



**TUGAS AKHIR – TL1584**

**OPTIMASI PARAMETER PROSES *SOL GEL AUTO COMBUSTION* PADA SINTESIS BARIUM HEKSAFERRIT UNTUK APLIKASI *RADAR ABSORBING MATERIAL (RAM)* DENGAN MENGGUNAKAN *RESPONSE SURFACE METHODOLOGY (RSM)* DAN *NON-LINEAR PROGRAMMING***

**ANDIKA YOGA PRADANA  
NRP. 2712100009**

**Dosen pembimbing  
Dr. Widyastuti, S.Si, M.Si  
Mas Irfan P. Hidayat, ST., M.Sc., Ph.D**

**JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2016**

*Halaman Ini Sengaja Dikosongkan*



FINAL PROJECT – TL1584

***PARAMETERS OPTIMIZATION OF SOL GEL  
AUTO COMBUSTION PROCESS IN BARIUM  
HEXAFERRITE SYNTHESIS FOR RADAR  
ABSORBING MATERIAL (RAM)  
APPLICATION USING RESPONSE SURFACE  
METHODOLOGY (RSM) AND NON-LINEAR  
PROGRAMMING***

**ANDIKA YOGA PRADANA  
NRP. 2712100009**

**Advisor  
Dr. Widyastuti, S.Si, M.Si  
Mas Irfan P. Hidayat, ST., M.Sc., Ph.D**

**DEPARTMENT OF MATERIALS AND METALURGICAL  
ENGINEERING  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya  
2016**

*Halaman Ini Sengaja Dikosongkan*

**OPTIMASI PARAMETER PROSES SOL GEL AUTO  
COMBUSTION PADA SINTESIS BARIUM  
HEKSAFERRIT UNTUK APLIKASI RADAR ABSORBING  
MATERIAL (RAM) DENGAN MENGGUNAKAN  
RESPONSE SURFACE METHODOLOGY (RSM) DAN  
NON-LINEAR PROGRAMMING**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Bidang Studi Material Inovatif  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**Andika Yoga Pradana**  
**NRP. 2712100009**

**Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :**

Dr. Widyastuti, S.Si, M.Si

 ..... (Pembimbing I)

Mas Irfan P. Hidayat, ST, M.Sc., Ph.D.

 ..... (Pembimbing II)



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

**OPTIMASI PARAMETER PROSES SOL GEL AUTO  
COMBUSTION PADA SINTESIS BARIUM HEKSAFERRIT  
UNTUK APLIKASI RADAR ABSORBING MATERIAL  
(RAM) DENGAN MENGGUNAKAN RESPONSE SURFACE  
METHODOLOGY (RSM) DAN NON-LINEAR  
PROGRAMMING**

**Nama** : Andika Yoga Pradana  
**NRP** : 2712100009  
**Jurusan** : Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS  
**Dosen Pembimbing** : Dr. Widyastuti, S.Si, M.Si  
Mas Irfan P. Hidayat, ST., M.Sc., Ph.D

***Abstrak***

*Nilai Koersivitas ( $H_c$ ) dan Magnetik saturasi ( $M_s$ ) dari Barium heksaferrit ( $BaFe_{12}O_{19}$ ) hasil sintesis melalui metode sol gel auto combustion sangat tergantung pada nilai parameter proses yang dipilih. Pada penelitian ini digunakan metode statistik Response Surface Methodology (RSM) dan Non-linear programming untuk menganalisa pengaturan parameter proses Sol Gel Auto Combustion (fraksi mol dopan, pH, dan temperatur sintering) yang dapat meminimumkan  $H_c$  dan memaksimumkan  $M_s$  serta menganalisa hubungan antara parameter-parameter proses terhadap nilai  $M_s$  dan  $H_c$  Barium Heksaferrit. Penelitian ini menggunakan data sekunder dari penelitian Tugas Akhir dan Thesis yang telah dilakukan sebelumnya di Laboratorium Fisika Material Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS. Hasilnya dianalisa secara kuantitatif menggunakan RSM untuk mendapatkan persamaan matematika. Kondisi optimum didapatkan dari persamaan matematika yang dioptimasi dengan metode non-linear programming. Dari hasil analisa didapatkan nilai optimum Sifat Magnetik Barium Heksaferrit dapat dicapai pada kondisi fraksi mol 0.6, pH 7.64, dan temperatur sintering  $1050^{\circ}C$  dengan menghasilkan nilai  $H_c$  sebesar 0.03839 T dan nilai  $M_s$  sebesar 87.6135 emu/gr. Pemberian variasi parameter proses berpengaruh secara signifikan terhadap nilai  $H_c$  dan  $M_s$  yang didapatkan.*

**Kata kunci:** Barium heksaferrit, Non-Linear Programming, Response Surface Methodology, Sol Gel Auto Combustion

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

**PARAMETERS OPTIMIZATION OF SOL GEL AUTO  
COMBUSTION PROCESS IN BARIUM HEXAFERRITE  
SYNTHESIS FOR RADAR ABSORBING MATERIAL (RAM)  
APPLICATION USING RESPONSE SURFACE  
METHODOLOGY (RSM) AND NON-LINEAR  
PROGRAMMING**

**Name** : Andika Yoga Pradana  
**NRP** : 2712100009  
**Department** : Materials and Metallurgical Engineering  
FTI-ITS  
**Advisor** : Dr. Widyastuti, S.Si, M.Si  
Mas Irfan P. Hidayat, ST., M.Sc., Ph.D

***Abstract***

*Coercivity ( $H_c$ ) and Magnetic saturation ( $M_r$ ) values of Barium hexaferrite ( $BaFe_{12}O_{19}$ ) synthesized by sol gel auto combustion method is heavily dependent on the the chosen process parameters. In this study used statistical methods of Response Surface Methodology (RSM) and non-linear programming to analyze the process parameter setting of Sol Gel Auto Combustion (mole fraction dopants, pH, and sintering temperature) that minimize  $H_c$  and maximizes  $M_s$  and analyze the relationship between process parameters to the value of  $M_s$  and  $H_c$  of Barium Hexaferrite. This study used secondary data from Final Project and Thesis that has been done previously in the Materials Physical Laboratory, Materials and Metallurgical Engineering Department-FTI ITS. The results were analyzed quantitatively using RSM to obtain a mathematical equation. The optimum conditions were obtained from mathematical equations that were optimized by the method of non-linear programming. From the analysis results obtained optimum value of Barium Hexaferrite magnetic properties could be achieved on the condition of the mole fraction of 0.6, pH of 7.64, and the sintering temperature of 1050°C to produce a  $H_c$  value of 0.03839 T and  $M_s$  value of 87.6135 emu/g. Giving the variation of process parameters significantly affected the value of  $H_c$  and  $M_s$ .*

**Keywords:** Barium hexaferrite, Response Surface Methodology, Non-Linear Programming

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul :

### **“Optimasi Parameter Proses Sol Gel Auto Combustion pada Sintesis Barium Heksaferrit untuk Aplikasi Radar Absorbing Material (RAM) dengan Menggunakan Response Surface Methodology (RSM) dan Non-Linear Programming”**

Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis juga mengucapkan terima kasih yang sebesar – besarnya kepada :

1. Allah SWT yang selalu memberikan rahmat dan karunia serta kelancaran dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Ayah, Ibu, dan adik serta keluarga atas doa, dukungan, dan pengertian yang telah diberikan selama ini.
3. Ibu Dr. Widyastuti, S.Si, M.Si dan Bapak Mas Irfan P. Hidayat, ST., M.Sc., Ph.D selaku dosen pembimbing Tugas Akhir, yang telah memberi bimbingan dan motivasi pada saya.
4. Bapak Dr. Agung Purniawan, S.T, M.Eng selaku Ketua Jurusan Teknik Material dan Metalurgi yang telah memberikan bimbingan dan arahan selama kuliah di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi.
5. Bapak Sutarsis, ST, MSc selaku dosen wali.
6. Dosen Tim Penguji seminar dan sidang serta seluruh dosen Teknik Material dan Metalurgi, salam hormat saya.
7. Teman-Teman Laboratorium Fisika Material Jurusan Teknik Material dan Metalurgi yang telah memberikan dukungan moril kepada penulis dalam mengerjakan tugas akhir.
8. Seluruh pihak yang telah mendukung atas penulisan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa penyusunan Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak sangat diharapkan.

Surabaya, Juli 2016

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL.....	xix

### BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3

### BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Barium Heksaferrit sebagai Radar Absorbing Materials (RAM).....	5
2.2 Sol Gel Auto Combustion.....	11
2.3 Design of Experiment (DoE).....	13
2.4 Response Surface Methodology (RSM).....	15
2.5.1 Box-Behken Design.....	16
2.5.2 Fungsi Matematika Response Surface Methodology.....	18
2.5.3 Analysis of Variance (ANOVA).....	18
2.5.4 Pengujian Model Persamaan Matematika.....	19
2.5 Non-Linear Programming.....	23
2.6 Fungsi <i>fmincon</i> .....	24
2.7 <i>Artificial Neural Network</i> (ANN).....	25
2.8 Penelitian Sebelumnya.....	26

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

3.1 Diagram Alir Penelitian.....	31
3.1.1 Analisa Response Surface Methodology.....	32
3.1.2 Optimasi Parameter Non-Linear Programming ...	34
3.2 Parameter Penelitian.....	34
3.3 Pengumpulan Data Sekunder.....	36
3.4 <i>Software</i> yang Digunakan.....	37
3.5 Desain Eksperimen Box Behken .....	37

### **BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN**

4.1 Pengaruh dan Hubungan antara Parameter Proses terhadap Parameter Respon .....	41
4.1.1 Analisis pendugaan model respon koersivitas (Hc).....	43
4.1.2 Analisis pendugaan model respon magnetik saturasi (Ms).....	51
4.2 Plot Permukaan.....	58
4.2.1 Plot Permukaan untuk respon koersivitas (Hc) ....	58
4.2.2 Plot Permukaan untuk respon Magnetik Saturasi (Ms).....	62
4.3 Optimasi Respon .....	65
4.3.1 Penentuan titik minimum pada model Koersivitas (Hc) .....	65
4.3.2 Penentuan titik maksimum pada model Magnetik saturasi (Ms).....	68
4.3.3 Optimasi Multi Respon .....	71
4.4 Pembahasan .....	74
4.4.1 Pengaruh Fraksi Mol terhadap Sifat Magnetik Barium Heksaferrit.....	74
4.4.2 Pengaruh pH terhadap Sifat Magnetik Barium Heksaferrit.....	77
4.4.3 Pengaruh Temperatur Sintering terhadap Sifat Magnetik Barium Heksaferrit.....	81

<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1 Kesimpulan.....	85
5.2 Saran.....	85
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>87</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>xxi</b>

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Blok diagram dari sistem radar .....	5
<b>Gambar 2.2</b>	Disipasi energi pada lapisan RAM.....	6
<b>Gambar 2.3</b>	Kurva Histerisis .....	7
<b>Gambar 2.4</b>	Struktur kristal Barium Heksaferrit.....	9
<b>Gambar 2.5</b>	Flow Chart Sol Gel Auto Combustion.....	12
<b>Gambar 2.6</b>	Desain visual box-behken untuk 3 faktor .....	17
<b>Gambar 2.7</b>	Skema Neural Network pada system Artificial Intelligence.....	25
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram Alir Penelitian .....	32
<b>Gambar 3.2</b>	Diagram Alir Analisa Response Surface Methodology .....	33
<b>Gambar 3.3</b>	Diagram Alir Optimasi Parameter Non-Linear Programming .....	34
<b>Gambar 4.1</b>	Plot Residual dari Hc (Plot Residual vs Fitted Value).....	47
<b>Gambar 4.2</b>	Plot Residual dari Hc (Plot Residual vs Order) .....	48
<b>Gambar 4.3</b>	Plot Autocorelation Function untuk Hc .....	49
<b>Gambar 4.4</b>	Grafik Normal Probability Plot untuk Hc .....	50
<b>Gambar 4.5</b>	Plot Residual dari Ms (Plot Residual vs Fitted Value).....	55
<b>Gambar 4.6</b>	Plot Residual dari Ms (Plot Residual vs Order) .....	55
<b>Gambar 4.7</b>	Plot Autocorelation Function untuk Ms.....	56
<b>Gambar 4.8</b>	Grafik Normal Probability Plot untuk Ms.....	57
<b>Gambar 4.9</b>	Surface Plot Parameter Fraksi Mol dan pH Terhadap Respon Koersivitas (Hc) .....	59
<b>Gambar 4.10</b>	Countour Plot Parameter Fraksi Mol dan pH Terhadap Respon Koersivitas (Hc).....	59
<b>Gambar 4.11</b>	Surface Plot Parameter Fraksi Mol dan Temp. Sintering Terhadap Respon Koersivitas (Hc) .....	60
<b>Gambar 4.12</b>	Countour Plot Parameter Fraksi Mol dan Temp. Sintering Terhadap Respon Koersivitas (Hc) .....	60
<b>Gambar 4.13</b>	Surface Plot Parameter pH dan Temp. Sintering Terhadap Respon Koersivitas (Hc).....	61

<b>Gambar 4.14</b>	Contour Plot Parameter pH dan Temp. Sintering Terhadap Respon Koersivitas ( $H_c$ ) .....	61
<b>Gambar 4.15</b>	Surface Plot Parameter Fraksi Mol dan pH Terhadap Respon Magnetik Saturasi ( $M_s$ ).....	62
<b>Gambar 4.16</b>	Countour Plot Parameter Fraksi Mol dan pH Terhadap Respon Magnetik Saturasi ( $M_s$ ).....	62
<b>Gambar 4.17</b>	Surface Plot Parameter Fraksi Mol dan Temp. Sintering Terhadap Respon Magnetik Saturasi ( $M_s$ ) ..	63
<b>Gambar 4.18</b>	Countour Plot Parameter Fraksi Mol dan Temp. Sintering Terhadap Respon Magnetik Saturasi ( $M_s$ ) ..	63
<b>Gambar 4.19</b>	Surface Plot Parameter pH dan Temp. Sintering Terhadap Respon Magnetik Saturasi ( $M_s$ ).....	64
<b>Gambar 4.20</b>	Contour Plot Parameter pH dan Temp. Sintering Terhadap Respon Magnetik Saturasi ( $M_s$ ).....	64
<b>Gambar 4.21</b>	Proses Optimasi Model $H_c$ .....	66
<b>Gambar 4.22</b>	<i>Run solver and view results</i> Optimasi Model $H_c$	67
<b>Gambar 4.23</b>	Proses Optimasi Model $M_s$ .....	69
<b>Gambar 4.24</b>	<i>Run solver and view results</i> Optimasi Model $M_s$	70
<b>Gambar 4.25</b>	Proses Optimasi Multirespon .....	73
<b>Gambar 4.26</b>	<i>Run solver and view results</i> Optimasi Multi Respon.....	73
<b>Gambar 4.27</b>	Grafik hubungan antara perubahan Fraksi mol dengan Koersifitas dan Magnetik Saturasi .....	75
<b>Gambar 4.28</b>	Ilustrasi pendopingan ion Ni/Zn pada barium heksaferrit.....	75
<b>Gambar 4.29</b>	Grafik hubungan antara perubahan pH dengan Koersifitas dan Magnetik Saturasi .....	78
<b>Gambar 4.30</b>	Distribusi Ion Asam Sitrit pada Perubahan pH ...	79
<b>Gambar 4.31</b>	Grafik hubungan antara perubahan Temperatur Sintering dengan Koersifitas dan Magnetik Saturasi ..	81

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Sifat material dari barium heksaferrit .....	9
<b>Tabel 2.2</b> Jari-jari ion penyusun Barium Heksaferrit .....	10
<b>Tabel 2.3</b> Perbandingan Macam-macam Metode DoE .....	14
<b>Tabel 2.4</b> <i>Analysis of Variance</i> .....	18
<b>Tabel 2.5</b> Penelitian Pendahuluan Barium Heksaferrite .....	27
<b>Tabel 2.6</b> Penelitian Pendahuluan dengan RSM .....	29
<b>Tabel 3.1</b> Level yang digunakan .....	38
<b>Tabel 3.2</b> Desain Penelitian <i>Box-Behnken</i> .....	39
<b>Tabel 4.1</b> Data Hasil Prediksi <i>Artificial Neural Network</i> .....	42
<b>Tabel 4.2</b> Desain Eksperimen dan Data Hasil Penelitian .....	42
<b>Tabel 4.3</b> Estimasi Koefisien Regresi untuk Respon Koersivitas (Hc) .....	44
<b>Tabel 4.4</b> <i>Analysis of Variance</i> untuk Respon Koersivitas (Hc) .....	44
<b>Tabel 4.5</b> Estimasi Koefisien Regresi untuk Respon Magnetik Saturasi (Ms) .....	51
<b>Tabel 4.6</b> <i>Analysis of Variance</i> untuk Respon Magnetik Saturasi (Ms) .....	52
<b>Tabel 4.7</b> Index x pada Persamaan Hc MATLAB Code .....	66
<b>Tabel 4.8</b> Kombinasi Optimum Parameter Proses Model Hc .....	67
<b>Tabel 4.9</b> Index x pada Persamaan Ms MATLAB Code .....	69
<b>Tabel 4.10</b> Kombinasi Optimum Parameter Proses Model Hc .....	70
<b>Tabel 4.11</b> Index x pada Persamaan Hc dan Ms MATLAB Code .....	72
<b>Tabel 4.12</b> Kombinasi Optimum Parameter Proses Model Hc Hasil Optimasi Multi Respon .....	74

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Barium Heksaferrit ( $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ ) dikenal sebagai bahan magnet permanen yang memiliki energi magnetik B-H relatif besar, medan koersifitas tinggi dan biaya produksi rendah (Went,1952). Dalam beberapa dekade terakhir, fungsi aplikasi dari Barium Heksaferrit juga terus berkembang, yaitu sebagai *perpendicular recording materials* (Xiaoyu,1996) dan *microwave absorbing material* (Sugimoto, 1999). Salah satu bentuk pengaplikasian fungsi Barium heksaferrit sebagai *microwave absorbing material* adalah penggunaannya untuk bahan penyusun *Radar Absorbing Material* (RAM). Secara teori Barium Heksaferrit memiliki nilai  $H_c = 6700$  Oe sedangkan  $M_s = 72$  emu/gr dan memiliki temperatur curie sebesar  $450^\circ\text{C}$  (Zainuri, 2010). Nilai tersebut menunjukkan bahwa nilai  $M_s$  dan  $H_c$  yang tinggi. Padahal untuk aplikasi RAM nilai  $H_c$  yang diharapkan sekecil mungkin. Untuk memenuhi kriteria tersebut dapat dilakukan cara doping atau substitusi Ni – Zn dalam sintesis Barium Heksaferrit. (Febri,2015)

Terdapat beberapa metode yang dapat digunakan untuk melakukan sintesis Barium Heksaferrit, salah satunya adalah *Sol Gel Auto Combustion* (Xu, 2006). Metode ini banyak dipilih karena keunggulannya dalam waktu proses yang lebih singkat dan reagen yang lebih mudah didapat (Febri, 2015). Metode ini memiliki beberapa kelebihan seperti pada percobaan Li dan Kaczmarck (2005) yaitu reagen yang dibutuhkan lebih singkat dan tidak memerlukan peralatan khusus. Parameter proses yang dapat berpengaruh dalam metode *Sol Gel Auto Combustion* antara lain fraksi mol dopan, pH, dan temperatur sintering (Liu, 2009). Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari parameter proses *Sol Gel Auto Combustion* terhadap nilai  $M_s$  dan  $H_c$  Barium Heksaferrit. Seperti pada penelitian Febri (2015) yang melakukan sintesis Barium heksaferrit melalui metode *sol gel*



*auto combustion* dengan menggunakan variasi parameter fraksi mol dopan Ni-Zn dan nilai pH. Marsha (2015) juga melakukan sintesis Barium heksaferrit dengan memakai variasi parameter nilai pH dan temperatur sintering. Sedangkan Rizki (2015) menggunakan variasi fraksi mol dopan dan temperatur sintering dalam sintesis barium heksaferrit. Penelitian-penelitian yang telah dilakukan tersebut umumnya mengalami permasalahan engineering yang sama yaitu terkait lamanya waktu dan biaya proses (Mohammadzadeh, 2015). Permasalahan tersebut berakibat pada terbatasnya jumlah dan level parameter yang digunakan serta kurang akuratnya analisa respon yang dihasilkan. Selain itu, walaupun dari eksperimen telah didapatkan nilai respon maksimum-minimum, namun nilai tersebut belum tentu merupakan nilai optimasinya.

Metode statistik *Design of Experiments* (DoE) dapat diterapkan untuk mengurangi jumlah eksperimental dan mendapatkan hasil atau nilai optimasi dari suatu eksperimen. DoE juga dapat digunakan untuk mempelajari interaksi dan hubungan antar variabel (Diler, 2012). Oleh karena itu, pada penelitian ini digunakan metode DoE yaitu *Response Surface Methodology* untuk menganalisa interaksi dan hubungan antara parameter fraksi mol dopan, pH, dan temperatur sintering pada sintesis Barium Heksaferrit. Selain itu juga digunakan metode *Non-Linear Programming* untuk mengetahui kondisi ketiga parameter tersebut yang dapat menghasilkan respon Magnetik saturasi (Ms) dan Koersivitas (Hc) paling optimum.

## 1.2 Perumusan Masalah

1. Bagaimana pengaturan parameter proses *Sol Gel Auto Combustion* (fraksi mol dopan, pH, dan Temperatur Sintering) yang dapat meminimumkan Hc dan memaksimumkan Ms pada sintesis barium Heksaferrit dengan menggunakan *Response Surface Methodology* dan *non-linear programming*?



2. Bagaimana hubungan antara parameter-parameter proses terhadap nilai Ms dan Hc Barium Heksaferrit melalui metode *Sol Gel Auto Combustion*?

### 1.3 Batasan Masalah

Pada penelitian ini dimana data yang digunakan merupakan data sekunder hasil sintesis Barium Heksaferrit di Laboratorium Fisika Material Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS maka untuk menjadikan hasil akhir yang baik dan sesuai dengan yang diinginkan serta tidak menyimpang dari permasalahan yang ditinjau, ditetapkan batasan masalah sebagai berikut:

1. Data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini dianggap benar dan telah sesuai dengan standard penelitian laboratorium.
2. Data dipilih dengan teknik sampling nonrandom bertujuan sesuai dengan kombinasi parameter proses yang digunakan

### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari diadakannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisa pengaturan parameter proses *Sol Gel Auto Combustion* (fraksi mol dopan, pH, dan temperatur sintering) yang dapat meminimumkan Hc dan memaksimumkan Ms pada sintesis barium Heksaferrit dengan menggunakan *Response Surface Methodology* dan *non-linear programming*
2. Menganalisa hubungan antara parameter-parameter proses terhadap nilai Ms dan Hc Barium Heksaferrit melalui metode *Sol Gel Auto Combustion*

### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Menambah *database* tentang setting parameter proses yang memberikan respon paling optimum dari sintesis barium



- heksaferrit dengan menggunakan metode *sol gel auto combustion* untuk aplikasi *Radar Absorbent Material*.
2. Dapat digunakan sebagai *referensi* baik untuk sintesis barium heksaferrit maupun sintesis bahan yang lainnya tentang bagaimana merancang dan menganalisa penelitian menggunakan DoE, khususnya dengan menggunakan *Response Surface Methodology* dan *Non-linear programming*.

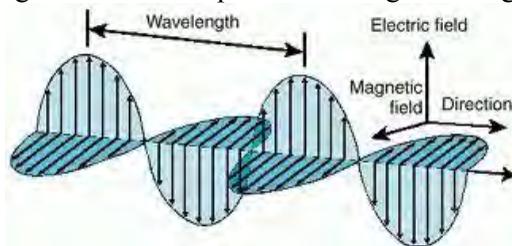


## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Barium Heksaferrit sebagai *Radar Absorbing Materials (RAM)*

Radar absorbing material adalah suatu material yang dikembangkan untuk teknologi stealth (siluman) dimana aplikasinya bertujuan untuk membuat suatu struktur agar tidak terdeteksi oleh radar (Ahmad Anas Yusof, 2005). Eksploitasi RAM dimulai pada tahun 1930-an tidak lama setelah munculnya radar. Desain penyerap telah memasukkan bahan dengan mekanisme loss yang berbeda dan telah membuat penggunaan *physical optics* untuk mengoptimalkan penyerapan terhadap *bandwidth* yang lebar (Paul, 2005).

