem rangkaian transformator memiliki lintasan magnetik yang tertutup atau dapat mengkompensasi kebocoran fluks akibat adanya celah udara, dengan mengasumsikan *copper losses* sangat kecil sehingga nilainya dapat diabaikan [4]. Metoda *Epstein* sebagai suatu metode standar untuk mengukur kerugian inti sampel lembaran material komponen induktip dapat mendekati kondisi tersebut. Untuk lembaran material *silicon steel non-oriented*, metoda *Epstein* menyarankan pengukuran nilai-nilai produktif dilakukan pada kondisi kerapatan fluks diatas 1,5 T [5]. Penelitian yang dilakukan saat ini adalah

bagaimana merepresentasikan kerapatan fluks dan kerugian inti secara *real time* pada personal komputer, yaitu menggunakan mikroprosesor untuk mengakuisisi data kerugian inti pada rangkaian penguji *Epstein* melalui suatu *interface* yang dibuat, kemudian membandingkan dan menganalisis hasil tersebut dengan pengukuran manual yang telah dilakukan.

TATA KERJA

Eksperimen dilakukan pada sampel lembaran *silicon steel non-oriented* FeSiC dengan komposisi 96,095%Fe, 3,00%Si, dan 0,005%C. Massa sampel 2kg (massa efektif 1,65kg), dengan ukuran 285x30x0,5mm dan densitas 7650kg/m^3. Proses pemotongan dilakukan sedemikian agar deformasi yang terbentuk sekecil mungkin, dan kemudian disusun pada bingkai *Epstein* [6]. Penyusunan sampel pada bingkai *Epstein* dengan lintasan magnetik 0,94m dilakukan tanpa laminasi dengan masing-masing sisi sebanyak 16 lembar.



Gambar 1. Blok diagram prototipe instrumen pengukur kerugian inti

Pengukuran dilakukan melalui proses demagnetisasi sampel dengan sinyal AC 50Hz pada 70 Volt(rms) hingga tegangan yang ekivalen dengan besar kerapatan fluks sebesar 1,5T. Selama pengukuran kondisi temperatur dijaga pada 23°C. Kemudian dilakukan pengukuran manual dengan metoda AC *Epstein*, untuk mendapatkan nilai *H, B, J* dan *Wc*. Dengan langkah yang sama, dilakukan pengukuran oleh *personal computer* dengan blok rangkaian pada Gambar 1. Akuisisi data dilakukan dengan terlebih dahulu mereduksi dan menstabilkan tegangan masukan, kemudian data diproses oleh mikroprosesor [7,8].

HASIL DAN PEMBAHASAN

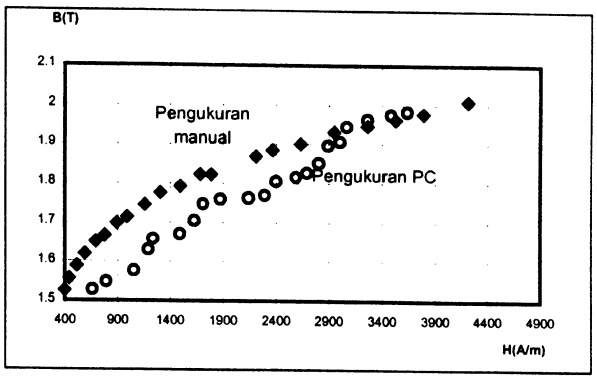
Hasil pengukuran besaran listrik dengan metoda AC *Epstein* secara manual telah diperoleh, dan kemudian dikalkulasi sehingga menjadi data-data karakteristik AC magnet sampel FeSiC. Data-data yang dapat mewakili pengukuran diatas 1,5T ditunjukkan pada Tabel 1.Terlihat bahwa harga m_0H sangat kecil yang memungkinkan harga B @ J dan nilainya makin menurun ketika harga medan eksternal direduksi. Keadaan B_s yang dicapai sekitar 2T, dengan H_{max} 4213,18A/m dan arus eksitasi I_0 sekitar 4A ($H \gg nI$).

Dengan personal komputer, konversi besaran listrik menjadi data-data karakteristik AC pada sampel yang sama dapat dilakukan secara *real-time* sehingga diperoleh efisiensi waktu pengambilan data, *human error* pun dapat dikurangi. Data-data pengukuran ditunjukkan pada Tabel 2.

