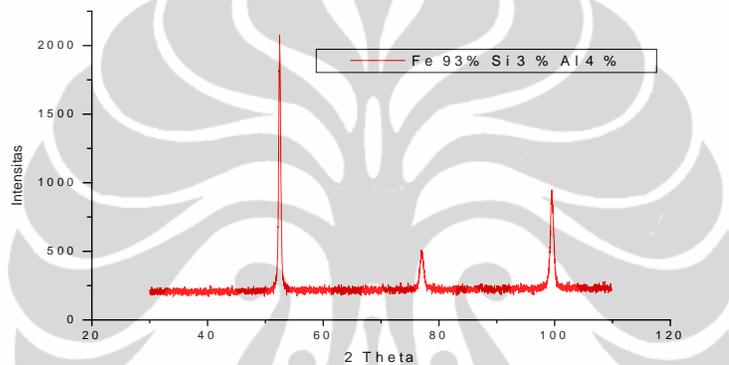


## BAB IV

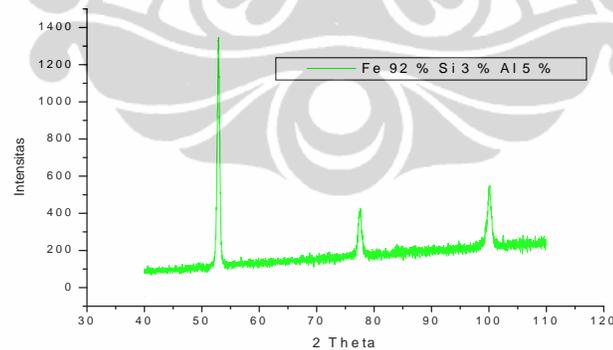
### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. XRD

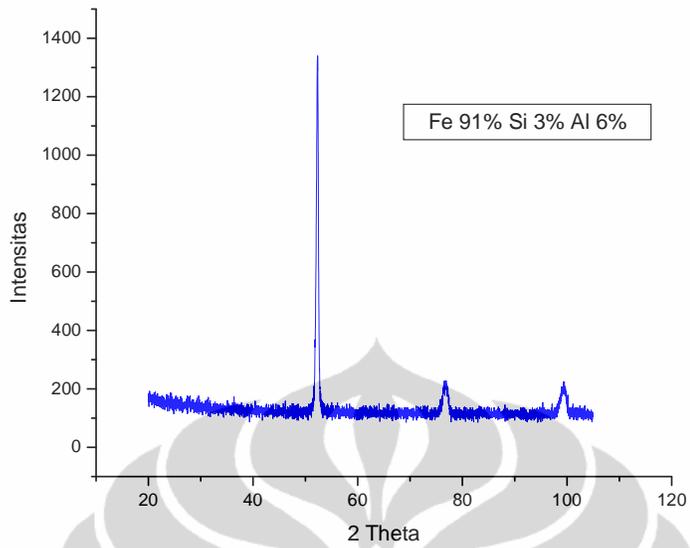
Uji XRD menggunakan difraktometer type Philips PW3710 BASED dilengkapi dengan perangkat software APD (Automatic Powder Diffraction) yang ada di Laboratorium UI Salemba XRD menggunakan tabung anod Co dengan panjang gelombang  $1,7889 \text{ \AA}$ . Berikut ini adalah hasil uji XRD dalam tampilan program origin



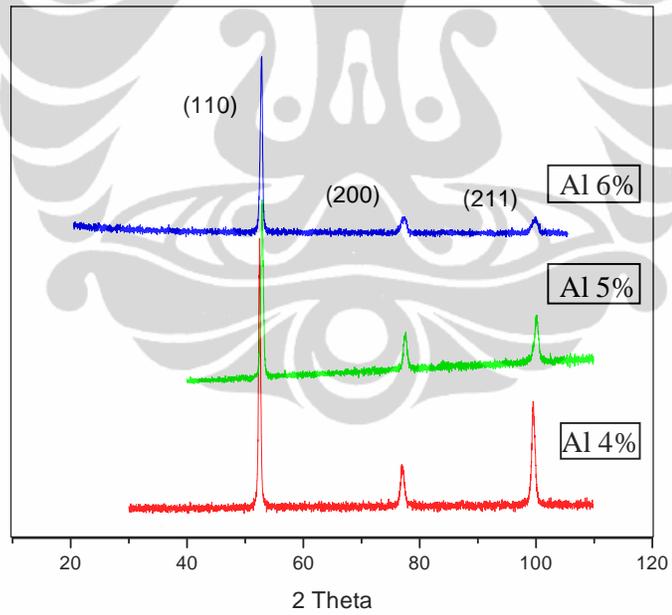
Gambar 4.1 Grafik XRD Fe 93 % Si 3 % Al 4 %