Radar bekerja dengan cara melepaskan gelombang elektromagnetik dan menangkap sinyal dari pantulan benda yang melintas pada daerah tangkapan yang bersudut  $20^{\circ} - 40^{\circ}$ . Semakin tinggi level energi dalam suatu sumber energi, semakin tinggi frekuensinya (Lillesand and Kiefer, 2000). Ketika radar bekerja, ia akan melepaskan gelombang elektromagnetik, gelombang ini merupakan kombinasi medan listrik (E) dan medan magnet (H) yang masing masing merambat secara transversal dan arah keduanya tegak lurus terhadap arah rambat gelombang.



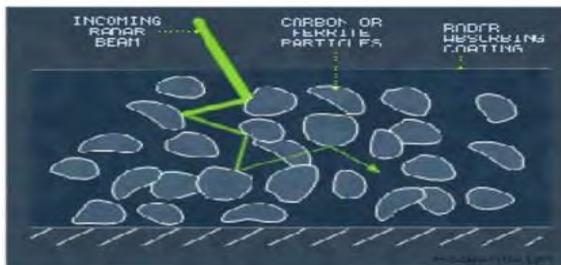
**Gambar 2.1** Blok diagram dari sistem radar (Courtesy of Wave Around Us)

RAM berfungsi untuk menyerap gelombang elektromagnetik yang dipancarkan oleh radar sehingga sinyal

JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER



pantulan yang ditangkap kembali oleh radar akan menjadi sangat kecil. RAM terbuat dari 2 bahan utama yaitu material dielektrik dan material magnetik (Bayu, 2011). Saat gelombang radar mengenai lapisan RAM, maka gelombang tersebut akan mendapatkan 3 kemungkinan perlakuan, yaitu akan diserap, ditransmisikan dan direfleksikan.



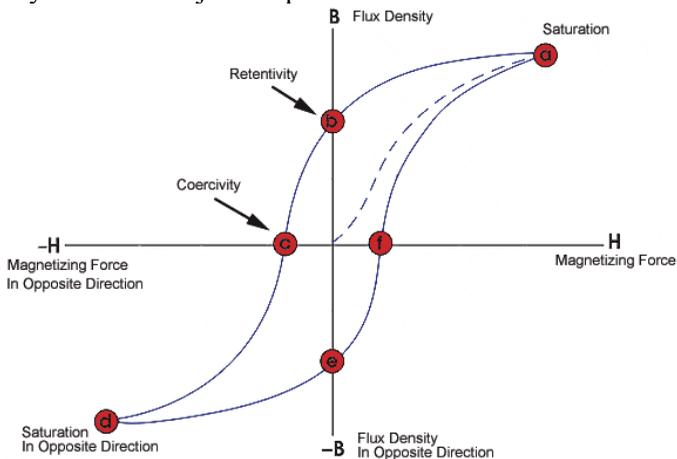
**Gambar 2.2** Disipasi energi pada lapisan RAM (Wilson, 2006)

Medan magnetik akan diserap oleh material magnetik dan akan meningkatkan intensitas medan magnet internalnya ( $B$ ), sedangkan medan listrik akan diserap oleh material dielektrik dari RAM sehingga terjadi polarisasi dipol-dipol listrik di dalam material dielektrik tersebut, dimana dipol-dipol listrik ini akan terus berisolasi mengikuti arah medan listrik yang datang. Dan dari gerak osilasi tersebut akan menimbulkan energi panas sehingga terjadi konversi energi listrik menjadi energi termal yang kemudian ditransmisikan atau dikenal dengan proses disipasi energi.

Setiap bahan penyusun RAM baik itu material dielektrik maupun magnetik memiliki karakteristik khusus yang harus dimiliki agar dapat digunakan. Pada material magnetik, persyaratan utama adalah material tersebut harus dapat menyerap gelombang mikro. Selain itu salah satu syarat yang harus dipenuhi untuk aplikasi praktis sebagai penyerap gelombang elektromagnetik adalah bahwa material ini harus memiliki nilai medan koersivitas serendah mungkin dengan nilai magnetik saturasi yang tinggi (Zhou, 2009).



Magnetik saturasi ( $M_s$ ) adalah kondisi magnetisasi ketika densitas fluks magnetik ( $B$ ) mencapai titik maksimum (Rizki, 2015). Sedangkan nilai koersivitas ( $H_c$ ) merupakan nilai kuat medan magnetik yang dimiliki oleh material tersebut. Nilai magnetik saturasi dan koersivitas didapatkan dari kurva histeresis hasil pengujian VSM. Kurva histeresis menunjukkan hubungan antara kepadatan fluks magnetik terinduksi ( $B$ ) dan *magnetizing force* ( $H$ ). Kurva ini juga sering disebut sebagai kurva B-H. Contoh kurva hysteresis ditunjukkan pada Gambar 2.3



**Gambar 2.3** Kurva Histeresis

Kurva dihasilkan dengan mengukur fluks magnetik dari bahan feromagnetik pada perubahan gaya magnet. Sebuah bahan feromagnetik yang sebelumnya belum pernah termagnetisasi atau telah sepenuhnya mengalami kerusakan magnetik akan mengalami kondisi yang mengikuti garis putus-putus seiring dengan peningkatan nilai  $H$ . Seperti yang ditunjukkan garis pada kurva, semakin besar jumlah arus yang diberikan ( $H +$ ), semakin kuat medan magnet dalam komponen ( $B +$ ). Pada titik "a" hampir semua domain magnetik selaras dan penambahan kenaikan *magnetizing force* akan menghasilkan sedikit kenaikan fluks magnetik. Pada titik "a" material telah mencapai titik *magnetic saturation*. Ketika



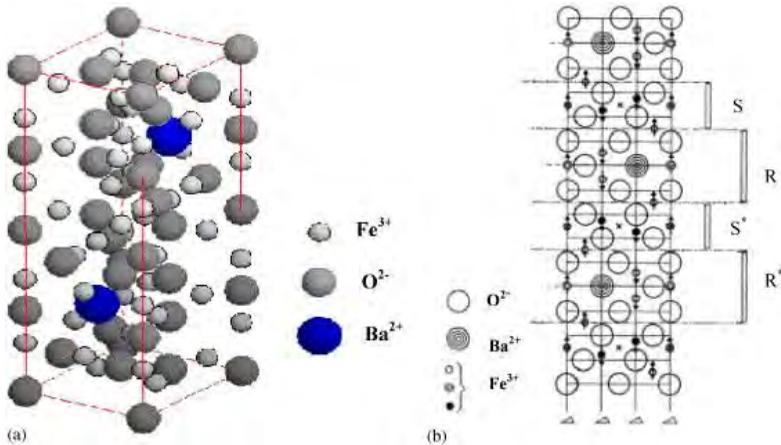
H dikurangi menjadi nol, kurva akan bergerak dari titik "a" ke titik "b." Pada titik ini, dapat dilihat bahwa beberapa fluks magnetik tetap ada di dalam material meskipun kekuatan magnet nol. Hal ini disebut sebagai titik *retentivity* pada grafik dan menunjukkan titik remanen atau tingkat magnet sisa dalam materi. (Beberapa domain magnetik tetap selaras tetapi beberapa telah kehilangan keselarasan mereka.) Ketika kekuatan magnetik dibalik, kurva bergerak ke titik "c", di mana fluks telah dikurangi menjadi nol. Ini disebut titik koersivitas pada kurva. Gaya yang dibutuhkan untuk menghilangkan magnet sisa dari bahan disebut gaya koersif atau koersivitas material.

Ketika *magnetizing force* meningkat ke arah negatif, bahan akan kembali menjadi magnetis jenuh lagi tetapi dalam arah yang berlawanan (point "d"). Pengurangan H menjadi nol membawa kurva ke titik "e". Pada titik ini kondisi tingkat magnet sisa sama dengan yang ada pada arah yang lain. Peningkatan H kembali ke arah positif membuat nilai B kembali ke nilai nol. Grafik tidak kembali ke bentuk asal grafik karena beberapa kekuatan diperlukan untuk menghapus magnet sisa. Kurva akan mengambil jalur yang berbeda dari titik "f" kembali ke titik jenuh. (NDT Education Resource Center, 2001-2014). Nilai dari Koersivitas ( $H_c$ ) didapatkan dari titik "f" sedangkan nilai Magnetik Saturasi ( $M_s$ ) didapatkan dari titik "a".

Barium heksaferrit merupakan bahan ferromagnetik yang sesuai untuk aplikasi absorber microwave maupun mm-wave (Darja, 2008). Barium heksaferrit merupakan material yang memiliki kemampuan untuk menyerap gelombang mikro (Feng, 2007). Barium Heksaferrit telah diklasifikasikan menurut strukturnya, menjadi lima kelas utama:  $BaFe_{12}O_{19}$  (tipe M),  $BaMe_2Fe_{16}O_{27}$  (tipe W),  $Ba_2Me_2Fe_{28}O_{46}$  (tipe X),  $Ba_2Me_2Fe_{12}O_{22}$  (tipe Y) dan  $Ba_3Me_2Fe_{24}O_{41}$  (tipe Z), di mana Me merupakan ion divalen dari seri transisi pertama (R. da Costa Lima, 2009). M, Y, W, Z, X dan U untuk menyatakan tipe dari barium heksaferrit yang ditentukan oleh jumlah kandungan ion besi dan oksigen dalam senyawa. W-, X-, Y-, Z- merupakan tipe yang kurang ekonomis



karena proses yang relatif sulit. Hexaferrit tipe M telah diteliti memiliki memiliki magnetisasi saturasi besar, koersivitas tinggi, suhu curie tinggi, anisotropi magnetik uniaksial besar dan stabilitas kimia yang sangat baik. Bahan-bahan ini telah diselidiki karena aplikasi teknologi dalam magnet permanen, media perekaman magnetik kepadatan tinggi dan perangkat microwave (S. Kanagesan, 2013). Struktur kristal dari tipe M ferrit ditunjukkan oleh Gambar 2.4.



**Gambar 2.4** Struktur kristal Barium Heksaferrit (P.A Marino-Castellanos dkk, 2004)

Barium heksaferrit memiliki karakteristik seperti ditunjukkan pada Tabel 2.1.

**Tabel 2.1** Sifat material dari barium heksaferrit

Material Properties	Barium Heksaferit
Melting poin	1500°C
Curie Temperatur	450°C
Bentuk	Serbuk
Specific Gravity	5.3 g/cc pada 20°C
Kelarutan dalam air (H <sub>2</sub> O)	Sukar larut
Titik leleh	± 1500°C



Warna	Cokelat kehitam-hitaman
Aroma	Tidak beraroma
Koersifitas	6700 oe
Saturasi	78 emu/g

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa barium heksaferrit memiliki nilai koersivitas tinggi (6700 Oe), dan magnetisasi saturasi yang relatif besar (78 emu/g) (Tang, 2005). Nilai koersivitas tersebut terlalu tinggi jika digunakan untuk aplikasi RAM. Tingginya nilai medan koersivitas menyebabkan sifat anisotropik material semakin meningkat sehingga sifat absorpsinya menjadi semakin lemah. Dengan menurunkan nilai medan koersivitas bahan magnetik ini berarti menurunkan medan anisotropi magnetokrsitalinnya (Desyani, 2014).

Untuk memenuhi kriteria sebagai bahan magnetik RAM perlu dilakukan suatu rekayasa terhadap Barium heksaferrit. Salah satu cara merakayasa sifat magnetik tersebut adalah dengan menambahkan atau mendoping ion yang memiliki jari-jari ionik yang hampir sama dengan ion yang didoping. Ion Ni dan Zn merupakan ion yang memiliki jari-jari ionik yang hampir sama dengan ion Fe. Pendopingan ion Ni/Zn dalam barium M-heksaferrit mempengaruhi banyaknya dipol-dipol yang terbentuk. Semakin acak dan semakin banyak dipol-dipol dalam material mengakibatkan perubahan besar sifat kemagnetan material.

**Tabel 2.2** Jari-jari ion penyusun Barium Heksaferrit

Ion	Jari-jari (nm)
Ba <sup>2+</sup>	0,135
Fe <sup>2+</sup>	0,078
Fe <sup>3+</sup>	0,065
Ni <sup>2+</sup>	0,069
Co <sup>2+</sup>	0,075
O <sup>2+</sup>	0,140
Zn	0,072



Dengan mendoping ion Ni pada Fe berpotensi menurunkan magnetisasi saturasi yang berakibat pada menurunnya medan koersivitas magnetokristalnya (Rizki, 2015). Selain itu dari hasil penelitian A.Gonzalez Angelez,dkk (2005) menyimpulkan bahwa penambahan unsur Zn dapat menyebabkan sifat barium heksaferrit menjadi soft magnetik dimana setelah ditambahkan unsur pepadu menghasilkan nilai saturasi magnetik yang tinggi dan memiliki nilai koersivitas yang rendah yang sesuai dengan aplikasi dalam RAM.

## **2.2 Sol Gel Auto Combustion**

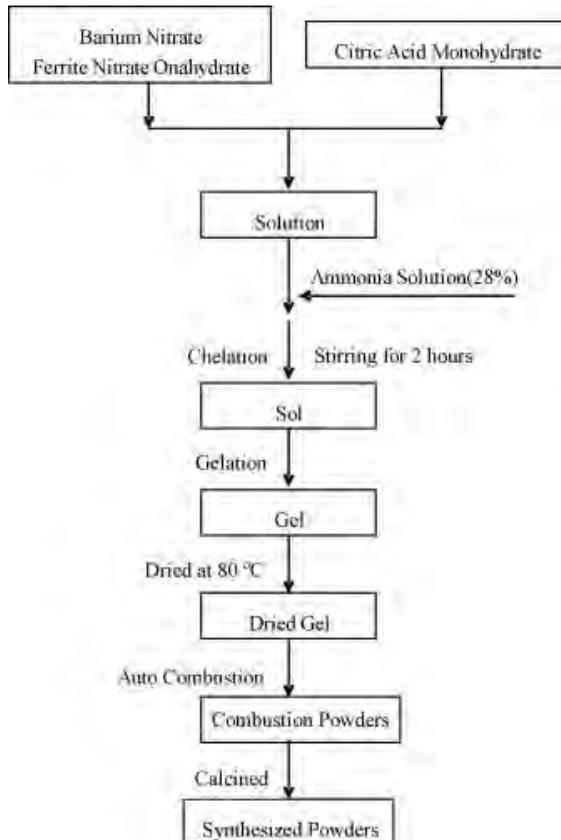
*Sol gel auto combustion* merupakan salah satu metode untuk sintesis Barium heksaferrit yang saat ini cukup diminati. Metode ini banyak dipilih karena keunggulannya dalam waktu proses yang lebih singkat dan reagen yang lebih mudah didapat (Febri, 2015).

Sol adalah suspensi koloid dari partikel solid dalam liquid dan gel adalah suspensi koloid dari partikel liquid dalam solid (Eka yulian, 2012). Pada teknik ini memanfaatkan gel dan pembakaran untuk menghasilkan serbuk.

Garam logam dilarutkan pada dionized water. Asam sitrit dilarutkan dengan pelarut yang sama lalu ditambahkan pada larutan garam logam. Amoniak ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) ditambahkan untuk mendapatkan pH yang sesuai dengan yang diinginkan. Larutan yang terbentuk kemudian dipanaskan untuk menguapkan pelarut. Setelah dipanaskan larutan tersebut berubah menjadi sol. Pada metode ini sol secara berangsur-angsur berkembang ke arah sistem dwi fasa yang melingkupi bukan hanya fasa liquid namun juga fasa solid. Pada kasus koloid, volume fraksi atau partikel densitas akan menurun jumlahnya secara signifikan dan cairan akan berangsur-angsur berubah menjadi gel. Untuk menghilangkan fase liquid, diperlukan proses pemanasan. (Pooja, Chauhan, 2010). Gel dipanaskan lebih lanjut diikuti dengan mengembangnya gel menjadi gelembung dengan volume yang jauh lebih besar dan autocombustion yang akan menghasilkan pelepasan gas dalam jumlah banyak. Alur metode *sol gel auto combustion* secara umum



telah dijelaskan oleh Liu Junliang, dkk (2009) seperti yang dijelaskan di Gambar 2.5



**Gambar 2.5** Flow Chart Sol Gel Auto Combustion  
(Liu Junliang, 2009)

Pada proses sol-gel ada banyak parameter yang bekerja, tetapi beberapa aspek seperti pH, CA/M, dan EG/CA memiliki pengaruh yang lebih besar terhadap hasilnya. Untuk mendapatkan gel yang homogen, kekomplekan dari unsur penyusunnya harus



sestabil mungkin dalam sol, yang merupakan titik kunci sukses dalam proses sol-gel.

Lee dan Fang membuktikan bahwa dalam rentang pH 7-9, adalah bagian utama dari ion  $Ba^{2+}$  dan  $Fe^{3+}$  dapat membentuk kompleks sitrat stabil. Ada banyak agen *chelating* yang dapat digunakan untuk membentuk kompleks, namun asam sitrat yang memiliki rantai molekul pendek dan daya *chelating* yang tinggi sering digunakan dalam proses sol-gel. Oleh karena itu, parameter yang berkaitan dengan asam sitrat dalam proses sol-gel dipelajari lagi.

Dalam sintesis barium heksaferrit yang didoping dengan Ni-Zn menggunakan metode *sol gel auto combustion* terdapat beberapa parameter proses yang sangat berpengaruh terhadap respon sifat magnetik barium heksaferrit khususnya nilai magnetik saturasi ( $M_s$ ) dan koersivitas ( $H_c$ ). Beberapa parameter yang berpengaruh tersebut adalah fraksi mol dopan Ni/Zn, pH, dan temperatur sintering dari proses *sol gel auto combustion*.

### 2.3 Design of Experiment (DoE)

*Design of Experiment* (DoE) (Fisher 1935) adalah proses formal perancangan suatu percobaan dan proses analisa data yang dikumpulkan secara empiris dalam rangka untuk menemukan informasi yang valid dan obyektif tentang sistem yang mendasari (Montgomery, 2008). DoE dapat diartikan sebagai pemilihan kombinasi faktor-level yang akan diuji atau dievaluasi (Gatti, 2015). DoE merupakan suatu rangkaian pengujian dengan cara mengubah-ubah input pada parameter proses dengan tujuan untuk mengetahui penyebab perubahan pada parameter respon, sehingga dapat ditentukan pengaturan parameter proses yang tepat untuk menghasilkan parameter respon yang optimum (Amirul, 2015). Langkah-langkah untuk melakukan DoE adalah (Iriawan dan Astuti, 2006):

1. Mengenal masalah
2. Memilih parameter respon
3. Menentukan parameter-parameter proses dan level-level



4. Memilih metode DoE
5. Melaksanakan percobaan
6. Menganalisa data
7. Membuat suatu keputusan

Terdapat beberapa metode yang dapat digunakan untuk mendesain perancangan awal suatu eksperimen serta melakukan analisa terhadap hasil yang didapat. Perbandingan kelebihan dan kekurangan dari masing-masing metode dijelaskan pada Tabel 2.3

**Tabel 2.3** Perbandingan Macam-macam Metode DoE

No	Metode DoE	Kelebihan	Kekurangan
1.	<i>Full Factorial Design</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Jumlah eksperimen bersifat sangat mendetail</li> <li>- memberikan hasil yang optimal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Biaya terlalu mahal</li> <li>- Menghabiskan banyak waktu</li> <li>- Jumlah eksperimen yang harus dilakukan banyak</li> </ul>
2.	<i>Fractional Factorial Design</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Jumlah eksperimen lebih sedikit dibanding <i>full factorial</i></li> <li>- Lebih sederhana</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kemungkinan terjadinya variasi pada hasil akhir eksperimen.</li> </ul>
3.	<i>Mixture Design</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dapat memodelkan campuran permukaan dengan beberapa bentuk persamaan matematika</li> <li>- Prediksi respon untuk setiap kombinasi komponen dapat dibuat secara empiris.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Keluaran bersifat pilihan hasil (kombinasi parameter yang bervariasi)</li> <li>- Seringkali hasil dari kombinasi tersebut hanya terdiri dari 1 bagian yang dominan</li> </ul>
4.	<i>Taguchi</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lebih hemat dari segi waktu dan biaya</li> <li>- Strategi eksperimen yang lebih efisien.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Solusi yang dihasilkan hanya sebatas mendekati-optimal</li> <li>- Tidak dihasilkan persamaan pada penelitian</li> <li>- Kesulitan untuk merumuskan masalah dalam bentuk program</li> </ul>



---

		matematis yang sesuai dengan pendekatan yang diusulkan
5.	<i>Response Surface Methodology</i>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Menghasilkan persamaan matematis sehingga</li><li>- Bisa didapatkan nilai optimal dari parameter-parameter yang digunakan pada penelitian</li></ul> <ul style="list-style-type: none"><li>- Membutuhkan penelitian yang cukup besar dan mahal</li><li>- Memakan cukup banyak waktu</li></ul> <p>*tidak sebanyak metode <i>full factorial design</i></p>

---

## 2.4 Response Surface Methodology (RSM)

*Response surface methodology* (RSM) adalah sekumpulan metode statistik dan matematika yang berguna untuk mengembangkan, meningkatkan, dan mengoptimasikan proses (Montgomery, 2002). RSM dirancang agar memungkinkan kita untuk memperkirakan interaksi dan bahkan *quadratic effect*, dan memberikan kita gambaran tentang bentuk (lokal) dari *response surface* yang sedang dianalisa.

Desain RSM digunakan untuk:

- Menemukan pengaturan proses optimal
- Memecahkan masalah proses dan titik lemah
- Membuat produk atau proses yang lebih tahan terhadap pengaruh eksternal dan tak terkendali.

RSM digunakan untuk menghasilkan 2 luaran, yaitu

1. Mencari suatu fungsi pendekatan yang sesuai untuk meramalkan respon
2. Menentukan nilai-nilai dari parameter proses yang mengoptimumkan respon yang dipelajari.

Dalam RSM hubungan antara parameter proses dan parameter respon dinyatakan dalam suatu fungsi. Apabila respon dinyatakan dengan  $y$  yang nilainya dipengaruhi  $k$  buah parameter proses, yaitu  $x_1, x_2, \dots, x_k$ , maka hubungan dari parameter respon



dan parameter proses memiliki hubungan sebagai berikut (Park, 1996):

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_k) + \varepsilon \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan

y = parameter respon

$x_i$  = parameter proses

$\varepsilon$  = error

Sebelum melakukan proses analisa, tahap pertama dalam RSM adalah menentukan rancangan percobaan yang akan dipakai. Rancangan percobaan yang bisa digunakan adalah *central composite design* (CCD) dan *Box-behnken design* (BBD) yang memerlukan jumlah unit percobaan lebih banyak daripada rancangan  $2^k$  faktorial (Guilong, dkk, 2011).

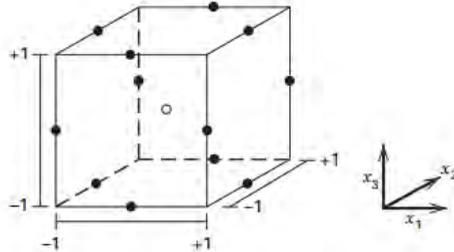
- *Central Composite Design*, yang direkomendasikan untuk desain eksperimen yang sekuensial (*sequencial experiment*) atau perencanaan desain yang dilakukan secara berulang-ulang. Untuk desain dengan jumlah faktor yang sama, jumlah eksperimen yang dilaksanakan lebih banyak dibanding dengan *Box-Behnken Design*.
- *Box-behnken design*, Salah satu perbedaan *box-behnken design* dengan *central composite design* adalah pada *box-behnken design* tidak ada *axial/star runs* pada rancangannya. Tidak adanya *axial/star runs* ini menyebabkan *box-behnken* lebih efisien dalam rancangan, karena melibatkan lebih sedikit unit percobaan. Pada dasarnya *box-behnken* dibentuk berdasarkan kombinasi rancangan  $2^k$  dengan *incomplete block design* dengan menambahkan *center run* pada rancangannya (Guilong, dkk, 2011).

#### 2.4.1 Box-Behken Design

*Box-Behken design* merupakan salah satu rancangan percobaan RSM yang sering digunakan karena memiliki beberapa kelebihan, yaitu memiliki jumlah eksperimen yang lebih sedikit



dan lebih murah dibandingkan menggunakan desain rancangan lain dengan jumlah parameter proses yang sama. Gambar berikut merupakan visual untuk rancangan box-behken dengan 3 faktor.



