



**SIMULASI PERILAKU MATERIAL MAGENTIK TERHADAP  
GANGGUAN MEDAN LUAR**

**SKRIPSI**

**Disusun dalam rangka penyelesaian Studi Strata I  
untuk memperoleh gelar Sarjana Sains**

**Oleh :**

**Waridin**

**NIM 4250401011**

**JURUSAN FISIKA**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG**

**2006**

## **PERSETUJUAN PEMBIMBING**

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian skripsi.

Pembimbing I

Pembimbing II

**Drs. Agus Yulianto, M.Si.**

NIP. 131900801

**Dr. rer. nat. Wahyu Hardyanto, M.Si.**

NIP. 131405858

## LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi ini telah dipertahankan di dalam Sidang Ujian Skripsi Jurusan Fisika,  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang  
pada :

Hari :

Tanggal :

Panitia Ujian :

Ketua

**Drs. Kasmadi I.S, M.S**

NIP. 130781011

Pembimbing I

**Drs. Agus Yulianto, M.Si.**

NIP. 131900801

Pembimbing II

**Dr. rer. nat. Wahyu Hardyanto, M.Si.**

NIP. 131405858

Sekretaris

**Drs. M. Sukisno, M.Si.**

NIP. 13052922

Penguji I

**Dr. Sugianto, M.Si.**

NIP. 132046850

Penguji II

**Drs. Agus Yulianto, M.Si.**

NIP. 131900801

Penguji III

**Dr. rer. nat. Wahyu Hardyanto, M.Si.**

NIP. 131405858

## **PERNYATAAN**

Saya menyatakan bahwa yang tertulis di dalam skripsi ini benar-benar hasil karya saya sendiri, bukan jiplakan dari karya tulis orang lain, baik sebagian atau seluruhnya. Pendapat atau temuan orang lain yang terdapat dalam skripsi ini dikutip atau dirujuk berdasarkan kode etik ilmiah.

Semarang, 14 Februari 2006

Penulis,

**Waridin**

NIM 4250401011

*“Allah selalu memberi yang terbaik untuk umatnya”*

*“Bejana hanya mampu menampung sebesar volumenya saja, walau selalu ditambah”*

*Untuk Mae', Keluarga Besar Bapak Alm. Rawun, dan Chigua  
tersayang*

## KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan kekuatan dan kemurahan rahmat kepada penulis sehingga penulisan skripsi ini dapat diselesaikan.

Penulis sangat menghargai bimbingan dan pengarahan dari Bapak Drs. Agus Yulianto, M.Si. dan Bapak Dr. Rer. Nat Wahyu Hardyanto, M.Si., untuk itu semua penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya.

Kepada Mae', keluarga besar Bapak Alm Rawun, dan Chigua penulis haturkan terima kasih tak berhingga atas kasih sayang, doa, dorongan yang tak habis-habisnya, dan atas segalanya.

Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada semua yang membantu:

1. Drs. Kasmadi Imam S., M.Si dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang.
2. Drs. M. Sukisno, M.Si Ketua Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang.
3. Isa Akhlis, M.Si., yang telah memberikan masukan yang berguna.
4. Guru-guruku yang telah menunjukkan indahny ilmu.
5. Kelurga Besar Pak Ahmad Wachidi.
6. Magnetic's Crew (Pak Dika, aqin, billy, zaty, adjieq, topix, zen, rizal, wie).

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini belum sempurna, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran.

Semarang, 14 Februari 2006

**Penulis.**

## SARI

Waridin. 2006. *Simulasi Perilaku Material Magnetik Terhadap Gangguan Medan Luar*. Skripsi. Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang. Pembimbing : I. Drs. Agus Yulianto, M.Si., II. Dr. rer. nat. Wahyu Hardyanto, M.Si.

Penjelasan mengenai perilaku material magnetik dalam beberapa literatur masih berupa sederetan persamaan matematis yang susah untuk dipahami, dan ditarik simpulannya. Maka diperlukan suatu pemodelan yang sesuai untuk menjabarkan persamaan-persamaan yang muncul dalam bentuk grafik hubungan medan luar ( $\mathbf{H}$ ) dengan perilaku material magnetik.

Program kemagnetan bahan dibuat berdasarkan persamaan matematis yang muncul dalam pokok bahasan perilaku material magnetik menggunakan bantuan software Delphi 7.0. Pembuatan program diawali dengan identifikasi masalah, memodelkan gejala-gejala fisis yang terkait, perancangan tampilan sebagai antar muka dengan pengguna program, dan pengisian listing program. Hasil program dibandingkan kembali dengan literatur untuk menghindari kesalahan konsep.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa material dengan momentum anguler total ( $\mathbf{J}$ ) sama dengan nol akan bersifat diamagnetik, dan ketika diberi gangguan medan luar ( $\mathbf{H}$ ) bahan jenis ini memberikan respon perubahan magnetisasi negatif terhadap perubahan medan luar ( $\mathbf{H}$ ), perubahan magnetisasi muncul dari perubahan pergerakan orbital ketika medan  $\mathbf{H}$  bekerja. Sedangkan material dengan momentum anguler total ( $\mathbf{J}$ ) tidak sama dengan nol akan berperilaku sebagai bahan paramagnetik atau ferromagnetik ini bergantung dengan besarnya kontribusi intrinsik dari material penyusun. Pada bahan paramagnetik magnetisasi yang terjadi merupakan fungsi temperatur dan medan luar ( $\mathbf{H}$ ), semakin tinggi temperturnya semakin sulit untuk saturasi atau perlu medan luar ( $\mathbf{H}$ ) yang besar supaya terjadi saturasi. Magnetisasi pada bahan ferromagnetik juga merupakan fungsi temperatur dan medan luar ( $\mathbf{H}$ ), tetapi magnetisasi yang terjadi tidak sama untuk suatu unit volume di dalam bahan, momen-momen magnet dari elektron yang berdekatan akan saling berinteraksi lebih efektif jika dibandingkan dengan momen magnet elektron yang letaknya jauh. Sehingga saturasi yang terjadi lebih cepat jika dibandingkan pada bahan paramagnetik.

Kata Kunci: Medan luar ( $\mathbf{H}$ ), Material Magnetik, Magnetisasi.

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>PERSETUJUAN PEMBIMBING</b> .....	ii
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	iii
<b>PERNYATAAN</b> .....	iv
<b>MOTTO DAN PERSEMBAHAN</b> .....	v
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	vi
<b>SARI</b> .....	vii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	viii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiv
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xv
<b>BAB I : PENDAHULUAN</b>	
A. Alasan Pemilihan Judul .....	1
B. Pembatasan masalah.....	2
C. Permasalahan .....	2
D. Tujuan Penelitian .....	2
E. Manfaat Penelitian .....	3
F. Sistematika Skripsi .....	3
<b>BAB II : LANDASAN TEORI</b>	
A. Momen Magnet Elektron .....	5
B. Momen Magnet Atom.....	8



C. Aturan Hund.....	8
D. Diamagnetik .....	9
E. Paramagnetik.....	12
1. Teori Langevin Paramagnetik .....	12
2. Teori Kuantum Paramagnetik .....	13
F. Ferromagnetik .....	14
1. Teori Wiess Ferromagnetik.....	14
2. Teori Kuantum Ferromagnetik.....	15
G. Histerisis.....	16
1. Histerisis Pada Medan Rendah .....	16
2. Histerisis Pada Medan Tinggi.....	17
H. Delphi.....	19
1. Project .....	20
2. Form .....	21
3. Unit.....	22
4. Program.....	22
5. Property .....	23
6. Event .....	23
7. Method .....	24
 <b>BAB III : METODOLOGI PENELITIAN</b>	
A. Persiapan .....	25
1. Kajian Pustaka.....	25
2. Persiapan perangkat lunak.....	25

B. Tempat Penelitian .....	25
C. Pelaksanaan Pengembangan Program.....	25
<b>BAB IV : HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN</b>	
A. Hasil Penelitian .....	29
1. Tampilan dan Alur Kerja Program.....	29
2. Hasil Simulasi Program .....	32
B. Pembahasan .....	36
<b>BAB V : PENUTUP</b>	
A. Simpulan .....	40
B. Saran .....	41
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>42</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>43</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1	: Tampilan jendela Delphi.....	20
Gambar 2	: Tampilan <i>form</i> pada Delphi .....	21
Gambar 3	: Tampilan jendela <i>unit</i> pada Delphi .....	22
Gambar 4	: Tampilan jendela <i>property</i> pada Delphi .....	23
Gambar 5	: Tampilan jendela <i>event</i> pada Delphi.....	23
Gambar 6	: Rancangan tampilan utama .....	26
Gambar 7	: Rancangan tampilan program Diamagnetik.....	27
Gambar 8	: Rancangan tampilan program Paramagnetik .....	27
Gambar 9	: Rancangan tampilan program Ferromagnetik.....	28
Gambar 10	: Rancangan tampilan program histerisis .....	28
Gambar 11	: Tampilan awal program .....	29
Gambar 12	: Tampilan program Diamagnetik .....	30
Gambar 13	: Tampilan program Paramagnetik.....	30
Gambar 14	: Tampilan program Ferromagnetik .....	30
Gambar 15	: Tampilan histerisis medan tinggi .....	31
Gambar 16	: Tampilan histerisis medan rendah.....	32
Gambar 17	: Grafik Hubungan Magnetisasi denga medan luar ( <b>H</b> ) Carbon.....	33

Gambar 18	: Grafik Hubungan Magnetisasi denga medan luar ( <b>H</b> ) ion $Cu^{2+}$ .....	33
Gambar 19	: Grafik Hubungan Magnetisasi denga medan luar ( <b>H</b> ) ion $Cr^{3+}$ .....	34
Gambar 20	: Grafik Hubungan Magnetisasi denga medan luar ( <b>H</b> ) ion $Ni^{+}$ .....	34
Gambar 21	: Grafik Hubungan Magnetisasi denga medan luar ( <b>H</b> ) ion $Fe^{3+}$ .....	35
Gambar 22	: Grafik histerisis medan tinggi .....	35
Gambar 23	: Grafik histerisis medan rendah .....	36
Gambar 24	: Flowchart utama program .....	43
Gambar 25	: Flowchart program Diamagnetik .....	44
Gambar 26	: Flowchart program Paramagnetik .....	45
Gambar 27	: Flowchart program Ferromagnetik .....	46
Gambar 28	: Flowchart histerisis medan rendah.....	47
Gambar 29	: Flowchart histerisis medan tinggi .....	48
Gambar 30	: Tampilan utama program .....	71
Gambar 31	: Grafik Hubungan Magnetisasi denga medan luar ( <b>H</b> ) ion $Cu^{+}$ .....	72

Gambar 32	: Grafik Hubungan Magnetisasi denga medan luar ( <b>H</b> ) ion $Pm^{3+}$ .....	73
Gambar 33	: Grafik Hubungan Magnetisasi denga medan luar ( <b>H</b> ) ion $Co^{2+}$ .....	74

## DAFTAR TABEL

Tabel 1	: Akhiran File pada Delphi dan kegunaannya.....	21
---------	---	----

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	: Diagram alir ( <i>flowchart</i> ) dan listing program .....	43
Lampiran 2	: Panduan pengoperasian program .....	71
Lampiran 3	: Surat Penetapan Pembimbing .....	76

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **A. Alasan Pemilihan Judul**

Beberapa penelitian mengenai pemanfaatan material magnetik telah dilakukan di Laboratorium Kemagnetan Bahan Jurusan Fisika Unnes, yaitu oksidasi magnetit menjadi maghemit, hematit, dan pembuatan serbuk barium ferit sebagai bahan baku magnet permanen. Penelitian yang dilakukan masih berorientasi pada pemanfaatan material magnetik untuk dibuat magnet permanen, akan tetapi belum pada sifat internal bahan dan bagaimana perilakunya terhadap gangguan medan luar (**H**) yang diberikan pada material magnetik.

