

STUDI PENGARUH UKURAN GRAIN TERHADAP KOERSIVITAS ALLOYMAGNETIK FESI (SI = 3,2 AT%)

Zulkarnain¹, D. Triyono²

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian pengaruh ukuran grain terhadap koersivitas alloy magnetic FeSi (Si=3,2at%). Alloy FeSi (Si=3,2at%) dibuat dengan alat arc melting furnace. Untuk memvariasi ukuran grain, alloy dianil dalam kondisi vakum dengan temperatur 800°C selama 30, 60 dan 90 menit. Hasil foto mikro diperoleh ukuran grain rata-rata antara $0,337 \pm 0,045$ mm sampai dengan $0,427 \pm 0,045$ mm. Hasil XRD menunjukkan bahwa alloy yang telah dianil memiliki puncak intensitas lebih tinggi, lebar FWHM lebih kecil dibandingkan dengan alloy non anil. Loop hysteresis dari VSM (vibrating sample magnetometer) diperoleh koersivitas antara $(1,04 \pm 0,01) \times 10^3$ sampai dengan $(1,07 \pm 0,01) \times 10^3$ A/m. Didapat korelasi semakin besar ukuran grain, semakin kecil koersivitasnya dengan fungsi koersivitas terhadap ukuran grain $H_c(A/m) = 0,98 \times 10^3 + 0,03/D$.

Kata kunci : soft magnetik, koersivitas, ukuran grain.

Abstract

Has researched on the influence of grain size of the alloy magnetic coercivity FeSi (Si = 3.2 at%). FeSi alloy (Si = 3.2 at%) was prepared by means of arc melting furnace. To vary the size of the grains, the alloy is annealed in a vacuum at temperatures 800°C for 30, 60 and 90 minutes. The images obtained by micro-grain size on average between 0.337 ± 0.045 mm to 0.427 ± 0.045 mm. XRD results showed that the alloy has been annealed have a higher peak intensity, FWHM width is smaller than the non-annealed alloy. Hysteresis loop of the VSM (vibrating sample magnetometer) was obtained between the coercivity $(1.04 \pm 0.01) \times 10^3$ up to $(1.07 \pm 0.01) \times 10^3$ A / m. The greater the correlation obtained grain size, the smaller coercivity with the coercivity function gain grain size is $H_c (A / m) = 0.98 \times 10^3 + 0.03 / D$.

Keywords: soft magnetic coercivity, grain size.

1. Pendahuluan

Material *soft* magnetik atau dikenal dengan material magnet berpermeabilitas tinggi pertama kali dikenalkan pada tahun 1905. Material ini dapat menghasilkan perubahan densitas fluks magnet sangat besar dengan memperlakukan medan yang sangat kecil yaitu sekitar 8 A/m [1]. Oleh karena permeabilitas tinggi, material ini memiliki magnetisasi saturasi tinggi dan koersivitas rendah. Perubahan ini terjadi ketika proses magnetisasi, yang disebabkan oleh perpindahan dinding domain atau rotasi vektor magnetisasi [3,5,13]. Perlakuan medan

eksternal pada sampel melalui VSM (*Vibrating Sampel Magnetometer*), menyebabkan perubahan orientasi domain-domain yang berada dalam grain. Ketika mencapai magnetisasi, seluruh domain telah satu arah dengan medan eksternalnya. Apabila didemagnetisasi hingga mencapai magnetisasi nol, sampel mempunyai nilai koersivitas, yang disebabkan karena adanya *pinningdomain wall* (dinding domain) atau impedansi terhadap gerak dinding domain yang selanjutnya akan mengurangi permeabilitas [8,9,10,12]. Penelitian ini dilakukan terhadap bahan *soft* magnetik FeSi dengan Si = 3,2 at%. Pemilihan kandungan Si = 3,2 at% karena

¹ Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau

² Departemen Fisika FMIPA UI Depok

menghasilkan *soft* magnetik yang terbaik dalam aplikasi inti transformator yaitu memiliki permeabilitas tinggi dan koersivitas kecil. Dalam penelitian ini penulis juga mempelajari struktur mikro bahan *soft* magnetik melalui difraksi sinar – X (XRD) untuk menentukan fasa, foto mikro untuk menentukan ukuran grain dengan metode planimetrik melalui ASTM E-112 dan mempelajari morfologi permukaan FeSi. Variasi ukuran grain dapat dilakukan dengan menganilsampel dengan variasi waktu $t = 30$ menit, 60 menit dan 90 menit menggunakan *oven* dalam kondisi vakum dengan menjaga suhu tetap 800°C . Studi pengaruh ukuran grain terhadap koersivitas dipelajari dengan memperlakukan medan eksternal dengan alat *Vibrating Sampel Magnetometer (VSM)* yang selanjutnya dipelajari korelasi antara koersivitas terhadap ukuran grain.