Gambar 4.2 Grafik XRD Fe 92 % Si 3 % Al 5 %



Gambar 4.3 Grafik XRD Fe 91 % Si 3 % Al 6 %



Gambar 4.4 Grafik Perbandingan XRD ketiga sampel

## 4.2. Pembahasan XRD

Pola difraksi XRD terdiri dari beberapa *peak*. Intensitas *peak* diplot dalam sumbu y dan sudut difraksi yang terukur diplot dalam sumbu x. Setiap *peak* atau *reflection* dalam pola difraksi terjadi akibat sinar X yang terdifraksi dari bidang atau planes dalam specimen atau material yang diuji XRD. Setiap *peak* mempunyai tinggi intensitas yang berbeda. Intensitas yang terjadi berbanding lurus dengan jumlah foton sinar X yang telah terdeteksi oleh detektor untuk setiap sudut.

Posisi *peak-peak* yang terjadi pada uji XRD tergantung dari struktur kristalnya, hal ini yang dapat digunakan untuk menentukan struktur dan parameter kisi dari material yang di uji.

Pada material yang diuji XRD diketahui bahwa semua bidang paralel mempunyai notasi (hkl) yang sama. Jika diukur jarak tegak lurus dari titik asal ke bidang terdekat berikutnya maka jarak yang terukur adalah jarak interplanar d. Kaidah umum untuk jarak d dalam kristal kubik adalah sebagai berikut:

$$d_{hkl} = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}} \quad (4.1)$$

Dimana a adalah konstanta kisi dan h,k, dan l sebagai indeks bidang.

Dari pengolahan data grafik dapat diketahui bahwa setiap sampel mempunyai posisi *peak* dan intensitas yang sama. Secara detail, puncak-puncak difraksi muncul pada sudut  $52^\circ$ ,  $77^\circ$  dan  $99^\circ$  masing- masing pada bidang refleksi (110), (200) dan (211). Dengan menggunakan persamaan (4.1) dan kaidah aturan seleksi sesuai tabel berikut:

Tabel 4.1 *Selection rules* [12]

<i>Bravais Lattice</i>	<i>Reflections Present for</i>	<i>Reflections Absent for</i>
<i>Body centered cubic</i>	<i>h+k+l even</i>	<i>h+k+l odd</i>
<i>Face centered cubic</i>	<i>h,k,l unmixed(all even or all odd)</i>	<i>h,k,l mixed</i>

Dapat disimpulkan bahwa fasa ketiga sampel adalah bcc.

Tabel 4.2 Kalkulasi Parameter kisi untuk kadar Al 4%

Puncak	2 θ(°)	θ(°)	λ(angstrom)	sinθ	sin²θ	h k l
1	52,360	26,180	1,789	0,441	0,194	1 1 0
2	76,965	38,482	1,789	0,662	0,438	2 0 0
3	99,510	49,755	1,789	0,763	0,763	2 1 1

Data persyaratan untuk analitik Cohen[12] sebagai berikut :

$$A \sum \alpha^2 + C \sum \alpha \delta = \sum \alpha \sin^2 \theta$$

$$\sum A \alpha \delta + C \sum \delta^2 = \sum \delta \sin^2 \theta$$

Dengan :  $\alpha = h^2 + k^2 + l^2$  dan  $\delta = 10 \sin^2 \theta$

Puncak	α	δ	α²	α δ	δ²	αsin²θ	δsin²θ
1	2	6,270	4	12,540	39,313	0,389	1,219
2	4	9,490	16	37,960	90,060	1,754	4,161
3	6	9,727	36	58,362	94,614	3,495	5,665

Dari tabel ini didapat konstanta A = 0,087

Sehingga didapat parameter kisi sebesar :  $a_o = \frac{\lambda}{2\sqrt{A}} = 0,303 \text{ nm.}$

Tabel 4.3 Kalkulasi Parameter kisi untuk kadar Al 5%

Puncak	2 θ(°)	θ(°)	λ(angstrom)	sinθ	sin²θ	h k l
1	52,915	26,457	1,789	0,445	0,198	110
2	77,680	38,840	1,789	0,627	0,393	200
3	100,155	50,077	1,789	0,767	0,588	211

Data persyaratan untuk analitik Cohen sebagai berikut

Puncak	$\alpha$	$\delta$	$\alpha^2$	$\alpha \delta$	$\delta^2$	$\alpha \sin^2\theta$	$\delta \sin^2\theta$
1	2	6,363	4	12,726	40,487	0,794	1,263
2	4	9,500	16	38,000	90,250	3,146	3,736
3	6	9,690	36	58,140	93,896	7,056	5,699

Dari tabel ini didapat konstanta  $A = 0,064$

Sehingga didapat parameter kisi sebesar :  $a_o = \frac{\lambda}{2\sqrt{A}} = 0,349 \text{ nm}$ .