Sebagaimana dipahami dalam kajian zat padat, pengetahuan tentang struktur internal mempunyai peranan penting dalam menjelaskan sifat suatu bahan. Penjelasan sifat material magnetik pada beberapa literatur masih berupa seperangkat persamaan matematis, sehingga penggambaran sifat makro dari suatu material magnetik susah untuk dipahami.

Persamaan matematis yang muncul pada bahasan kemagnetan bahan dapat dicari solusinya dengan menggunakan kalkulus, trigonometri, dan metode numerik. Pemodelan matematis yang diperoleh disebut solusi analitik karena menggunakan analisis untuk menggambarannya.

Dengan alasan di atas, penulis bermaksud mengkaji perilaku material magnetik terhadap pemberian gangguan medan luar (**H**) dengan grafik hubungan



magnetisasi  $\mathbf{M}$  dengan medan luar ( $\mathbf{H}$ ) dalam penelitian yang berjudul “*Simulasi Perilaku Material Magnetik Terhadap Gangguan Medan Luar*”.

## **B. Pembatasan Masalah**

Materi kemagnetan bahan yang dibahas dalam penelitian ini adalah:

1. Diamagnetik
2. Paramagnetik
3. Ferromagnetik
4. Kurva Histerisis

## **C. Permasalahan**

Bagaimana gambaran perilaku material magnetik, jika diberi gangguan medan luar ( $\mathbf{H}$ ) dengan menyelesaikan persamaan matematis yang muncul pada bahasan kemagnetan bahan berbantuan Delphi sebagai program aplikasinya?

## **D. Tujuan penelitian**

Memodelkan persamaan matematis yang muncul pada bahasan kemagnetan bahan untuk mengetahui perilaku material magnetik jika diberi gangguan medan luar ( $\mathbf{H}$ ) dengan memanfaatkan Delphi sebagai program aplikasinya.

### **E. Manfaat penelitian**

Manfaat penelitian ini:

1. Program kemagnetan bahan dapat dijadikan sebagai sarana untuk pengembangan kajian kemagnetan di Laboratorium Kemagnetan Bahan Jurusan Fisika Universitas Negeri Semarang.
2. Dapat memberikan diskripsi simulasi komputatif pengaruh gangguan medan luar (**H**) terhadap material magnetik
3. Pengetahuan tentang perilaku material magnetik dapat digunakan sebagai dasar pertimbangan untuk melakukan proses lanjutan pada material magnetik dan pemanfaatannya.

### **F. Sistematika penulisan skripsi**

Penyusunan skripsi ini dibuat menjadi tiga bagian dengan sistematika sebagai berikut:

#### **1. Bagian Pendahuluan Skripsi**

Bagian pendahuluan skripsi berisi tentang halaman judul, persetujuan pembimbing, halaman pengesahan, pernyataan, motto dan persembahan, kata pengantar, sari, daftar isi, daftar gambar, daftar tabel, dan daftar lampiran.

#### **2. Bagian Isi Skripsi**

Pada bagian isi skripsi ini terdiri dari lima bab, sebagai berikut:

Bab I : PENDAHULUAN, berisi alasan pemilihan judul, permasalahan, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika skripsi.

Bab II : LANDASAN TEORI, berisi bahasan kemagnetan bahan, dan pengantar Delphi.

Bab III : METODOLOGI PENELITIAN, berisi identifikasi masalah rancangan dalam menyusun program, pemodelan dan pembuatan algoritma program.

Bab IV : HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN, berisi tentang hasil penelitian berupa tampilan akhir program kemagnetan bahan, hasil simulasi beserta analisisnya.

Bab V : PENUTUP, berisi kesimpulan dari penelitian dan saran untuk perbaikan penelitian selanjutnya.

### 3. Bagian Akhir Skripsi

Bagian akhir dari skripsi ini terdiri dari daftar pustaka dan lampiran-Lampiran.

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### A. Momen Magnet Elektron

Sebuah elektron bergerak mengorbit pada suatu inti atom dengan menyapu luasan orbit  $A$  dengan periode  $\tau$ , maka besarnya arus sebanding dengan

$$i = \frac{e}{\tau} \quad \dots(1)$$

dari pers. 1 diperoleh besarnya momen magnet orbital elektron,

$$\begin{aligned} m_o &= iA \\ &= \frac{eA}{\tau} \end{aligned}$$

besarnya luasan yang disapu elektron adalah

$$A = \frac{1}{2} p_o \frac{\tau}{m_e}$$

sehingga dapat dihitung momen magnet orbital elektron dalam bentuk momentum anguler  $p_o$  adalah

$$m_o = -\left(\frac{e}{2m_e}\right)p_o \quad \dots(2)$$

dengan cara yang sama kita dapat menentukan pengaruh spin dalam kontribusinya terhadap momen magnet elektron, yaitu:

$$m_s = -\left(\frac{e}{m_e}\right)p_s \quad \dots(3)$$

dengan  $p_s$  adalah momentum anguler spin.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa harga momentum anguler hanya dapat ditentukan dengan menggunakan mekanika kuantum. Sehingga kita harus mendefinisikan empat besaran bilangan kuantum, yaitu:

1. Bilangan kuantum utama ( $n$ ).
2. Bilangan kuantum momentum anguler ( $l$ ).
3. Bilangan kuantum magnetik orbital ( $m_l$ ).
4. Bilangan kuantum magnetik spin ( $m_s$ )

Pendefinisian empat bilangan kuantum tersebut memungkinkan kita untuk mengetahui kontribusi momentum anguler orbital dan momentum anguler spin dalam kawasan kuantum, dengan mengambil analogi terhadap penjelasan di atas kita dapat menentukan besarnya momentum anguler orbital elektron adalah:

$$p_o = l \left( \frac{h}{2\pi} \right) \quad \dots(4)$$

(Jiles, 1991:223)

dengan harga  $l: 0, 1, 2, \dots (n-1)$ , sedangkan momentum anguler spin elektronnya :

$$p_s = s \left( \frac{h}{2\pi} \right) \quad \dots(5)$$

(Jiles, 1991:223)

Asumsi momentum anguler sebagai jumlah integral bilangan kuantum orbital  $l$  dan bilangan kuantum spin  $s$  ternyata kurang memuaskan. Pemanfaatan gelombang mekanik memberikan gambaran mengenai momentum anguler yang jauh lebih teliti,

$$\begin{aligned}
(p_o)^2 &= \left(\frac{h}{2\pi}\right)^2 l(l+1) \\
(p_s)^2 &= \left(\frac{h}{2\pi}\right)^2 s(s+1) \\
p_{tot} &= \left(\frac{h}{2\pi}\right) \sqrt{j(j+1)} \quad \dots(6)
\end{aligned}$$

sebagai konsekuensi dari nilai momentum angular yang terkuantisasi, maka nilai momen magnet dari elektron juga terkuantisasi.

$$\begin{aligned}
m_o &= -\left(\frac{e}{2m_e}\right) p_o \\
&= -\left(\frac{eh}{4\pi m_e}\right) \left(\frac{2\pi p_o}{h}\right) \\
&= -\left(\frac{eh}{4\pi m_e}\right) \sqrt{l(l+1)} \\
m_s &= -2\left(\frac{eh}{4\pi m_e}\right) \sqrt{s(s+1)}
\end{aligned}$$

Total momen magnet dari elektron diperoleh dengan menjumlahkan momentum angular orbital dan momentum angular spin dari elektron

$$\begin{aligned}
m_{tot} &= m_o + m_s \\
&= -g \left(\frac{eh}{4\pi m_e}\right) (\sqrt{l(l+1)} + \sqrt{s(s+1)}) \\
&= -g\mu_B \sqrt{j(j+1)} \quad \dots(10)
\end{aligned}$$

dengan  $g$  adalah faktor Lande.

$$g = 1 + \frac{J(J+1) + S(S+1) - L(L+1)}{2J(J+1)} \quad \dots(11)$$

(Beiser, 1989:243)

## B. Momen Magnet Atom

Atom memiliki beberapa elektron sehingga momen magnet atom merupakan jumlah dari semua pergerakan spin dan orbital elektron. Jika momentum anguler orbital atom ( $L$ ) merupakan jumlah momentum orbital dari elektron,

$$L = \sum l_i$$

$$|L| = \sqrt{L(L+1)}$$

(Jiles, 1991:238)

dan momentum anguler spin ( $S$ ) merupakan jumlah momentum anguler spin dari elektron yang dimiliki atom.

$$S = \sum s_i$$

$$|S| = \sqrt{S(S+1)}$$

(Jiles, 1991:239)

Total momen magnet atom diperoleh dengan menjumlahkan momentum anguler orbital dan momentum anguler spin elektron, yaitu:

$$\begin{aligned} J &= \sum l_i + \sum s_i \\ &= L + S \end{aligned} \quad \dots(12)$$

## C. Aturan Hund

Aturan ini menjelaskan proses pengisian konfigurasi kulit suatu atom, dan penggunaannya untuk menghitung  $L$ ,  $S$ , dan  $J$  dari konfigurasi elektron yang

dimiliki atom tertentu, terdapat tiga aturan yang digunakan pada atomik spin, atomik orbital, dan total momentum anguler atomik, yaitu:

1. Total atomik spin yang diizinkan  $S = \sum m_s$
2. Total atomik orbital yang diizinkan  $L = \sum m_l$
3. Total momentum anguler  $J$  sebanding  $|L - S|$  ketika ada kekosongan kurang dari setengah penuh, dan  $|L + S|$  jika kekosongan lebih dari setengah penuh pada proses pengisian kulit pada suatu atom.

#### D. Diamagnetik

Langevin pertama kali menjelaskan suseptibilitas diamagnetik dengan menggunakan pendekatan teorema Amper, Weber, dan Lenz (Cullity, 1972:88). Efek pemberian medan luar ( $\mathbf{H}$ ) pada pembawa muatan arus konduktor dapat diibaratkan dengan pergerakan orbit elektron yang mengelilingi inti suatu atom. Besarnya momen magnet orbital  $m_o$  dapat diketahui dari pergerakan muatan elektron pada *loop* tertutup. Pada kasus *loop* arus besar momen magnetnya,

$$\begin{aligned} m_o &= iA \\ &= \frac{eA}{\tau} \end{aligned}$$

dengan  $e$  adalah muatan elektron,  $\tau = \frac{2\pi r}{v}$  periode orbit. Karena bentuk lintasan berupa lingkaran maka besarnya  $A = \pi r^2$  dengan  $v$  merupakan kecepatan tangensial dan  $r$  adalah radius orbital dari elektron.

$$m_o = \frac{evr}{2} \quad \dots(13)$$



Perubahan fluks magnet yang melewati *loop* dapat digambarkan dengan sebuah elektron dalam inti yang menimbulkan kenaikan emf  $V_e$  pada *loop* arus.

