



**ANALISIS MAGNETOSTATIK PADA TRANSFORMATOR
DISTRIBUSI DENGAN METODE *FINITE ELEMENT*
MENGUNAKAN *SOFTWARE ANSYS*[®] R15.0**

SKRIPSI

Oleh

Rizdha Yusufik

NIM 101910201096

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2014**



**ANALISIS MAGNETOSTATIK PADA TRANSFORMATOR DISTRIBUSI
DENGAN METODE *FINITE ELEMENT* MENGGUNAKAN *SOFTWARE*
ANSYS® R15.0**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Elektro (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

Rizdha Yusfik
NIM 101910201096

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2014**

PERSEMBAHAN

Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan, sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan

(Q.S. Al-Insyirah : 5-6)

الْحَمْدُ لِلَّهِ رَبِّ الْعَالَمِينَ

Skripsi ini dipersembahkan untuk:

- ♥ Papa Mama ku tersayang Alm. Yusufik May dan Almh. Yelmi Rozita Zein, Umak Almh. Rosna Rahman, terima kasih atas do'a, cinta, kasih sayang, didikan, kepercayaan dan pengorbanan untukku. 🥺
- ♥ Uni Yuke Fikmy, Uni Ulfi Meldia, Uda Yadri Yaldi, Cece Muthia Yusufik, Uda Israr, Uda Arif Budiman, keluarga terbaik yang selalu mendo'akan, memberi motivasi, dan membuatku selalu optimis selama ini, terimakasih atas dukungan moril dan materiil agar aku dapat menyelesaikan masa studi 🥰. Dan si kecil Farras Dzamar Budiman sebagai penghiburku. 🥰
- ♥ Bapak Bambang Sri Kaloko dan Bapak Samsul Bachri terima kasih atas kesabaran dan saran yang diberikan dan bersedia membimbing dalam mengerjakan skripsi ini sampai selesai. Dan Bapak Bambang Supeno terimakasih atas dukungan dan perhatiannya. 😊
- ♥ Sahabat² terbaik, Aong (Diah A.O.), Minuk (Intan M.), Redia Irawan, Ageng Widya S. yang menemani saat susah dan senang. 🥰
- ♥ Rjdh R. terimakasih untuk kesabaran dan perhatiannya. 🍌
- ♥ Sahabat² Teknik Elektro Universitas Jember angkatan 2020 yang mewarnai masa-masa kuliah di Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember, terimakasih untuk motivasi dan inspirasi yang Kalian berikan. 🍌
- ♥ Teman² kostan "Pondokku" yang menjadi keluarga baruku selama masa kuliah. 🥰
- ♥ Guru-guruku sejak TK , SD, SMP, SMU, sampai PT yang terhormat, terima kasih telah memberikan ilmu dan mendidik dengan penuh keikhlasan dan kesabaran. 🥰
- ♥ Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember

MOTTO

“Sesungguhnya Allah tidak akan merubah nasib suatu kaum, kecuali kaum itu sendiri yang merubah nasibnya”

(QS. Ar-Ra’ad: 11)

“Demi masa, sesungguhnya manusia dalam kerugian, kecuali orang-orang yang beriman dan beramal saleh, dan saling nasehat-menasehati supaya mentaati kebenaran dan saling nasehat-menasehati supaya menetapi kesabaran”

(QS. Al ‘Ashr: 1-3)

“Dialah yang menjadikan Bumi itu mudah bagi kamu, maka berjalanlah di segala penjurunya dan makanlah sebagian dari rezeki-Nya. Dan hanya kepada-Nya lah kamu (setelah itu) dibangkitkan”

(QS. Al Mulk: 15)

“Jika tak ada bahu lagi yang dijadikan tempat tuk bersandar, bersyukurlah masih ada lantai tempat untuk bersujud kepada Allah SWT”

(IMS)

“Seseorang dengan tujuan yang jelas akan membuat kemajuan walaupun melalui jalan yang sulit. Seseorang yang tanpa tujuan, tidak akan membuat kemajuan walaupun di jalan yang mulus”

(Thomas Carlyle)

“Jika Anda gagal dalam berencana, berarti Anda sedang berencana untuk gagal”