2. Metodologi

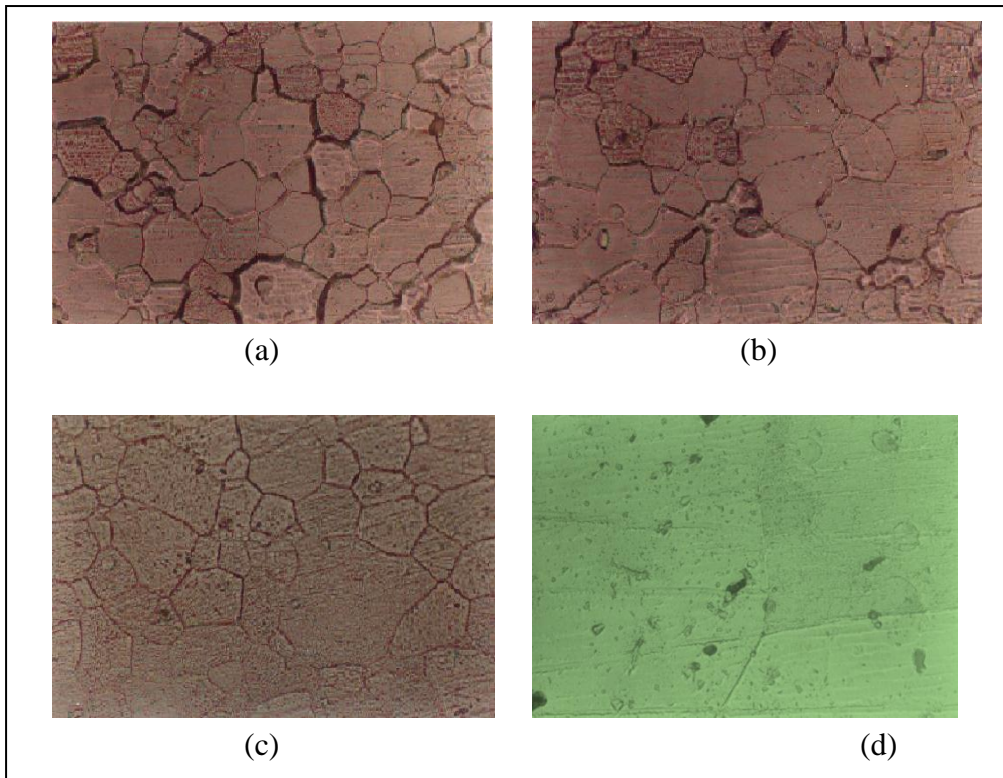
Penelitian menggunakan metode ilmiah di mulai dari preparasi sampel dengan menimbang Fe dan Si. Sampel Fe yang digunakan adalah Fe murni dari Alfa Aesar (A Johnson Matthey Company) MSDS, berbentuk *iron pieces, irregularly shaped, 12 mm & down, 99,97+%* (*metal basis*)

sedangkan Si dengan kemurnian 99,9999%. Selanjutnya proses *melting* dengan menggunakan alat *arc melting furnace*, sampel yang dihasilkan berbentuk pelet. Pelet dipotong dengan mesin pemotong (*cutting machine*) menjadi beberapa bagian yang siap untuk dianalisis. Proses *annealing* dijaga tetap pada suhu 800°C dengan variasi waktu 30 menit, 60 menit dan 90 menit. Proses selanjutnya adalah karakterisasi terdiri dari : Foto mikro untuk menentukan ukuran grain dengan prosedur Planimetrik (ASTM E-112) dan mempelajari morfologi permukaan, XRD (*x-ray Diffraction*) untuk mempelajari fase kristal dan VSM (*Vibrating Sampel Magnetometer*) untuk mempelajari sifat magnet dengan grafik loop histeresis. Dari perhitungan dan pengukuran yang dilakukan selanjutnya dianalisis dengan mempelajari korelasi antara koersivitas terhadap ukuran grain, magnetisasi saturasi, magnetisasi remanen, dan struktur fasanya.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Foto Mikro