Tabel 4.4 Kalkulasi Parameter kisi untuk kadar Al 6%

Puncak	$2\theta(^{\circ})$	$\theta(^{\circ})$	$\lambda(\text{angstrom})$	$\sin\theta$	$\sin^2\theta$	h k l
1	52,375	26,187	1.7889	0,441	0,194	110
2	76,885	38,442	1.7889	0,621	0,386	200
3	99,515	49,757	1.7889	0,763	0,582	211

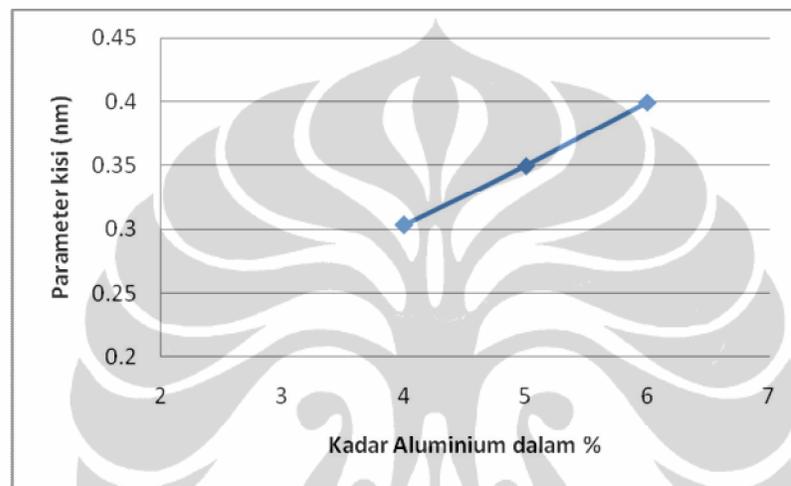
Data persyaratan untuk analitik Cohen sebagai berikut:

Puncak	$\alpha$	$\delta$	$\alpha^2$	$\alpha \delta$	$\delta^2$	$\alpha \sin^2\theta$	$\delta \sin^2\theta$
1	2	6,273	4	25,092	39,351	0,584	1,221
2	4	9,485	16	151,76	89,967	2,319	3,667
3	6	9,726	36	350,136	94,608	5,243	5,667

Dari tabel ini didapat konstanta  $A = 0,050$

Sehingga didapat parameter kisi sebesar :  $a_o = \frac{\lambda}{2\sqrt{A}} = 0,399 \text{ nm}$ .

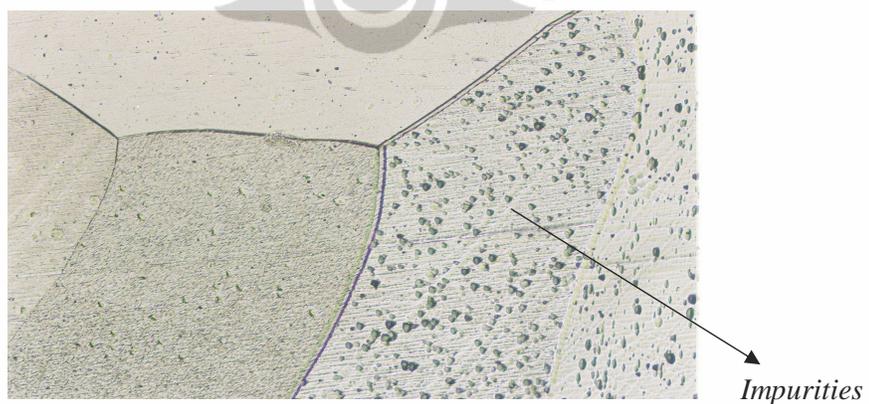
Dilihat dari data parameter kisi makin meningkat seiring dengan pertambahan kadar Aluminium, hal ini artinya terdapat hubungan yang linier antara penambahan persen atom Al dengan peningkatan parameter kisi dari ketiga sampel.