(Marwah Daud)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Rizdha Yusfik

NIM : 101910201096

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya tulis yang berjudul : “Analisis Magnetostatik pada Transformator Distribusi dengan Metode *Finite Element* Menggunakan *Software Ansys*[®] R15.0” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada institusi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 3 Oktober 2014

Yang menyatakan,

Rizdha Yusfik

NIM . 101910201096

SKRIPSI

ANALISIS MAGNETOSTATIK PADA TRANSFORMATOR DISTRIBUSI DENGAN METODE *FINITE ELEMENT* MENGUNAKAN *SOFTWARE ANSYS® R15.0*

Oleh

Rizdha Yusfik

NIM 101910201096

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Samsul Bachri M. S.T., M.MT.

Dosen Pembimbing Anggota : Dr. Bambang Sri Kaloko S.T., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Analisis Magnetostatik pada Transformator Distribusi dengan Metode *Finite Element* Menggunakan *Software Ansys*[®] R15.0” telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember pada :

Hari : Jum’at

Tanggal : 3 Oktober 2014

Tempat : Program Studi S1 Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas
Jember

Tim Penguji

Pembimbing Utama,

Pembimbing Anggota,

Samsul Bachri M., S.T., M.MT.
NIP.196403171998021001

Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T.
NIP. 197104022003121001

Penguji I,

Penguji II,

Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T.
NIP. 197008261997021001

Bambang Supeno, ST., M.T
NIP. 19690630 1995121001

Mengesahkan

Dekan Fakultas Teknik,

Ir. Widyono Hadi, M.T.
NIP 196104141989021001

*Analisis Magnetostatik pada Transformator Distribusi dengan Metode Finite
Element Menggunakan Software Ansys® R15.0*

Rizdha Yusfik

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember

ABSTRAK

Pemecahan umum untuk intensitas medan magnetik dan kerapatan fluks magnetik dalam susunan geometri yang kompleks adalah sangat rumit. Sehingga untuk mempermudah, maka dilakukan perhitungan dengan metode finite element yang dikomputasikan dengan software ANSYS® R15. Penelitian ini dilakukan pada transformator distribusi 3 fasa, Dy1, 400 kVA, 22kV/400V, tipe transformator distribusi yaitu tipe core transformator, frekuensi transformator sebesar 50 Hz. Dengan metode *finite element*, hasil *meshing* dengan metode *quadratic tetrahedron* jumlah *node* dan *element* yang dihasilkan yaitu 140708 *nodes* dan 102326 *elements*. Analisis magnetostatik terdiri atas analisis kerapatan arus, kerapatan fluks magnetik, intensitas medan magnet, dan gaya total. Nilai minimum kerapatan arus terdapat pada bagian kumparan sec1 dengan nilai 0 A/m² dan nilai maksimum kerapatan arus terdapat pada bagian kumparan prim3 dengan nilai kerapatan arus sebesar 1000.3 A/m². Nilai maksimum kerapatan fluks magnetik sebesar 3.1407×10^{-2} T, intensitas medan magnet sebesar 643.86 A/m, dan jumlah gaya 9.235×10^{-4} N.

Kata kunci : Transformator Distribusi 400 kVA, 22kV/400V, 3D-*Finite Element Method*, Magnetostatik

*Magnetostatic Analysis for a Distribution Transformer Using Finite Element Method
by Software Ansys® R15.0*

Rizdha Yusfik

*Electrical Engineering Departement, Faculty of Engineering,
University of Jember*

ABSTRACT

Common solving to the magnetic field intensity and the magnetic flux density in complex composition geometry is very complicated. So to simplify, calculation by finite element method were computed with software ANSYS® R15. This study was carried out on 3-phase distribution transformers, Dy1, 400 kVA, 22kv / 400V, transformer type that is distribution transformer cores, transformer frequency of 50 Hz. With the finite element method, the results of meshing by quadratic tetrahedron method the number of nodes and elements generated is 140708 nodes and 102326 elements. Magnetostatic analysis consisted of analysis current density, magnetic flux density, magnetic field intensity, and the total force. Minimum value of current density in the coil are $sec1$ with a value of 0 A / m and the maximum value of current density in the coil are $prim3$ the current density value of 1000.3 A / m^2 . Maximum value of magnetic flux density at $3.1407 \times 10^{-2} \text{ T}$, magnetic field intensity at 643.86 A/m , and the total force $9.235 \times 10^{-4} \text{ N}$.