Besarnya medan elektrik  $E$ , yaitu:

$$\begin{aligned} E &= \frac{V_e}{L} \\ &= -\left(\frac{1}{L}\right) \frac{d\phi}{dt} \end{aligned} \quad \dots(14)$$

dengan  $L = 2\pi r$  lebar orbit, dan  $V_e$  adalah tegangan induksi

$$\begin{aligned} E &= -\left(\frac{1}{L}\right) \frac{d(BA)}{dt} \\ &= -\left(\frac{A}{L}\right) \frac{dB}{dt} \\ &= -\frac{r}{2} \frac{dB}{dt} \end{aligned}$$

percepatan yang dialami elektron,

$$\begin{aligned} a &= \frac{dv}{dt} \\ &= \frac{eE}{m_e} \end{aligned}$$

sehingga diperoleh hubungan,

$$\begin{aligned} \frac{dv}{dt} &= -\left(\frac{er}{2m_e}\right) \frac{dB}{dt} \\ &= -\left(\frac{\mu_o er}{2m_e}\right) \frac{dH}{dt} \end{aligned}$$

jika kedua ruas diintegrasikan, maka diperoleh :

$$\begin{aligned} \int_{v_1}^{v_2} dv &= -\frac{\mu_o er}{2m_e} \int_0^H dH \\ \Delta v &= -\frac{\mu_o er}{2m_e} H \end{aligned}$$

perubahan momen magnet akibat adanya medan luar ( $\mathbf{H}$ ) yang bekerja sebanding dengan.

$$\begin{aligned}\Delta m_o &= \left(\frac{er}{2}\right)\Delta v \\ &= -\left(\frac{er}{2}\right)\left(\frac{\mu_o er}{2m_e}\right)H \\ &= -\frac{\mu_o e^2 r^2}{4m_e}H \quad \dots(15)\end{aligned}$$

Hasil ini hanya dapat digunakan jika medan luar ( $\mathbf{H}$ ) yang diberikan tegak lurus dengan daerah pergerakan elektron, pada kasus medan luar ( $\mathbf{H}$ ) berada di daerah pergerakan elektron maka perubahan momen orbital nol. Secara umum kita dapat memproyeksikan  $R$  untuk radius orbit pada daerah normal terhadap medan luar ( $\mathbf{H}$ )

$$R = r \sin \theta \quad (\text{Jiles, 1991:180})$$

ketika  $\theta = 0$  ini menggambarkan medan luar ( $\mathbf{H}$ ) berada pada pergerakan elektron, sedangkan untuk  $\theta = \frac{\pi}{2}$  medan luar ( $\mathbf{H}$ ) berada tegak lurus dengan pergerakan elektron.

$$\Delta m_o = -\left(\frac{\mu_o e^2}{4m_e}\right)H \int \frac{R^2}{A} \sin^2 \theta dA$$

$A$  adalah daerah Hemisphere,  $dA = 2\pi R^2 \sin^2 \theta d\theta$ , dan jika kita ambil harga rata-rata untuk  $R^2$  adalah

$$\langle R^2 \rangle = \frac{3}{2}r^2$$

(Jiles, 1991:180)

besarnya perubahan momen magnet untuk bahan diamagnetik per-atom dengan berbagai orientasi  $r$  adalah

$$\Delta m_o = -\frac{\mu_o Z e^2 r^2}{6m_e} H$$

sehingga diperoleh perubahan magnetisasi untuk bahan diamagnetik

$$\Delta M = -\left(\frac{N_o \rho}{W_a}\right) \frac{\mu_o Z e^2 r^2}{6m_e} H \quad \dots(16)$$

( Jiles, 1991:181)

$N_o$ = bilangan Avogadro,  $\rho$  densitas, dan  $W_a$  massa relatif atomik.

## E. Paramagnetik

### a) Teori Langevin Paramagnetik

Kita tinjau suatu unit volume material magnetik yang memiliki  $n$  atom dan momen magnetik  $m$ , maka untuk menemukan  $dn$  yang terdapat diantara sudut  $\theta$  dan  $\theta+d\theta$  dalam elemen  $dA$  yang di bawah pengaruh medan luar ( $\mathbf{H}$ ). Total momen magnet per-unit suatu material paramagnetik adalah

$$dn = C 2\pi \sin \theta d\theta \exp\left(\frac{\mu_o m H \cos \theta}{k_B T}\right) \quad \dots(17)$$

(Jiles, 1991:183)

dengan mengintegalkan pers. (17) diperoleh total momen per-unit volume ( $n$ )

$$n = 2\pi C \int_0^\pi \sin \theta \exp\left(\frac{\mu_o m H \cos \theta}{k_B T}\right) d\theta$$

$$C = \frac{n}{2\pi \int_0^\pi \sin \theta \exp\left(\frac{\mu_o m H \cos \theta}{k_B T}\right) d\theta}$$

dengan  $C$  merupakan konstanta kesebandingan, sehingga persamaan magnetisasi dapat diperoleh,

$$M = \int_0^N m \cos \theta dn$$

$$= \frac{nm \int_0^\pi \cos \theta \sin \theta \exp\left(\frac{\mu_0 m H \cos \theta}{k_B T}\right) d\theta}{\int_0^\pi \sin \theta \exp\left(\frac{\mu_0 m H \cos \theta}{k_B T}\right) d\theta}$$

misalkan  $x = \cos \theta$ ,  $dx = -\sin \theta d\theta$  maka hasil integral di atas adalah

$$M = \frac{nm \int_{-1}^1 x e^{\frac{\mu_0 m H}{k_B T} x} dx}{\int_{-1}^1 e^{\frac{\mu_0 m H}{k_B T} x} dx}$$

$$= nm \left( \frac{e^{\frac{\mu_0 m H}{k_B T}} + e^{-\frac{\mu_0 m H}{k_B T}}}{e^{\frac{\mu_0 m H}{k_B T}} - e^{-\frac{\mu_0 m H}{k_B T}}} - \frac{1}{\frac{\mu_0 m H}{k_B T}} \right)$$

$$M = nm \left[ \text{Coth}\left(\frac{\mu_0 m H}{k_B T}\right) - \left(\frac{k_B T}{\mu_0 m H}\right) \right]$$

$$= nmL\left(\frac{\mu_0 m H}{k_B T}\right) \quad \dots(18)$$

dengan  $L(x)$  fungsi Langevin yang mempunyai harga kisaran  $-1 < L(x) < 1$ .

## b) Teori Kuantum Paramagnetik

### 1. Atom dengan *single electron*

Makna atom *single electron* adalah hanya ada satu elektron yang tak berpasangan yang memberikan kontribusi pada momen magnet atom.

Besarnya momen magnet  $m = -\mu_0 \mu_B g J$ , karena terdapat elektron tak

berpasangan maka faktor orbital kurang stabil sehingga dapat diabaikan pengaruhnya terhadap momen magnet elektron, sehingga harga  $g = 2$  dan  $J = S = \frac{1}{2}$ . Pada atom *single electron*, besar magnetisasinya mengikuti persamaan berikut:

$$\begin{aligned} M &= Nm \tanh\left(\frac{\mu_o m H}{k_B T}\right) \\ &= NgJ\mu_B \tanh\left(\frac{\mu_o \mu_B g J H}{k_B T}\right) \end{aligned} \quad \dots(19)$$

(Jiles,1991:256)

## 2. Atom dengan *multi electron*

Pada kasus yang kompleks persamaan magnetisasinya mengikuti persamaan berikut:

$$M = NgJ\mu_B B_J \left( \frac{\mu_o \mu_B g J H}{k_B T} \right) \quad \dots(20)$$

(Jiles,1991:258)

$B_J$  merupakan fungsi Brillouin yang didefinisikan:

$$B_J = \left( \left( \frac{2J+1}{2J} \right) \text{Coth} \left( \frac{2J+1}{2J} x \right) - \left( \frac{1}{2J} \right) \text{Coth} \left( \frac{x}{2J} \right) \right) \quad \dots(21)$$

(Cullity,1972:105)

## F. Ferromagnetik

### 1. Teori Weiss Ferromagnetik

Pada pembahasan sebelumnya banyak material magnetik yang mematuhi aturan Curie-Weiss yang menyatakan bahwa suseptibilitas dipengaruhi oleh suhu. Dalam menjelaskan ferromagnetik Wiess mengambil dua asumsi sebagai berikut:

1. Adanya medan molekuler yang bekerja pada material ferromagnetik.
2. Pada keadaan demagnetisasi material ferromagnetik terbagi atas daerah-daerah kecil yang disebut domain.

Pada bahan ferromagnetik magnetisasi yang terjadi tidak sama untuk setiap unit volume di dalam bahan. Momen-momen magnet dari elektron yang berdekatan akan saling berinteraksi lebih efektif jika dibandingkan dengan momen magnet elektron yang letaknya berjauhan. Momen tersebut akan saling terkopel membentuk *spontanius magnetisasi*  $\mathbf{M}_s$  dalam domain. Besarnya *magnetisasi spontanius* dapat diturunkan dari fungsi brillouin tanpa pengaruh medan luar ( $\mathbf{H}$ ).

$$M_s = NgJ\mu_B B_J \left( \frac{\mu_o \mu_B g J \alpha M_s}{k_B T} \right) \quad \dots(22)$$

(Jiles,1991:260)

Pengaruh kenaikan suhu akan meningkatkan energi termal bahan sehingga *spontaneous magnetisasi* dalam domain menurun.

Besarnya magnetisasi dalam domain, yaitu:

$$M = M_o \left[ \text{Coth} \left( \frac{\mu_o m (H + \alpha M)}{k_B T} \right) - \left( \frac{k_B T}{\mu_o m (H + \alpha M)} \right) \right] \quad \dots(23)$$

(Jiles,1991:192)

## 2. Teori Kuantum Ferromagnetik

Teori kuantum ferromagnetik diturunkan dari teori kuantum paramagnetik, maka magnetisasi untuk *single electron*

$$M = NgJ\mu_B \tanh \left( \frac{\mu_o \mu_B gJ(H + \alpha M)}{k_B T} \right) \quad \dots(24)$$

(Jiles,1991:259)

sedangkan untuk *multi electron*

$$M = NgJ\mu_B B_J \left( \frac{\mu_o \mu_B gJ(H + \alpha M)}{k_B T} \right) \quad \dots(25)$$

(Jiles,1991:259)

dengan  $\alpha M$  menyatakan interaksi antar momen elektron.

## G. Histerisis

Material ferromagnetik mempunyai karakteristik yang cukup berbeda dari keluarga material lainnya yaitu ketika material diberi gangguan medan luar ( $\mathbf{H}$ ), kurva yang terbentuk dapat berupa *loop* histerisis. Di bawah temperatur Curie lebar kedua sisi *loop* histerisis sepanjang sumbu  $\mathbf{H}$  disebut koersitifitas ( $H_c$ ), sedangkan tinggi *loop* histerisis sepanjang sumbu  $\mathbf{B}$  disebut remanensi ( $B_r$ ).

### 1. Histerisis pada medan rendah

Pada rentang medan luar (**H**) yang sangat ekstrim antara  $4 \times 10^{-5}$  sampai  $4 \times 10^{-2}$  Oe, permeabilitas  $\mu$  konstan terhadap perubahan medan luar (**H**) atau dengan kata lain besarnya **B** atau **M** linier terhadap perubahan **H**. Sedangkan pada rentang 0,08 sampai 1,2 Oe besarnya permeabilitas meningkat secara linier terhadap **H**.

$$\mu = \mu_0 + vH \quad \dots(26)$$

(Cullity,1972 :342)

bentuk di atas dikenal sebagai *Rayleigh Low* dengan  $\mu_0$  merupakan inisial permeabilitas yang memiliki rentang nilai antara 30-100.000 dan  $v$  merupakan konstanta Rayleigh yang memiliki rentang nilai antara 0,5-12.000.000. Jika pers. (26) dikali dengan medan luar (**H**) maka kita peroleh persamaan induksi medan (**B**), yaitu:

$$B = \mu_0 H + vH^2 \quad \dots(27)$$

pers. (27) terdiri dari dua komponen yaitu komponen *reversibel*  $\mu_0 H$  dan komponen *irreversibel*  $vH^2$ .