**Gambar 2.6** Desain visual box-behken untuk 3 faktor

Rancangan box-behken hanya dapat diterapkan pada percobaan yang memiliki minimal 3 faktor, dengan elemen penyusunnya sebagai berikut:

- Rancangan  $2^k$  faktorial *incomplete block design*, dimana k adalah banyaknya faktor, yaitu percobaan pada titik  $(0, \pm 1, \dots, \pm 1)$ ,  $(\pm 1, 0, \dots, \pm 1)$ ,  $(\pm 1, \pm 1, \dots, 0)$ .
- Center runs ( $n_c$ ), yaitu percobaan pada titik pusat  $(0, 0, \dots, 0)$ , dimana jumlah center runs default minimal 3 untuk berbagai jumlah faktor k. (Endang, 2013)

Dalam RSM digunakan pengodingan untuk merepresentasikan level parameter proses. Proses transformasi nya adalah sebagai berikut:

$$X_i = \frac{X_{real} - (X_{max} + X_{min})/2}{(X_{max} - X_{min})/2} \dots\dots\dots (2.2)$$

- $X_i$  = nilai koding dari parameter proses ke-i
- $X_{real}$  = nilai level yang ditransformasi dari parameter proses ke -i
- $X_{max}$  = nilai maksimum level parameter proses ke -i
- $X_{min}$  = nilai minimum level parameter proses ke -i



### 2.4.2 Fungsi Matematika *Response Surface Methodology*

Dalam kebanyakan masalah RSM, bentuk hubungan antara parameter proses dan parameter respon tidak diketahui. Karena itu, langkah pertama dalam RSM adalah untuk menemukan pendekatan yang sesuai untuk hubungan fungsional yang benar antara respon  $y$  dan parameter proses. Jika respon dapat dimodelkan dengan fungsi linear dari parameter proses, maka fungsi yang dipakai adalah model orde pertama:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \epsilon \dots \dots \dots (2.3)$$

Jika ada kelengkungan dalam sistem, maka polinomial derajat yang lebih tinggi harus digunakan, seperti model orde kedua:

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j + \epsilon \dots (2.4)$$

(Montgomery, 2012)

### 2.4.3 *Analysis of Variance (ANOVA)*

Anova digunakan untuk mengestimasi kontribusi pengaruh dari setiap parameter proses terhadap respon, sehingga akurasi model dapat ditentukan (Amirul, 2015). Tabel Anova ditunjukkan pada Tabel 2.4 berikut:

**Tabel 2.4** *Analysis of Variance* (Kumar, 2014)

Sumber Variasi	Jumlah Kuadrat (SS)	Derajat Kebebasan	Rata-rata Kuadrat
Regresi	$SS_R = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} (\hat{y}_i - \bar{y})^2$	$p - 1$	$MS_R = \frac{SS_R}{p - 1}$
Residual	$SS_{residual} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} (y_{ij} - \bar{y}_i)^2$	$n - p$	$MS_{residual} = \frac{SS_{residual}}{n - p}$
<i>Lack of Fit</i>	$SS_{LOF} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} (\bar{y}_i - \hat{y}_i)^2$	$m - p$	$MS_{LOF} = \frac{SS_{LOF}}{m - p}$
<i>Pure error</i>	$SS_{PE} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} (y_{ij} - \bar{y}_i)^2$	$n - m$	$MS_{PE} = \frac{SS_{PE}}{n - m}$
Total	$SS_T = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} (y_{ij} - \bar{y}_i)^2$	$n - 1$	



Dimana:

$n$  = jumlah percobaan

$m$  = jumlah total level pada rancangan percobaan

$p$  = jumlah koefisien regresi pada rancangan percobaan

$\bar{y}$  = rata-rata keseluruhan respon

$\hat{y}_i$  = nilai taksiran respon pada level parameter proses ke  $i$

$y_{ij}$  = nilai respon pada level parameter proses ke- $i$  dan percobaan ke- $j$

$\bar{y}_i$  = rata-rata respon dari  $n_i$  pengamatan  $x_i$

Total variasi dari data dinyatakan dengan *total sum square* ( $SS_T$ ).  $SS_T$  terdiri  $SS_R$ , yaitu total variasi dari regresi yang dihasilkan, dan  $SS_E$  yaitu total variasi yang tidak terhitung (error).  $SS_E$  terbagi ke dalam  $SS_{PE}$  (pure error), yaitu total variasi yang didapat dari replikasi dan  $SS_L$  (Lack of fit) yang menyatakan variasi ketidakcukupan model. Harga  $SS_{PE}$  merupakan total variansi dari data yang direplikasi.

#### 2.4.4 Pengujian Model Persamaan Matematika

Model persamaan matematika yang dibentuk dari data sekunder perlu dilakukan pengujian untuk mengetahui kesesuaian dari model tersebut. Beberapa pengujian yang digunakan antara lain:

##### a. Pengujian Kesesuaian Model

Pengujian kesesuaian model meliputi pengujian *lack of fit* pada pendugaan model dan pengujian koefisien determinasi ( $R^2$ ) (Montgomery, 2012)

##### ➤ Pengujian lack of fit

Tujuan pengujian lack of fit adalah untuk mengetahui kesesuaian model yang dihasilkan.

Hipotesis dari pengujian *lack of fit* adalah:

$H_0$  : tidak ada lack of fit dalam model

$H_1$  : ada lack of fit dalam model



Statistik pengujian adalah:

$$F_{ratio} = \frac{MS_{LOF}}{MS_{PE}} \dots \dots \dots (2.5)$$

$H_0$  akan ditolak apabila  $F_{rasio} > F_{tabel(\alpha; m-p, n-m)}$  atau  $p_{value} < \alpha$  ( $\alpha$  sebesar 5%) yang berarti ada ketidaksesuaian (*lack of fit*) antara model yang ditaksir dengan model sebenarnya.

➤ Pengujian koefisien determinasi ( $R^2$ )

Koefisien determinasi adalah ukuran dari jumlah pengurangan pada variabilitas  $y$  yang diperoleh dengan menggunakan parameter regressor  $x_1, x_2, \dots, x_k$  dalam model.

$$R^2 = \frac{SS_R}{SS_T} = 1 - \frac{SS_E}{SS_T} \dots \dots \dots (2.6)$$

$$SS_E = SS_T - SS_R \dots \dots \dots (2.7)$$

(Montgomery, 2012)

Koefisien determinasi dapat digunakan untuk mengetahui apakah ada hubungan antara dua parameter (parameter proses  $x$  dan parameter respon  $y$ ).  $R^2$  memiliki nilai antara  $0 < R^2 < 1$ .

Semakin besar nilai  $R^2$  maka semakin besar pula pengaruh semua parameter proses  $x$  terhadap parameter respon  $y$ .

Misalnya,  $R^2$  dari hasil perhitungan adalah 0,87 atau 87% memiliki arti bahwa total variasi nilai  $Y$  yang dapat dijelaskan oleh model persamaan regresi adalah 87% dan sisanya yaitu 13% adalah variasi nilai parameter respon  $Y$  yang dipengaruhi oleh parameter lain yang berada di luar model (Amirul, 2015)

**b. Pengujian Koefisien Regresi**

Pada model orde I maupun II, parameter  $\beta_i$  disebut sebagai koefisien regresi. Parameter  $\beta_i$  merepresentasikan perubahan respon  $y$  per unit perubahan  $x_i$  ketika parameter proses  $x$  yang lain tetap (Montgomery, 2012)



Pengujian koefisien regresi dapat dilakukan secara serentak dan individu (Montgomery, 2008)

➤ Pengujian koefisien regresi secara individu

Pengujian koefisien regresi secara individu digunakan untuk mengetahui seberapa besar sumbangan tiap-tiap parameter proses terhadap terjadinya perubahan pada parameter  $y$  dalam model. (Amirul, 2015)

Hipotesis untuk menguji koefisien regresi adalah:

$$H_0: \beta_i = 0$$

$$H_1: \beta_i \neq 0$$

Jika  $H_0: \beta_i = 0$  tidak ditolak, maka hal tersebut mengindikasikan bahwa  $x_i$  dapat dihapus dari model.

Uji statistik untuk hipotesis adalah

$$t = \frac{\hat{\beta}_i}{s(\hat{\beta}_i)} \dots \dots \dots (2.8)$$

$$s(\hat{\beta}_i) = \sqrt{\frac{\hat{\sigma}^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}} \dots \dots \dots (2.9)$$

Hipotesis  $H_0: \beta_i = 0$  ditolak jika  $|t| > t_{\alpha/2; n-k-1}$  atau  $p_{value} < \alpha$ . (Montgomery, 2012)

Hal ini berarti bahwa masing-masing individu parameter tersebut memiliki pengaruh signifikan terhadap model.

➤ Pengujian koefisien regresi secara serentak

Hipotesis yang digunakan dalam pengujian parameter regresi serentak adalah

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k = 0$$

$$H_1: \text{minimal ada satu}; j = 1, 2, \dots, k$$

Statistik uji yang digunakan:

$$F_{hitung} = MS_R / MS_E = \frac{SS_R / k}{SS_E / (n-1-k)} \dots \dots \dots (2.10)$$

$H_0$  ditolak apabila  $F_{hitung} > F_{tabel}(\alpha; k; n-k-1)$  atau  $p_{value} < \alpha$  yang berarti secara statistik hubungan



parameter-parameter  $x$  memberikan pengaruh signifikan terhadap model. (Amirul, 2015)

**c. Pengujian Asumsi Residual**

Residual dari *fitted model* adalah perbedaan antara respon yang diamati pada setiap nilai kombinasi parameter penjelas dan prediksi yang sesuai respon yang dihitung dengan menggunakan fungsi regresi. (NIST/SEMATECH, 2013)

Residual untuk observasi  $j$  dengan perlakuan  $i$  dapat didefinisikan secara matematis sebagai berikut:

$$e_{ij} = y_{ij} - \hat{y}_{ij} \dots\dots\dots (2.11)$$

$$\begin{aligned} \hat{y}_{ij} &= \hat{\mu} - \hat{\tau}_i \dots\dots\dots (2.12) \\ &= \bar{y}_{..} + (\bar{y}_i - \bar{y}_{..}) \\ &= \bar{y}_i. \end{aligned}$$

Beberapa asumsi terkait residual dalam analisa regresi:

- Bersifat bebas satu sama lain (independen)
- Mempunyai mean nol dan varian yang konstan  $\sigma^2$  (identic)
- Berdistribusi normal atau  $\varepsilon \sim IIDN(0, \sigma^2)$

Dalam setiap taksiran model harus dilakukan pemeriksaan asumsi tersebut apakah terpenuhi atau tidak (Iriawan dan Astuti, 2006).

➤ Pengujian independen

Uji ini digunakan untuk mejamin bahwa pengamatan telah dilakukan secara acak, yang berarti antar pengamatan tidak ada korelasi (independen). Pemeriksaan dilakukan dengan menggunakan plot *auto correlation function* (ACF).

Residual bersifat independen jika nilai korelasi berada dalam interval  $\pm \frac{2}{\sqrt{n}}$



➤ Pengujian identic

Pengujian ini bertujuan untuk memenuhi apakah residual mempunyai penyebaran yang sama. Dilakukan dengan memeriksa plot  $\varepsilon_i$  terhadap  $\hat{y}_i$ . Apabila penyebaran datanya acak (menyebar disekitar garis nol) dan tidak menunjukkan pola-pola tertentu, maka asumsi identik terpenuhi

➤ Pengujian distribusi normal

Menyatakan probabilitas dari residual suatu respon. Dengan *Kolmogorov-Smirnov normality test* juga dapat digunakan dalam pengujian kenormalan residual. Hipotesis yang digunakan adalah:

$H_0$ : residual berdistribusi normal

$H_1$ : residual tidak berdistribusi normal

$H_0$  ditolak apabila  $p_{value} < \alpha$ .

## 2.5 Non-Linear Programming

Suatu fungsi dikatakan nonlinear jika terdapat perkalian antara parameter bebas dengan dirinya sendiri atau dengan parameter bebas yang lain. Fungsi nonlinear dapat berupa fungsi kuadrat, fungsi eksponen, fungsi logaritma, fungsi pecahan dan lain-lain. Oleh karena itu dibutuhkan Pemrograman nonlinear untuk menjawab permasalahan tersebut (Lina 2015). Model non-linear programming adalah model optimasi yang paling baik dari pada model optimasi linier (Amiril, 2015)

Berikut merupakan penjabaran pengertian dan persamaan umum dari *non-linear programming* menurut Winston (2004):

Diberikan  $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  merupakan fungsi objektif/tujuan dari pemrograman nonlinear, dan

$$g_1(x_1, x_2, \dots, x_n) (\leq, =, \geq) b_1, g_2(x_1, x_2, \dots, x_n) (\leq, =, \geq) b_2, \dots, g_m(x_1, x_2, \dots, x_n) (\leq, =, \geq) b_m$$

merupakan kendala pemrograman non linear dengan  $b_m$  menunjukkan nilai syarat kendala tersebut. Masalah pemrograman nonlinear didefinisikan sebagai berikut:



Memaksimumkan/meminimumkan

$$Z = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \dots\dots\dots (2.13)$$

Dengan kendala

$$g_1(x_1, x_2, \dots, x_n) (\leq, =, \geq) b_1 \dots\dots\dots (2.14)$$

$$g_2(x_1, x_2, \dots, x_n) (\leq, =, \geq) b_2 \dots\dots\dots (2.15)$$

⋮  
⋮  
⋮

$$g_m(x_1, x_2, \dots, x_n) (\leq, =, \geq) b_m \dots\dots\dots (2.16)$$

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, \dots, x_n \geq 0 \dots\dots\dots (2.17)$$

Program non linear yang didapatkan akan dioptimasi dengan menggunakan software MATLAB® 7.10. Optimasi merupakan metode untuk menemukan setting level dari faktor yang dapat memberikan repon paling optimum sesuai yang diinginkan. (Montgomery, 2012)

## 2.6 Fungsi *fmincon*

Fungsi *fmincon* digunakan untuk menyelesaikan proses optimasi program non-linear. *fmincon* merupakan salah satu *Optimization Toolbox* untuk menyelesaikan masalah optimasi. *fmincon* membantu menemukan batasan minimum dari fungsi skalar dengan beberapa variabel yang dimulai dari *initial estimate*. Hal ini umumnya disebut *constrained nonlinear optimization* atau *nonlinear programming*. *fmincon* menyelesaikan problem optimasi dengan bentuk dasar sebagai berikut:

$$\min F(X)$$

subject to:

$$A * X \leq B, Aeq * X = Beq \text{ (linear constraints)}$$

$$C(X) \leq 0, Ceq(X) = 0 \text{ (nonlinear constraints)}$$

$$LB \leq X \leq UB$$

Dimana

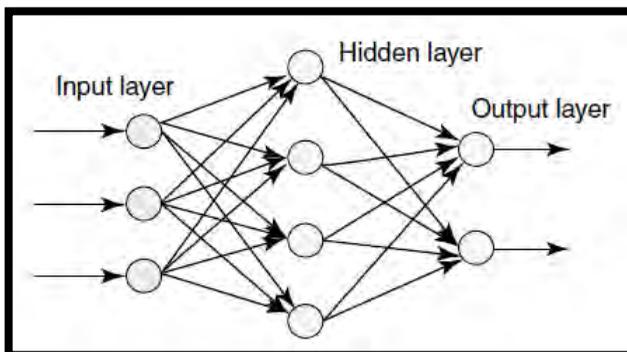
- $F(X)$  adalah fungsi tujuan
- $A$  adalah koefisien untuk pembatas linear dalam bentuk pertidaksamaan



- $Aeq$  adalah koefisien untuk pembatas linear dalam bentuk persamaan
- $B$  dan  $Beq$  masing-masing sisi kanan dari pembatas linear pertidaksamaan dan persamaan
- $LB$ : lower bound atau batas bawah untuk  $X$
- $UB$ : upper bound atau batas atas untuk  $X$

## 2.7 Artificial Neural Network (ANN)

Pada penelitian ini digunakan metode modeling *Artificial Neural Network* (ANN) karena data nilai  $H_c$  dan  $M_s$  yang didapatkan dari pengumpulan data sekunder tidak mencukupi kebutuhan dari rancangan desain eksperimen. Neural network adalah system yang mengadaptasi cara kerja otak manusia (*brain theory*). Dalam neural computing (teknologi yang memiliki konsep kerja seperti neuron pada otak manusia), neuron buatan (*Artificial Neural Network*) didesain serupa dengan *brain theory* dan diterapkan pada software. Sehingga dapat dikatakan ANN (*Artificial Neural Network*) adalah system yang diciptakan sedemikian hingga dapat meniru otak manusia, dengan kemampuannya untuk belajar dan mengerjakan berbagai macam tugas dan membuat prediksi yang kompleks. Secara sederhana, jaringan neuron pada ANN adalah seperti gambar 2.7.



**Gambar 2.7** Skema Neural Network pada system Artificial Intelligence (Fausett, 1994)



*Neural networks* terdiri dari banyak neuron di dalamnya. Neuron-neuron ini akan dikelompokkan ke dalam beberapa layer. Neuron yang terdapat pada tiap layer dihubungkan dengan neuron pada layer lainnya. Hal ini tentunya tidak berlaku pada layer input dan output, tapi hanya layer yang berada di antaranya. Informasi yang diterima di layer input dilanjutkan ke layer-layer dalam ANN secara satu persatu hingga mencapai layer terakhir/layer output. Layer yang terletak di antara input dan output disebut sebagai *hidden layer*.

Secara keseluruhan, pemodelan menggunakan Neural Network adalah sebagai berikut:

1. Penentuan pembobot awal

Pembobot awal yang akan digunakan adalah pembobot awal pada koneksi antara layer input dan layer hidden (layer ke-1) serta antara hidden layer (layer ke-2) dan layer output.

2. Training *neural network*

Model *neural network* akan ditraining pada suatu nilai *epoch* dan dilakukan penilaian terhadap learning rate untuk mendapatkan nilai ketepatan prediksi yang tinggi.

3. Pengujian Model Neural Networks

Testing atau pengujian dilakukan dengan menggunakan data testing yang merupakan pasangan dari data training yang digunakan untuk mencari pembobot model neural network. Langkah selanjutnya adalah dilakukan pengukuran terhadap ketepatan model dan nilai MSE (*mean square error*) model.

## 2.8 Penelitian Sebelumnya

Salah satu metode yang dapat digunakan dalam sintesis barium heksaferrit untuk aplikasi *Radar Absorbing Materials* adalah metode *sol gel auto combustion*. Dalam metode ini terdapat beberapa parameter proses yang dapat divariasikan untuk mendapat respon yang paling optimum. Respon optimum yang diinginkan adalah memaksimalkan nilai Magnetik Saturasi (Ms) dan meminimumkan nilai Koersivitas (Hc).



Penelitian sintesis Barium Heksaferit untuk aplikasi RAM merupakan salah satu *road map* penelitian yang dilakukan di Laboratorium Fisika Material Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS. Perkembangan penelitian sintesis barium Heksaferit tersebut dijelaskan oleh Tabel 2.5

**Tabel 2.5** Penelitian Pendahuluan Barium Heksaferite

Nama	Material	Metode, Variabel	Hasil
Leo Baskara Sjahrir (2010)	BaFe <sub>12</sub> O <sub>19</sub>	Kopresipitasi Ph (7.5, 10, 11) dan Waktu Stirring (1, 2, 3 jam)	
Arman Kusuma Wijaya (2010)	BaFe <sub>12</sub> O <sub>19</sub>	Kopresipitasi Mol rasio Fe/Ba (8, 10, 12) dan Temperatur sintering (750°C, 850°C, 950°C)	Hc 4365 Oe (8, 750°C) Ms 41,61 emu/g (8, 750°C)
Felly Yulian Fattakhul Firdaus (2010)	BaFe <sub>12</sub> O <sub>19</sub>	Sol gel auto combustion MoL rasio Fe <sup>3+</sup> /Ba <sup>2+</sup> (11, 11.5, 12) dan Temperatur sintering (750°C, 850°C, 950°C)	Hc 3542 Oe (12, 950°C) Ms 66.16 emug (11.5, 950°C)
Adelia Rinata (2011)	Komposit BaFe <sub>12</sub> O <sub>19</sub> dan PET	Kopresipitasi (Sintesis BaFe <sub>12</sub> O <sub>19</sub> ), Mixing Komposisi BaFe <sub>12</sub> O <sub>19</sub> (10%, 20%,30%) dan Ketebalan Lapisan (2 mm, 4 mm, 6 mm)	<i>Reflection loss</i> maksimum - 13.507 dB (30%, 6 mm)
Bayu Nuraga Wibawa (2011)	Komposit BaFe <sub>12</sub> O <sub>19</sub> dan PET	Kopresipitasi (Sintesis BaFe <sub>12</sub> O <sub>19</sub> ), Mixing Berat grafit dalam BaFe <sub>12</sub> O <sub>19</sub> (10%, 20%, 30%) dan Ketebalan Lapisan (2 mm, 4 mm, 6 mm)	<i>Reflection loss</i> maksimum - 27.227 dB (20%, 6 mm)
Putu Indra Wirya Dharma (2012)	BaFe <sub>12</sub> O <sub>19</sub> paduan Ni dan Zn	Mechanical Alloying Unsur Paduan (Zn 30%, Ni 30%) dan Waktu milling (16, 28, 36 jam)	Hc 0.014 T (Zn, 36 jam) Ms 36,97 emu/gr (Ni, 36 jam)
Endah P Kharismawati (2012)	BaFe <sub>12</sub> O <sub>19</sub>	Sol Gel Auto Combustion pH (7.5, 9, 11) dan Waktu Stirring (1, 2, 3 jam)	Hc 0.06 T (7.5, 1 jam) Ms 54.86 emu/gr (11, 1 jam)



Putu Ary Kresna Mudra (2014)	BaFe <sub>12</sub> O <sub>19</sub> doping Co- Zn	Sol Gel Auto Combustion Fraksi mol (0.2, 0.4, 0.6) dan Temperatur sintering (750°C, 850 °C, 950°C)	Hc 0,1788 T (0.6, 750°C) Ms 88,49 emu/g (0.2, 950°C)
Rizki Agustianto (2014)	BaFe <sub>12</sub> O <sub>19</sub> doping Co- Zn	Sol-Gel Auto Combustion Fraksi mol (0.2 , 0.4, 0.6) dan pH (7, 9, 11)	Hc 0,1104 T (0.4, 7) Ms 74,147 emu/gr (0.6, 11)
Rizky Dekatama Kristiputra (2014)	BaFe <sub>12</sub> O <sub>19</sub> doping Ni- Zn	Sol Gel Auto Combustion Fraksi mol dopan (0.2, 0.4, 0.6) dan Temperature sintering (750°C, 850°C, 950°C)	Hc 0.05 T (0.6, 750°C) Ms 95 emu/gr (0.2, 950°C)
Muhammad Dwi Febri Ridho (2015)	BaFe <sub>12</sub> O <sub>19</sub> doping Ni- Zn	Sol gel auto combustion Fraksi mol dopan (0.2, 0.4, 0.6) dan pH (7, 9, 11)	Hc 0.15 T (0.6, 11) Ms 99,27 emu/gr (0.2, 9)
A Marsha Alviani (2015)	BaFe <sub>12</sub> O <sub>19</sub> doping Ni- Zn	Sol gel auto combustion pH (7, 9, 11) dan temperatur sintering (850°C, 950°C, 1050°C)	Hc 0.03 T (9, 1050°C) Ms 95 emu/gr (11, 1050°C)
Rizki Agustianto (2015)	BaFe <sub>12</sub> O <sub>19</sub> doping Ni- Zn	Sol gel auto combustion Fraksi mol dopan (0, 0.2, 0.4 0.6, 0.8) dan Temperatur sintering (650°C, 750°C, 850°C, 950°C, 1050°C).	Hc 0.03 T (0.4, 650°C) Ms 95.48 emu/gr (0.2, 950°C)

Pada beberapa penelitian yang telah dilakukan tersebut, terdapat kesulitan untuk menentukan seberapa besar pengaruh parameter proses terhadap nilai respon, bagaimana interaksi antar parameter proses dalam mempengaruhi respon, dan hubungan yang terjadi antara masing-masing parameter proses terhadap respon. Selain itu, walaupun dari eksperimen telah didapatkan nilai respon maksimum-minimum, namun nilai tersebut belum tentu merupakan nilai optimasinya. Hal ini mungkin terjadi karena tidak adanya parameter kuantitatif yang dapat digunakan untuk merepresentasikan hubungan antara parameter proses dan respon. Penelitian ini merupakan bagian dari *road map* penelitian tersebut untuk melengkapi kekurangan dari penelitian-penelitian tersebut, dengan menggunakan desain eksperimen RSM maka akan didapatkan analisa statistik dari hasil suatu penelitian.