Keywords : *Distribution Transformer 400 kVA, 22kV/400V, 3D-Finite Element Method, Magnetostatic*

RINGKASAN

Analisis Magnetostatik pada Transformator Distribusi dengan Metode Finite Element Menggunakan Software Ansys® R15.0; Rizdha Yusuf; 101910201096, 2014; 60 halaman; Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Pemecahan umum untuk intensitas medan magnetik (magnetic field intensity) H dan kerapatan fluks magnetik (magnetic flux density) B dalam susunan geometri yang kompleks adalah sangat rumit. Sehingga untuk mempermudah, maka dilakukan perhitungan dengan metode finite element yang dikomputasikan dengan software ANSYS® R15.0. *Finite Element Method* atau yang biasa disebut dengan metode elemen hingga merupakan salah satu model komputasi (numerik) yang banyak digunakan untuk analisis struktur. Dengan metode *finite element* dapat dilakukan visualisasi desain transformator di software ANSYS. ANSYS adalah *software* yang dapat memodelkan *finite element* untuk menyelesaikan masalah yang berhubungan dengan mekanika, termasuk di dalamnya masalah statik, dinamik, analisis struktural (baik linier maupun nonlinier), masalah perpindahan panas, masalah fluida dan juga masalah yang berhubungan dengan akustik dan elektromagnetik.

Data geometri transformator untuk penelitian mengenai analisis magnetostatik transformator distribusi diperoleh dari jurnal *World Academy of Science, Engineering and Technology 60 2011* oleh P. Meesuk, T. Kulworawanichpong, dan P. Pao-la-or dengan judul *Magnetic Field Analysis for a Distribution Transformer with Unbalanced Load Conditions by using 3-D Finite Element Method*. Transformator yang digunakan sebagai objek penelitian adalah transformator distribusi 3 fasa, Dy1, 400 kVA, 22kV/400V, tipe transformator distribusi yaitu tipe core transformator, frekuensi transformator sebesar 50 Hz.

Pada inti transformator distribusi yang dimodelkan, bahan material yang digunakan adalah *rolled silicon steel* dengan nilai konduktivitas termal nya (σ) sebesar 2.08×10^6 S/m, permeabilitas relatif (μ_r) = 3000, permeabilitas ruang hampa

$(\mu_o) = 4\pi \times 10^{-7}$ H/m. Sedangkan material kumparan transformator adalah copper dengan permeabilitas relatif sebesar 1 dan resistivitas sebesar 0,0172 Ω m.

Nilai minimum kerapatan arus terdapat pada bagian kumparan sec1 dengan nilai 0 A/m² dan nilai maksimum kerapatan arus terdapat pada bagian kumparan primer3 dengan nilai kerapatan arus sebesar 1000.3 A/m². Untuk nilai minimum dan maksimum pada saat nilai minimum *over time* yaitu 0 A/m², sedangkan nilai minimum dan maksimum pada saat nilai maksimum *over time* yaitu sebesar 1000.3 A/m² dan 1155. A/m².

Nilai maksimum total kerapatan fluks terdapat pada core yaitu sebesar 3.1407×10^{-2} T. Nilai maksimum total kerapatan fluks magnetik terdapat pada core atau inti transformator karena inti transformator merupakan tempat mengalirnya fluks magnetik. Fluks magnetik yang bergerak bolak-balik akan menyebabkan perbedaan tegangan antara tegangan pada kumparan primer dan sekunder. Pada saat nilai minimum *over time* tidak terdapat nilai kerapatan fluks magnetik, sedangkan saat nilai maksimum *over time* terdapat nilai minimum dan maksimum kerapatan fluks magnetik yaitu 2.3879×10^{-2} T dan 3.5199×10^{-2} T.