Pada daerah *Rayleigh loop* histerisis terbentuk dari dua kurva parabola:

$$B = (\mu_0 + vH_m)H \pm (0.5v)((H_m)^2 - H^2) \quad \dots(28)$$

(Cullity,1972 :342)

dengan  $H_m$  adalah medan maksimal yang bekerja pada material uji, tanda plus dan minus digunakan dalam mengplot *loop* histerisis bagian turun dan naik.



## 2. Histerisis pada medan tinggi.

Pada kasus ideal selama proses magnetisasi terjadi, tampak jelas medan luar ( $\mathbf{H}$ ) meningkat sehingga  $\mathbf{M}$  cenderung mendekati  $\mathbf{M}_s$ , hubungan empiris antara magnetisasi  $\mathbf{M}$  dengan medan luar ( $\mathbf{H}$ ) sepanjang kurva anhisterisis yang dipaparkan oleh Frohlich dan Kennelly.

$$M_{an} = \frac{\alpha H}{1 + \beta H} \quad \dots(29)$$

(Jiles,1991:167)

dengan  $\alpha, \beta$  merupakan parameter. Ketika tidak terjadi histerisis, magnetisasi mengikuti kurva anhisterisis  $M_{an}(\mathbf{H})$ :

$$\mu_0 \int M_{an}(H) dH = \mu_0 \int M(H) dH + \mu_0 \int \left( \frac{n \varepsilon_\pi}{2M_s} \right) \left( \frac{dM}{dH} \right) dH$$

solusi persamaan di atas

$$M_{an}(H) = M(H) + k \left( \frac{dM}{dH} \right)$$

$$\frac{dM}{dH} = \frac{M_{an}(H) - M(H)}{k}$$

persamaan di atas merupakan solusi sederhana. Pada kenyataannya solusi di atas menjadi kompleks dengan adanya domain magnetik yang berpasangan sesuai pertimbangan yang diungkapkan oleh Weiss. Besarnya medan efektif menjadi  $H_e = H + \alpha M$ , sehingga untuk komponen magnetisasi *irreversibel* sebagai berikut:

$$\frac{dM_{irr}}{dH} = \frac{M_{an}(H) - M_{irr}(H)}{k - \alpha(M_{an}(H) - M_{irr}(H))} \quad \dots(30)$$

(Jiles,1991:167)

besarnya komponen *reversibel* magnetisasi adalah:

$$M_{rev} = c(M_{an} - M_{irr})$$

sehingga diperoleh perubahan magnetisasi *reversibel* dan *irreversibel* adalah

$$M_{tot} = M_{rev} - M_{irr}$$

seandainya persamaan di atas diturunkan terhadap  $\mathbf{H}$  maka diperoleh komponen suseptibilitas masing-masing magnetisasi,

$$\frac{dM_{tot}}{dH} = \frac{dM_{rev}}{dH} + \frac{dM_{irr}}{dH}$$

dengan menghilangkan *subscript* dan mengasumsikan perubahan magnetisasi tanpa kualifikasi tertentu, rata-rata total magnetisasi:

$$\frac{dM}{dH} = \frac{(M_{an} - M_{irr})}{k - \alpha(M_{an} - M_{irr})} + c \left( \frac{dM_{an}}{dH} - \frac{dM_{irr}}{dH} \right) \quad \dots(31)$$

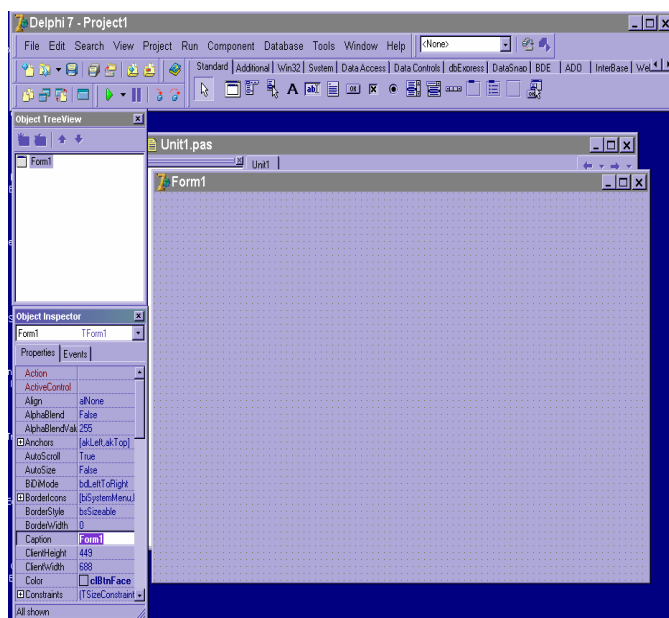
## H. Delphi

Delphi mempunyai kemampuan untuk mempermudah pembuatan program aplikasi dengan menyediakan fasilitas pemrograman. Fasilitas tersebut dibagi dalam dua kelompok, yaitu *object* dan bahasa pemrograman. *Object* adalah suatu komponen yang mempunyai bentuk fisik dan biasanya dapat dilihat. *Object* biasanya dipakai untuk melakukan tugas tertentu dan mempunyai batasan-batasan tertentu. Sedangkan bahasa pemrograman secara singkat dapat disebut sebagai sekumpulan teks yang mempunyai arti tertentu dan disusun dengan aturan tertentu serta untuk menjalankan tugas tertentu. Delphi menggunakan struktur bahasa

pemrograman *Object Pascal*. Gabungan dari *object* dan bahasa pemrograman ini sering disebut sebagai bahasa pemrograman yang berorientasi objek atau *Object Oriented Programming (OOP)*.

Beberapa istilah dan komponen Delphi yang dipakai dalam membuat program aplikasi, yaitu:

### 1. Project



**Gambar 1.** Tampilan jendela delphi

*Project* adalah sekumpulan *form*, unit dan beberapa hal lain dalam program aplikasi. Di bawah ini merupakan tabel akhiran *file* otomatis yang dibuatkan Delphi dan kegunaannya.

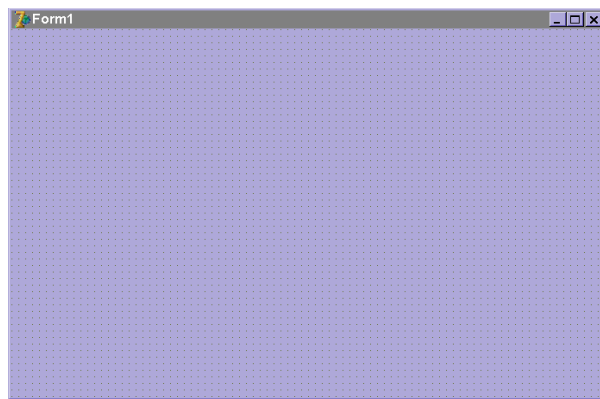
**Tabel 1** : Akhiran *file* pada Delphi dan kegunaannya

<b>Akhiran file</b>	<b>Kegunaan</b>
.dpr	File utama <i>Project</i>
.exe, .dll	mengkompilasi file <i>Project</i> menjadi file yang dapat dijalankan
.dsk	mencatat dan menjaga tampilan <i>layer</i> (deskstop), sehingga tampilan dapat berpindah dan kembali ke tampilan sebelumnya dengan konsisten
.cgf	Menyimpan <i>setting</i> konfigurasi <i>Project</i>
.dci	Menyimpan perubahan kode <i>insight</i> dalam <i>Integrated Development Environment</i> (IDE)
.dct	Menyimpan perubahan komponen <i>template</i> dalam IDE
.dmt	Menyimpan perubahan menu <i>template</i> dalam IDE
.dof	Menyimpan pilihan-pilihan <i>Project</i> , misalnya <i>compiler</i> , <i>linker</i> dan lain-lain
.dro	Menyimpan informasi penambahan pada <i>repository</i>
.res	Menyimpan versi info <i>resource</i> dan <i>icon</i> utama aplikasi
.tds	Menyimpan tabel simbol <i>external debug</i>
Todo	Daftar <i>to-do</i> pada <i>Project</i> sekarang

Selain *file* yang otomatis dibuatkan Delphi, dalam satu *Project* bisa terdapat lebih dari satu *form*, dan masing-masing *form* akan disimpan dalam *file* berakhiran .dfm atau .xfm, yang antara lain berisi ciri-ciri dan keterangan lengkap suatu *form*. Dalam satu *Project* juga bisa terdapat beberapa *file* unit yang akan disimpan dalam *file* berakhiran .pas. *File* unit dipakai untuk menyimpan kode program. Biasanya unit berhubungan dengan *form* (*unit form*),

tetapi kadangkala unit hanya berupa *procedure* atau *function* yang tidak berhubungan dengan *form*.

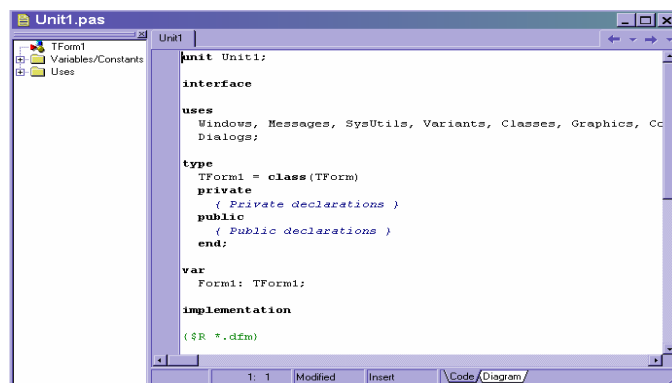
## 2. *Form*



**Gambar 2.** Tampilan *form* pada delphi.

Setiap *form* mengandung unit. Unit dalam *form* dipakai untuk mengatur dan mengendalikan *form* serta untuk berinteraksi dengan komponen lain.

## 3. *Unit*



**Gambar 3.** Tampilan jendela unit pada delphi

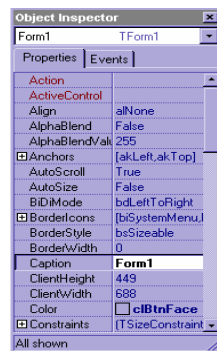
Unit adalah modul kerja program. Satu *Project* mungkin mempunyai satu unit atau lebih. Unit dapat berisi kumpulan *function* atau *procedure* yang

dipakai *Project*. *Function* dan *procedure* adalah satu atau lebih baris program yang dipakai melakukan tugas tertentu.

#### 4. Program

Program dibangun dari satu unit atau lebih. Pada Delphi, program akan otomatis dibuat dan di-*update* oleh Delphi saat *form* dan unit ditambah, diedit atau dihapus.

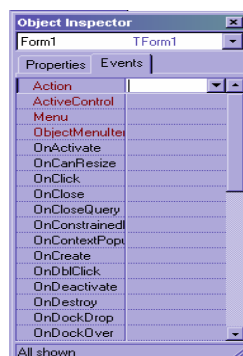
#### 5. Property



**Gambar 4.** Tampilan jendela property pada delphi.

Property digunakan untuk mendefinisikan atribut atau *setting* suatu *object*. Suatu *object* biasanya memiliki beberapa *property*, yang dapat diatur langsung dari *page Properties* pada jendela *Object Inspector* maupun diatur lewat kode program.