Beberapa penelitian sintesis material telah menggunakan RSM sebagai desain eksperimennya. Dengan menggunakan desain RSM untuk proses sintesis maka akan dilakukan analisa lebih lengkap terhadap hasil penelitian tersebut. Penelitian tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.6

**Tabel 2.6** Penelitian Pendahuluan dengan RSM

Nama	Penelitian	Parameter proses
S. Kehoe dan J. Stokes (2010)	Metode RSM Box Behnken pada sintesis Hydroxyapatite untuk aplikasi orthopedic	Temperatur (40°C, 50°C, 60°C) Kecepatan stirring (900, 1200, 1500 rpm) <i>Ripening time</i> (24, 36, 48 jam)
Elham Geravand, dkk (2015)	RSM Central Composite Design pada sintesis nanosized catalyts.	Temperatur presipitasi (45°C, 49.05°C, 55°C, 60.95°C, 65°C) pH (5.5, 5.8, 6.25, 6.7, 7.0) Persen Cu ((28%, 30.43%, 34%, 37.57%, 40%)
Andrea L., dkk (2016)	RSM pada sintesis carboxymethyl chitosan	Rasio molar NaOH/Ch (9.2, 10.8, 12.4) Waktu (6.4, 8.5, 10.6) Rasio molar MCA/Ch (5.0, 5.75, 6.5)

Dari beberapa penelitian tersebut dapat dibuktikan bahwa metode RSM dapat digunakan sebagai pelengkap dalam melakukan suatu analisa hasil penelitian sintesis material.

Karena itulah pada penelitian ini akan dilakukan analisa terhadap data sekunder dengan menggunakan response surface methodology (RSM) untuk mendapatkan informasi kuantitatif dan analisa statistic bagaimana interaksi dan hubungan antar parameter pada sintesis barium heksaferrit. Selain itu, proses analisa juga akan dikombinasikan dengan menggunakan metode optimasi non-linear programming untuk mendapatkan nilai parameter proses yang memberikan respon paling optimum.



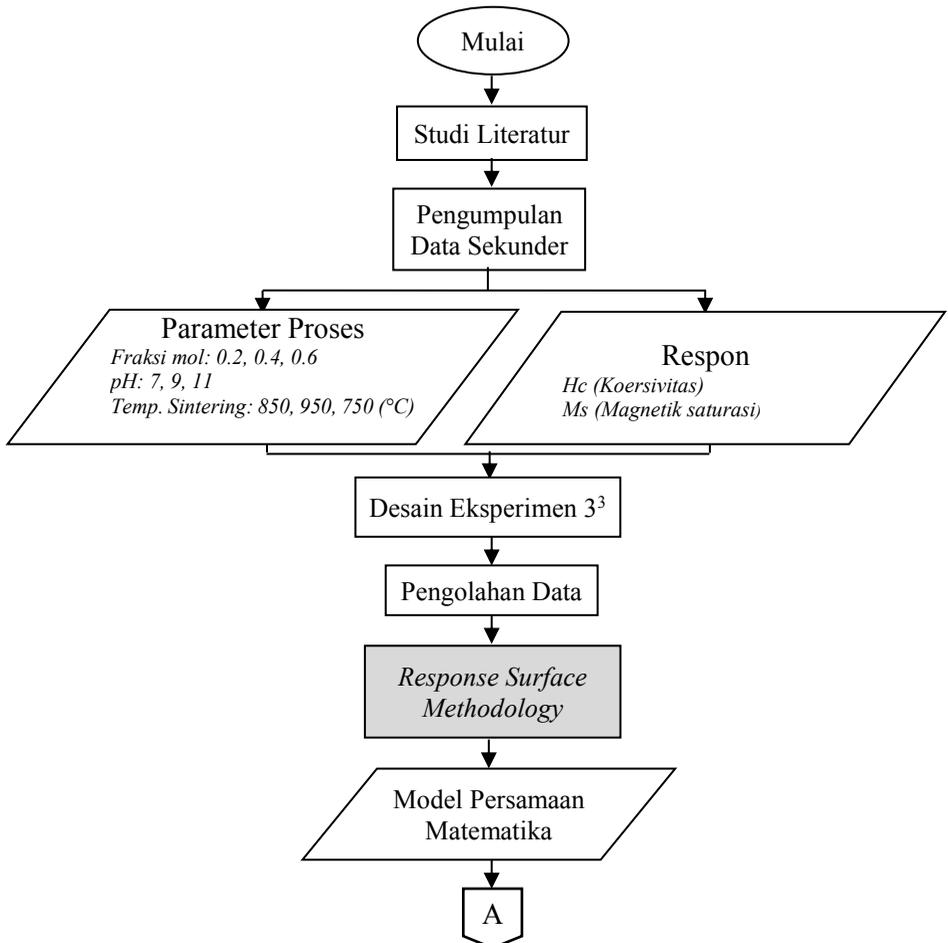
*Halaman ini sengaja dikosongkan*

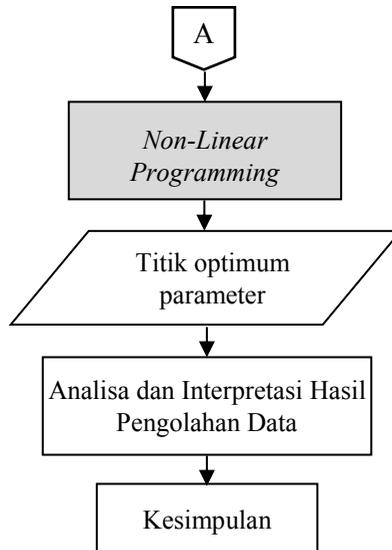


## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir rancangan penelitian yang akan dilakukan dijelaskan pada Gambar 3.1



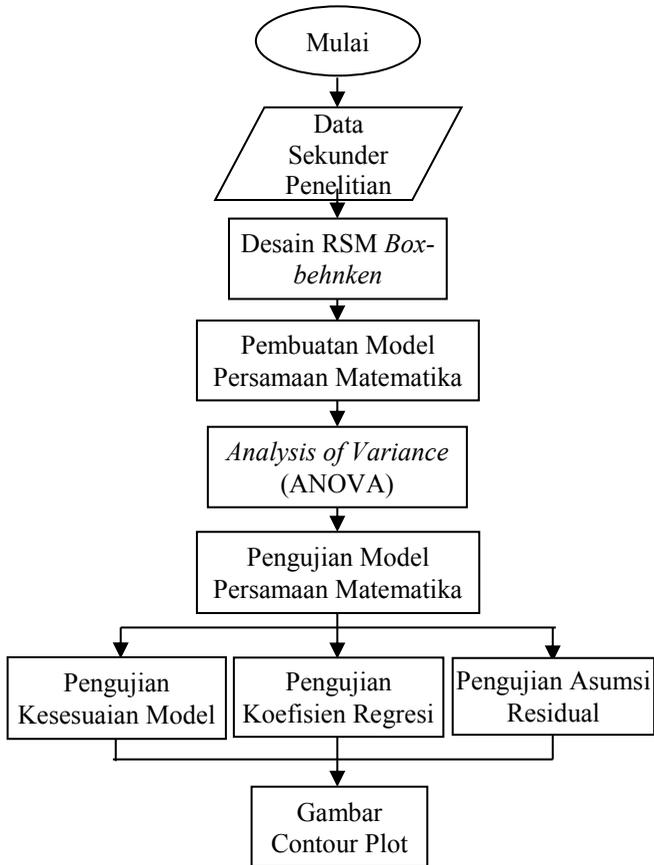


**Gambar 3.1** Diagram Alir Penelitian

Dalam rancangan penelitian ini akan dilakukan dua jenis metode pengolahan data, yaitu *Response Surface Methodology* dan *Non-Linear Programming*. *Response Surface Methodology* akan menghasilkan model persamaan matematika yang merepresentasikan interaksi dan pengaruh antara parameter proses terhadap respon. Sedangkan *Non-Linear Programming* akan mendapatkan nilai optimum dari parameter proses dan parameter respon.

### 3.1.1 Analisa Response Surface Methodology

Langkah-langkah untuk melakukan analisa statistik dengan Response Surface Methodology dijelaskan pada Gambar 3.2



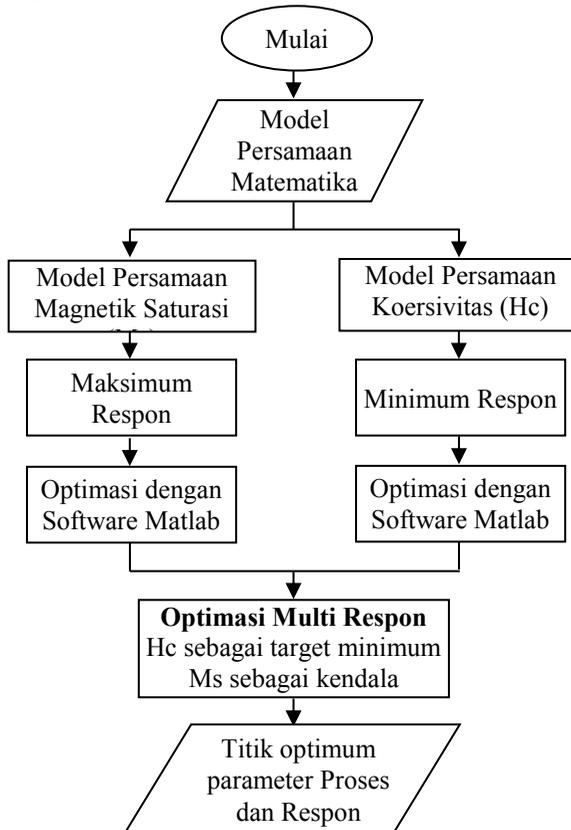
**Gambar 3.2** Diagram Alir Analisa Response Surface Methodology

Dari analisa RSM ini akan didapatkan dua model persamaan matematika untuk masing-masing respon  $M_s$  dan  $H_c$ . Kedua persamaan akan dicari titik optimum dengan menggunakan metode non-linear programming.



### 3.1.2 Optimasi Parameter Non-Linear Programming

Langkah-langkah melakukan optimasi respon dengan menggunakan metode non-linear programming dijelaskan pada Gambar 3.3



**Gambar 3.3** Diagram Alir Optimasi Parameter Non-Linear Programming

### 3.2 Parameter Penelitian

Nilai-nilai parameter yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang didapatkan dari penelitian sebelumnya. Parameter tersebut akan dianalisa dengan metode



*response surface methodology* dan *non-linear programming*. Parameter-parameter yang dianalisa tersebut adalah sebagai berikut:

### 1. Parameter Respon

Parameter respon merupakan parameter yang nilainya dipengaruhi oleh perlakuan yang diberikan sehingga bisa dikatakan nilai dari parameter respon bergantung pada parameter lain dan hasilnya didapatkan setelah melakukan eksperimen. Parameter respon dalam penelitian ini adalah:

a.  $Y_1$ : Nilai Magnetik Saturasi ( $M_s$ )

Nilai magnetik saturasi ( $M_s$ ) dari barium heksaferrit diharapkan mendapatkan yang sebesar mungkin

b.  $Y_2$ : Nilai Koersivitas ( $H_c$ )

Nilai koersivitas dari barium heksaferrit yang diharapkan dalam penelitian ini adalah yang sekecil mungkin

### 2. Parameter Proses

Parameter proses adalah parameter yang nilainya ditentukan dan divariasikan dengan tujuan untuk mendapatkan analisa pengaruh terhadap parameter respon. Beberapa parameter respon yang akan dianalisa dalam penelitian ini adalah:

a.  $X_1$ : Fraksi mol dopan

Dalam sintesis barium heksaferrit ini dilakukan proses pendopingan Ni-Zn dengan tujuan untuk mendapatkan pengaruh terhadap sifat magnetik barium heksaferrit. Kadar dari dopan akan berpengaruh terhadap respon  $M_s$  maupun  $H_c$ . Dalam penelitian ini digunakan 3 variasi fraksi mol, yaitu 0.2, 0.4, dan 0.6

b.  $X_2$ : pH

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diketahui bahwa semakin tinggi pH yang ditambahkan pada Barium Heksaferrite menyebabkan kenaikan nilai koersivitas dan peningkatan saturasi magnetik dari barium heksaferrit. Dalam penelitian ini digunakan 3 variasi pH, yaitu 7, 9, 11



c. X<sub>3</sub>: Temperatur sintering

Berdasarkan penelitian bahwa temperatur sintering yang semakin tinggi maka akan menyebabkan semakin naiknya nilai koersivitas dan saturasi magnet dari barium heksaferrit yang telah didoping Ni dan Zn. Pada penelitian ini digunakan 3 variasi temperatur sintering yaitu 850°C, 950°C, 1050°C

### 3. Parameter Konstan

Parameter konstan adalah parameter yang nilai dibuat sama dan tidak divariasikan. Dari penelitian ini parameter yang dibuat konstan adalah rasio asam sitrit : metal yaitu 3:1 dan waktu sintering yaitu 3 jam.

### 3.3 Pengumpulan Data Sekunder

Penelitian ini menggunakan data sekunder, yaitu data yang didapatkan dari penelitian sebelumnya yang pernah dilakukan Data yang digunakan merupakan hasil penelitian dari Febri (2015), Marsha (2015), dan Rizki (2015). Data tersebut merupakan data respon nilai Ms dan Hc terhadap 3 kombinasi parameter proses *So Gel Auto Combustion* yaitu fraksi mol dopan, pH, dan temperatur sintering.

Berikut merupakan kombinasi level parameter yang digunakan pada masing-masing penelitian pendahuluan.

- a. Marsha (2015)
  - Fraksi mol dopan : 0.6
  - pH : 7, 9, 11
  - Temperatur Sintering : 850, 950, 1050 (°C)
- b. Febri (2015)
  - Fraksi mol dopan : 0.2, 0.4, 0.6
  - pH : 7, 9, 11
  - Temperatur Sintering : 950 (°C)
- c. Rizky (2015)
  - Fraksi mol dopan : 0, 0.2, 0.4, 0.5, 0.6, 0.8
  - pH : 7



- Temperatur Sintering : 650, 750, 850, 950, 1050 (°C)

### 3.4 Software yang Digunakan

Pada penelitian ini untuk melakukan pengolahan data menggunakan dua *Software*, yaitu Minitab 16 dan MATLAB R2010a Spesifikasi dari masing-masing software tersebut sebagai berikut:

- a. Minitab 16
  - **Product licensed to:**  
ITS
  - **Products installed:**  
Minitab® 16.1.1
  - **Installed Components:**  
Language Pack - English: 16.1.1.0  
Licensing: 16.1.1.0  
Core: 16.1.1.0
- b. MATLAB R2010a
  - Version 7.10.0.499 (R2010a)
  - 32-bit (win32)
  - February 5, 2010
  - License Number : 161051

*Software* Minitab 16 digunakan untuk melakukan analisa *Response Surface Methodology* sedangkan MATLAB R2010a digunakan untuk melakukan optimasi parameter dengan metode *non-linear programming*.

### 3.5 Desain Eksperimen *Box Behken*

Pada penelitian ini metode optimasi parameter yang digunakan adalah penggabungan antara *response surface methodology* dan *non-linear programming*. Langkah pertama adalah membuat Desain Eksperimen yang sesuai dengan metode analisa yang digunakan dari data sekunder. Pada penelitian ini menggunakan *Box-Behnken design*.



Pada penelitian ini, level parameter yang digunakan dinormalisasi dalam bentuk kode -1 0 1. Proses transformasi nya dengan menggunakan persamaan normalisasi berikut:

$$X_i = \frac{X_{real} - (X_{max} + X_{min})/2}{(X_{max} - X_{min})/2}$$

$X_i$  = nilai coding dari parameter proses ke-i

$X_{real}$  = nilai level yang ditransformasi dari parameter proses ke -i

$X_{max}$  = nilai maksimum level parameter proses ke -i

$X_{min}$  = nilai minimum level parameter proses ke -i

Penjelasan lebih lengkap terkait level yang digunakan yang digunakan dalam penelitian ini dan pengodingannya dapat dilihat pada Tabel 3.1

**Tabel 3.1** Level yang digunakan

Faktor	Level bawah	Level tengah	Level atas
Kode	-1	0	1
Fraksi mol	0.2	0.4	0.6
pH	7	9	11
Temperatur Sintering (°C)	850	950	1050

Nilai level parameter proses yang sebenarnya dari pengodean  $X_1$ ,  $X_2$ , dan  $X_3$  dapat dihitung dari masing-masing persamaan berikut:

Persamaan Transformasi:

- $X_1 = \frac{(Fraksi Mol) - 0.4}{0.2}$
- $X_2 = \frac{(pH) - 9}{2}$
- $X_3 = \frac{(Temp.Sintering) - 950}{100}$



Koding dari level parameter proses disusun dengan desain penelitian RSM *Box Behnken*. Desain penelitian secara lengkap yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan oleh Tabel 3.2:

**Tabel 3.2** Desain Penelitian *Box-Behnken*

Std Order	Run Order	Koding			Parameter Proses		
		X1	X2	X3	Fraksi Mol	pH	Temp. Sintering
1	1	-1	-1	0	0.2	7	950
2	2	1	-1	0	0.6	7	950
3	3	-1	1	0	0.2	11	950
4	4	1	1	0	0.6	11	950
5	5	-1	0	-1	0.2	9	850
6	6	1	0	-1	0.6	9	850
7	7	-1	0	1	0.2	9	1050
8	8	1	0	1	0.6	9	1050
9	9	0	-1	-1	0.4	7	850
10	10	0	1	-1	0.4	11	850
11	11	0	-1	1	0.4	7	1050
12	12	0	1	1	0.4	11	1050
13	13	0	0	0	0.4	9	950
14	14	0	0	0	0.4	9	950
15	15	0	0	0	0.4	9	950



*Halaman ini sengaja dikosongkan*



---

## **BAB IV**

### **ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN**

Studi eksperimen pengaruh parameter proses fraksi mol, pH, dan temperatur sintering pada sintesis Barium Heksaferrit terhadap parameter respon Koersivitas ( $H_c$ ) dan Magnetik Saturasi ( $M_s$ ) dilakukan dengan menggunakan metode sintesis *sol gel auto combustion*. Rancangan eksperimen menggunakan *Box-Behnken Design*.

Analisa pendugaan model empiris dari respon berupa Koersivitas ( $H_c$ ) dan Magnetik Saturasi ( $M_s$ ) pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan *Response Surface Methodology*. Model matematika yang didapatkan kemudian dilakukan pengujian. Uji yang dilakukan adalah uji kesesuaian model, dilanjutkan dengan uji koefisien regresi dan uji asumsi residual. Dari model yang telah diuji kemudian dianalisa pengaruh variabel proses sintesis Barium Heksaferrit terhadap respon dan fenomena yang terjadi.

Selanjutnya dilakukan optimasi agar diketahui level atau nilai parameter yang menghasilkan respon yang optimum, yaitu nilai Koersivitas ( $H_c$ ) sebagai target minimum dengan Magnetik Saturasi ( $M_s$ ) sebagai kendala. Optimasi multi respon dari kedua model dilakukan dengan metode *non-linear programming* menggunakan MATLAB R2010a

#### **4.1 Pengaruh dan Hubungan antara Parameter Proses terhadap Parameter Respon**

Setelah dilakukan proses sintesis Barium Heksaferrit dengan variasi level parameter proses fraksi mol, pH, dan temperatur sintering kemudian dilakukan pengujian VSM untuk mendapatkan nilai Koersivitas ( $H_c$ ) dan Magnetik Saturasi ( $M_s$ ).

Data pengujian VSM merupakan data sekunder dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Dari pengumpulan data, didapatkan bahwa data yang tersedia tidak mencukupi kebutuhan dari rancangan desain eksperimen. Terdapat beberapa



data nilai Hc dan Ms yang tidak tersedia. Untuk melengkapi data tersebut, dilakukan proses modeling prediksi dengan metode *Artificial Neural Network* (ANN). Data yang diprediksi dengan ANN dijelaskan dalam Tabel 4.1

**Tabel 4.1** Data Hasil Prediksi *Artificial Neural Network*

No	Fraksi Mol	pH	Temperatur Sintering	Hc	Ms
1	0.2	9	850	0.193747	83.0107
2	0.2	9	1050	0.194024	88.2380
3	0.4	11	850	0.188508	74.6334
4	0.4	11	1050	0.173538	88.9276

Data prediksi Hc dan Ms yang didapatkan dari prediksi *Artificial Neural Network* digunakan untuk melengkapi kebutuhan data untuk perancangan desain eksperimen.

Perancangan desain eksperimen metode *Response Surface* dan data hasil eksperimen ditunjukkan pada Tabel 4.2

**Tabel 4.2** Desain Eksperimen dan Data Hasil Penelitian

Std Order	Run Order	Parameter Proses			Koding			Respon	
		Fraksi Mol	pH	Temp. Sintering	X1	X2	X3	Hc	Ms
1	1	0.2	7	950	-1	-1	0	0.240000	95.4800
2	2	0.6	7	950	1	-1	0	0.120000	84.8900
3	3	0.2	11	950	-1	1	0	0.160000	91.1800
4	4	0.6	11	950	1	1	0	0.150000	90.6900
5	5	0.2	9	850	-1	0	-1	0.193747	83.0107
6	6	0.6	9	850	1	0	-1	0.120000	80.7000
7	7	0.2	9	1050	-1	0	1	0.194024	88.2380
8	8	0.6	9	1050	1	0	1	0.030000	90.9000
9	9	0.4	7	850	0	-1	-1	0.230000	78.4200



---

10	10	0.4	11	850	0	1	-1	0.188508	74.6334
11	11	0.4	7	1050	0	-1	1	0.180000	87.8100
12	12	0.4	11	1050	0	1	1	0.173538	88.9276
13	13	0.4	9	950	0	0	0	0.180000	86.4200
14	14	0.4	9	950	0	0	0	0.201545	91.9629

---

Hasil keluaran dari pengolahan data statistik dengan Metode *Response Surface* ini adalah sebuah model persamaan matematika. Bentuk umum dari model persamaan matematika yang akan dihasilkan tersebut adalah sebagai berikut:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_k) + \varepsilon$$

Dimana

y = parameter respon (Nilai Koersivitas, Nilai magnetik saturasi)

$x_i$  = parameter proses (Fraksi mol, pH, Temperatur sintering)

$\varepsilon$  = error

Untuk mengetahui pengaruh parameter respon terhadap masing-masing parameter proses diperlukan analisa pendugaan model.

#### 4.1.1 Analisis pendugaan model respon koersivitas (Hc)

Analisis yang didapatkan pada pendugaan model respon Koersivitas (Hc) ditampilkan dalam Tabel 4.3 dan Tabel 4.4



**Tabel 4.3** Estimasi Koefisien Regresi untuk Respon Koersivitas (Hc)

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.190772	0.014837	12.858	0.000
Fraksi Mol	-0.045971	0.007418	-6.197	0.003
pH	-0.012244	0.007418	-1.651	0.174
Temp. Sintering	0.019337	0.007418	-2.607	0.060
Fraksi Mol*Fraksi Mol	-0.040921	0.011729	-3.489	0.025
pH*pH	0.017648	0.011729	1.505	0.207
Temp. Sintering*Temp. Sintering	-0.015409	0.011729	-1.314	0.259
Fraksi Mol*pH	0.027500	0.010491	2.621	0.059
Fraksi Mol*Temp. Sintering	-0.022569	0.010491	-2.151	0.098
pH*Temperatur Sintering	0.008758	0.010491	0.835	0.451
S = 0.0209823 PRESS = 0.0253913				
R-Sq = 95.14% R-Sq(pred) = 29.99% R-Sq(adj) = 84.22%				

Ket: Level signifikansi  $\alpha=10\%$

**Tabel 4.4** *Analysis of Variance* untuk Respon Koersivitas (Hc)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	0.034505	0.034505	0.003834	8.71	0.026
Linear	3	0.021097	0.021097	0.007032	15.97	0.011
Square	3	0.008039	0.008039	0.002680	6.09	0.057
Interaction	3	0.005369	0.005369	0.001790	4.07	0.104
Residual Error	4	0.001761	0.001761	0.000440		
Lack of Fit	3	0.001529	0.001529	0.000510	2.20	0.452
Pure Error	1	0.000232	0.000232	0.000232		
Total	13	0.036266				

Dari data pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.4 akan dilakukan analisa pendugaan model yang nantinya dapat digunakan untuk menentukan parameter proses apa saja yang memiliki pengaruh signifikan terhadap respon Koersivitas (Hc). Analisa dilakukan dengan menggunakan level signifikansi  $\alpha=10\%$ . Dengan nilai tersebut berarti bahwa hasil penelitian ataupun analisa diharapkan mempunyai kesempatan untuk benar sebesar 90% dan untuk salah sebesar 10%.