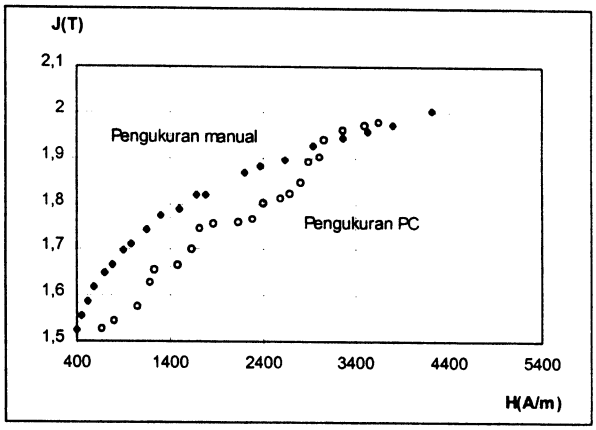
Secara umum perbedaan kedua hasil karakteristik AC dapat ditentukan dengan regresi linier sehingga didapatkan suatu konstanta koreksi hasil pengukuran, yang memberikan perbedaan yang ada rata-rata sekitar 5-15%. Hal ini disebabkan kondisi komponen lokal pada

Tabel 1. Data pengukuran manual

H(A/m)	B(T)	μ_0H(T)	W_c(W/Kg)
4213,18	(B_s)2,01	0,0053	10,81
2633,24	1,9	0,0033	9,793
1495,68	1,79	0,0019	8,762
589,85	1,62	0,0007	7,116
400,25	1,53	0,0005	6,221



Gambar 2. Plot data *B-H* pengukuran manual dan pengukuran dengan personal komputer.



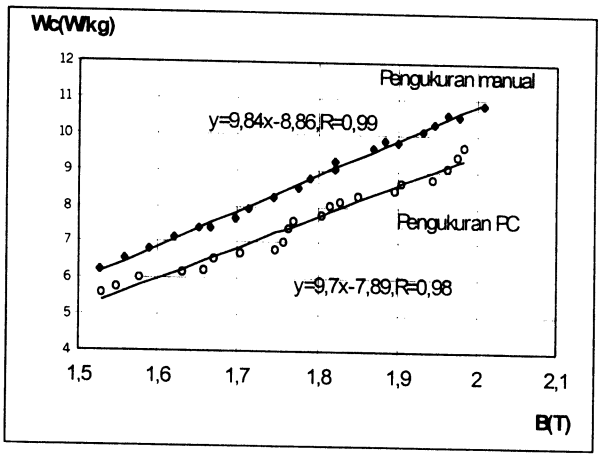
Gambar 3. Plot data *J-H* pengukuran manual dan pengukuran dengan personal komputer.

Volume 3 No. 2, Pebruari 2002, hal : 106 - 109
ISSN : 1411-1098

sistim *interface* yang tidak memberikan kestabilan yang cukup baik dan instrumen pengukur yang dibuat masih dalam skala prototipe. Ketidakstabilan data dapat dilihat pada plot data *B-H*, *J-H* dan W_c-*B* seperti ditunjukkan pada Gambar 2, 3 dan 4. Nilai B merupakan fungsi dari tegangan fluks kumparan sekunder sistem *Epstein* dan nilai *H* merupakan fungsi arus maksimum dari arus eksitasi yang diberikan pada kumparan primer. Sedangkan nilai W_c sangat bergantung dari kestabilan daya semu *S (VA)* sebagai hasil perkalian antara tegangan rms kumparan sekunder dan arus rms kumparan primer. Sehingga, kestabilan hasil yang diperoleh berkaitan erat dengan kestabilan data-data tegangan dan arus yang diakuisisi oleh personal komputer.

Tabel 2. Data pengukuran dengan personal komputer

H(A/m)	B (T)	μ_0H(T)	Wc(W/kg)
3635,83	(B_s)1,98	0,0046	9,64
2893,27	1,89	0,0036	8,47
2402,93	1,80	0,003	7,74
1192,54	1,63	0,0015	6,17
660,05	1,52	0,0008	5,59



Gambar 4. Plot data W_c-*B* pengukuran manual dan pengukuran dengan personal komputer.

Titik berat yang perlu diperhatikan adalah bahwa kedua pengukuran kerugian inti per kilogram pada sekitar 1,5T masih dalam jangkauan data-data penelitian sebelumnya yaitu pada material silikon steel *non-oriented* (3%Si, ketebalan 0,5mm dan f = 50Hz) yang mempunyai kerugian inti total antara 3,62 - 6,27 W/kg. Tapi berdasarkan kedua hasil diatas, karakteristik kerugian inti total mendekati tipe M-43 atau M-45(AISI) [9].