#### 6. Event



**Gambar 5.** Tampilan jendela Event pada Delphi

*Event* adalah peristiwa atau kejadian yang diterima oleh suatu *object*, misalnya klik, drag, tunjuk dan lain-lain. *Event* yang diterima *object* akan memicu Delphi untuk memeriksa apakah ada kode program yang didefinisikan dalam *event* tersebut.

#### 7. *Method*

*Method* adalah *procedure* atau perintah yang melekat pada suatu *object*. Cara penulisan *method* sama dengan *property*, bedanya adalah *property* dipakai untuk menampung dan mengambil suatu nilai, sedangkan *method* untuk melakukan.

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **A. Persiapan**

##### 1. Kajian Pustaka

Identifikasi masalah pada literatur-literatur, dan pemodelan gejala fisis yang muncul dalam bahasan kemagnetan bahan.

##### 2. Persiapan perangkat lunak

*Software* yang digunakan untuk pembuatan program perilaku material magnetik adalah Delphi 7.0 yang bekerja pada Sistem Operasi Windows.

#### **B. Tempat Penelitian**

Laboratorium kemagnetan bahan, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang.

#### **C. Pelaksanaan pengembangan program**

1. Memodelkan gejala fisis yang terkait dengan perilaku material magnetik.
2. Mencari solusi persamaan-persamaan yang terkait dengan konsep kemagnetan melalui solusi analitik dan metode Runge-Kutta orde empat.
3. Pembuatan algoritma, diagram alir (*flowchart*) dan program

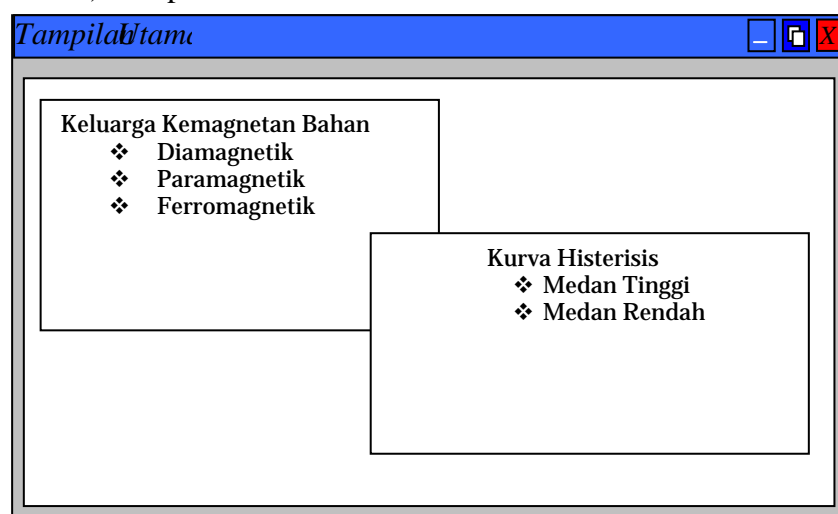
Algoritma yang dibuat merupakan penggambaran perilaku material magnetik yang disesuaikan dengan literatur yang ada. Setelah algoritma dibuat, langkah selanjutnya adalah menerjemahkan algoritma tersebut ke dalam program



sumber. Program sumber yang dipakai adalah Delphi, hasil program dibandingkan kembali dengan literatur acuan sebagai indentifikasi keberhasilan program.

4. Menampilkan grafik perilaku material magnetik.
5. Desain tampilan program

#### 2.a) Tampilan form utama



**Gambar 6.** Rancangan tampilan utama.

Aplikasi:

- Diamagnetik

Tampilan grafik hubungan magnetisasi **M** dengan medan luar (**H**).

- Paramagnetik

Tampilan grafik hubungan magnetisasi **M** dengan medan luar (**H**).

- Ferromagnetik

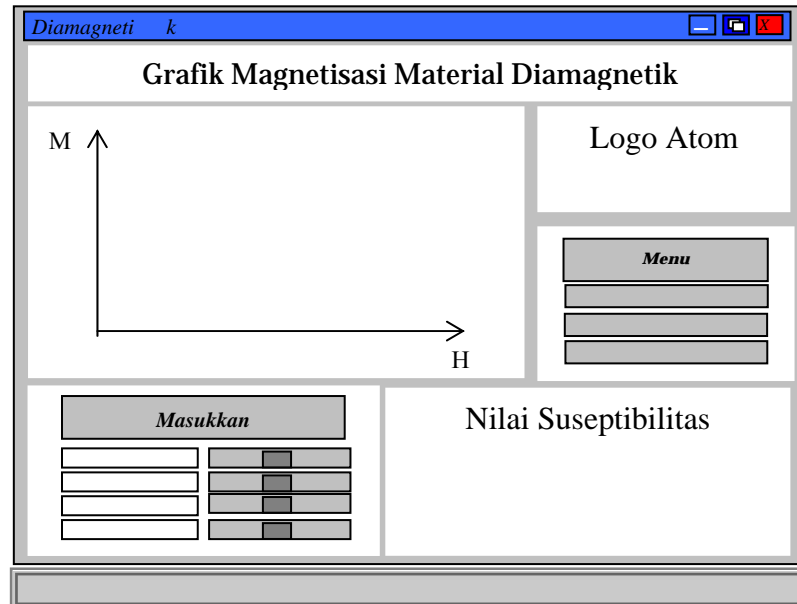
Tampilan grafik hubungan magnetisasi **M** dengan medan luar (**H**).

- Kurva Histerisis

1. Kurva Histerisis Pada medan luar (**H**) rendah .
2. Kurva Histerisis pada medan luar (**H**) tinggi.

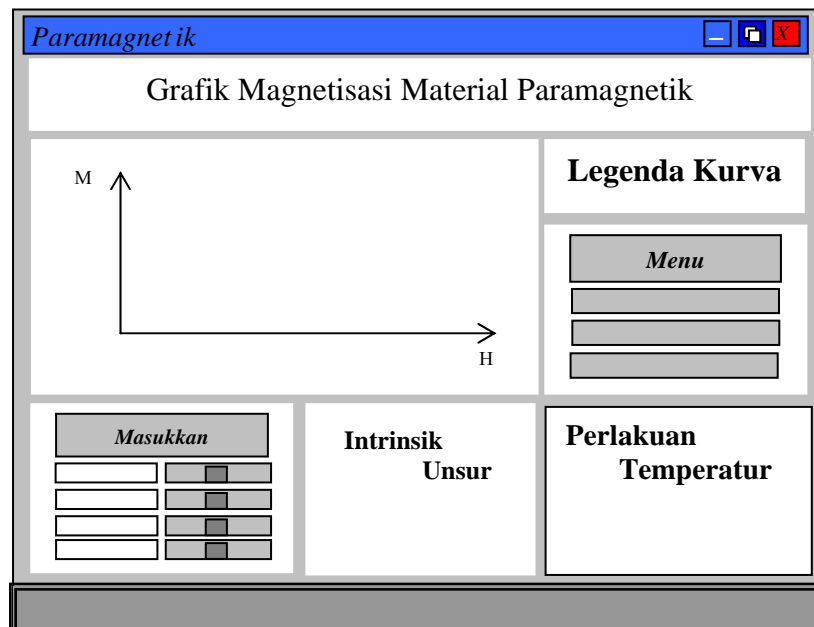
## 2.b) Tampilan form anakan

- Tampilan Diamagnetik



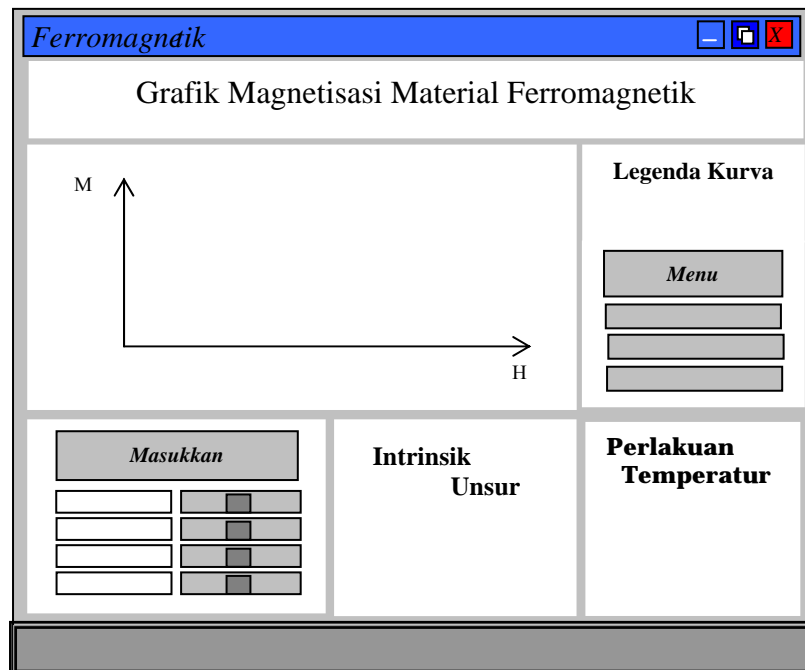
Gambar 7. Rancangan tampilan Diamagnetik

- Tampilan Paramagnetik



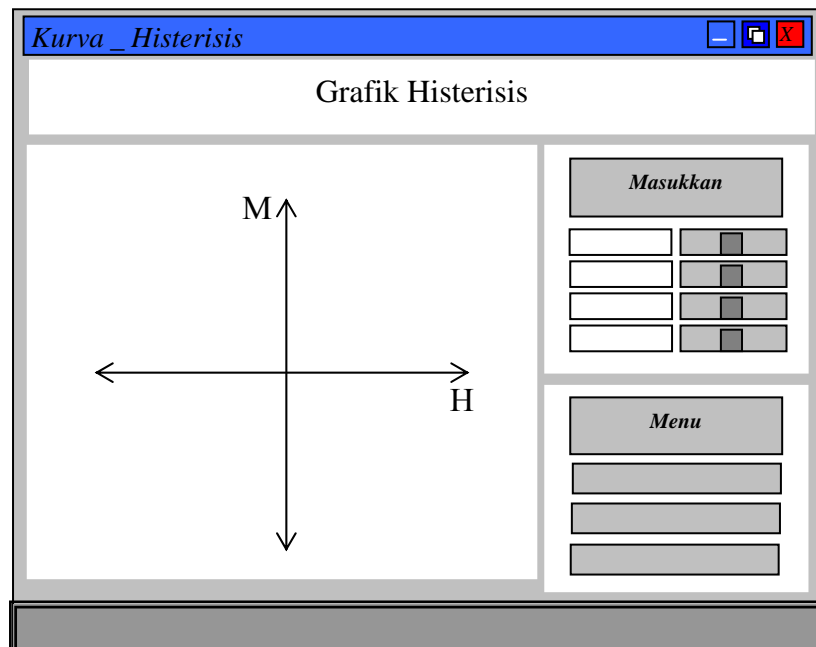
Gambar 8. Rancangan tampilan Paramagnetik

- Tampilan Ferromagnetik



**Gambar 9.** Rancangan tampilan Ferromagnetik

- Kurva Histerisis



**Gambar 10.** Rancangan tampilan Histerisis

## BAB IV

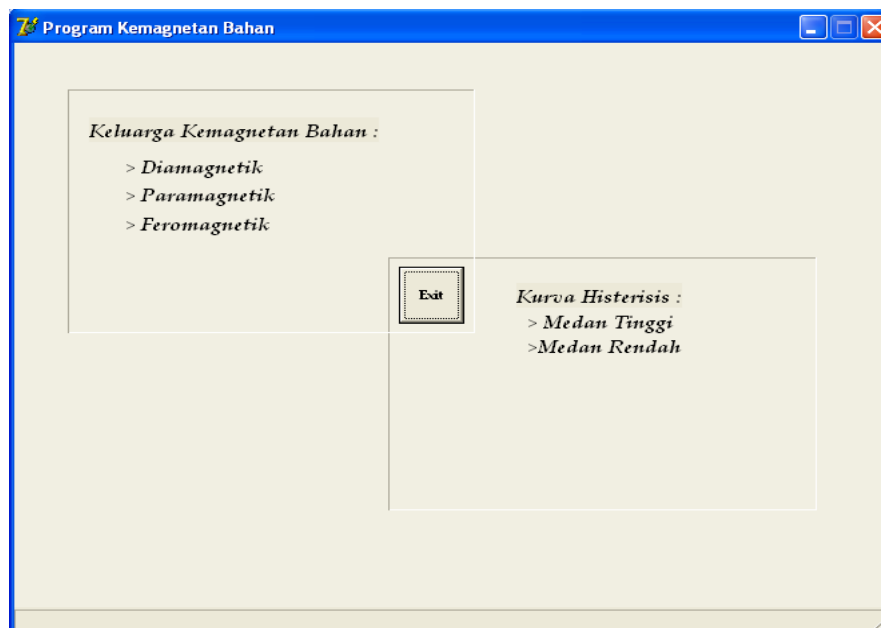
### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### A. Hasil Penelitian

##### 1. Tampilan dan Alur Kerja Program

Program kemagnetan bahan yang digunakan sebagai simulasi perilaku material magnetik terhadap gangguan medan luar (**H**), dibuat dengan aplikasi program Delphi yang bekerja pada sistem operasi windows. Program lengkap, dan diagram alir program terdapat pada Lampiran I.