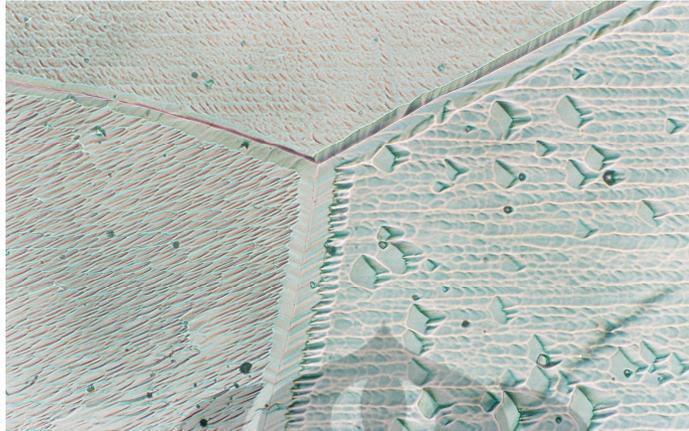
Gambar 4.5 Grafik hubungan Persentasi atom Al dan parameter kisi

#### 4.3. Foto Mikro

Berikut ini adalah hasil foto mikro dengan perbesaran 100x dan 500x



Gambar 4.6 Foto Mikro 100x Fe 93 % Si 3 % Al 4 %

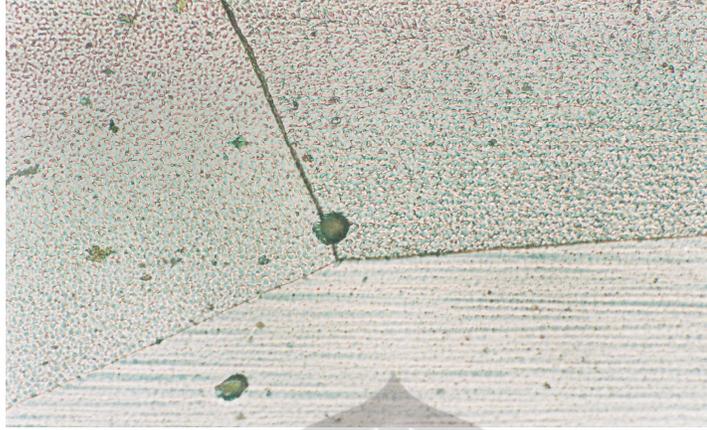


Gambar 4.7 Foto Mikro 500x Fe 93 % Si 3 % Al 4 %

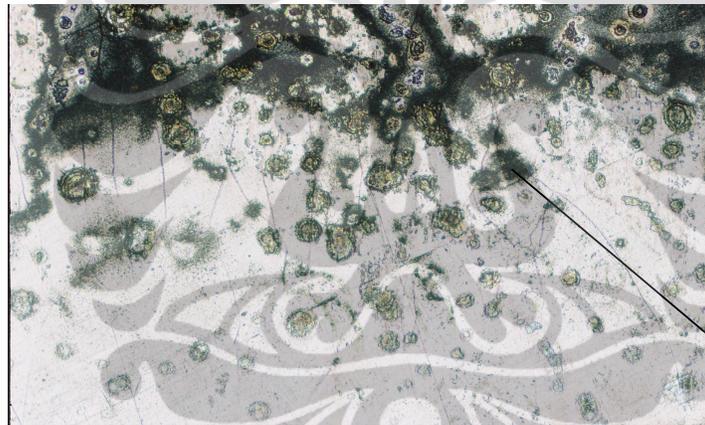


*Impurities*

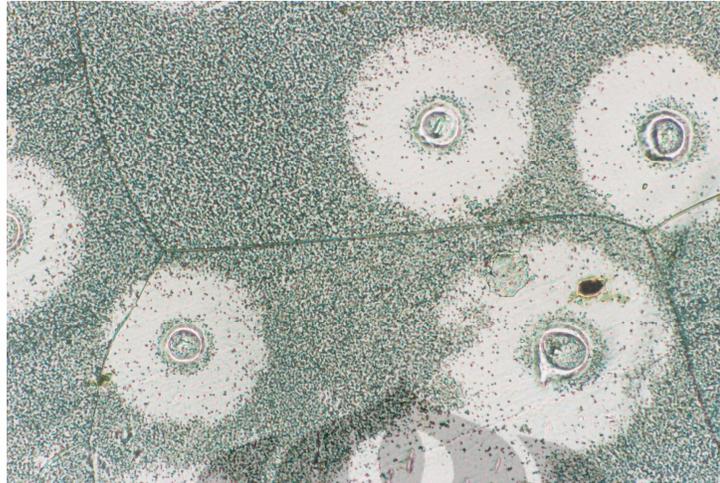
Gambar 4.8 Foto Mikro 100x Fe 92 % Si 3 % Al 5 %



Gambar 4.9 Foto Mikro 500x Fe 92 % Si 3 % Al 5 %



Gambar 4.10 Foto Mikro 100x Fe 91 % Si 3 % Al 6 %



Gambar 4.11. Foto Mikro 500x Fe 91 % Si 3 % Al 6 %

#### 4.4. Pembahasan Foto Mikro

Dari data foto mikro pada perbesaran 100x dan 500x dengan variasi komposisi Aluminium 4%, 5% dan 6 % bahwa pada setiap gambar terdapat impurities hal ini terjadi karena penambahan Al.