Foto mikro bertujuan untuk mempelajari morfologi permukaan dan ukuran grain. Untuk tiap sampel terlihat seperti gambar berikut :



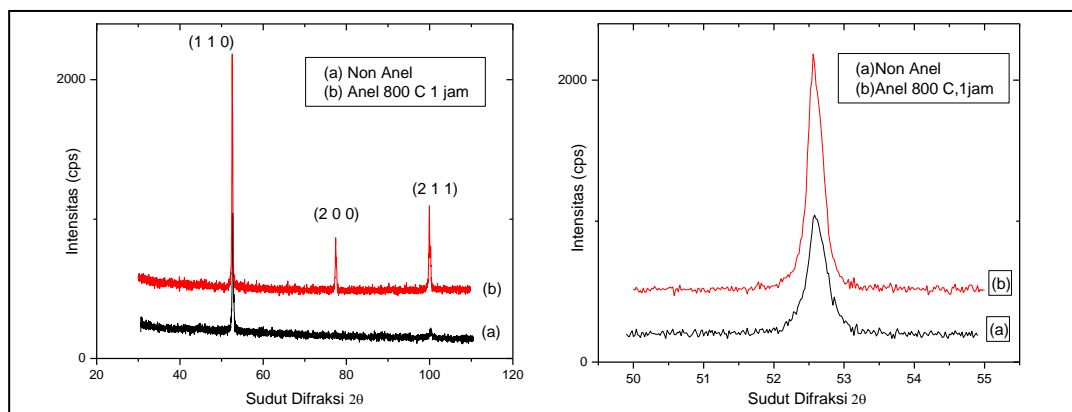
Gambar 3.1. Foto mikro FeSi (Si = 3,2% atSi) yang dianel dengan suhu 800°C, waktu (a) 30 menit, (b) 60 menit, (c) 90 menit (d) non anel dengan perbesaran masing-masing 500X

Pada foto mikro gambar 3.1 terlihat bahwa adanya perbedaan dari sisi ukuran maupun susunan grain pada tiap variasi waktu anel. Grain yang tampak merupakan grain yang mengalami rekristalisasi, sebagai akibat dari *annealing*. Pada fotomikro non anel tidak terjadi rekristalisasi. Susunan grain lebih teratur pada anel 90 menit, jika dibandingkan anel 60 menit dan 30 menit. Hal ini karena

sudah terbentuknya kristal yang lebih homogeny

3.2. XRD (X- ray Diffraction)

Hasil XRD untuk FeSi yang belum dan telah dianil pada suhu 800°C selama 1 jam, terlihat pada grafik berikut :