Pusar W_e Pada kondisi B<1,4T, koefisien *Steinmetz* n telah diperoleh mendekati nilai 1,6, serta diketahui adanya tendensi kenaikan W_h pada rata-rata nilai kerapatan fluks yang lebih tinggi[11]. Perhitungan numerik secara geometris berbasiskan problem interaksi elektromegnetik dapat digunakan pula untuk menentukan besarnya kerugian histeresis[12]. Tapi penelitian tersebut tidak memberikan hasil kerugian histeresis dari eksperimen secara langsung, dan kenyataannya kerugian total secara eksperimen selalu lebih besar dari nilai kerugian inti total yang diperoleh melalui perhitungan teoritis.

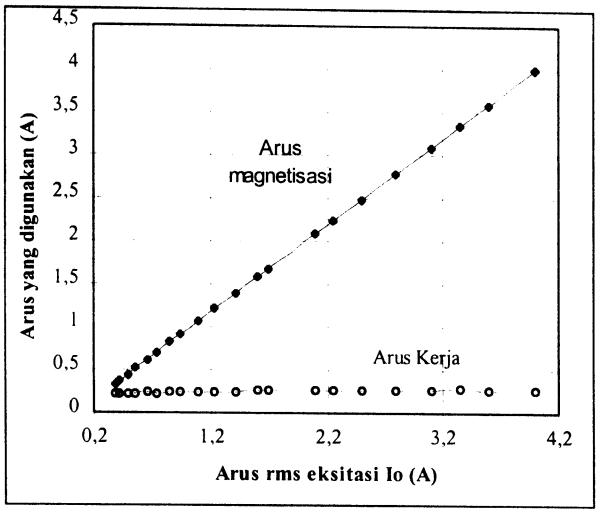
Telah diketahui bahwa kerugian histeresis dan kerugian arus pusar tidak independen. Interaksi mutual terjadi setiap adanya pergerakan dinding domain inti akibat perubahan fluks. Perubahan fluks selain memagnetisasi domain-domain secara lokal, juga menimbulkan *eddy- current* pada domain-domain tersebut. Secara klasik, dinyatakan bahwa *eddy-current* menghasilkan vektor medan magnet yang arahnya berlawanan dengan arah medan eksternal, dimana kuat medan tersebut mendekati nol pada permukaan sampel dan berharga maksimum pada pusat arus. Jika material yang digunakan non isotropik, maka ketidakuniforman magnetisasi terjadi. Hal ini dapat menyebabkan ketidakstabilan data kerugian inti. Berdasarkan plot data W_c-*B*, dapat dilihat adanya ketergantungan nilai kerugian inti terhadap kerapatan fluks yang mendekati linier. Ada prediksi bahwa hubungan linieritas tetap memiliki karakteristik *slope* yang sama atau mungkin lebih besar, saat pengambilan data kerugian inti dipertahankan pada kondisi B_s. Hal ini disebabkan adanya penambahan kerugian tembaga yang harus diperhitungkan pada kondisi arus eksitasi yang sangat besar. Selain itu karakteristik mikroskopis inti sangat memberikan peranan yang besar pada nilai kerugian inti total. Separasi kerugian inti pada kondisi perubahan fluks sinyal frekuensi rendah (50-60Hz) biasanya menggunakan asumsi bahwa kerugian histeresis konstan, sehingga kerugian arus pusar (*eddy-current*) menjadi variabel dominan kerugian inti total. Namun telah diteliti adanya ketergantungan kerugian histresis terhadap nilai frekuensi antara 0-64Hz yang cukup linier[9].

Pengukuran kerugian inti dengan metoda AC *Epstein* mengasumsikan bahwa sinyal yang keluar dari kumparan sekunder tidak mengalami distorsi dan mempunyai kestabilan sinusoida terhadap waktu yang mendekati faktor bentuk 1,11. Tapi secara eksperimen, kestabilan sinyal *output* sangat dipengaruhi oleh kestabilan magnetik inti terhadap efek vibrasi mekanis, tumbukan, tekanan dan percepatan sentrifugal[10].