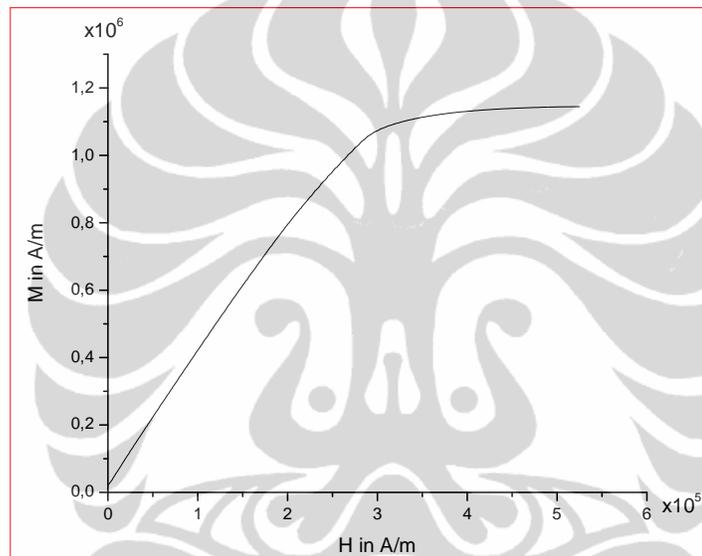
Ketika suatu atom ditambahkan pada suatu *host material*, struktur kristal dari *host material* masih sama, dan tidak ada struktur baru yang terbentuk dalam hal ini struktur dari Fe adalah tetap bcc walaupun ada *impurities* yang ditemukan dari foto mikro. Impurities yang terlihat dalam foto mikro tersebar secara acak.

Meskipun suatu material merupakan struktur bcc, material ini mengandung sejumlah kristal dengan beragam orientasi. Kristal-kristal individu ini disebut butir. Bentuk butir dalam padatan biasanya ditentukan oleh kehadiran butir-butir di sekelilingnya. Akan tetapi pada batas butir diantara dua butir yang berdekatan, terdapat zona transisi yang tidak searah dengan kedua butir, hal ini merupakan *imperfection* dari kristal yang dapat mengakibatkan *hysteresis loss* bertambah sehingga luasan kurva *hysteresis* bertambah.

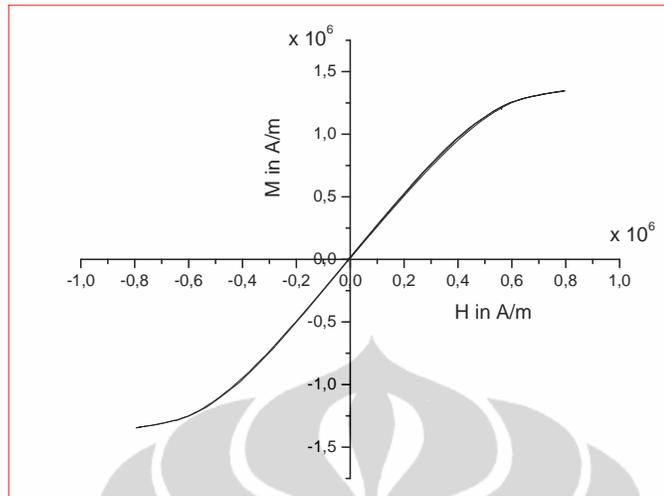
Meski penulis dapat membayangkan permukaan sebagai akhir struktur kristal, namun koordinasi atomik dalam permukaan tidak dapat disamakan dengan atom-atom dalam kristal. Atom permukaan hanya memiliki tetangga di satu sisi.

#### 4.5. Hasil VSM

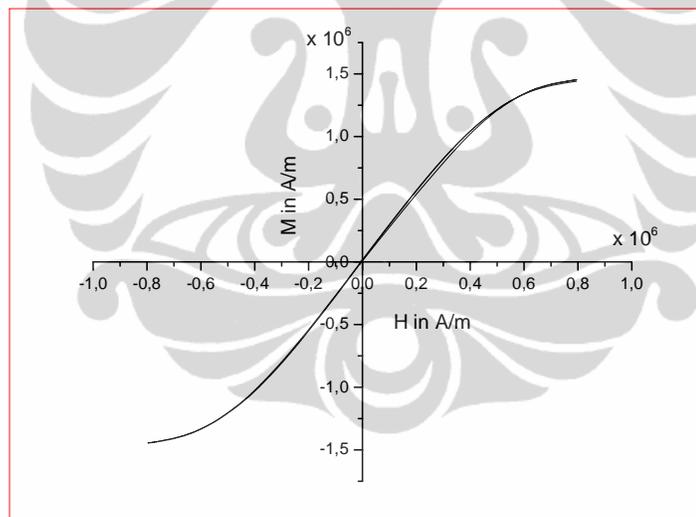
Grafik hasil VSM yang didapat adalah dalam bentuk *moment versus field* kemudian grafik ini dikonversi menjadi grafik M versus H, dengan cara membagi *moment* dengan volume untuk mendapatkan M pada sumbu y dan pada sumbu x untuk data *field* dibagi dengan  $4 \pi \times 10^{-7}$  untuk mendapat H, berikut ini grafik M vs H hasil pengolahan data dan dalam tampilan menggunakan program Origin.