Pendugaan model untuk respon Koersivitas ( $H_c$ ) terhadap parameter proses pada Tabel 4.3 dan 4.4 dapat diuji sebagai berikut:

### 1. Pengujian kesesuaian model

Pengujian kesesuaian model meliputi pengujian *lack of fit* pada pendugaan model dan pengujian koefisien determinasi ( $R^2$ ) (Montgomery, 2012)

➤ *Pengujian lack of fit*

Hipotesis dari pengujian *lack of fit* dari pendugaan model respon Koersivitas ( $H_c$ ) adalah sebagai berikut

$H_0$  : *tidak ada lack of fit dalam model*

$H_1$  : *ada lack of fit dalam model*

Pada level pengujian dengan level  $\alpha = 0,10$ , P-value dari *lack of fit* mempunyai nilai 0,452 (P-value >  $\alpha$ ). Keputusan dari kondisi tersebut adalah gagal menolak  $H_0$  yang mengatakan tidak ada *lack of fit* dalam model atau dengan kata lain **tidak ada *lack of fit* pada pendugaan model**. Artinya, **model yang telah dibuat sesuai dengan data**.

➤ *Pengujian koefisien determinasi ( $R^2$ )*

Koefisien determinasi dapat digunakan untuk mengetahui apakah ada hubungan antara dua parameter (parameter proses  $x$  dan parameter respon  $y$ ).

Dari hasil analisa perhitungan diketahui bahwa nilai dari koefisien determinasi ( $R^2$ ) adalah 95,14%. Hal tersebut berarti bahwa **total variasi nilai Koersivitas ( $H_c$ ) yang dapat dijelaskan oleh model persamaan regresi adalah 95,14% dan sisanya yaitu 4,86% adalah variasi nilai parameter respon Koersivitas ( $H_c$ ) yang dipengaruhi oleh parameter lain yang berada di luar model**.

### 2. Pengujian koefisien regresi

Pengujian koefisien regresi dilakukan secara serentak dan individu sebagai berikut:



➤ *Pengujian koefisien regresi secara serentak*

Hipotesis untuk menguji koefisien regresi secara serentak dari pendugaan model respon Koersivitas ( $H_c$ ) adalah:

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k = 0$$

$H_1$ : Paling tidak ada satu  $\beta_i$  yang mempengaruhi respon Koersivitas

Pada level pengujian dengan level  $\alpha=0,10$ , P-value dari *regression* mempunyai nilai 0,026 ( $P\text{-value} < \alpha$ ). Keputusan dari kondisi tersebut adalah hipotesis  $H_0$  ditolak. Dengan demikian dapat disimpulkan **bahwa dengan pengujian secara serentak, paling tidak terdapat satu  $\beta$  berpengaruh terhadap respon Koersivitas ( $H_c$ ) sehingga dapat disimpulkan bahwa regresi linier, interaksi, dan kuadrat dari variabel-variabel proses secara statistic mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap respon Koersivitas.**

➤ *Pengujian koefisien regresi secara individu*

Hipotesis untuk menguji koefisien regresi secara individu dari pendugaan model respon Koersivitas ( $H_c$ ) adalah:

$$H_0: \beta_i = 0$$

$$H_1: \beta_i \neq 0$$

Pada pengujian ini masing-masing koefisien regresi diuji dengan membandingkan P-value dari koefisien regresi tersebut terhadap level  $\alpha=0,10$ . Apabila  $P\text{-value} < \alpha$  maka koefisien regresi tersebut memiliki pengaruh yang signifikan terhadap respon Koersivitas ( $H_c$ ).

Dari hasil analisa pada Tabel 4.3, dapat dilihat bahwa koefisien regresi dari model matematika yang mempunyai pengaruh signifikan terhadap respon  $H_c$  adalah **fraksi mol, temperatur sintering, kuadrat fraksi mol, interaksi fraksi mol dengan pH, dan interaksi fraksi mol dengan temperatur sintering.**

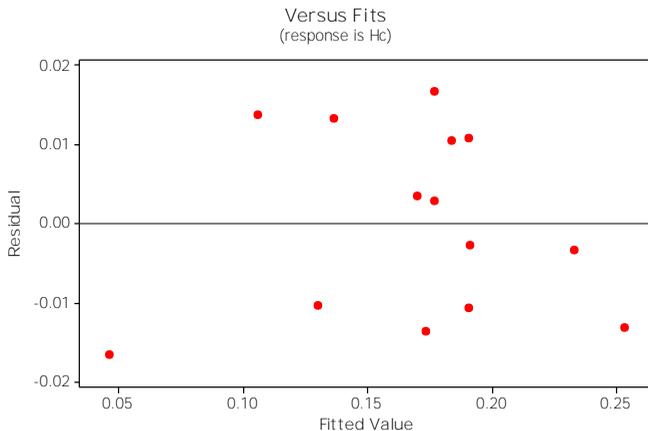


### 3. Pengujian asumsi residual

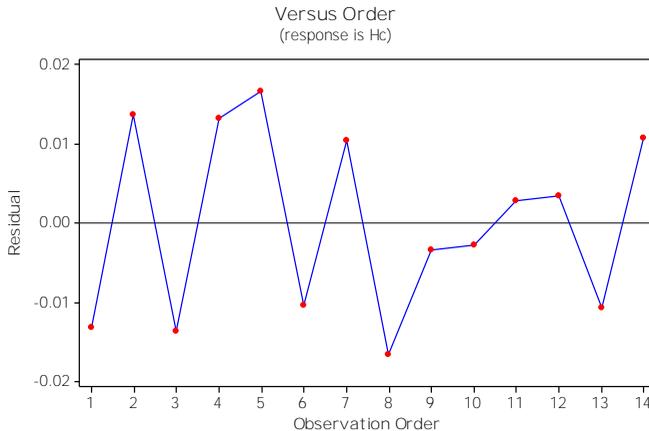
Dalam menduga model diperlukan asumsi bahwa residual bersifat bebas satu sama lain (independen), memiliki rata-rata nol dan variansi yang konstan  $\sigma^2$  (identic), serta berdistribusi normal atau  $\varepsilon \sim \text{IIDN}(0, \sigma^2)$ . Berikut merupakan pengujian yang dilakukan terhadap residual.

➤ *Pengujian identik*

Asumsi identik dapat diketahui dengan membuat plot antara residual dengan Y estimasi. Apabila pola tersebut menyebar dan tidak membentuk pola tertentu, maka dapat dikatakan bahwa residual bersifat identik. Grafik plot residual dari Hc dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2



**Gambar 4.1** Plot Residual dari Hc (Plot Residual vs Fitted Value)

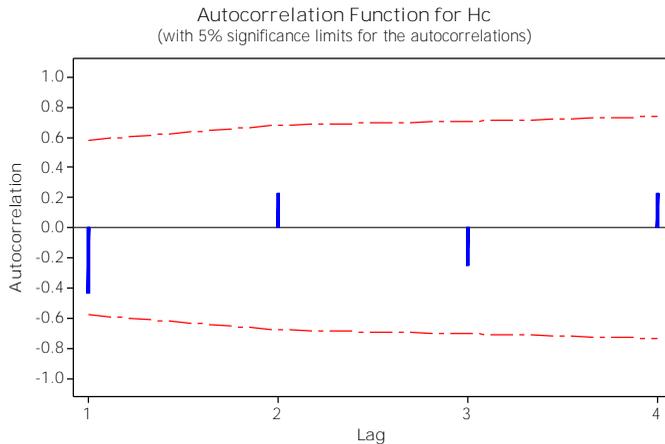


**Gambar 4.2** Plot Residual dari Hc (Plot Residual vs Order)

Dari Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 dapat diketahui bahwa Grafik plot residual tidak menunjukkan adanya pola tertentu yang mengindikasikan penyebaran yang merata sehingga dapat diartikan **bahwa residual tidak memiliki penyebaran yang sama, dengan demikian asumsi identik terpenuhi.**

➤ *Pengujian Independen*

Uji ini digunakan untuk mejamin bahwa pengamatan telah dilakukan secara acak, yang berarti antar pengamatan tidak ada korelasi (independen). Pemeriksaan dilakukan dengan menggunakan plot *auto correlation function* (ACF). Residual bersifat independen jika nilai korelasi berada dalam interval  $\pm \frac{2}{\sqrt{n}}$ . Plot ACF dari respon Hc dapat dilihat pada Gambar 4.3



**Gambar 4.3** Plot Autocorelation Function untuk Hc

Gambar 4.3 yang menunjukkan bahwa korelasi masih berada pada interval  $\pm \frac{2}{\sqrt{n}}$ . Hal tersebut berarti bahwa pengamatan pada penelitian ini **telah dilakukan secara independen dan tidak terdapat korelasi antara pengamatan.**

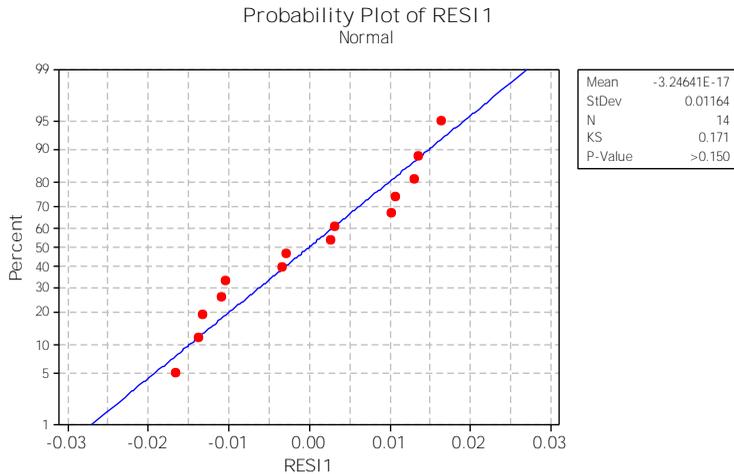
➤ *Pengujian Distribusi Normal*

Menyatakan probabilitas dari residual suatu respon. Hipotesa untuk uji kenormalan dari residual adalah sebagai berikut:

$H_0$ : residual berdistribusi normal

$H_1$ : residual tidak berdistribusi normal

Uji kenormalan dianalisa dengan menggunakan Grafik *Kolmogorov-Smirnov Test* yang ditunjukkan oleh Gambar 4.4.



**Gambar 4.4** Grafik Normal Probability Plot untuk Hc

Dari Gambar 4.4 dapat diketahui bahwa dengan level pengujian  $\alpha=0,10$ , nilai P-value adalah  $>0,15$  ( $P\text{-value} > \alpha$ ), sehingga  $H_0$  gagal ditolak. Dengan kondisi demikian maka dapat disimpulkan bahwa **residual mempunyai distribusi normal dan asumsi normalitas terpenuhi**.

Dengan beberapa pengujian yang telah dilakukan di atas, dapat diketahui bahwa model yang memenuhi hubungan antara parameter proses fraksi mol, pH, dan temperatur sintering terhadap respon Koersivitas ( $H_c$ ) dapat dirumuskan dengan persamaan empiris sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 HC = & 0.190772 - 0.0459714(FM) - 0.0122442(PH) - \\
 & 0.0193365(TS) - 0.0409207(FM^2) + 0.0176483(PH^2) - \\
 & 0.0154090(TS^2) + 0.0275000(FM * PH) - 0.0225694(FM * \\
 & TS) + 0.00875754(PH * TS)
 \end{aligned}$$



Dengan batasan:

$$-1 \leq FM \leq 1$$

$$-1 \leq PH \leq 1$$

$$-1 \leq TS \leq 1$$

Dimana:

*HC* = Nilai Koersivitas

*FM* = Nilai Fraksi Mol

*PH* = Nilai pH

*TS* = Nilai Temperatur Sintering

#### 4.1.2 Analisis pendugaan model respon magnetik saturasi (Ms)

Analisis yang didapatkan pada pendugaan model respon Magnetik Saturasi (Ms) ditampilkan dalam Tabel 4.5 dan Tabel 4.6

**Tabel 4.5** Estimasi Koefisien Regresi untuk Respon Magnetik Saturasi (Ms)

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	89.1915	2.302	38.746	0.000
Fraksi Mol	-1.3411	1.151	-1.165	0.309
pH	-0.1461	1.151	-0.127	0.905
Temp. Sintering	4.8889	1.151	4.248	0.013
Fraksi Mol*Fraksi Mol	2.3165	1.820	1.273	0.272
pH*pH	-0.9479	1.820	-0.521	0.630
Temp. Sintering*Temp. Sintering	-5.7958	1.820	-3.185	0.033
Fraksi Mol*pH	2.5250	1.628	1.551	0.196
Fraksi Mol*Temp. Sintering	1.2432	1.628	0.764	0.488
pH*Temperatur Sintering	1.2261	1.628	0.753	0.493

S = 3.25541 PRESS = 493.911  
R-Sq = 90.23% R-Sq(pred) = 0.00% R-Sq(adj) = 68.26%

Ket: Level signifikansi  $\alpha=10\%$



**Tabel 4.6** Analysis of Variance untuk Respon Magnetik Saturasi (Ms)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	391.692	391.692	43.521	4.11	0.093
Linear	3	205.773	205.773	68.591	6.47	0.051
Square	3	148.222	148.222	49.407	4.66	0.086
Interaction	3	37.697	37.697	12.566	1.19	0.421
Residual Error	4	42.391	42.391	10.598		
Lack of Fit	3	27.029	27.029	9.010	0.59	0.717
Pure Error	1	15.362	15.362	15.362		
Total	13	434.083				

Dari data pada Tabel 4.5 dan Tabel 4.6 akan dilakukan analisa pendugaan model yang nantinya dapat digunakan untuk menentukan parameter proses apa saja yang memiliki pengaruh signifikan terhadap respon Magnetik Saturasi (Ms). Analisa dilakukan dengan menggunakan level signifikansi  $\alpha=10\%$ . Dengan nilai tersebut berarti bahwa hasil penelitian ataupun analisa diharapkan mempunyai kesempatan untuk benar sebesar 90% dan untuk salah sebesar 10%.

Pendugaan model untuk respon Magnetik Saturasi (Ms) terhadap parameter proses pada Tabel 4.5 dan 4.6 dapat diuji sebagai berikut:

### 1. Pengujian kesesuaian model

Pengujian kesesuaian model meliputi pengujian *lack of fit* pada pendugaan model dan pengujian koefisien determinasi ( $R^2$ ) (Montgomery, 2012)

#### ➤ Pengujian *lack of fit*

Hipotesis dari pengujian *lack of fit* dari pendugaan model respon Magnetik Saturasi (Ms) adalah sebagai berikut

$H_0$  : tidak ada *lack of fit* dalam model

$H_1$  : ada *lack of fit* dalam model

Pada level pengujian dengan level  $\alpha = 0,10$ , P-value dari *lack of fit* mempunyai nilai 0.717 ( $P\text{-value} > \alpha$ ). Keputusan dari kondisi tersebut adalah gagal menolak  $H_0$  yang



mengatakan tidak ada *lack of fit* dalam model atau dengan kata lain **tidak ada *lack of fit* pada pendugaan model**. Artinya, **model yang dibuat telah sesuai dengan data**.

➤ *Pengujian koefisien determinasi ( $R^2$ )*

Koefisien determinasi dapat digunakan untuk mengetahui apakah ada hubungan antara dua parameter (parameter proses  $x$  dan parameter respon  $y$ ).

Dari hasil analisa perhitungan diketahui bahwa nilai dari koefisien determinasi ( $R^2$ ) adalah 90,23%. Hal tersebut berarti bahwa **total variasi nilai Magnetik Saturasi (Ms) yang dapat dijelaskan oleh model persamaan regresi adalah 90,23% dan sisanya yaitu 9,77% adalah variasi nilai parameter respon Magnetik Saturasi (Ms) yang dipengaruhi oleh parameter lain yang berada di luar model**.

## 2. Pengujian koefisien regresi

Pengujian koefisien regresi dilakukan secara serentak dan individu sebagai berikut:

➤ *Pengujian koefisien regresi secara serentak*

Hipotesis untuk menguji koefisien regresi secara serentak dari pendugaan model respon Koersivitas ( $H_c$ ) adalah:

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k = 0$$

$H_1$ : Paling tidak ada satu  $\beta_i$  yang mempengaruhi respon Ms

Pada level pengujian dengan level  $\alpha=0,10$ , P-value dari *regression* mempunyai nilai 0,093 (P-value  $< \alpha$ ). Keputusan dari kondisi tersebut adalah hipotesis  $H_0$  ditolak. Dengan demikian dapat disimpulkan **bahwa dengan pengujian secara serentak, paling tidak terdapat satu  $\beta$  berpengaruh terhadap respon Magnetik Saturasi (Ms) sehingga dapat disimpulkan bahwa regresi linier, interaksi, dan kuadrat dari variabel-variabel proses secara statistic mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap respon Magnetik Saturasi**.



➤ *Pengujian koefisien regresi secara individu*

Hipotesis untuk menguji koefisien regresi secara individu dari pendugaan model respon Magnetik Saturasi (Ms) adalah:

$$H_0: \beta_i = 0$$

$$H_1: \beta_i \neq 0$$

Pada pengujian ini masing-masing koefisien regresi diuji dengan membandingkan P-value dari koefisien regresi tersebut terhadap level  $\alpha=0,10$ . Apabila P-value  $< \alpha$  maka koefisien regresi tersebut memiliki pengaruh yang signifikan terhadap respon Magnetik Saturasi (Ms).

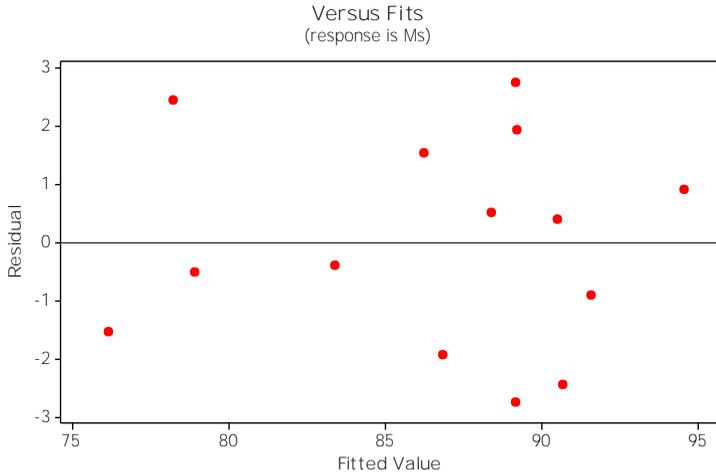
Dari hasil analisa pada Tabel 4.6, dapat dilihat bahwa koefisien regresi dari model matematika yang mempunyai pengaruh signifikan terhadap respon Ms adalah **temperatur sintering dan kuadrat temperatur sintering**,

### 3. Pengujian asumsi residual

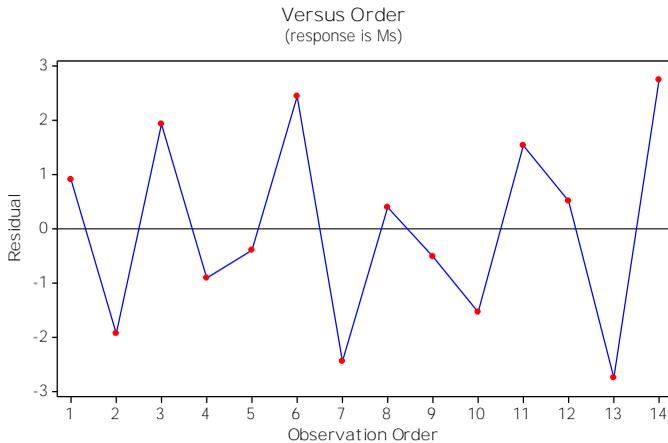
Dalam menduga model diperlukan asumsi bahwa residual bersifat bebas satu sama lain (independen), memiliki rata-rata nol dan variansi yang konstan  $\sigma^2$  (identic), serta berdistribusi normal atau  $\varepsilon \sim \text{IIDN}(0, \sigma^2)$ . Berikut merupakan pengujian yang dilakukan terhadap residual.

➤ *Pengujian identik*

Asumsi identik dapat diketahui dengan membuat plot antara residual dengan Y estimasi. Apabila pola tersebut menyebar dan tidak membentuk pola tertentu, maka dapat dikatakan bahwa residual bersifat identik. Plot residual dari respon Ms ditunjukkan oleh Gambar 4.5 dan Gambar 4.6



**Gambar 4.5** Plot Residual dari Ms (Plot Residual vs Fitted Value)



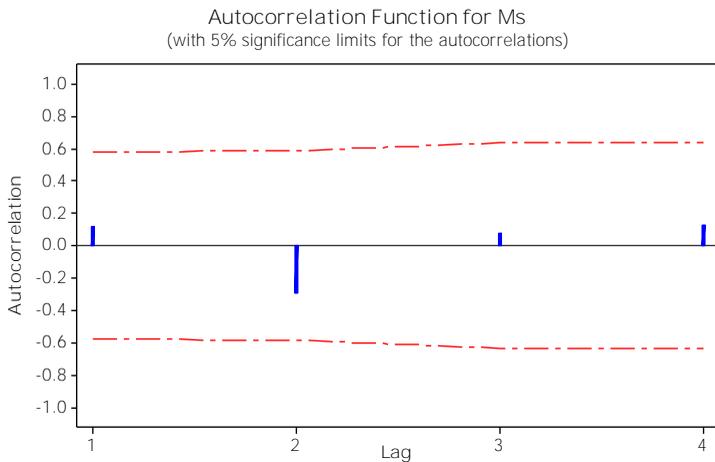
**Gambar 4.6** Plot Residual dari Ms (Plot Residual vs Order)



Dari Gambar 4.5 dan Gambar 4.6 dapat diketahui bahwa Grafik plot residual tidak menunjukkan adanya pola tertentu yang mengindikasikan penyebaran yang merata sehingga dapat diartikan **bahwa residual tidak memiliki penyebaran yang sama, dengan demikian asumsi identik terpenuhi.**

➤ *Pengujian Independen*

Uji ini digunakan untuk mejamin bahwa pengamatan telah dilakukan secara acak, yang berarti antar pengamatan tidak ada korelasi (independen). Pemeriksaan dilakukan dengan menggunakan plot *auto correlation function* (ACF). Residual bersifat independen jika nilai korelasi berada dalam interval  $\pm \frac{2}{\sqrt{n}}$ . Grafik polt ACF dari Ms ditunjukkan oleh Gambar 4.7



**Gambar 4.7** Plot Autocorelation Function untuk Ms

Gambar 4.7 menunjukkan bahwa korelasi masih berada pada interval  $\pm \frac{2}{\sqrt{n}}$ . Hal tersebut menunjukkan bahwa



pengamatan pada penelitian ini telah dilakukan secara independen dan tidak terdapat korelasi antara pengamatan.

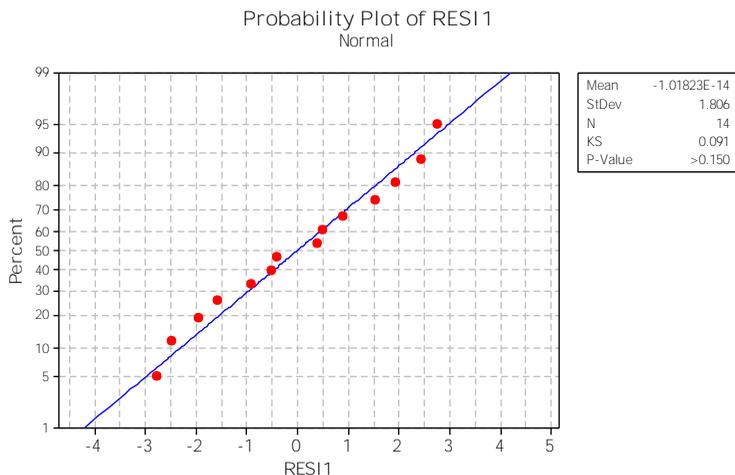
➤ *Pengujian Distribusi Normal*

Menyatakan probabilitas dari residual suatu respon. Hipotesa untuk uji kenormalan dari residual adalah sebagai berikut:

$H_0$ : residual berdistribusi normal

$H_1$ : residual tidak berdistribusi normal

Pengujian distribusi normal dapat dianalisis dengan menggunakan grafik *Kolmogorov-Smirnov Test* yang ditunjukkan oleh Gambar 4.8.



**Gambar 4.8** Grafik Normal Probability Plot untuk Ms

Dari Gambar 4.8 dapat diketahui bahwa dengan level pengujian  $\alpha=0,10$ , nilai P-value adalah 0,503 ( $P\text{-value} > \alpha$ ), sehingga  $H_0$  gagal ditolak. Dengan kondisi demikian maka dapat disimpulkan bahwa residual mempunyai distribusi normal dan asumsi normalitas terpenuhi.