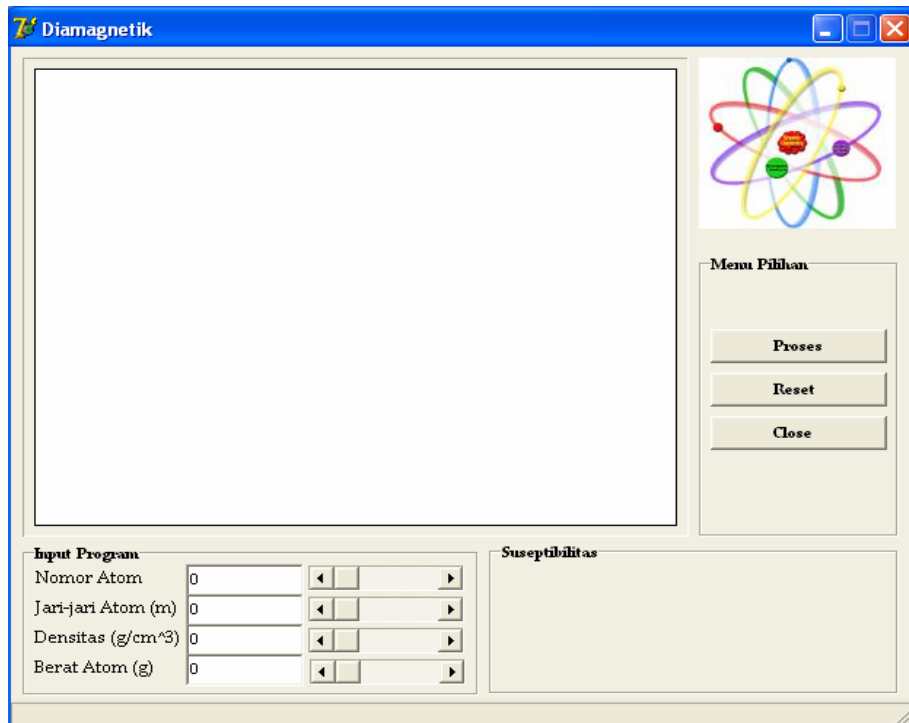
Ketika program dijalankan, tampilan pertama akan tampak sebagai berikut :



Gambar 11. Tampilan Awal Program

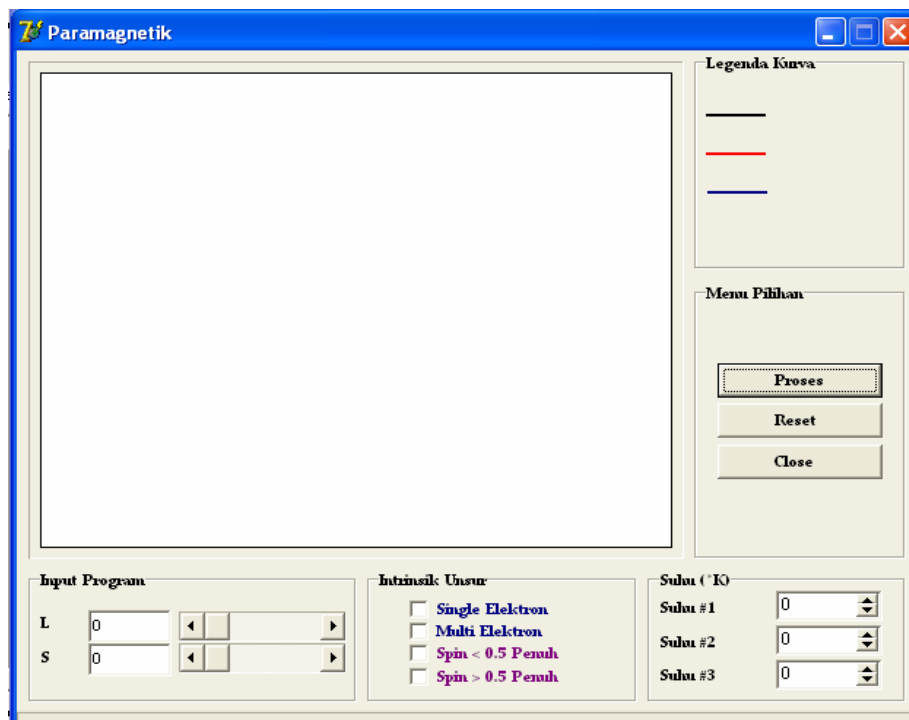
Pengguna dapat langsung memilih sub menu secara acak atau tidak urut sesuai dengan kebutuhan, dan jika ingin keluar dari program dapat menekan tombol "Exit", Panduan pengoperasian program lihat Lampiran II.

a) Ketika “Diamagnetik“ ditekan maka akan tampil:



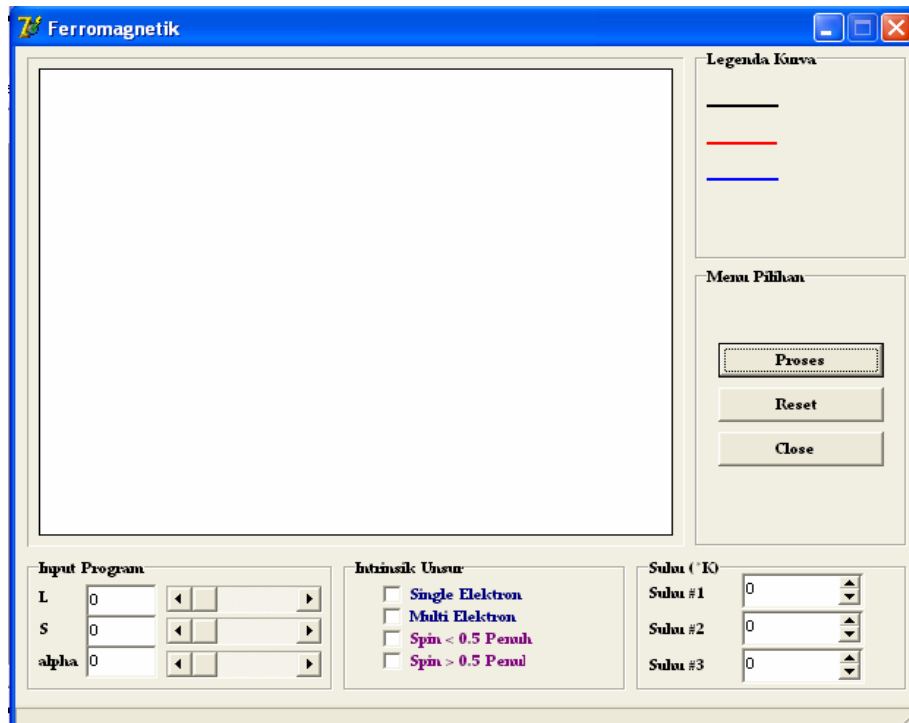
Gambar 12. Tampilan Program Diamagnetik

b) Ketika “Paramagnetik“ ditekan maka akan tampil:



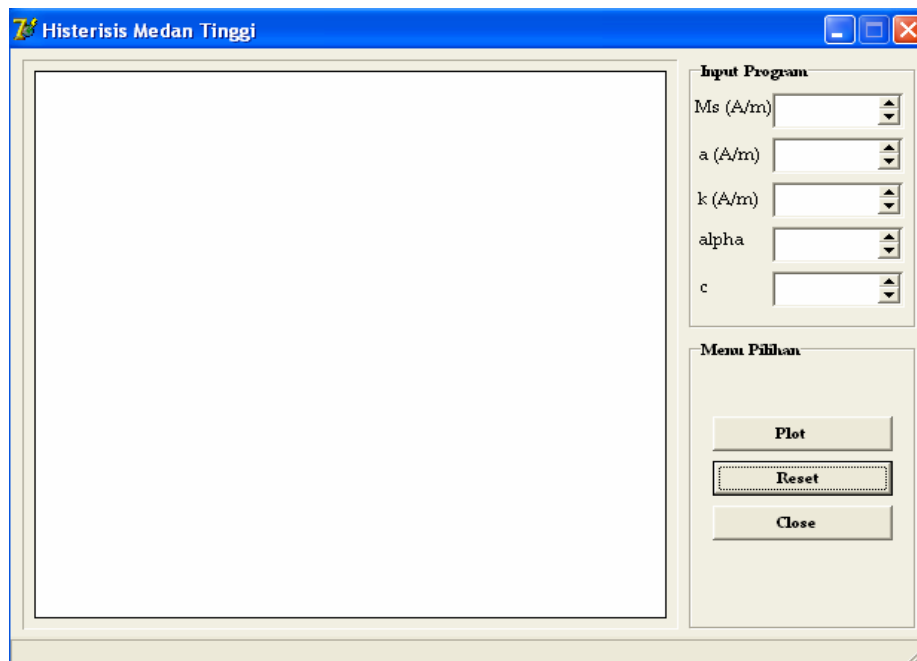
Gambar 13. Tampilan Program Paramagnetik

c) Ketika “Ferromagnetik” ditekan maka akan tampil:



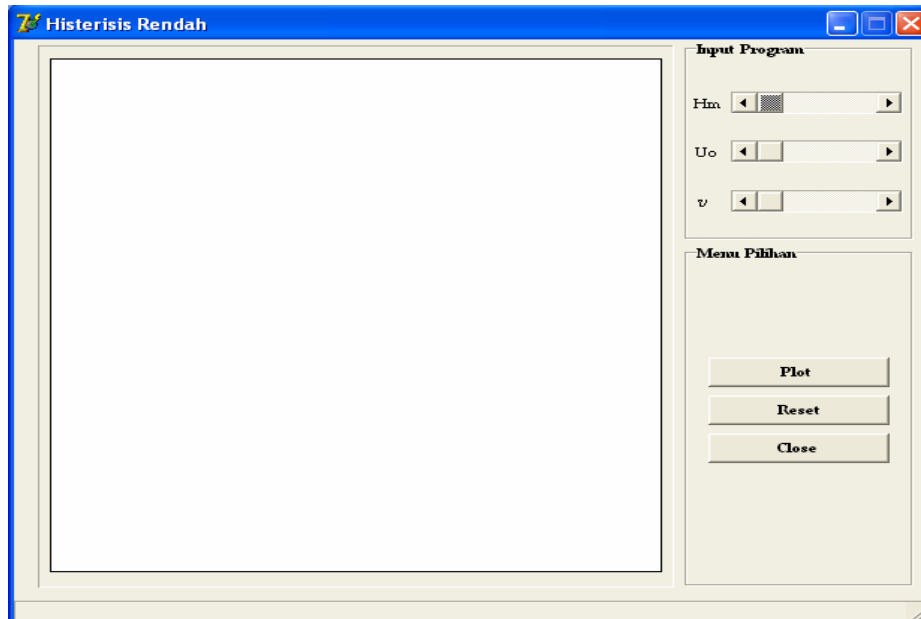
Gambar 14. Tampilan Program Ferromagnetik

d) Ketika “Histerisis Medan Tinggi” ditekan akan tampil:



Gambar 15. Tampilan Program Histerisis I

e) Ketika “Histerisis Medan Rendah” ditekan maka akan tampil:



**Gambar 16.** Tampilan Program Histerisis II

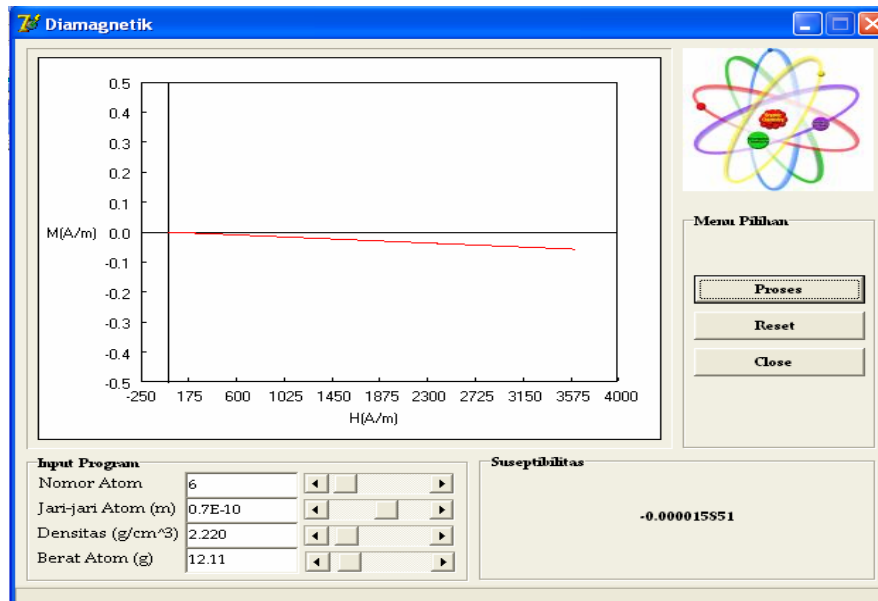
Dari tampilan ini, pengguna dapat memilih parameter-parameter masukkan program yang sesuai dengan kebutuhan masing-masing sub program.

## 2. Hasil Simulasi Program

Berikut adalah beberapa contoh hasil simulasi pada kondisi masukkan tertentu, sebagai contoh perilaku umum pada material magnetik.

### a) Program Diamagnetik

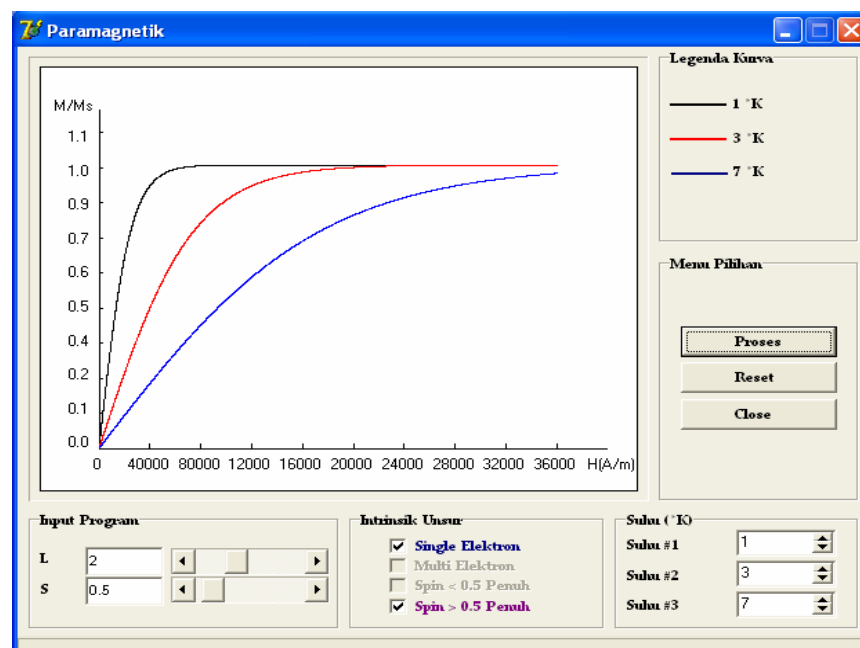
Nama Bahan	: Carbon
Nomor Atom	: 6
Jari-jari Atom	: $0.7 \times 10^{-10}$ m
Densitas Atom	: $2.220 \text{ g/cm}^3$
Berat Atom	: 12.11 g



Gambar 17. Garfik Hubungan MH Carbon

b) Program Paramagnetik

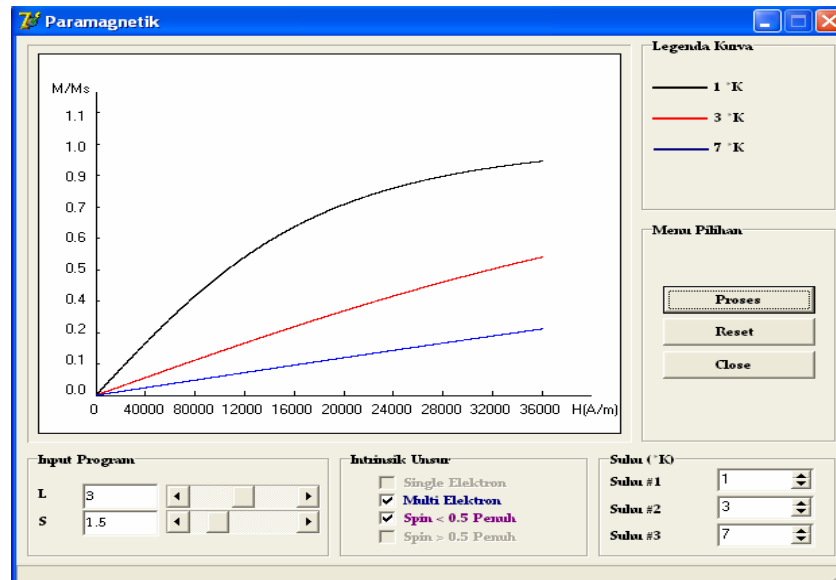
- 1) Kondisi masukkan intrinsik *single electron* dengan pengisian spin > setengah penuh.



Gambar 18. Garfik Hubungan MH Ion  $Cu^{2+}$



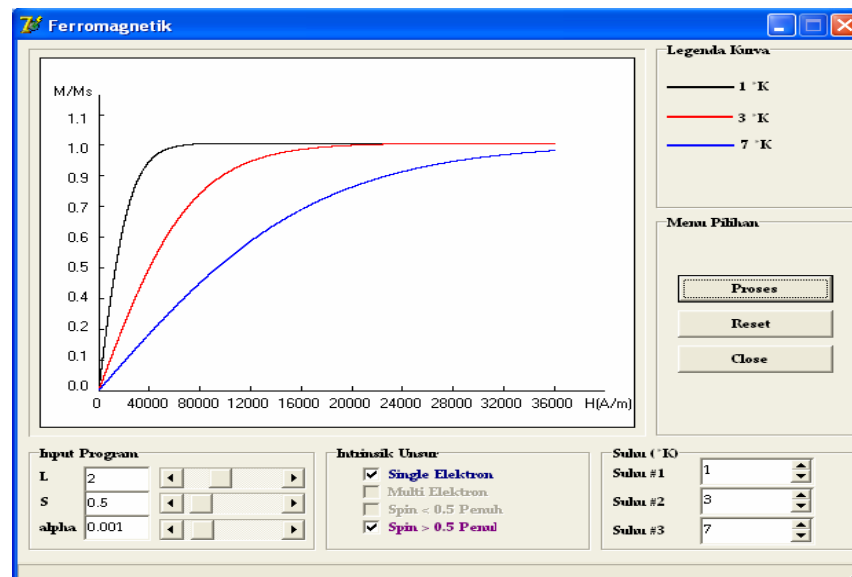
- 2) Kondisi masukkan intrinsik *Multi electron* dengan pengisian spin < setengah penuh.



Gambar 19. Garfik Hubungan MH Ion  $Cr^{3+}$

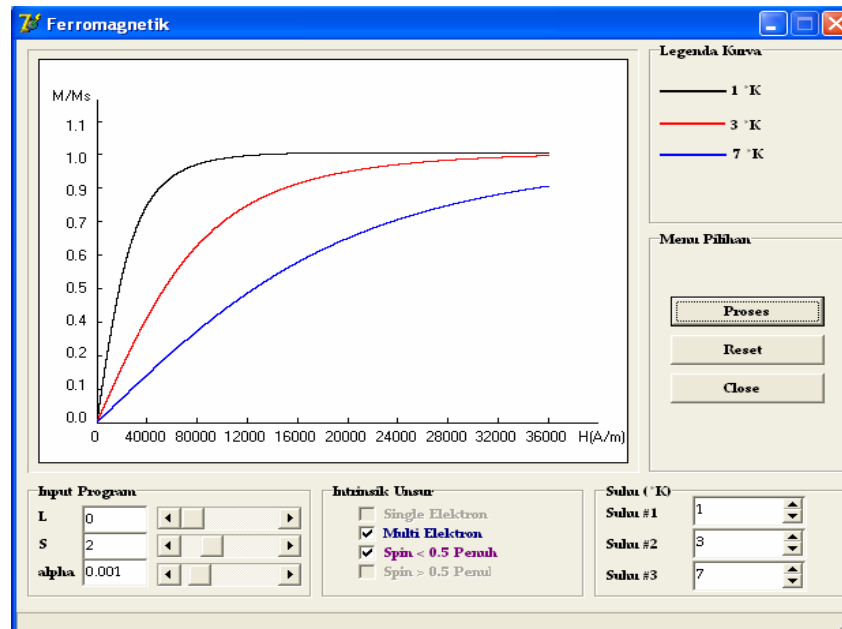
- c) Program Ferromagnetik

- 1). Kondisi masukkan intrinsik *single electron* dengan pengisian spin > setengah penuh.