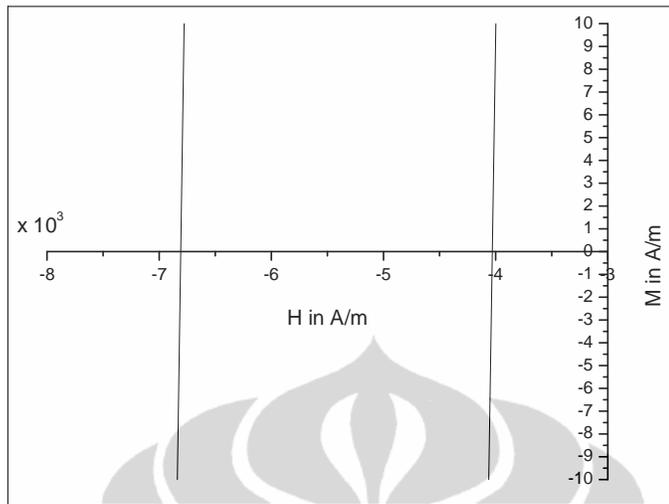
Gambar 4.12 Grafik M vs H Fe 93 % Si 3 % Al 4 %



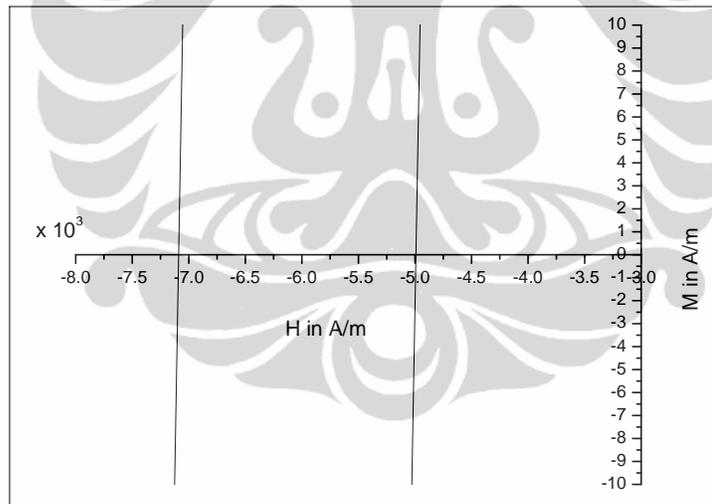
Gambar 4.13 Grafik M vs H Fe 92 % Si 3 % Al 5 %



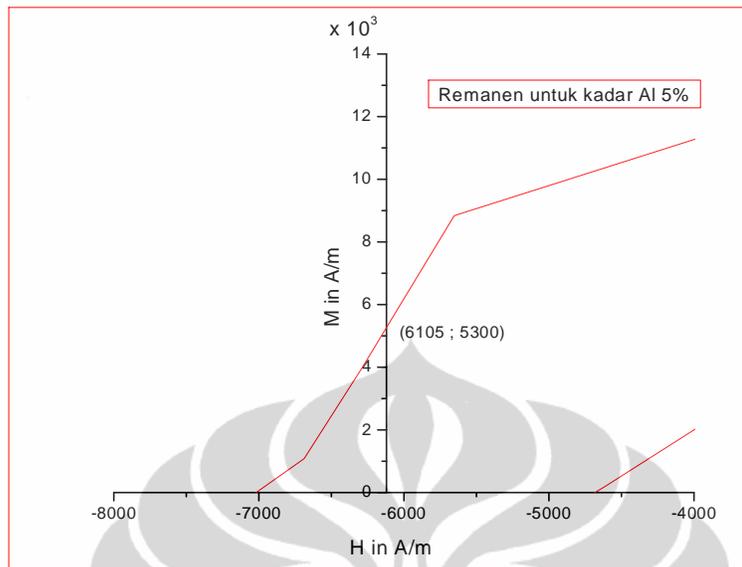
Gambar 4.14 Grafik M vs H Fe 91 % Si 3 % Al 6 %