Dengan beberapa pengujian yang telah dilakukan di atas, dapat diketahui bahwa model yang memenuhi hubungan antara parameter proses fraksi mol, pH, dan temperatur sintering terhadap respon Magnetik Saturasi (Ms) dapat dirumuskan dengan persamaan empiris sebagai berikut:

$$MS = 89.1915 - 1.3411(FM) - 0.1461(PH) + 4.8889(TS) + 2.3165(FM^2) - 0.9479(PH^2) - 5.7958(TS^2) + 2.5250(FM * PH) + 1.2432(FM * TS) + 1.2261(PH * TS)$$

Dengan batasan:

$$-1 \leq FM \leq 1$$

$$-1 \leq PH \leq 1$$

$$-1 \leq TS \leq 1$$

Dimana:

*HC = Nilai Magnetik Saturasi*

*FM = Nilai Fraksi Mol*

*PH = Nilai pH*

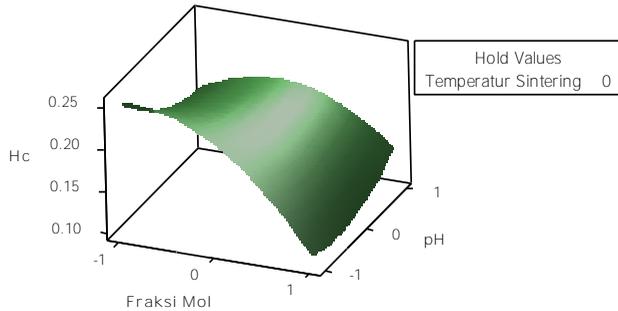
*TS = Nilai Temperatur Sintering*

## 4.2 Plot Permukaan

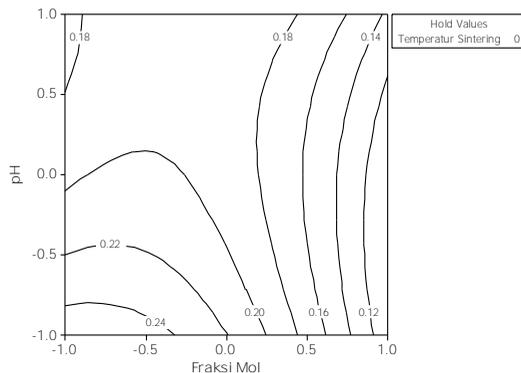
Titik optimal respon dapat diprediksi secara visual dengan mengamati plot permukaan dari model yang telah dibuat. Titik optimal seringkali terjadi pada daerah stasioner, baik lembah maupun puncak. Namun dalam beberapa kasus, terjadi sebuah bentuk plot permukaan yang menyerupai pelana, dimana jika ditinjau dari salah satu sisi parameter tampak sebagai puncak, dan tampak sebagai lembah jika ditinjau dari sisi yang lain. Pada prediksi titik optimal dengan cara visual ini hanya dapat dipakai untuk melihat pengaruh 2 parameter proses terhadap respon, karena keterbatasan bentuk grafik yaitu 3 dimensi.

### 4.2.1 Plot Permukaan untuk respon koersivitas (Hc)

Gambar 4.9 dan 4.10 merupakan *Surface plot* dan *Countour plot* yang menggambarkan pengaruh perubahan pada parameter respon Fraksi Mol dan pH terhadap respon Koersivitas (Hc). *Plot*

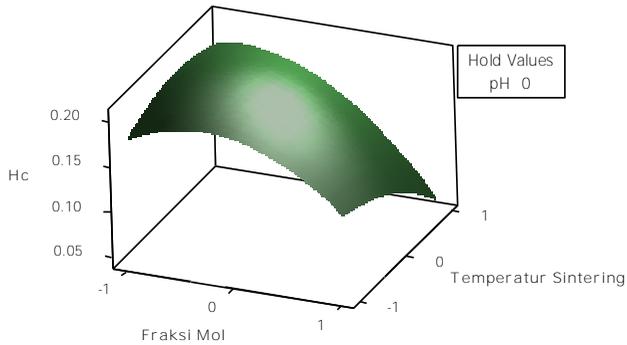


**Gambar 4.9** Surface Plot Parameter Fraksi Mol dan pH Terhadap Respon Koersivitas ( $H_c$ )

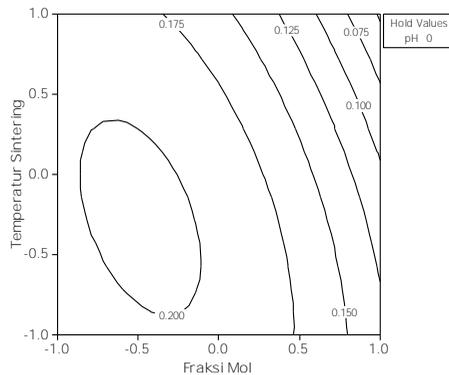


**Gambar 4.10** Countour Plot Parameter Fraksi Mol dan pH Terhadap Respon Koersivitas ( $H_c$ )

Berdasarkan Gambar 4.10, nilai koersivitas ( $H_c$ ) semakin kecil apabila nilai Fraksi mol di atas level 1,0 ( $>0,6$ ) dan menyetting nilai pH diantara level -1,0 dan 0,5 (7 dan 10). Dengan menyetting nilai fraksi mold dan pH pada level tersebut, maka akan diperoleh nilai koersivitas di bawah 0,12.

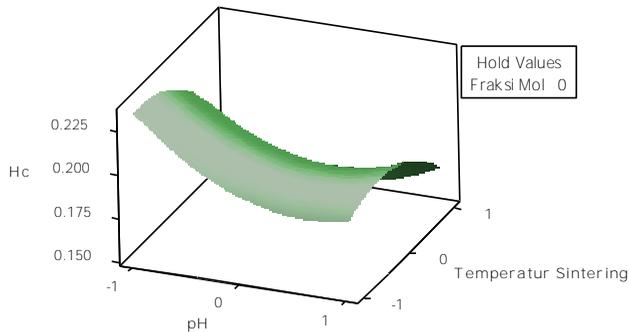


**Gambar 4.11** Surface Plot Parameter Fraksi Mol dan Temp. Sintering Terhadap Respon Koersivitas ( $H_c$ )

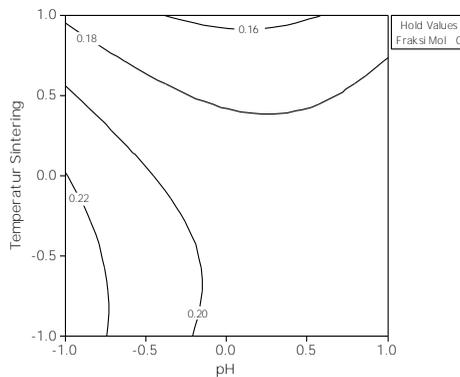


**Gambar 4.12** Countour Plot Parameter Fraksi Mol dan Temp. Sintering Terhadap Respon Koersivitas ( $H_c$ )

Dengan mensetting nilai pH pada level 0 (9), nilai minimum  $H_c$  akan didapatkan pada kondisi fraksi mol di atas level 1 ( $>0,6$ ) serta kondisi Temperatur sintering berada diantara level 0,5 dan 1 ( $1000^{\circ}\text{C}$  dan  $1050^{\circ}\text{C}$ ). Dengan menyetting nilai fraksi mol dan



**Gambar 4.13** Surface Plot Parameter pH dan Temp. Sintering Terhadap Respon Koersivitas (Hc)

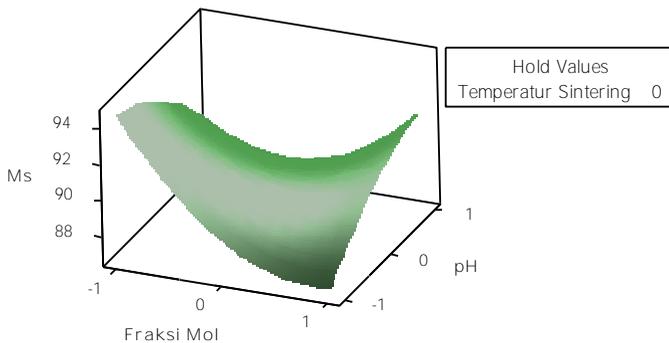


**Gambar 4.14** Contour Plot Parameter pH dan Temp. Sintering Terhadap Respon Koersivitas (Hc)

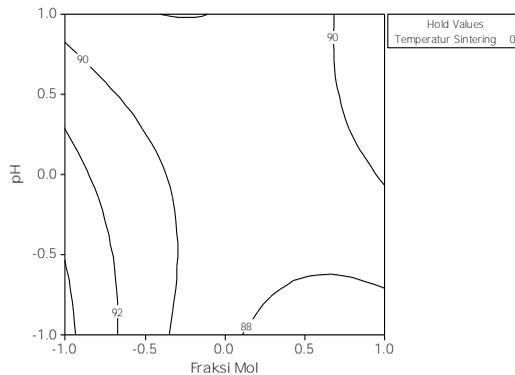
Berdasarkan Gambar 4.14, dengan holding value Fraksi mol pada level 0 (0,4), nilai Hc akan mencapai minimum pada setting level pH antara -0,5 sampai 0,5 (8 sampai 10) dan Temp. Sintering pada level diatas 1,0 ( $>1050^{\circ}$  C). Dengan melakukan setting



parameter proses pada kondisi tersebut, maka akan di dapatkan nilai  $H_c$  dibawah 0,16.



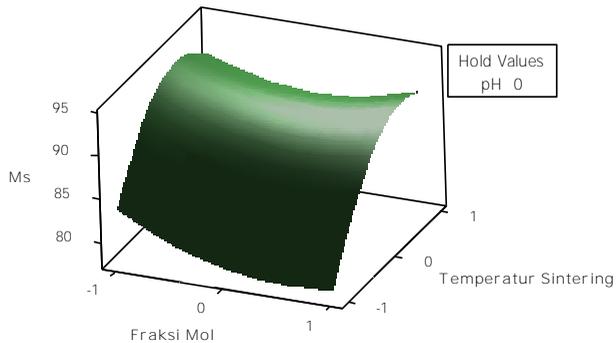
**Gambar 4.15** Surface Plot Parameter Fraksi Mol dan pH Terhadap Respon Magnetik Saturasi (Ms)



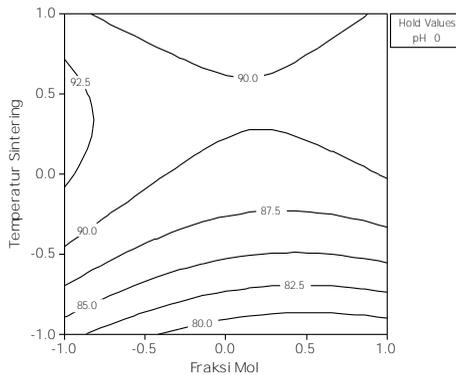
**Gambar 4.16** Countour Plot Parameter Fraksi Mol dan pH Terhadap Respon Magnetik Saturasi (Ms)



Berdasarkan Gambar 4.16, nilai Magnetik Saturasi ( $M_s$ ) semakin besar apabila nilai Fraksi mol di bawah level  $-1,0$  ( $<0,2$ )



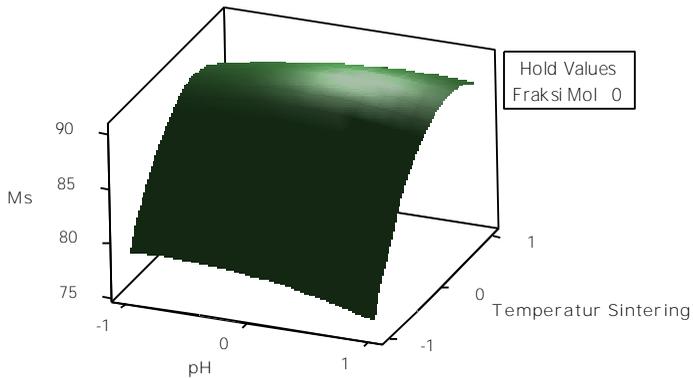
**Gambar 4.17** Surface Plot Parameter Fraksi Mol dan Temp. Sintering Terhadap Respon Magnetik Saturasi ( $M_s$ )



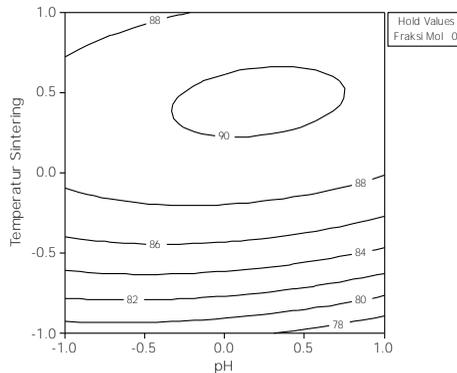
**Gambar 4.18** Countour Plot Parameter Fraksi Mol dan Temp. Sintering Terhadap Respon Magnetik Saturasi ( $M_s$ )



Dengan menyetting nilai pH pada level 0 (9), nilai maksimum Ms akan didapatkan pada kondisi fraksi mol di bawah level -1 ( $<0.2$ ) serta kondisi Temperatur sintering berada diantara



**Gambar 4.19** Surface Plot Parameter pH dan Temp. Sintering Terhadap Respon Magnetik Saturasi (Ms)



**Gambar 4.20** Contour Plot Parameter pH dan Temp. Sintering Terhadap Respon Magnetik Saturasi (Ms)



Berdasarkan Gambar 4.20, dengan holding value Fraksi mol pada level 0 (0,4), nilai Ms akan mencapai maksimum pada setting level pH antara -0,5 sampai 1 (8 sampai 11) dan Temp. Sintering pada level antara 0,0 sampai 0,5 (950° C sampai 1000° C). Dengan melakukan setting parameter proses pada kondisi tersebut, maka akan di dapatkan nilai Ms di atas 90 T.

### 4.3 Optimasi Respon

#### 4.3.1 Penentuan titik minimum pada model Koersivitas (Hc)

Pencarian nilai minimum untuk respon Koersivitas (Hc) didapatkan dengan menggunakan metode *non-linear programming*. Penyelesaian metode *non-linear programming* menggunakan software MATLAB R2010a. Pencarian titik minimum dalam MATLAB R2010a diselesaikan dengan bantuan *Toolboxes Optimizaion Tool*.

Target untuk optimasi dari model ini adalah meminimumkan nilai respon dari *Objective function* Hc dengan batasan pengujian nilai *lower bound* dan *upper bound*:

Target: meminimumkan nilai Koersivitas (Hc)

$$Hc = 0.190772 - 0.0459714(FM) - 0.0122442(PH) - \\ 0.0193365(TS) - 0.0409207(FM^2) + 0.0176483(PH^2) - \\ 0.0154090(TS^2) + 0.0275000(FM * PH) - 0.0225694(FM * \\ TS) + 0.00875754(PH * TS)$$

Terdapat beberapa parameter yang digunakan pada optimasi model Hc ini, yaitu:

- Menggunakan fungsi *solver* “*fmincon*”
- Nilai *lower bound* dan *upper bound* digunakan adalah [-1,-1,-1] dan [1,1,1].
- Nilai start point yang digunakan adalah [1;0;1]

Sebelum melakukan proses optimasi, persamaan Hc terlebih dahulu ditulis dalam bentuk MATLAB Code dengan susunan penulisan sebagai berikut



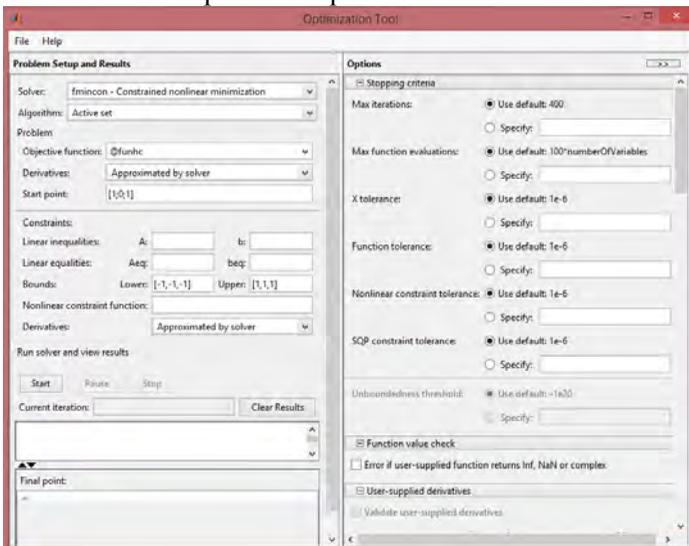
```
function H = funhc(x)
H = 0.190772 - 0.0459714*x(1) - 0.0122442*x(2) -
0.0193365*x(3) - 0.0409207*x(1)^2 +
0.0176483*x(2)^2 - 0.0154090*x(3)^2 +
0.0275000*x(1)*x(2) - 0.0225694*x(1)*x(3) +
0.00875754*x(2)*x(3);
end
```

Pada penulisan persamaan dalam bentuk MATLAB Code tersebut variabel persamaan Hc dirubah dalam bentuk *index* x dengan penjelasan seperti pada Tabel 4.7

**Tabel 4.7** Index x pada Persamaan Hc MATLAB Code

Index	Variabel Persamaan	Parameter Proses
x ( 1 )	FM	Fraksi Mol
x ( 2 )	PH	pH
x ( 3 )	TM	Temperatur Sintering

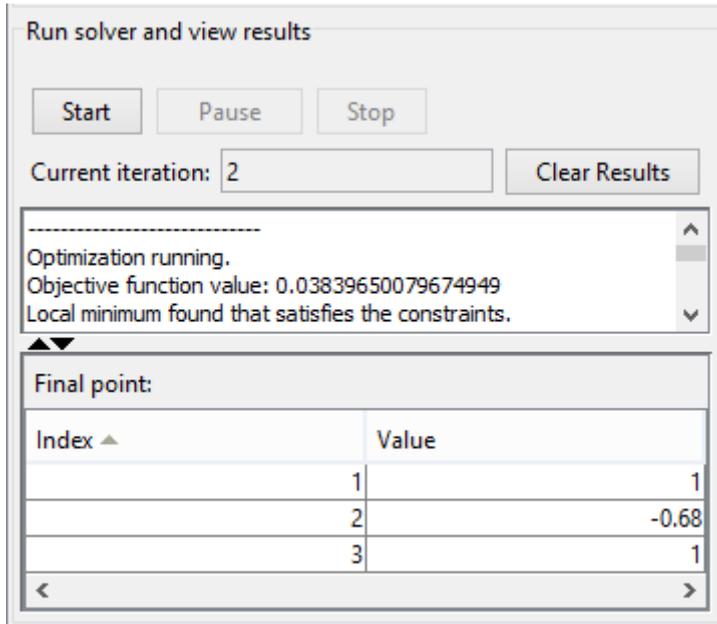
Proses optimasi persamaan Hc dengan menggunakan *Optimization Tool* dapat dilihat pada Gambar 4.21



**Gambar 4.21** Proses Optimasi Model Hc



*Run solver and view results* dari proses optimasi dapat dilihat pada Gambar 4.22



**Gambar 4.22** *Run solver and view results* Optimasi Model Hc

Dari *Run solver and view results* pada Gambar 4.22 dapat diketahui bahwa Koersivitas akan mencapai nilai minimum sebesar 0.03839 Tesla pada kondisi kombinasi level parameter proses seperti pada Tabel 4.8

**Tabel 4.8** Kombinasi Optimum Parameter Proses Model Hc

Index	Variabel Proses	Nilai kode	Level Parameter
x (1)	Fraksi Mol (FM)	1	0.6
x (2)	pH (PH)	-0.68	7.64
x (3)	Temperatur Sintering (TS)	1	1050°C



#### 4.3.2 Penentuan titik maksimum pada model Magnetik saturasi (Ms)

Pencarian nilai maksimum untuk respok Magnetik Saturasi (Ms) didapatkan dengan menggunakan metode *non-linear programming*. Penyelesaian metode *non-linear programming* menggunakan software MATLAB R2010a. Pencarian titik maksimum dalam MATLAB R2010a diselesaikan dengan bantuan *Toolboxes Optimizaion Tool*.

Target untuk optimasi dari model ini adalah memaksimalkan nilai respon dari *Objective function* Ms dengan batasan pengujian nilai *lower bound* dan *upper bound*:

Target: memaksimalkan nilai Magnetik Saturasi (Ms)

$$Ms = 89.1915 - 1.3411(FM) - 0.1461(PH) + 4.8889(TS) + 2.3165(FM^2) - 0.9479(PH^2) - 5.7958(TS^2) + 2.5250(FM * PH) + 1.2432(FM * TS) + 1.2261(PH * TS)$$

Terdapat beberapa parameter yang digunakan pada optimasi model Ms ini, yaitu:

- Menggunakan fungsi *solver* “*fmincon*”
- Nilai *lower bound* dan *upper bound* digunakan adalah [-1,-1,-1] dan [1,1,1].
- Nilai start point yang digunakan adalah [-1;-1;0]

Sebelum melakukan proses optimasi, persamaan Ms terlebih dahulu ditulis dalam bentuk MATLAB Code. Tujuan dari optimasi Ms adalah memaksimalkan nilai respon Ms, sedangkan fungsi *solver* “*fmincon*” yang digunakan merupakan jenis “*Constrained nonlinear minimization*”, karena itulah pada saat penulisan dalam bentuk MATLAB Code persamaan Ms dirubah menjadi fungsi tujuan minimasi dengan susunan penulisan sebagai berikut:



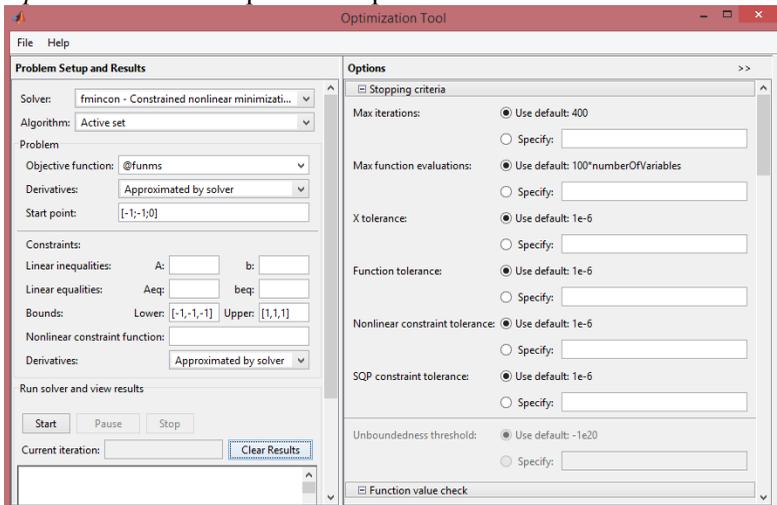
```
function M = funms(x)
M = -89.1915 + 1.3411*x(1) + 0.1461*x(2) -
4.8889*x(3) - 2.3165*x(1)^2 + 0.9479*x(2)^2 +
5.7958*x(3)^2 - 2.5250*x(1)*x(2) -
1.2432*x(1)*x(3) - 1.2261*x(2)*x(3);
end
```

Pada penulisan persamaan dalam bentuk MATLAB Code tersebut variabel persamaan Ms dirubah dalam bentuk *index* x dengan penjelasan seperti pada Tabel 4.9

**Tabel 4.9** Index x pada Persamaan Ms MATLAB Code

Index	Variabel Persamaan	Parameter Proses
x ( 1 )	FM	Fraksi Mol
x ( 2 )	PH	pH
x ( 3 )	TM	Temperatur Sintering

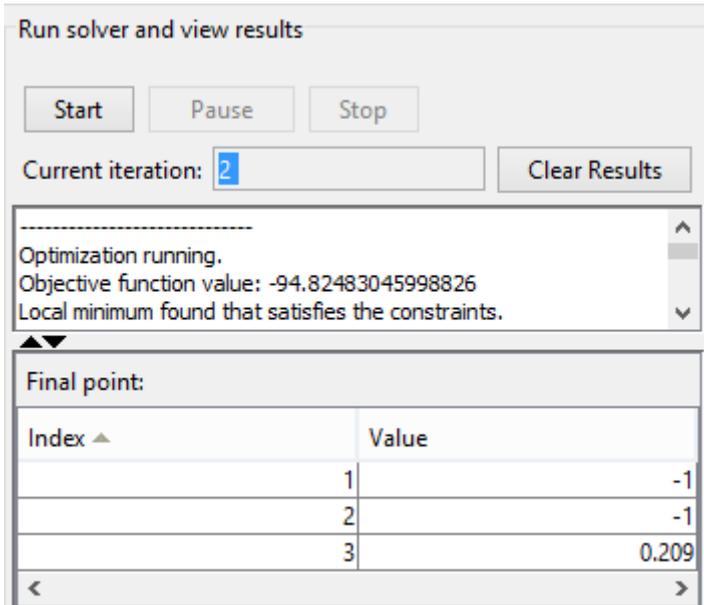
Proses optimasi persamaan Ms dengan menggunakan *Optimizaion Tool* dapat dilihat pada Gambar 4.23



**Gambar 4.23** Proses Optimasi Model Ms



*Run solver and view results* dari proses optimasi dapat dilihat pada Gambar 4.24



**Gambar 4.24** *Run solver and view results* Optimasi Model Ms

Dari *Run solver and view results* pada Gambar 4.24 dapat diketahui bahwa Magnetik Saturasi akan mencapai nilai maksimum sebesar 94.8248 emu/gr pada kondisi kombinasi level parameter proses seperti pada tabel 4.10

**Tabel 4.10** Kombinasi Optimum Parameter Proses Model Hc

Index	Variabel Proses	Nilai kode	Level Parameter
x (1)	Fraksi Mol (FM)	-1	0.2
x (2)	pH (PH)	-1	7
x (3)	Temperatur Sintering (TS)	0.209	970.9°C



### 4.3.3 Optimasi Multi Respon

Optimasi multi respon dari respon Koersivitas ( $H_c$ ) dilakukan dengan menggunakan pendekatan *non-linear programming*. Langkah yang dilakukan adalah dengan menggunakan model Koersivitas ( $H_c$ ) sebagai target minimum, dan model Magnetik Saturasi ( $M_s$ ) sebagai *constraint*.