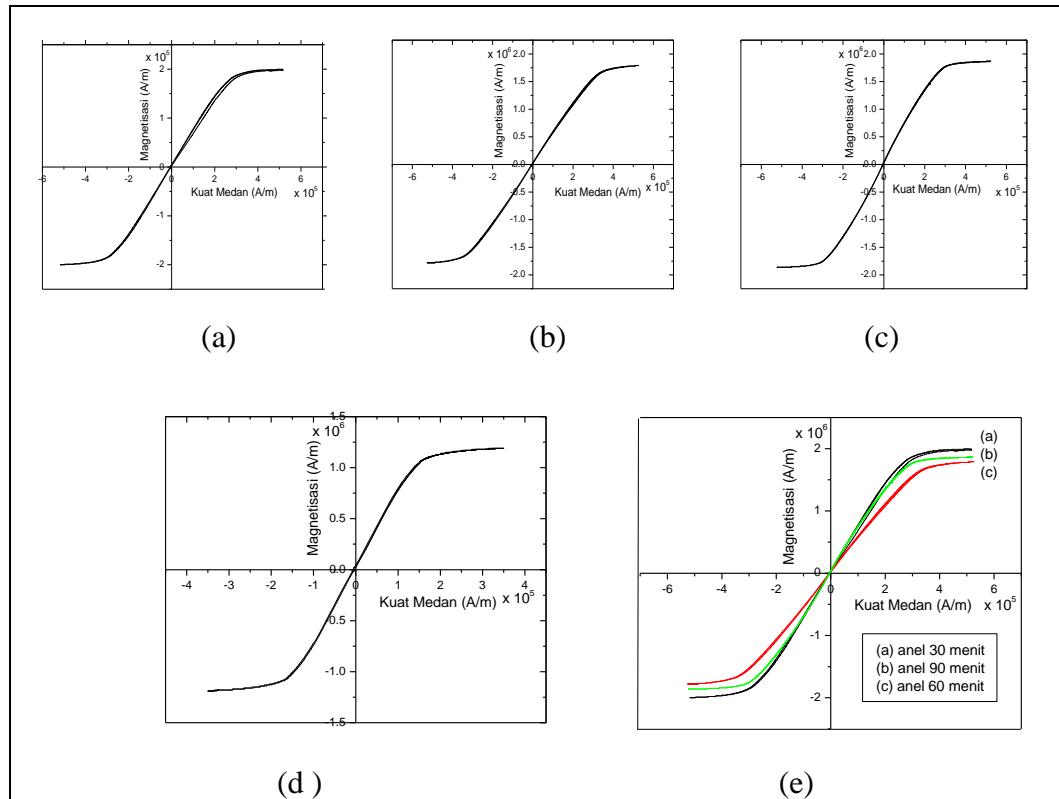
Gambar 3.2. XRD untuk FeSi yang telah dianel dan belum dianel

Hasil XRD terlihat ada perbedaan ketinggian intensitas pada sudut 52° . Namun pada sudut 77° dan 99° sampel yang telah dianil selama 1 jam dengan suhu 800°C muncul puncak baru (terlihat lebih jelas) dibandingkan dengan sampel yang belum dianil. Ini menunjukkan

adanya pengaruh anil menyebabkan kan Si menyatu dengan Fe.

3.3. VSM (*Vibrating Sample Magnetometer*)

Hasil VSM untuk berbagai sampel dapat ditampilkan sebagai berikut :