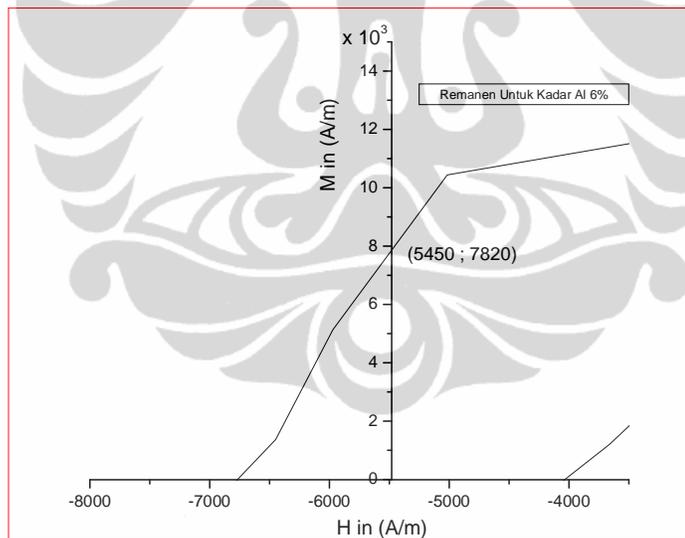
Gambar 4.15 Grafik Koersivitas H Internal Fe 92 % Si 3 % Al 5 %



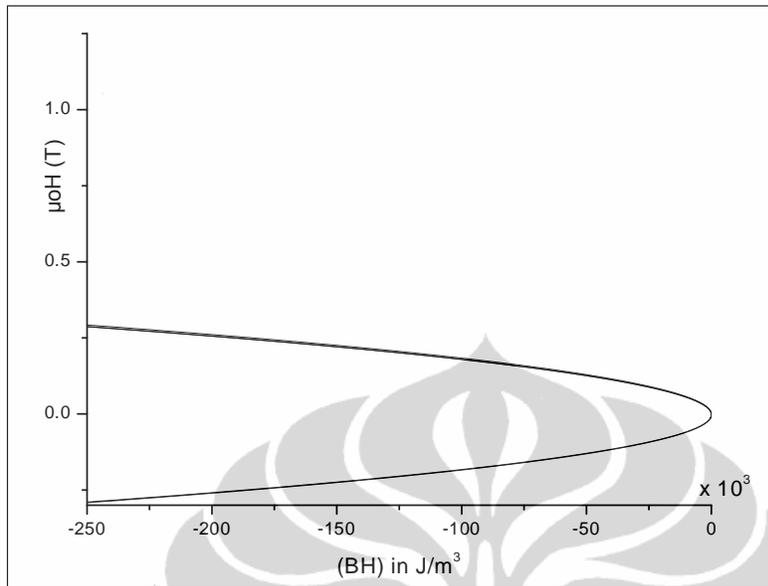
Gambar 4.16 Grafik Koersivitas H Internal Fe 91 % Si 3 % Al 6 %



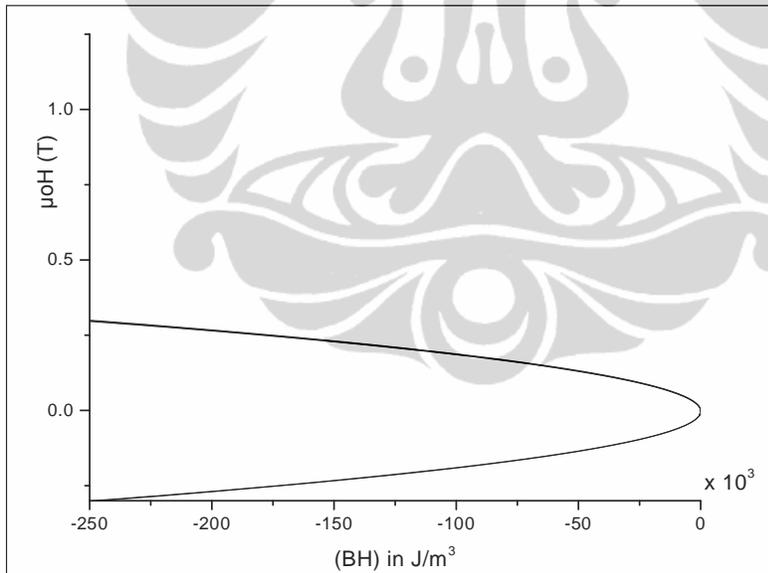
Gambar 4.17 Magnetisasi Remanen untuk kadar Al 5%