Gambar 20. Garfik Hubungan MH Ion  $Ni^{2+}$

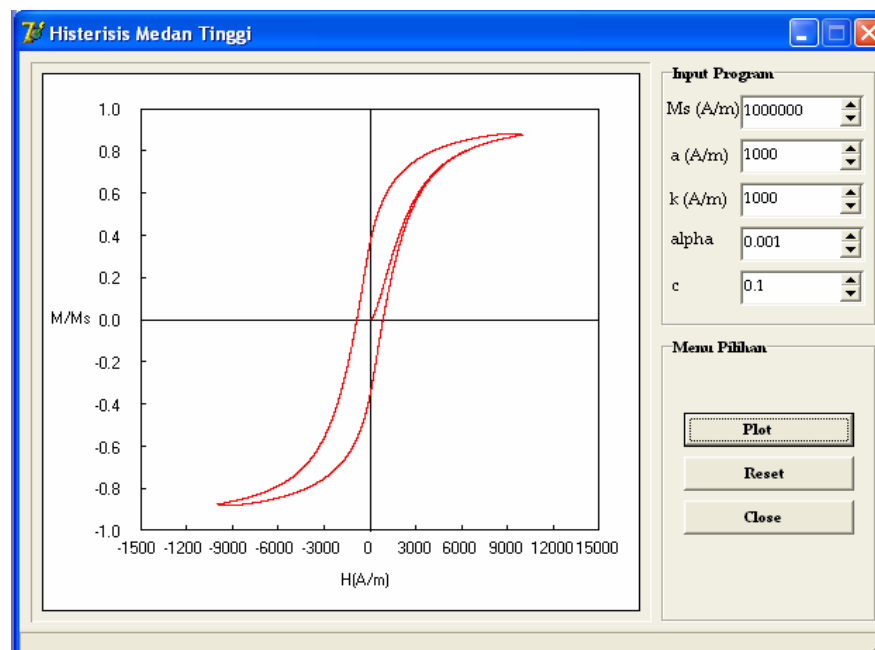
- 2). Kondisi masukkan intrinsik *Multi electron* dengan pengisian spin < setengah penuh.



Gambar 21. Garfik Hubungan MH Ion  $Fe^{3+}$

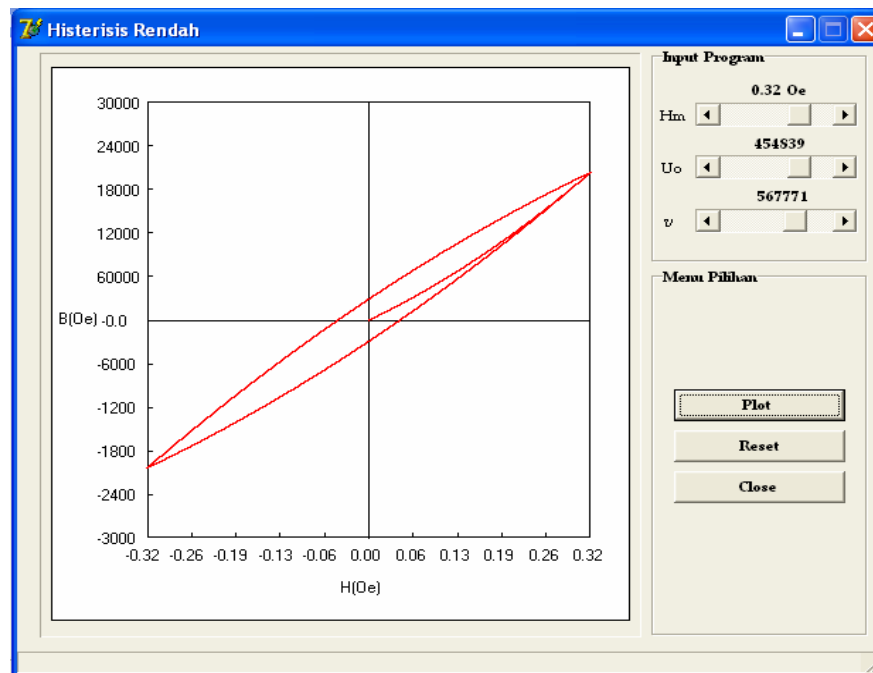
d) Program Histerisis

1) Histerisis Medan Tinggi



Gambar 22. Histerisis Medan Tinggi

## 2) Histerisis Medan Rendah



Gambar 23. Histerisis Medan Rendah

## B. Pembahasan

### 1. Program Diamagnetik

Perilaku material diamagnetik dapat dijelaskan melalui pers. (16). Ketika medan luar ( $\mathbf{H}$ ) bekerja momen magnetik orbital dari elektron mengalami percepatan atau perlambatan sampai pada suatu saat tertentu kecepatan pergerakan orbital dari elektron menjadi konstan. Perubahan medan luar ( $\mathbf{H}$ ) yang terjadi memberikan respon negatif terhadap perubahan magnetisasi, dengan kata lain material diamagnetik akan memberikan perlawanan proses penjajaran momen magnet ketika medan luar ( $\mathbf{H}$ ) bekerja.

Pada kondisi tanpa medan luar ( $\mathbf{H}$ ), kontribusi momen magnet orbital dari elektron berpasangan dalam sebuah inti atom menjadi nol. Gambar 17

merupakan contoh grafik hubungan perubahan magnetisasi dengan medan luar ( $\mathbf{H}$ ).

Besarnya perubahan magnetisasi sangat bergantung nomor atom ( $z$ ), jari-jari atom ( $r$ ), densitas atom ( $\rho$ ), dan berat atomis ( $w$ ) material. Semakin besar parameter tersebut semakin kecil kerentanan bahan termagnetisasi.

## 2. Program paramagnetik

Material paramagnetik *single electron* sifat kemagnetannya dapat didekati dengan menggunakan pers. (19), sedangkan untuk kondisi kompleks perilaku material paramagnetik dapat didekati dengan menggunakan pers. (20).

Gambar 19 menunjukkan perilaku material paramagnetik *multi electron* dengan pengisian spin  $< 0.5$  penuh dan gambar 18 menunjukkan perilaku material paramagnetik *single electron* dengan pengisian spin  $> 0.5$  penuh. Jika dibandingkan ternyata gambar 19 jauh lebih sukar untuk mengalami saturasi, hal ini dikarenakan ion  $Cr^{3+}$  memiliki tiga elektron tak berpasangan yang memberikan kontribusi momen magnet atom sehingga diperlukan medan luar ( $\mathbf{H}$ ) yang lebih banyak untuk mensejajarkan momen magnet dari elektron-elektron yang dimiliki. Sedangkan pada ion  $Cu^{2+}$  hanya memiliki satu elektron tak berpasangan yang memberikan kontribusi momen magnet atom sehingga memerlukan medan luar ( $\mathbf{H}$ ) yang lebih sedikit untuk mensejajarkan momen magnet elektronnya.

Perilaku lain yang ditunjukkan gambar 18 dan gambar 19 adalah hubungan magnetisasi dengan temperatur, semakin besar temperatur

semakin susah untuk saturasi. Hal ini dikarenakan ketika temperatur naik maka energi termal bertambah sehingga efek kerandoman penjajaran momen magnet elektron atom meningkatkan.

### 3. Program Ferromagnetik

Respon yang diberikan oleh material ferromagnetik terhadap medan luar ( $\mathbf{H}$ ) mempunyai perilaku yang menyerupai material paramagnetik (lihat gambar 20 dan gambar 21), tetapi magnetisasi yang terjadi pada bahan ferromagnetik tidak sama untuk semua volume di dalam bahan. Momen-momen magnetik dari elektron yang berdekatan saling berinteraksi lebih efektif jika dibandingkan dengan momen magnetik yang berjauhan, momen magnetik tersebut akan saling terkopel membentuk *spontanius magnetisasi*  $\mathbf{M}_s$  dalam domain. Penyebab interaksi antar momen magnetik diakibatkan adanya parameter alpha yang menyatakan interaksi antar domain, semakin besar nilainya semakin besar pula *spontanius magnetisasi* yang terjadi

### 4. Program Histerisis

#### a) Histerisis Pada Medan Lemah

Pada pers. (28) memiliki dua faktor yang berpengaruh dalam pembentukan *loop* histerisis, yaitu inisial permeabilitas ( $\mu_0$ ) yang nilainya berpengaruh terhadap besarnya koersitifitas ( $H_c$ ), sedangkan faktor yang kedua adalah konstanta Rayleigh ( $v$ ) yang nilainya berpengaruh terhadap besarnya remanensi ( $B_r$ ), hasil program ditunjukkan gambar 23.

### b) Histerisis Pada Medan Tinggi

Pada pers. (31) merupakan formula matematis yang dapat digunakan dalam menjelaskan *loop* histerisis material ferromagnetik ketika medan luar ( $\mathbf{H}$ ) bekerja, karena pers. (31) merupakan bentuk diferensial maka dalam menentukan solusinya kita harus menggunakan metode numerik.

Besarnya koersifitas pada *loop* histerisis bergantung parameter  $k$ , semakin besar koersifitas semakin lebar. Besarnya remanensi bergantung parameter  $a$ , semakin kecil remanensi yang dihasilkan semakin tinggi, sedangkan pengaruh parameter  $\alpha$  dan parameter  $c$  mempertegas *factor irreversible* yang menyebabkan kurva tidak kembali ke titik semula ketika medan luar ( $\mathbf{H}$ ) dibalikkan. Jika parameter  $c$  bernilai satu maka magnetisasi yang terjadi adalah magnetisasi bagian *reversible* saja, atau magnetisasi *irreversible* tidak terjadi, dan kurva yang terbentuk berupa huruf S.

## BAB V

### SIMPULAN DAN SARAN

#### A. SIMPULAN

Telah dibuat program kemagnetan bahan menggunakan program delphi dengan hasil sebagai berikut :

1. Bahan diamagnetik memberikan respon perubahan magnetisasi negatif terhadap perubahan medan luar (**H**) atau momen magnet atom melawan medan luar (**H**) yang diberikan.
2. Magnetisasi pada bahan paramagnetik merupakan fungsi temperatur, semakin tinggi temperturnya semakin sulit untuk saturasi atau perlu medan luar (**H**) yang besar supaya terjadi saturasi.
3. Magnetisasi pada bahan ferromagnetik juga merupakan fungsi temperatur, tetapi magnetisasi yang terjadi tidak sama untuk suatu unit volume di dalam bahan, momen-momen magnet dari elektron yang berdekatan akan saling berinteraksi lebih efektif jika dibandingkan dengan momen magnet elektron yang letaknya jauh. Sehingga saturasi yang terjadi lebih cepat jika dibandingkan pada bahan paramagnetik.
4. Bentuk kurva histerisis sangat bergantung dari intrinsik bahan , yaitu :
  - a) Bentuk sepasang parabolik untuk material domain tunggal
  - b) Bentuk S untuk material multi domain

## **B. SARAN**

Penggunaan solusi numerik runge-kutta orde empat pada pembuatan program histerisis medan tinggi dianggap kurang tepat, sehingga perlu adanya kajian lanjutan mengenai pemilihan metode penyelesaian deferensial terkopel yang sesuai.



## Daftar Pustaka

- Lawrence H V. 1985. *Ilmu dan Teknologi Bahan*. Alih Bahasa Ir. Sriati Djaprie. Jakarta: Eralngga
- Jiles, David. 1991. *Introduction to Magnetism and magnetic Material*. Thomson press Ltd. New Delhi.
- Cullity, B.D. 1972. *Introduction to Magnetic Material*, Addison-Wesley publishing Company Inc. Canada.
- Beiser, Arthur. 1989. *Konsep Fisika Modern*, Alih Bahasa Houw Liong, Ph.D. Jakarta. Erlangga.
- Kadir, Abdul. 2001. *Dasar Pemrograman Delphi 5*, Yogyakarta. Andi Yogyakarta
- Munif, Abdul. 1995. *Metode Numerik*, Surabaya. Guna Widya.
- Saefan, Joko. 2005. *Penyelesaian Numerik Metode Runge-Kutta Untuk Konsep Energi Yang Berorientasi Pada Fisika Dalam Kehidupan Nyata Menggunakan Delphi*. (Skripsi). Semarang: Unnes.