Target: Meminimumkan nilai  $H_c$

$$H_c = 0.190772 - 0.0459714(FM) - 0.0122442(PH) - \\ 0.0193365(TS) - 0.0409207(FM^2) + 0.0176483(PH^2) - \\ 0.0154090(TS^2) + 0.0275000(FM * PH) - 0.0225694(FM * \\ TS) + 0.00875754(PH * TS)$$

Dengan Fungsi Pembatas  $M_s$

$$M_s = 89.1915 - 1.3411(FM) - 0.1461(PH) + 4.8889(TS) + \\ 2.3165(FM^2) - 0.9479(PH^2) - 5.7958(TS^2) + 2.5250(FM * \\ PH) + 1.2432(FM * TS) + 1.2261(PH * TS)$$

Terdapat beberapa parameter yang digunakan pada optimasi model Multi Respon ini, yaitu:

- Menggunakan fungsi *solver* "fmincon"
- Nilai *lower bound* dan *upper bound* digunakan adalah [-1,-1,-1] dan [1,1,1].
- Nilai start point yang digunakan adalah [-1;-1;0]
- *Objective function* adalah fungsi  $H_c$
- *Nonlinear constraint function* adalah fungsi  $M_s$

Persamaan  $H_c$  ditulis dalam bentuk MATLAB Code dengan susunan penulisan sebagai berikut

```
function H = funhc(x)
H = 0.190772 - 0.0459714*x(1) - 0.0122442*x(2) -
0.0193365*x(3) - 0.0409207*x(1)^2 +
0.0176483*x(2)^2 - 0.0154090*x(3)^2 +
0.0275000*x(1)*x(2) - 0.0225694*x(1)*x(3) +
0.00875754*x(2)*x(3);
end
```



Persamaan Ms ditulis dalam bentuk MATLAB Code sebagai fungsi tujuan minimasi dalam batasan respon hasil optimasi Ms. Susunan penulisannya sebagai berikut:

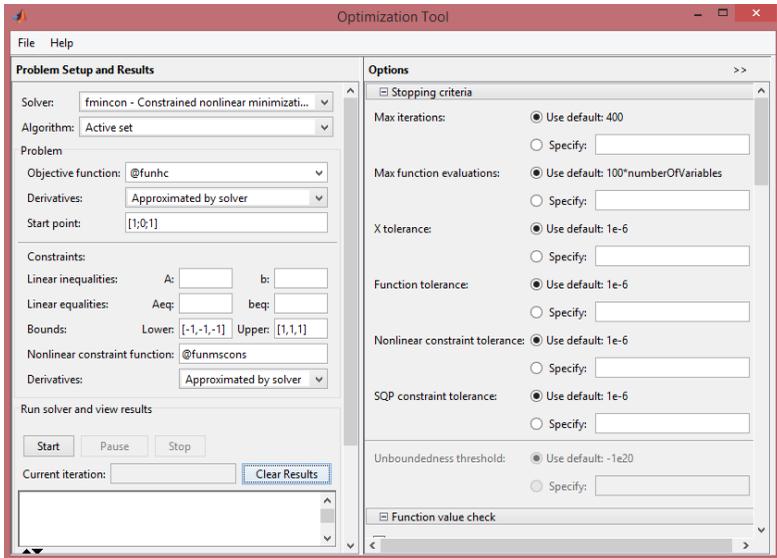
```
function [c, ceq] = funmscons(x)
c = -89.1915 + 1.3411*x(1) + 0.1461*x(2) -
4.8889*x(3) - 2.3165*x(1)^2 + 0.9479*x(2)^2 +
5.7958*x(3)^2 - 2.5250*x(1)*x(2) -
1.2432*x(1)*x(3) - 1.2261*x(2)*x(3) -
94.824830459988260;
ceq = [];
end
```

Pada penulisan persamaan dalam bentuk MATLAB Code tersebut variabel persamaan Hc dan Ms dirubah dalam bentuk *index* x dengan penjelasan seperti pada Tabel 4.11

**Tabel 4.11** Index x pada Persamaan Hc dan Ms MATLAB Code

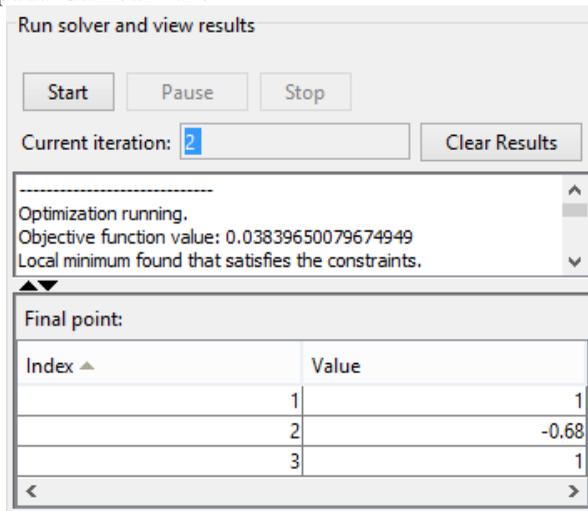
Index	Variabel Persamaan	Parameter Proses
x(1)	FM	Fraksi Mol
x(2)	PH	pH
x(3)	TM	Temperatur Sintering

Proses optimasi persamaan Ms dengan menggunakan *Optimizaion Tool* dapat dilihat pada Gambar 4.25



**Gambar 4.25** Proses Optimasi Multirespon

*Run solver and view results* dari proses optimasi dapat dilihat pada Gambar 4.26



**Gambar 4.26** *Run solver and view results* Optimasi Multi Respon



Dari *Run solver and view results* pada Gambar 4.26 dapat diketahui bahwa nilai minimum  $H_c$  yang dapat dicapai dari hasil optimasi multi respon adalah sebesar 0.03839 Tesla pada kondisi kombinasi level parameter proses seperti pada Tabel 4.12

**Tabel 4.12** Kombinasi Optimum Parameter Proses Model  $H_c$   
Hasil Optimasi Multi Respon

Index	Variabel Proses	Nilai kode	Level Parameter
x (1)	Fraksi Mol (FM)	1	0.6
x (2)	pH (PH)	-0.68	7.64
x (3)	Temperatur Sintering (TS)	1	1050°C

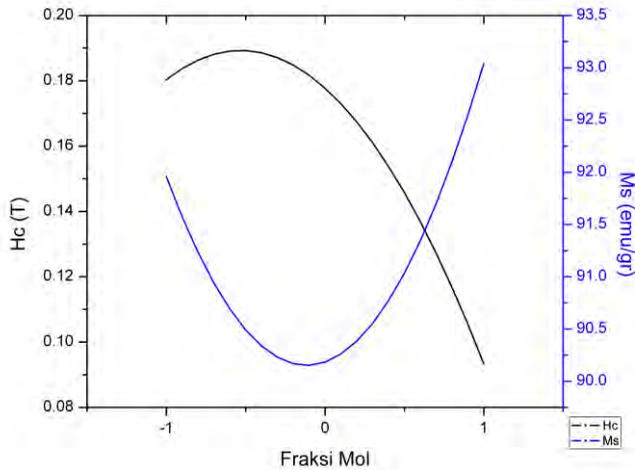
Selanjutnya untuk mendapatkan nilai  $M_s$  yang terjadi, nilai kode variabel proses sintesis yang diperoleh tersebut disubstitusikan ke dalam model  $M_s$ . Nilai  $M_s$  yang dapat dicapai adalah sebesar 87.6135 emu/gr.

#### 4.4 Pembahasan

Analisa hubungan antara perubahan nilai parameter proses terhadap sifat magnetik Barium heksaferrit (respon koersivitas dan magnetik saturasi) dilakukan dengan menginputkan nilai salah satu parameter proses dalam batasan -1 hingga 1 dan nilai dua parameter input lainnya dibuat konstan ke dalam persamaan  $H_c$  dan  $M_s$ . Hasil perhitungan dari persamaan tersebut kemudian dibuat grafik hubungan antara Parameter proses (Fraksi mol, pH, Temperatur sintering) dengan Koersivitas dan Magnetik saturasi. Nilai parameter input dan nilai respon  $H_c$  dan  $M_s$  dapat dilihat pada lampiran.

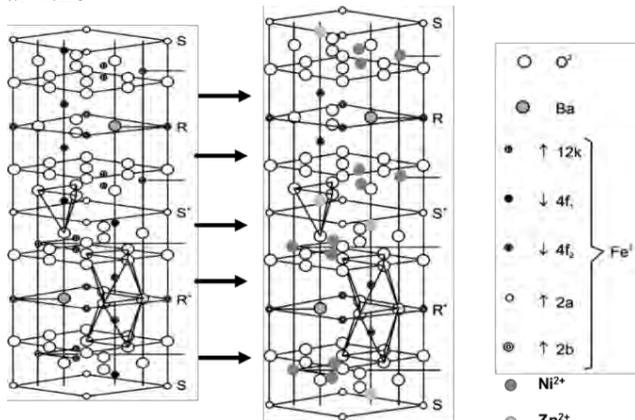
##### 4.4.1 Pengaruh Fraksi Mol terhadap Sifat Magnetik Barium Heksaferrit

Hubungan antara perubahan parameter proses Fraksi mol terhadap perubahan sifat magnetik barium heksaferrit dapat dilihat pada Gambar 4.27



**Gambar 4.27** Grafik hubungan antara perubahan Fraksi mol dengan Koersifitas dan Magnetik Saturasi

Pengaruh fraksi mol dopan terhadap sifat magnetik Barium heksaferrit dapat di jelaskan dengan meninjau mekanisme doping yang terjadi. Ilustrasi mekanisme doping Ni/Zn dapat dilihat pada Gambar 4.28



**Gambar 4.28** Ilustrasi pendopingan ion Ni/Zn pada barium heksaferrit  
**JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI**  
**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**  
**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**



Berdasarkan Jie Li, dkk (2015) dan D.A. Vinnik, dkk (2015), bahwa dalam struktur dasar Barium Heksaferrit, ion  $\text{Fe}^{3+}$  didistribusikan pada lima sublattices kristalografi yang berbeda, yaitu, tiga posisi octahedral ( $12k$ ,  $2a$  dan  $4f_2$ ), satu posisi tetrahedral ( $4f_1$ ) dan satu satu bipiramidal ( $2b$ ).  $12k$ ,  $2a$  dan  $2b$  memiliki konfigurasi  $p$  spin-up sementara  $4f_1$  dan  $4f_2$  memiliki konfigurasi spin-down. Ketika ion Ni dan Zn didopingkan pada Barium Heksaferrit akan menempati posisi yang berbeda dalam struktur kristal. Menurut teori ligan, ion  $\text{Ni}^{2+}$  lebih memilih untuk menempati posisi oktahedral karena konfigurasi  $d^8$  mereka, sedangkan ion  $\text{Zn}^{2+}$  lebih memilih menempati posisi tetrahedral.  $\text{Ni}^{2+}$  dan  $\text{Zn}^{2+}$  mensubstitusi ion  $\text{Fe}^{3+}$  pada kedua posisi tersebut.

Dari grafik  $H_c$  pada Gambar 4.27 dapat diketahui bahwa hubungan antara perubahan nilai fraksi mol dengan respon  $H_c$  adalah cenderung berbanding terbalik. Dimana dengan semakin tingginya nilai fraksi mol Ni/Zn yang di dopingkan pada sintesis Barium Heksaferrit maka nilai  $H_c$  yang diperoleh akan semakin menurun. Namun pada nilai  $x = -1$  (fraksi mol 0.2) hingga  $x = -0.5$  (fraksi mol 0.3) menunjukkan hal sebaliknya, grafik tersebut menunjukkan tren dimana nilai  $H_c$  mengalami sedikit kenaikan dengan penambahan nilai fraksi mol. Kondisi ini dapat terjadi karena single-ion anisotropy dari  $\text{Ni}^{2+}$  dan  $\text{Zn}^{2+}$  lebih kecil dibandingkan dengan ion  $\text{Fe}^{3+}$ . Maka substitusi Ni/Zn akan mengurangi total magnetocrystalline anisotropy ferit dan kemudian koersivitas juga akan turun.

Pada grafik  $M_s$  di Gambar 4.27 hubungan  $M_s$  dengan Fraksi mol tidak menunjukkan tren yang lurus seiring bertambahnya nilai Fraksi mol. Pada rentang antara  $x = -1$  (Fraksi mol 0.2) hingga  $x = -0.1$  (fraksi mol 0.38) grafik menunjukkan tren nilai  $M_s$  yang semakin turun seiring dengan penambahan nilai fraksi mol. Sedangkan pada rentang antara  $x = 0$  (Fraksi mol 0.4) hingga  $x = 1$  (Fraksi mol 0.6) grafik menunjukkan tren nilai  $M_s$  yang semakin naik seiring dengan kenaikan nilai Fraksi mol. Nilai Magnetik saturasi tergantung pada *superexchange interaction*, yang sensitif terhadap jarak dan sudut interatomik dalam substruktur oxoferrate.

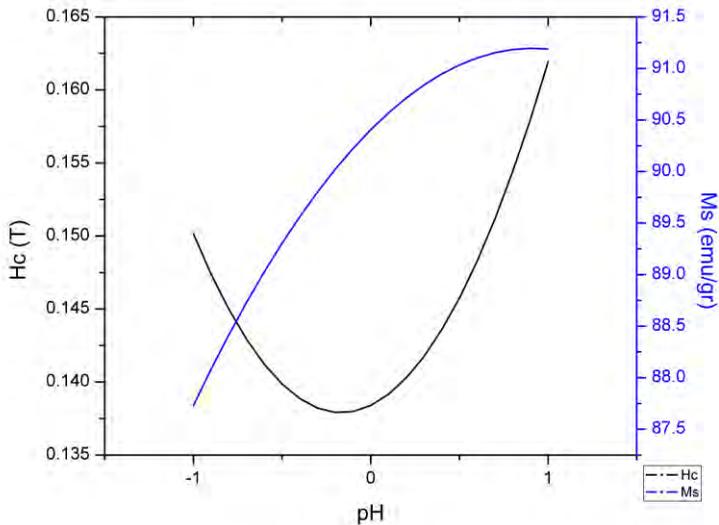


Substitusi  $\text{Fe}^{3+}$  oleh  $\text{Zn}^{2+}$  cenderung mengurangi *exchange interaction* sehingga menurunkan nilai  $M_s$  (D.A. Vinnik, 2015). Selain itu menurunnya nilai  $M_s$  disebabkan karena substitusi Ni yang terletak berdekatan dengan ion Fe menyebabkan distorsi struktural lokasi dan mengurangi *trigonal exchange interactions* yang selanjutnya menyebabkan menurunnya nilai  $M_s$  (Jie li, dkk, 2015).

Kondisi naiknya nilai  $M_s$  pada fraksi mol di atas 0.4 disebabkan karena ketika nilai substitusi semakin tinggi, maka kolinieritas yang terjadi pada *superexchange interactions* telah mengalami kerusakan (S. Kanagesan, 2013). Selain itu kecenderungan ion Ni/Zn yang mesubstitusi  $\text{Fe}^{3+}$  pada posisi spin down ( $4f_2$  dan  $4f_1$ ) juga turut mempengaruhi naiknya nilai  $M_s$ . Hal ini dijelaskan oleh G. Litsardakis (2008) bahwa substitusi ion  $\text{Fe}^{3+}$  pada konfigurasi spin-up (12k, 2a, 2b) akan menyebabkan penurunan magnetisasi saturasi, sedangkan substitusi pada spin-down ( $4f_1$ ,  $4f_2$ ) dapat menyebabkan peningkatan magnetisasi saturasi.

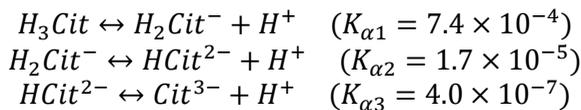
#### **4.4.2 Pengaruh pH terhadap Sifat Magnetik Barium Heksaferrit**

Hubungan antara perubahan parameter proses pH terhadap perubahan sifat magnetik barium heksaferrit dapat dilihat pada Gambar 4.29



**Gambar 4.29** Grafik hubungan antara perubahan pH dengan Koersifitas dan Magnetik Saturasi

Nilai pH yang digunakan pada sintesis Barium heksaferrit berpengaruh pada reaksi dari Asam sitrit selama proses sintesis. Asam sitrit adalah asam lemah dan mengalami reaksi disosiasi sebagai berikut:



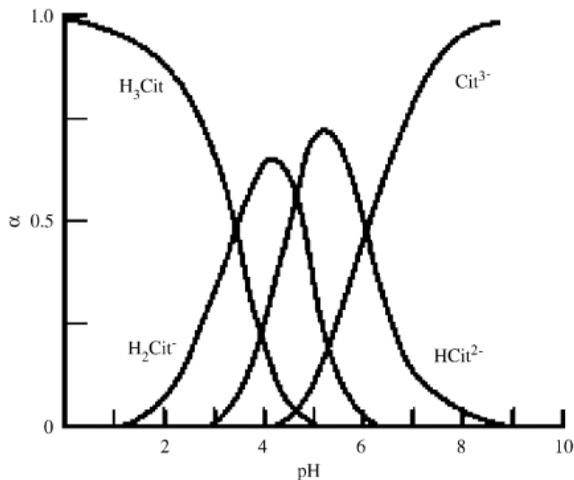
Dimana  $K_{\alpha 1}$ ,  $K_{\alpha 2}$ ,  $K_{\alpha 3}$  merupakan konstanta disosiasi yang nilainya dipengaruhi oleh nilai pH dan dideskripsikan sebagai berikut:

$$K_{\alpha 1} = \frac{[H_2Cit^-][H^+]}{[H_3Cit]}$$



$$K_{\alpha 2} = \frac{[HCit^{2-}][H^+]}{[H_2Cit^-]}$$
$$K_{\alpha 3} = \frac{[Cit^{3-}][H^+]}{[HCit^{2-}]}$$

Dari rumus tersebut dapat diketahui bahwa distribusi ion dari asam sitrit pada saat bereaksi dipengaruhi oleh nilai pH. Distribusi ion dari asam sitrit pada pH yang berbeda dapat dilihat pada Gambar 4.30



**Gambar 4.30** Distribusi Ion Asam Sitrit pada Perubahan pH  
(Guoqing Xu, 2005)

Ketika pH rendah, asam sitrat ( $H_3Cit$ ) mulai muncul dalam sebagai  $H_3Cit$  dan  $H_2Cit^-$ . Dengan kenaikan nilai pH, bentuk utama berubah menjadi  $HCit^{2-}$ , dan akhirnya menjadi  $Cit^{3-}$ . Karena senyawa koordinasi seperti  $BaH_2$ ,  $Cit^+$  dan  $FeH_2Cit^{2+}$  bersifat tidak stabil, maka sulit bagi senyawa-senyawa tersebut untuk membentuk sitrat stabil. Ketika nilai pH meningkat, jumlah ion  $HCit^{2-}$  dan  $Cit^{3+}$  juga bertambah sehingga dapat menghasilkan sitrat stabil yang dapat membuat  $Fe^{3+}$  dan  $Ba^{2+}$  terdistribusi secara homogen dalam larutan. Kehomogenan inilah



yang berpengaruh pada pembentukan butiran dari barium heksaferrit yang pada akhirnya akan berpengaruh pada sifat magnetik dari barium heksaferrit.

Dari Gambar 4.29 dapat diketahui hubungan  $H_c$  dengan pH tidak menunjukkan tren yang lurus seiring bertambahnya nilai pH. Pada rentang antara  $x = -1$  (pH 7) hingga  $x = -0.2$  (pH 8.6) grafik menunjukkan tren nilai  $H_c$  yang semakin turun seiring dengan pertambahan nilai pH. Sedangkan pada rentang antara  $x = -0.1$  (pH 8.8) hingga  $x = 1$  (pH 11) grafik menunjukkan tren nilai  $H_c$  yang semakin naik seiring dengan kenaikan nilai pH.

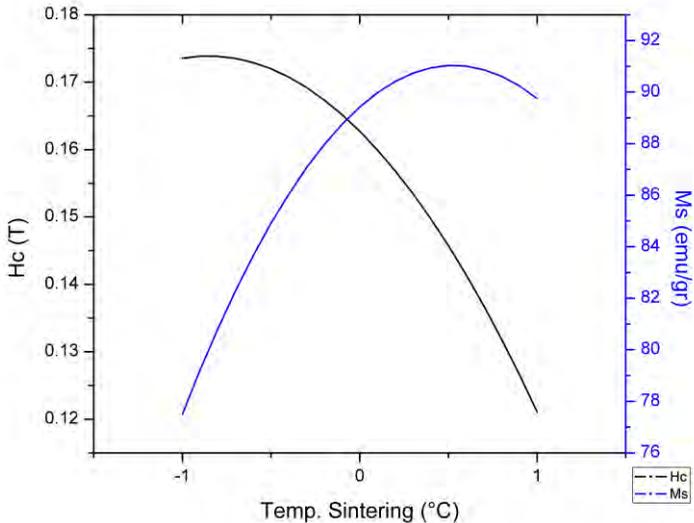
Menurut penelitian dari Talwinder Kaur dan AK Srivastava (2013) terjadinya penurunan nilai koersivitas seiring dengan kenaikan pH mengindikasikan bahwa rata-rata ukuran domain magnetik dari partikel meningkat dan lebih banyak *atomic spins* yang diterima serta lebih searah dengan arah medan magnet yang digunakan. Sedangkan pada rentang pH yang mengalami penyimpangan dimana kenaikan nilai pH diikuti dengan kenaikan nilai  $H_c$  dapat dijelaskan dengan penelitian dari Guoqing Xu, dkk (2005) yang menyebutkan bahwa pada  $\text{pH} > 10$  kurang sesuai untuk pembentukan *well-crystalline powder*.

Grafik hubungan nilai pH dengan nilai Magnetik saturasi pada Gambar 4.29 menunjukkan bahwa pada rentang  $x = -1$  (pH 7) hingga  $x = 1$  (pH 11) perubahan nilai Magnetik saturasi berbanding lurus dengan kenaikan pH. Nilai Magnetik saturasi akan semakin besar seiring dengan kenaikan nilai pH. Menurut Talwinder (2013), peningkatan nilai pH akan meningkatkan nilai  $M_s$ . Hal ini dikarenakan ketika pH dinaikkan, maka pembentukan single fasa  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$  semakin tinggi. Sehingga ukuran kristalnya dan ukuran domain magnetiknya juga semakin besar. Hal ini mengakibatkan jumlah spin menjadi lebih banyak dan arah spin menjadi lebih searah, sehingga kapasitas magnetisasi menjadi lebih besar.