Untuk menentuan kerugian histeresis untuk material *silicon-steel non-oriented,* formulasi yang biasa digunakan pada umumnya dilakukan dengan mengurangi besarnya kerugian inti total W_c dengan kerugian arus.

Pengukuran kerugian inti dengan metoda AC *Epstein* merupakan metoda yang ekuivalen dengan pengukuran *no-load transformer test* dengan mengasumsikan besarnya konstanta transformasi K berharga 1. Berdasarkan pengukuran manual diperoleh besarnya faktor daya cos j rangkaian penguji *Epstein* menggunakan regresi linier sekitar 0,04 dengan faktor koreksi 10,14 dan korelasi 0,92. Hasil tersebut sangat dipengaruhi oleh karakteristik kerapatan fluks yang dihasilkan material inti FeSiC ini, yang tidak linier pada

kondisi diatas 1,5T. Dengan nilai *cos* j yang diperoleh, dapat dihitung secara vektor besarnya arus magnetisasi $Im \sim I_0 \sin$ j dan arus kerja $I_w \sim I_0 \cos$ j (arus yang hilang karena *coreloss* dan *copperloss*). *Plot* data kedua penggunan arus diberikan pada Gambar 5. Berdasarkan plot data tersebut dapat dilihat bahwa persentasi hilangnya arus pada kerugian inti dan kerugian tembaga jauh lebih kecil dari penggunaan arus untuk memagnetisasi sampel. Dengan mengabaikan nilai *copperloss*, maka dihasilkan nilai kerugian inti yang cukup kecil.



Gambar 5. Plot data penggunaan arus eksitasi I_0pada rangkaian penguji Epstein Berdasarkan analisis vektor .

KESIMPULAN

Pengukuran kerugian inti melalui komputer personal pada nilai kerapatan fluks total diatas 1,5T hingga saturasi secara kualitatif memberikan hasil yang sama dengan pengukuran manual, tetapi secara kuantitatif masih terdapat perbedaan sekitar 5-15%, yang diduga kuat berasal dari perambatan kesalahan pada komponen elektronik prototipe instrumen. Pada kedaan real, keketergantungan kerugian inti total W_c terhadap kerapatan fluks B yang tidak uniform merupakan efek yang muncul akibat dependensi nilai kerugian histerisis dan *eddy-current* terhadap pergerakan dinding domain inti pada setiap perubahan fluks, dan disebabkan pula oleh perubahan karakteristik material inti terhadap ketidakstabilan frekuensi dan faktor-faktor mekanis yang muncul pada eksperimen.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih diberikan kepada QUE Project Jurusan Fisika Universitas Indonesia, dengan Project Grand yang diadakan, sehingga penelitian ini dapat dilaksanakan dengan baik.

DAFTAR ACUAN

[1]. O'HANDLEY, R.C., *Modern Magnetic Materials Principles and Aplications*, J. Wiley & Sons Inc., New York (2000) 358.

[2]. JR.GRAHAM, C.D., *J. Appl. Phys.*, **53** (11) (1982) 8276

[3]. LITMAN,F.MARTIN, *J. Appl. Phys.*, **53** (3) (1982) 2416

[4]. THERAJA,B.L.,THERAJA,A.K., *A Tex -Book of Electrica Technology*, Vol II, New Dehli (1995) 781.

[5]. HandBook JIS C2550 Standard, Electrical Sheet Steel and Strip, Japanese Standard Association, (2000).

[6]. HandBook JIS C2550 Standard, Electrical Sheet Steel Test Methods, Yokogawa Inc., (1970).

[7]. HandBook for Electricity Metering, Ed.9, Edison Eletric Institute, Washington, D.C. (1992).

[8]. Application Note 265, AnElectronicWatt -Watt Hour Meter, National Semiconductor Corp., (1984)

[9]. CHIN, G.Y., WERNICK, J.H., *Soft Metallic Materials, Ferromagnetic Materials*, Vol.2, North–Holland publishing company (1980) 109.

[10]. SEAGLE,D.J., CHARAP,S.H.,*J.Appl.Phys.*, **53** (11) (1982) 8299

[11]. CHANG WU - SHIN, HAN YUNG-CHU, *J. Appl. Phys.*, **53** (11) (1982) 7825

[12]. FOSTER, K., WERNER, F.E., DELVECCHIO, R.M., *J.Appl. Phys.*, **53** (11) (1982) 8308

[13]. DEL VECCHIO, R.M., *J. Appl. Phys.*, **53** (11) (1982) 8281