Gambar 4.18 Magnetisasi Remanen untuk kadar Al 6%



Gambar 4.19  $(BH)_{max}$  untuk kadar Al 5%



Gambar 4.20  $(BH)_{max}$  untuk kadar Al 6%

#### 4.6. Pembahasan VSM

Dari hasil grafik M vs H untuk material dengan kadar Al 4 % didapatkan untuk nilai M tertinggi yakni  $1,140 \times 10^6$  A/m dengan H sebesar  $5,25 \times 10^5$  A/m, sedangkan untuk material dengan kadar Al 5 % nilai M tertinggi adalah  $1,345 \times 10^6$  A/m dengan nilai H sebesar  $7,96 \times 10^5$  A/m, untuk material Fe 91 % Si 3 % Al 6 % didapatkan nilai M tertinggi  $1,442 \times 10^6$  A/m dengan nilai H  $7,96 \times 10^5$  A/m, dari perbandingan hasil tersebut ternyata untuk nilai H yang sama material dengan kadar Al 6 % mempunyai nilai M yang lebih tinggi hal ini berarti material ini lebih mudah termagnetisasi.

Untuk material dengan komposisi Al 4 % dibandingkan dengan komposisi Al 5 % untuk H bernilai  $5,25 \times 10^5$  A/m nilai M untuk material Al 5 % adalah  $1,174 \times 10^6$  A/m, sehingga nilai magnetisasi dari Al 5 % juga lebih tinggi dari nilai material dengan komposisi Al 4 % untuk H yang sama.

Nilai magnetisasi dari perbandingan grafik untuk material Al 4 %, Al 5 % dan Al 6 % yang mempunyai nilai magnetisasi paling tinggi pada H yang sama adalah material dengan komposisi Al terbesar dan, hal ini berarti dengan komposisi Silikon yang tetap yakni sebesar 3 %, penambahan Aluminium dari mulai 4 % hingga 6 % dapat meningkatkan nilai magnetisasi.

Pada grafik koersivitas untuk kadar Al 5% dan 6%, sesungguhnya yang dihitung adalah koersivitas dari H internal dengan cara mengubah Hexternalnya dengan menggunakan persamaan:

$$H_{\text{internal}} = H_{\text{applied}} - (N_d \times M)$$

Dengan N adalah faktor demagnetisasi yang besarnya 0,04 dan M adalah magnetisasi. Dari gambar grafik koersivitas dapat dihitung  $H_c$  sebagai berikut:

Tabel 4.5 Nilai koersivitas

Sampel	Batas kanan (A/m)	Batas kiri (A/m)	Nilai koersivitas ( $H_c$ ) dalam A/m
Fe 92 % Si 3 % Al 5 %	-6800	-4000	$1400 \pm 28$
Fe 91 % Si 3 % Al 6 %	-7100	-5000	$1050 \pm 21$

Dari gambar grafik remanen serta  $(BH)_{\max}$  didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 4.6 Parameter kemagnetan dengan variasi Al

Persentasi atom Al	$H_c$ (A/m)	$M_{\text{Remanen}}$ (A/m)	$(BH)_{\max}$ J/m <sup>3</sup>	$M_{\text{maksimum}}$ (A/m)
4%	-	-	-	$(1,14 \pm 0,02) \times 10^6$
5%	$1400 \pm 28$	$5300 \pm 106$	$36 \pm 0,72$	$(1,34 \pm 0,03) \times 10^6$
6%	$1050 \pm 21$	$7820 \pm 156$	$34 \pm 0,68$	$(1,44 \pm 0,03) \times 10^6$

Dari tabel nilai koersivitas apabila dibandingkan dengan koersivitas dari material dengan kadar Al 5% maka koersivitas material dengan kadar Al 6% lebih rendah hal ini berarti sifat magnetik untuk soft magnetik material dengan kadar Al 6% lebih baik dari kadar Al 5%. Penambahan Al dilakukan untuk mendapatkan sifat magnetik yang baik dan sifat mekanik yang baik karena itu kadar Si dijaga 3% karena adanya ketidakuntungan (*disadvantages*) untuk penambahan Silicon kedalam Iron diatas 4% yakni alloy menjadi rapuh (*very brittle*), sehingga kadar Al yang ditambah untuk memperbaiki sifat mekanik dan magnetic.

Koersivitas dari kadar Al 6% yang rendah dapat membuat hysteresis loss menjadi berkurang, sehingga apabila material ini dipakai dalam suatu transformator dapat meningkatkan efisiensi. Sehingga dari penelitian ini didapatkan bahwa penambahan kadar Al untuk kadar Si tetap 3% dapat membuat koersivitas menjadi semakin rendah, Selain itu didapatkan juga nilai  $(BH)_{\max}$  yang lebih rendah untuk kadar Al 6%,  $(BH)$  yang menyatakan energi produk yang tersimpan dalam magnet persatuan volume. Dalam hal ini energi produk yang tersimpan persatuan volume pada kadar Al 6% lebih rendah dari kadar Al 5%.