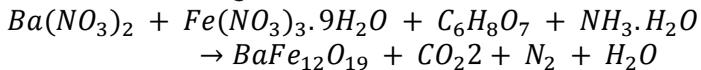
#### 4.4.3 Pengaruh Temperatur Sintering terhadap Sifat Magnetik Barium Heksaferrit

Hubungan antara perubahan parameter proses Temperatur Sintering terhadap perubahan sifat magnetik barium heksaferrit dapat dilihat pada Gambar 4.31

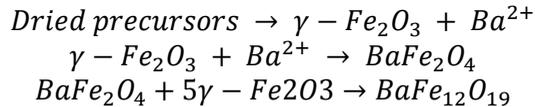


**Gambar 4.31** Grafik hubungan antara perubahan Temperatur Sintering dengan Koersifitas dan Magnetik Saturasi

Reaksi secara umum yang terjadi pada sintesis Barium heksaferrit adalah sebagai berikut:



Ketika precursor kering dipanaskan, maka akan terjadi reaksi sebagai berikut:



Temperatur sintering digunakan pada reaksi  $\text{BaFe}_2\text{O}_4 + 5\gamma - \text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ . Karena itulah peningkatan temperatur akan berpengaruh terhadap reaktivitas pembentukan  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$  karena pada saat perlakuan panas (sintering) berlangsung, oksida logam barium dan besi mulai bereaksi. Peningkatan temperatur sintering juga mempengaruhi morfologi dan sifat magnetik hasil sintesis.

Dari grafik hubungan temperatur sintering dengan nilai koersivitas pada Gambar 4.31 dapat diketahui bahwa pada rentang  $x = -1$  (Temperatur Sintering  $850^\circ\text{C}$ ) hingga  $x = 1$  (Temperatur Sintering  $1050^\circ\text{C}$ ) nilai perubahan nilai koersivitas berbanding terbalik dengan kenaikan temperatur sintering. S.R. Janasi (2000) menyatakan bahwa dengan peningkatan temperatur sintering, pertumbuhan partikel terjadi, dengan akibat terjadinya pengurangan koersivitas intrinsik. Joonghoe Dho, dkk (2004) menyebutkan bahwa *magnetization pinning* pada batas butir adalah penyebab yang paling mungkin dalam penentuan nilai koersivitas. Kenaikan temperatur sintering akan berakibat pada semakin bertumbuhnya ukuran butir. Pada saat ukuran butiran kecil, batas butir dapat bertindak sebagai pusat *pinning*, yang dapat menghalangi gerakan dinding domain dan / atau domain nukleasi. Di sisi lain, ketika ukuran butir membesar maka akan menjadi *multidomain state*, sehingga koersivitas yang disebabkan oleh faktor intrinsik dalam butir akan menjadi sangat kecil. Karena itulah dapat disimpulkan bahwa dengan kenaikan nilai temperature sintering akan memperkecil nilai koersivitas (Hc).

Dari Gambar 4.31 dapat diketahui bahwa secara umum hubungan antara perubahan nilai Temperatur sintering dengan respon  $M_s$  adalah cenderung berbanding lurus. Dimana dengan semakin tingginya nilai Temperatur sintering yang digunakan pada sintesis Barium Heksaferrit maka nilai  $M_s$  yang diperoleh akan semakin naik. Namun pada nilai  $x = 0.9$  (Temperatur sintering



1040°C) hingga  $x = 1$  (Temperatur sintering 1050°C) menunjukkan hal sebaliknya, grafik menunjukkan tren nilai  $M_s$  yang sedikit menurun dengan kenaikan nilai Temperatur sintering. Hasil grafik ini sama dengan hasil penelitian dari Ping Ren, dkk (2005) yang melakukan sintesis Barium heksaferriti dengan variasi temperatur dalam rentang 600° hingga 1200°C. Hasil penelitian tersebut menyatakan bahwa nilai  $M_s$  meningkat dengan signifikan pada temperatur 600-1000°C, dan mengalami sedikit kenaikan pada temperature antara 1000°C dan 1200°C. Kenaikan  $M_s$  secara signifikan berkaitan dengan peningkatan jumlah fase  $BaFe_{12}O_{19}$  dan terjadinya sedikit kenaikan  $M_s$  pada 1000-1200°C disebabkan karena terjadinya pengasaran butir.



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## LAMPIRAN

**Lampiran 1** Input grafik hubungan antara perubahan Fraksi mol dengan Koersifitas

Fraksi Mol	pH	Temp Sintering	Hc
-1	0.5	0.5	0.18031626
-0.9	0.5	0.5	0.183740583
-0.8	0.5	0.5	0.186346492
-0.7	0.5	0.5	0.188133987
-0.6	0.5	0.5	0.189103068
-0.5	0.5	0.5	0.189253735
-0.4	0.5	0.5	0.188585988
-0.3	0.5	0.5	0.187099827
-0.2	0.5	0.5	0.184795252
-0.1	0.5	0.5	0.181672263
0	0.5	0.5	0.17773086
0.1	0.5	0.5	0.172971043
0.2	0.5	0.5	0.167392812
0.3	0.5	0.5	0.160996167
0.4	0.5	0.5	0.153781108
0.5	0.5	0.5	0.145747635
0.6	0.5	0.5	0.136895748
0.7	0.5	0.5	0.127225447
0.8	0.5	0.5	0.116736732
0.9	0.5	0.5	0.105429603
1	0.5	0.5	0.09330406

**Lampiran 2** Input grafik hubungan antara perubahan pH dengan Koersifitas

Fraksi Mol	pH	Temp Sintering	Hc
0.5	-1	0.5	0.150157
0.5	-0.9	0.5	0.147392
0.5	-0.8	0.5	0.144981
0.5	-0.7	0.5	0.142922
0.5	-0.6	0.5	0.141216
0.5	-0.5	0.5	0.139863
0.5	-0.4	0.5	0.138863
0.5	-0.3	0.5	0.138216
0.5	-0.2	0.5	0.137922
0.5	-0.1	0.5	0.137981
0.5	0	0.5	0.138393
0.5	0.1	0.5	0.139158
0.5	0.2	0.5	0.140276
0.5	0.3	0.5	0.141747
0.5	0.4	0.5	0.143571
0.5	0.5	0.5	0.145748
0.5	0.6	0.5	0.148277
0.5	0.7	0.5	0.151116
0.5	0.8	0.5	0.154396
0.5	0.9	0.5	0.157985
0.5	1	0.5	0.161926

**Lampiran 3** Input grafik hubungan antara perubahan Temperatur Sintering dengan Koersifitas

Fraksi Mol	pH	Temp Sintering	Hc
0.5	0.5	-1	0.173555
0.5	0.5	-0.9	0.173858
0.5	0.5	-0.8	0.173853
0.5	0.5	-0.7	0.17354
0.5	0.5	-0.6	0.172919
0.5	0.5	-0.5	0.17199
0.5	0.5	-0.4	0.170753
0.5	0.5	-0.3	0.169207
0.5	0.5	-0.2	0.167353
0.5	0.5	-0.1	0.165191
0.5	0.5	0	0.162721
0.5	0.5	0.1	0.159943
0.5	0.5	0.2	0.156856
0.5	0.5	0.3	0.153462
0.5	0.5	0.4	0.149759
0.5	0.5	0.5	0.145748
0.5	0.5	0.6	0.141428
0.5	0.5	0.7	0.136801
0.5	0.5	0.8	0.131865
0.5	0.5	0.9	0.126622
0.5	0.5	1	0.12107

**Lampiran 4** Input grafik hubungan antara perubahan Fraksi Mol dengan Magnetik Saturasi

Fraksi Mol	pH	Temp Sintering	Ms
-1	0.5	0.5	91.957
-0.9	0.5	0.5	91.57117
-0.8	0.5	0.5	91.23166
-0.7	0.5	0.5	90.93849
-0.6	0.5	0.5	90.69164
-0.5	0.5	0.5	90.49113
-0.4	0.5	0.5	90.33694
-0.3	0.5	0.5	90.22909
-0.2	0.5	0.5	90.16756
-0.1	0.5	0.5	90.15237
0	0.5	0.5	90.1835
0.1	0.5	0.5	90.26097
0.2	0.5	0.5	90.38476
0.3	0.5	0.5	90.55489
0.4	0.5	0.5	90.77134
0.5	0.5	0.5	91.03413
0.6	0.5	0.5	91.34324
0.7	0.5	0.5	91.69869
0.8	0.5	0.5	92.10046
0.9	0.5	0.5	92.54857
1	0.5	0.5	93.043

**Lampiran 5** Input grafik hubungan antara perubahan pH dengan Magnetik Saturasi

Fraksi Mol	pH	Temp Sintering	Ms
0.5	-1	0.5	87.72903
0.5	-0.9	0.5	88.08207
0.5	-0.8	0.5	88.41616
0.5	-0.7	0.5	88.73129
0.5	-0.6	0.5	89.02746
0.5	-0.5	0.5	89.30468
0.5	-0.4	0.5	89.56293
0.5	-0.3	0.5	89.80223
0.5	-0.2	0.5	90.02257
0.5	-0.1	0.5	90.22395
0.5	0	0.5	90.40638
0.5	0.1	0.5	90.56984
0.5	0.2	0.5	90.71435
0.5	0.3	0.5	90.8399
0.5	0.4	0.5	90.94649
0.5	0.5	0.5	91.03413
0.5	0.6	0.5	91.1028
0.5	0.7	0.5	91.15252
0.5	0.8	0.5	91.18328
0.5	0.9	0.5	91.19508
0.5	1	0.5	91.18793

**Lampiran 6** Input grafik hubungan antara perubahan Temperatur Sintering dengan Magnetik Saturasi

Fraksi Mol	pH	Temp Sintering	Ms
0.5	0.5	-1	77.50195
0.5	0.5	-0.9	79.21551
0.5	0.5	-0.8	80.81315
0.5	0.5	-0.7	82.29487
0.5	0.5	-0.6	83.66068
0.5	0.5	-0.5	84.91058
0.5	0.5	-0.4	86.04455
0.5	0.5	-0.3	87.06261
0.5	0.5	-0.2	87.96476
0.5	0.5	-0.1	88.75099
0.5	0.5	0	89.4213
0.5	0.5	0.1	89.9757
0.5	0.5	0.2	90.41418
0.5	0.5	0.3	90.73674
0.5	0.5	0.4	90.94339
0.5	0.5	0.5	91.03413
0.5	0.5	0.6	91.00894
0.5	0.5	0.7	90.86784
0.5	0.5	0.8	90.61083
0.5	0.5	0.9	90.2379
0.5	0.5	1	89.74905



---

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Nilai optimum Sifat Magnetik Barium Heksaferrit dapat dicapai pada kondisi fraksi mol 0.6, pH 7.64, dan temperatur sintering 1050°C dengan menghasilkan nilai Hc sebesar 0.03839 T dan nilai Ms sebesar 87.6135 emu/g. Nilai tersebut dapat dicapai dengan pengaturan kondisi sintesis Barium Heksaferrit pada saat eksperimental.
2. Pemberian variasi parameter proses memberikan pengaruh yang berbeda terhadap perubahan nilai Hc dan Ms.  
Kenaikan nilai fraksi mol cenderung menurunkan nilai Hc dan menaikkan nilai Ms, namun pada kondisi fraksi mol dopan rendah nilai Ms sedikit mengalami penurunan seiring penambahan nilai fraksi mol.  
Pada kondisi pH rendah kenaikan pH cenderung menurunkan nilai Hc, namun pada pH tinggi cenderung membuat nilai Hc semakin naik. Sedangkan pada nilai Ms semakin naik dengan kenaikan pH.  
Kenaikan nilai temperatur sintering memiliki efek yang berkebalikan pada nilai Hc dan Ms. Pada nilai Hc kenaikan temperatur membuat nilai Hc semakin menurun, sedangkan nilai Ms semakin naik dengan kenaikan temperatur.

### 2.2 Saran

Adapun saran untuk mengoptimalkan hasil dari penelitian kali ini adalah

1. Menggunakan data primer hasil pegujian sintesis sebagai sumber data untuk analisa RSM
2. Melakukan confirmation experiment pada tahap akhir sebagai uji validasi dari hasil analisa RSM



*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## DAFTAR PUSTAKA

- Angeles, A. Gonzalez, G Mendoza Suarez. 2005. **“A Gruskova, M.Papanova, J Slama. “Magnetic studies of Zn-TI substituted Barium Hexaferrite prepared by mechanical milling”**. Material Letters, 59:26-31
- Agustianto, Rizki, Widyastuti. 2015. **“Analisis Pengaruh Variasi Fraksi Mol Dopan Ni/Zn dan Temperatur Sinter Terhadap Sifat Magnetik dan Struktur Mikro Pada Barium Heksaferrit”**. Tesis Program Magister Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS
- Ahmad ,Yusof .2005. **“The Development Of Microwave Aborber From Oil Palm Shell Carbon”**. Thesis of the degree of Master in Faculty of Mechanical Engineering-Universiti Teknologi Malaysia
- Akbar, Amirul. 2015. **“Optimasi Multi Respon pada Proses EDM Sinking dengan Menggunakan Response Surface Methodology dan Non-Linear Programming”**. Tugas Akhir S1 Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS
- Alviani, A Marsha, Widyastuti. 2015. **“Analisa Pengaruh Dopan Ni-Zn Dengan Variasi Temperatur Sintering Dan Variasi Ph Terhadap Struktur Mikro Dan Sifat Magnetik Barium Heksaferrit Dengan Metode Sol-Gel Auto Combustion”**. Tugas Akhir S1 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI – ITS
- Ambarwanti, Desyani, Erfan Handoko, Mangasi Alion Marpaung. 2014. **“Struktur dan Sifat Kemagnetan Material Magnet  $BaFe_{12}Mn_xZn_xO_{19}$  yang Disiapkan dengan Metode Ultrasonic Mixing”**. Prosiding Pertemuan Ilmiah XXVIII HFI Jateng & DIY. Yogyakarta
- Atmadja, Eka Yulian Andhi. 2012. **“Aplikasi Tungsten Trioksida ( $WO_3$ )Thin Film Hasil Proses Sol-Gel dan Post Hydrothermal Sebagai Material Sensor Gas Carbon Monoksida”**. Tugas Akhir S1 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI - ITS.



- B., Feng Y., Qiu T., Shen C.Y.. 2007. **“Absorbing Properties and Structural Design of Microwave Absorbers Based on Carbonyl Iron and Barium Ferrite”**, Journal of Magnetism and Magnetic Materials 318, 8-13
- Chauhan, Pooja. 2010. **“Preparation and Characterization of Barium Hexaferrite by Barium Monoferrite”**. Dissertation submitted Master of Technology in School of Physics & Material Science Thapar University Patiala.
- D, Aninditha Kemala, Riara Novita. 2012. **“Design Of Experiments Sebagai Salah Satu Pendekatan Peningkatan Kualitas Produk Di Industri Manufaktur”**. Depok: Departemen Teknik Industri, Fakultas Teknik Universitas Indonesia
- Dho, Joonghoe, E.K. Lee, J.Y. Park, N.H. Hur. 2005. **“Effects of the grain boundary on the coercivity of barium ferrite  $BaFe_{12}O_{19}$ ”**, Journal of Magnetism and Magnetic Materials 285 164–168
- Diler EA, Ipek R. 2012. **“An experimental and statistical study of interaction effects of matrix particle size, reinforcement particle size and volume fraction on the flexural strength of Al–SiCp composites by P/M using central composite design”**. Mater Sci Eng C, 548: 43–55.
- Fisher, R. A. 1935. **“The design of experiments”**. Edinburgh, Scotland: Oliver and Boyd.
- G., Litsardakis, Manolakis, I., Stergiou, A.C., Serletis, C., Efthimiadis, K.G.2008. **IEEE Trans. Magn.** 44, 4222
- Gatti, C. 2015. **“Design of Experiments for Reinforcement Learning”**. Switzerland. Springer International Publishing Switzerland
- G. Xu, H. Ma, M. Zhong, et al.. 2006. **“Journal of Magnetism and Magnetic Materials 301”**: 383–388.
- Iriawan, N., Astuti S.P. 2006. **“Mengolah Data Statistik dengan Menggunakan Minitab 14”**. Yogyakarta: Andi



- J.L. Went, G.W. Ratenau, E.W. Gorter, G.W. van Oosterhout, Ferroxdure. 1952. **“Philips Technical Review 13”**: 194–208.
- Janasi, S.R., M. Emura, F.J.G. Landgraf, D. Rodrigues. 2002. **“The effects of synthesis variables on the magnetic properties of coprecipitated barium ferrite powders”**, Journal of Magnetism and Magnetic Materials 238 168–172
- Junliang, Liu, Zhang Wei, Guo Cuijing, Zeng Yanwei. 2009. **“Synthesis and magnetic properties of quasi-single domain M-type barium hexaferrite powders via sol–gel auto-combustion: Effects of pH and the ratio of citric acid to metal ions (CA/M)”**. Journal of Alloys and Compounds 479, hal 863–869
- Kanagesan, S., M. Hashim, S. Jesurani, T. Kalaivani, I. Ismail. 2014. **“Influence of Zn–Nb on the Magnetic Properties of Barium Hexaferrite”**, J Supercond Nov Magn: Springer Science+Business Media New York 27:811–815
- Kaur, Talwinder, AK Srivastava. 2013. **“Effect of pH on Magnetic Properties of Doped Barium Hexaferrite”**. International Journal Of Research In Mechanical Engineering & Technology Vol. 3, Issue 2. 171-173
- Kehoe, S., J. Stokes. 2011. **“Box-Behnken Design of Experiments Investigation of Hydroxyapatite Synthesis for Orthopedic Applications”**. Journal of Materials Engineering and Performance 20 (2) March 2011:306-316
- Li, Jie, Huaiwu Zhang, V.G. Harris, Yulong Liao, Yingli Liu. 2015. **“NieTi equiatomic co-substitution of hexagonal M-type Ba(NiTi)<sub>x</sub>Fe<sub>12-2x</sub>O<sub>19</sub> ferrites ”**. Journal of Alloys and Compounds 649 782-787
- Lillesand, T.M. dan R.W. Kiefer. 2000. **“Remote Sensing and Image Interpretation”**. New York: John Willey and Sons.
- Lisjak, Darja, Kirsten Bobzin, Katharina Richardt, dkk. 2009. **“Preparation of barium hexaferrite coatings using atmospheric plasma spraying”**. Journal of the European Ceramic Society 29, hal 2333–2341



- Mohammadzadeh, A., M. Ramezani, A.M. Ghaedi. 2015. **“Synthesis and characterization of  $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-ZnO-ZnFe}_2\text{O}_4$ /carbon nanocomposite and its application to removal of bromophenol blue dye using ultrasonic assisted method: Optimization by response surface methodology and genetic algorithm”**. Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers 000, hal 1–10
- Montgomery, D. C. 2008. **“Design and Analysis of Experiments (7th edition)”**. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.
- Montgomery, D. C. 2012. **“Design and Analysis of Experiments (8th edition)”**. Arizona State: John Wiley & Sons, Inc.
- Myers, R. H. & Montgomery, D. C. (2002). **“Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments (2nd edition)”**. New York, NY: Wiley-Interscience.
- NIST/SEMATECH **e-Handbook of Statistical Methods**, <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/>, 5 Maret 2016
- Park, M.-W. & Kim, Y.-D. 1998. **“A systematic procedure for setting parameters in simulated annealing algorithms”**. Computers & Operations Research, 25(3), 207–217
- Purwanti, Endang Pudji, Ferihan Pilarian. 2013. **“Optimasi Parameter Proses Pemotongan Stainless Steel Sus 304 Untuk Kekasaran Permukaan Dengan Metode Response Surface”**. Prosiding Seminar Nasional Matematika dan Pendidikan Matematika FMIPA UNY. Yogyakarta, 9 November 2013
- Ren, Ping, JianGuo Guan, XuDong Cheng. 2006. **“Influence of heat treatment conditions on the structure and magnetic properties of barium ferrite  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$  hollow microspheres of low density”**. Materials Chemistry and Physics 98 90–94
- Ridho, M.Dwi Febri, Widyastuti. 2015. **“Analisa Sifat Magnetik dan Morfologi Barium Heksaferrit dengan Variasi Fraksi Mol Ni – Zn dan Ph dengan Metode Sol-Gel”**



- Auto Combustion**". Tugas Akhir S1 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI - ITS.
- Santoso, Budi. 2008. **"Matlab untuk Statistik & Teknik Optimasi Aplikasi untuk Rekeyasa dan Bisnis"**. Yogyakarta: Graha Ilmu
- Saville, Paul. 2005. **"Review of Radar Absorbing Materials"**. Canada: Defence R&D Canada -Atlantic
- S. Sugimoto, S. Kpndo, K. Okayama, et al.. 1999. **"IEEE Transactions on Magnetics 35"**: 3154–3156.
- S. Xiaoyu, S. Matthias, H. Kryder Mark, et al.. 1996. **"Journal of Magnetism and Magnetic Materials 155"**: 132–139.
- Vinnik D.A., A.S. Semisalova, L.S. Mashkovtseva, A.K. Yakushechkina, S. Nemrava, S.A. Gudkova, D.A. Zherebtsov, N.S. Perov, L.I. Isaenko, R. Niewa. 2015. **"Growth, structural and magnetic characterization of Zn-substituted barium hexaferrite single crystals"**. Materials Chemistry and Physics 163.416-420
- Wang, Guilong, Guoqun Zhao, Yanjin Guan. 2011. **"Research on optimum heating system design for rapid thermal response mold with electric heating based on response surface methodology and particle swarm optimization"**. Journal of Applied Polymer Science 15 (January): 902–921
- Wibawa, Bayu Nugraha. 2011. **"Pengaruh Presentase Berat Grafit dalam Barium Heksaferrit ( $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ ) dan Ketebalan Lapisan terhadap Reflection Loss pada Komposit RAM"**. Tugas Akhir S1 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI - ITS.
- Winston, L. W. 2004. **"Operation Research : Applications and Algorithms 4th ed"**. Duxbury: New York.
- X. Tang, Xin. 2005. **"Influence of Synthesis Variables on The Phase Component and Magnetic Properties of M Hexaferrite Powders Prepared Via Sugar"**. Nitrates Process. Journal Of Material Science. ISSN 0022. – 2461



- Xu, Guoqing, Hongliang Ma, Minjian Zhong, Jiong Zhou, Yuezong Yue, Zhengming He. 2006. **“Influence of pH on characteristics of BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub> powder prepared by sol-gel auto-combustion”**. Journal of Magnetism and Magnetic Materials 301
- Zainuri M., 2010, **”Laporan Akhir Studi Absorpsi Elektromagnetik pada M-Hexaferrites untuk Aplikasi Anti Radar”**, Ristek, ITS Surabaya.
- Zhou ,K. S.,H.Xia ,K.-L.Huang, L. Wang,Y.-P. Zhou, S.-H.Gao. 2009. **“Physica B, 404”**. 175

## BIODATA PENULIS



Penulis bernama Andika Yoga Pradana dengan nama panggilan Yoga. Lahir di Kota Ponorogo pada tanggal 16 Mei 1994. Penulis merupakan anak pertama dari 2 bersaudara, putra dari Bapak Jais dan Ibu Supini. Penulis mengawali jenjang pendidikan di SDN 1 Bulu Lor, kemudian dilanjutkan ke SMP Negeri 1 Kauman, SMA Negeri 1 Ponorogo, hingga saat ini sedang menempuh pendidikan S1 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Institut

Teknologi Sepuluh Nopember. Selama masa kuliah ini, penulis sempat aktif di beberapa kegiatan dan organisasi kampus antara lain sebagai panitia Young Engineering and Scientist Summit 2013, Staff Dept. Keilmiah HMMT FTI ITS 2013/2014, Staff Div. PKM Klub Keilmiah ITS, Staff Dept. Syiar LDJ Ash Habul Kahfi, serta Staff Komisi B BSO FSLDK JMMI ITS, dan sebagai Kepala Dept. Keilmiah HMMT FTI ITS 2014/2015 serta pernah menjadi Koordinator Asisten Laboratorium Fisika Material. Semenjak tahun 2014 hingga 2016, penulis juga berkesempatan mendapat Beasiswa dan Pembinaan di bawah lembaga Rumah Kepemimpinan PPSDMS. Untuk bidang penalaran, penulis sempat meloloskan 3 judul penelitian dalam PKM pada tahun pendanaan. Penulis juga pernah melaksanakan kerja praktek di PT. Cilegon Fabricators (Persero). Penulis menutup kuliah di kampus dengan Tugas Akhir berjudul ***“Optimasi Parameter Proses Sol Gel Auto Combustion pada Sintesis Barium Heksaferrit untuk Aplikasi Radar Absorbing Material (RAM) dengan Menggunakan Response Surface Methodology (RSM) dan Non-Linear Programming”***.

Email : andika.yoga.pradana@gmail.com