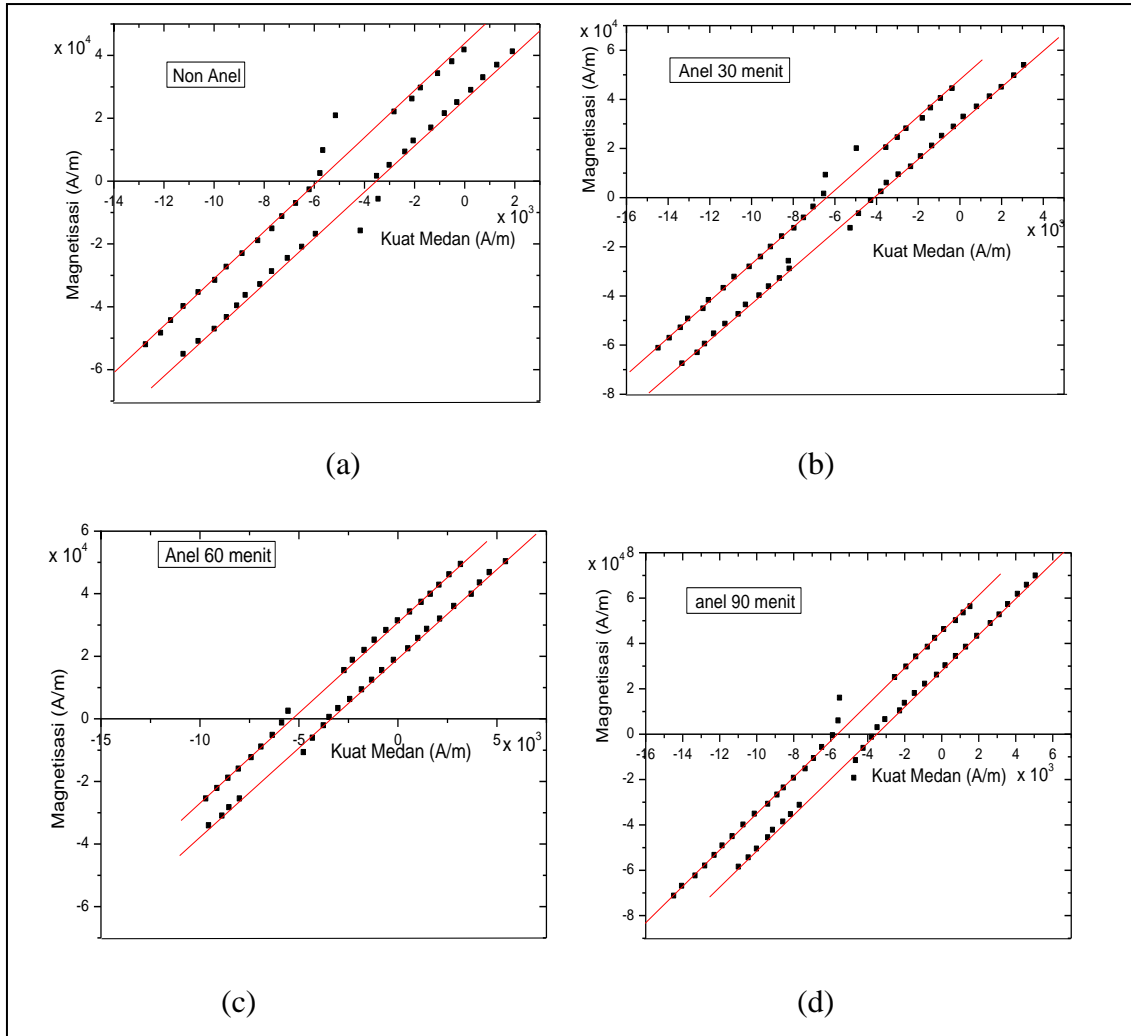
Gambar3.3. Loop histeresis FeSi (Si 3,2at%) yang dianil dengan suhu 800°C dengan variasi waktu (a) 30 menit, (b) 60 menit, (c) 90 menit. (d) nonanil. (e) gabungan

Pada karakterisasi VSM sampel dibuat seperti tabung dengan ukuran diameter (d) 1 mm dan tinggi (l) 5 mm atau $d/l = 5$. Massa sampel masing-masing sebagai berikut : Non anel sebesar 0,0758 gram, anel 30 menit sebesar 0,0513 gram, anel 60 menit sebesar 0,0422 gram dan anel 90 menit sebesar 0,0352 gram, diberi medan eksternal dari 0 hingga 0,75 T (0 hingga $5,968 \times 10^5$ A/m) , dengan laju 0,05 Tesla/menit. Pemberian medan eksternal sebesar ini disebabkan pada pengujian kasar, sampel sudah mulai mengalami saturasi sekitar 0,6 T ($4,774 \times 10^5$ A/m). Selanjutnya di demagnetisasi hingga –

0,75 T. Pada loop hysteresis untuk ketiga sampel memiliki kurva yang hamper sama, hanya terlihat ada sedikit perbedaan pada nilai magnetisasi maksimum, hal ini dikarenakan adanya perbedaan pendekatan geometri sampel berbentuk tabung yang tidak terlalu mirip antara satu dengan yang lain.

Penentuan nilai koersivitas dapat dicari dengan mencari selisih range kiri dan kanan pada kurva yang memotong sumbu x (kuat medan), selanjutnya dibagi dua. Dari 4320 data diambil sekitar 20 data yang berada pada data yang mendekati sumbu x. Grafik loop hysteresis pada kurva yang memotong

sumbu x diperbesar seperti terlihat pada grafik berikut:



Gambar 3.4. Grafik Penentuan koersivitas untuk tiap sampel FeSi(Si 3,2at%). (a) non anil, (b) anil 30 menit, (c) anil 60 menit, (d) anil 90 menit.

Pada gambar 3.4 terlihat bahwa posisi kurva yang memotong sumbu x (kuat medan) berada pada posisi kiri dari sumbu kartesian. Hal ini disebabkan VSM sangat sensitif terhadap pengaruh medan magnet bumi selama pengujian.

Pada sampel FeSi (Si=3,2at%) anil pada suhu 800 °C selama 30 menit, nilai koersivitasnya sebesar $(1,07 \pm 0,01) \times 10^3$ A/m dengan diameter grain rata-rata $0,337 \pm 0,045$ mm. Sampel FeSi anel pada suhu

800 °C selama 60 menit, nilai koersivitasnya sebesar $(1,05 \pm 0,01) \times 10^3$ A/m dengan diameter grain rata-rata $0,373 \pm 0,045$ mm. Sedangkan sampel FeSi anel pada suhu 800 °C selama 90 menit, nilai koersivitas sebesar $(1,04 \pm 0,01) \times 10^3$ A/m dengan diameter grain rata-rata $0,427 \pm 0,045$ mm.

Nilai sifat magnet seperti koersivitas, remanen dan magnetisasi saturasi terlihat pada table berikut :

Tabel 1. Nilai-nilai sifat magnet pada alloy FeSi (Si = 3,2 at%)

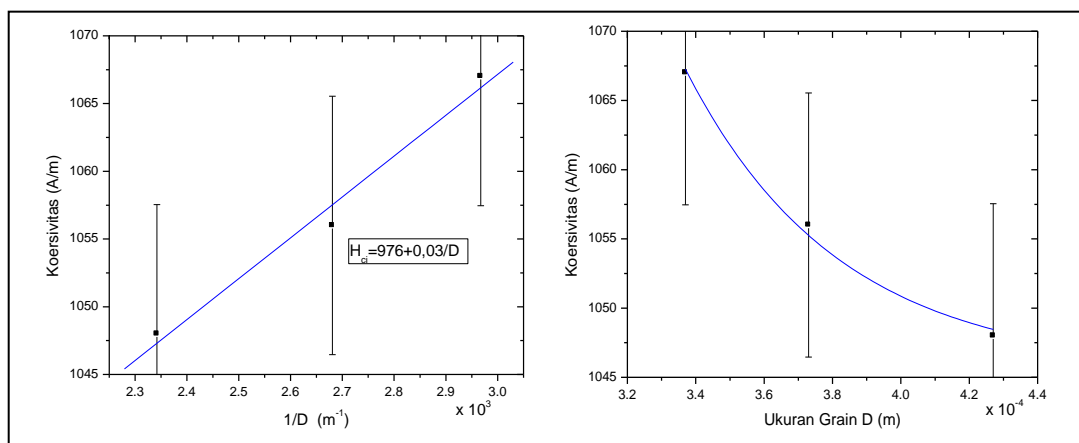
¹ Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau

² Departemen Fisika FMIPA UI Depok

No	Waktu Anil (Menit)	Ukuran Grain d (mm)	H _c (A/m)	M _R (A/m)	M _{maks} (H = 5,97x10 ⁵) A/m)
			x10 ³	x10 ³	x10 ⁶
1	0		1,26±0,01	8,93	1,19
2	30	0,337±0,04 5	1,07±0,01	8,00	2,00
3	60	0,373±0,04 5	1,05±0,01	5,85	1,78
4	90	0,427±0,04 5	1,04±0,01	8,60	1,86

Grafik-grafik dari hubungan pada table tersebut dapat diplotkan seperti gambar

berikut, untuk grafik nilai koersivitas terhadap ukuran grain:



Gambar 3.5. Grafik FeSi (Si=3,2at%) antara koersivitas terhadap (1/d) dan koersivitas terhadap ukuran grain d

Pada grafik terlihat bahwa semakin besar $1/d$ atau semakin kecil d , maka semakin besar koersivitasnya. Perbedaan nilai koersivitas untuk nilai d yang berbeda disebabkan adanya perbedaan jumlah batas grain, dan banyaknya grain. Semakin banyak grain maka semakin banyak pula momen magnet yang arahnya tidak koheren, sehingga ketika medan diberikan pada sampel yang memiliki banyak grain, memerlukan energi yang lebih untuk menyearahkan anisotropi momen magnet dan melawan *exchange* energi yang dimiliki oleh tiap momen. Disamping itu dibutuhkan juga energi untuk merubah mekanisme dinding domain, yang tergantung pada arah mudah

(sudut) terhadap arah medan yang diberikan. Energi-energi ini memberikan kontribusi yang paling dominan untuk menentukan suatu material itu koersif atau tidak. Karena bahan yang digunakan merupakan ferro magnetik yang memiliki momen magnet yang mudah disearahkan, maka tidak terlalu besar energi yang dibutuhkan untuk memagnetisasi sampel. Oleh karena energi yang dibutuhkan kecil, maka koersivitas juga kecil. Pada gambar 3.4 memperlihatkan bahwa semakin besar ukuran grain maka semakin kecil koersivitas, ini hanya terjadi pada material dengan ukuran grain diatas mikro. Beda dengan grafik yang diplot antara koersivitas terhadap $1/d$, yang menunjukkan linieritas

suatu kurva, grafik koersivitas terhadap d hanya menunjukkan adanya korelasi antara koersivitas terhadap ukuran grain secara umum yaitu: semakin besar ukuran grain maka semakin kecil koersivitasnya.

4. Kesimpulan

Penelitian pada pengaruh ukuran grain terhadap koersivitas alloy magnet FeSi (Si = 3,2 at%) memberikan hasil koersivitas berbanding terbalik dengan ukuran grain, atau berbanding lurus dengan $1/d$. Sesuai dengan persamaan $H_{ci} = a + b/D$, dengan $a = 0,98 \times 10^3 \text{ A/m}$ dan $b = 0,03 \text{ A}$. Pada sampel FeSi (Si=3,2at%) anel pada suhu 800°C selama 30 menit, nilai koersivitas sebesar $(1,07 \pm 0,01) \times 10^3 \text{ A/m}$ dengan ukuran grain rata-rata $0,337 \pm 0,045 \text{ mm}$. Sampel FeSi anel pada suhu 800°C selama 60 menit, nilai koersivitas sebesar $(1,05 \pm 0,01) \times 10^3 \text{ A/m}$ dengan ukuran grain rata-rata $0,373 \pm 0,045 \text{ mm}$. Sedangkan sampel FeSi anel pada suhu 800°C selama 90 menit, nilai koersivitas sebesar $(1,04 \pm 0,01) \times 10^3 \text{ A/m}$ dengan ukuran grain rata-rata $0,427 \pm 0,045 \text{ mm}$.

DAFTAR REFERENSI

1. Pesch. J.A. (1971, March). *On the correlation between domain size and coercive force in grain-oriented 3,25%Si-Fe*, IBM J. Res. Develop.
2. Coelho. R.E. etc. (2005), *Effect of Heat Treatment on Fe-B-Si-Nb Alloy powder prepared by mechanical alloying*, (vol. 8, No. 2, 161-163). J. Material Research.
3. Jiles.D.(1991). *Introduction to Magnetism and Magnetic Materials* (1sted), Chapman & Hall, USA.
4. Campos. M.F. *Effect of Grain Size and Crystalline orientation on the Coercivity of Sintered Magnets*, DIMAT, Brasil.
5. Szpunar. J.A. (1989), *Anisotropy of Magnetic Properties in Textured Materials*, J. Textures and Microstructures (vol. 11, pp 93-105). New York: McGraw-Hill.
6. Harrel. J.W. (2004), *Extrinsic Magnetic Properties (coercivity and all that stuff...)*, A tutorial
7. Molnar. G. etc, *Thickness dependent aggregation of Fe-Silicide island on Si substrate* (pg 48-52). thin solid films 459. Elsevier.
8. Ashcroft.N.W, & Mermin.N.D. (1976), *Solid State Physics*, Sounders College Publishing, USA.
9. Cullity. B.D.(1972), *Introduction to Magnetic Materials*, Addison-Wesley Publishing company Massachusetts. USA.
10. Callister, W.D. Jr (1994). *Material Science, and Engineering* (3rded), John Wiley and Sons, inc, Canada.
11. Chikazumi, S. & Stanley H.C (1959). *Physics of Magnetism*, John Wiley & Sons, Inc. USA.
12. Herzer. G. (1997), *Nanocrystalline soft magnetic alloys* (vol. 10), Handbook of Magnetic Materials, Germany.
13. Herzer. G. (1990, September), *Grain size dependence of coercivity and permeability in nanocrystalline ferromagnets* (vol, 26 no.5), IEEE transactions on Magnetics.