Intensitas medan magnet trafo nilai maksimumnya yaitu sebesar 643.86 A/m yang terjadi pada *enclosure*. *Enclosure* merupakan bagian udara dalam kotak badan transformator. Nilai minimum *over time* juga tidak terdapat nilai intensitas medan magnet. Namun pada nilai maksimum *over time* terdapat nilai minimum dan maksimum, yaitu sebesar 194.8 A/m dan 691.5 A/m.

Total force atau disebut juga dengan gaya total juga tidak memiliki nilai minimum, 0 N yang terjadi pada bagian *enclosure* transformator. Dan nilai maksimum gaya total juga terjadi pada *enclosure* dengan nilai 9.235×10^{-4} N. Saat nilai minimum *over time*, juga tidak terdapat nilai minimum dan maksimum. Tetapi saat nilai maksimum *over time*, terdapat nilai minimum dan maksimum gaya total yaitu sebesar 2.1872×10^{-4} N dan 1.0786×10^{-3} N.

Pada keempat analisis tersebut menggunakan perbandingan dengan rentang waktu 1 ms hingga 20 ms dengan jumlah iterasi 20.

PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, yang telah memberikan kemudahan, kesempatan dan kelancaran sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis Magnetostatik pada Transformator Distribusi dengan Metode *Finite Element* Menggunakan *Software* Ansys® R15.0”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan Program Studi Strata Satu (S1) Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu penyusunan skripsi ini, khususnya kepada:

1. Bapak Ir. Widyono Hadi, MT. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember.
2. Bapak Sumardi ST., MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember.
3. Bapak Samsul Bachri M. S.T., M.MT selaku Dosen Pembimbing Utama dan Bapak Dr. Bambang Sri Kaloko S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran dan perhatiannya guna memberikan pengarahan dan bimbingan demi terselesaikannya penulisan skripsi ini.
4. Bapak Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T. dan Bapak Bambang Supeno, S.T., M.T. selaku Tim Penguji Skripsi yang telah meluangkan waktu dan pikiran serta perhatiannya guna memberikan pengarahan dan koreksi demi terselesaikannya penulisan skripsi ini.
5. Ayahanda Alm. Yusufik May dan Ibunda Almh. Yelmi Zein tercinta, yang telah membantu baik moril dan materiil, mendoakan, mendidik, dan memberi kasih sayang serta pengorbanan yang tidak terhingga selama ini.
6. Uni Yuke Fikmy, Uni Ulfi Meldia, Uda Yadri Yaldi, Cece Muthia Yusufik, Uda Israr, Uda Arif Budiman saudara terbaik yang selalu mendo'akan, memberi motivasi, dan telah membantu baik moril dan materiil.

7. Sahabat-sahabat terbaik Diah A.O., Intan M., Redia Irawan, Ageng Widya yang menemani saat susah dan senang.
8. Ridho R. terimakasih untuk kesabaran dan perhatiannya.
9. Sahabat-sahabat Teknik Elektro 2010 Universitas Jember yang telah memberi semangat, dukungan, dan motivasi, dan banyak membantu selama kuliah di Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember.
10. Teman-teman kost “Pondokku” yang menjadi keluarga kedua saat masa kuliah
Dalam penyusunan skripsi ini penulis menyadari masih banyak kekurangan, kritik dan saran tetap diharapkan demi kesempurnaan skripsi ini. Penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, Oktober 2014

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PENGESAHAN	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
RINGKASAN	ix
PRAKATA	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR	xvii
BAB 1. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat	3
1.6 Sistematika Pembahasan	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Prinsip Kerja Transformator	5
2.1.1 Prinsip Induksi	6
2.1.2 Fluks Magnet	7
2.2 Magnetostatik	9
2.2.1 Kerapatan Arus	9
2.2.2 Kerapatan Fluks Magnetik.....	11

2.2.3 Intensitas Medan Magnetik	11
2.2.4 Gaya Magnet	12
2.3 Keadaan Transformator Tanpa Beban	13
2.4 Keadaan Transformator Berbeban	16
2.5 Jenis Transformator	18
2.6 <i>Finite Element Method</i> (FEM).....	19
2.6.1 Prosedur <i>Finite Element Method</i>	20
2.6.2 Tipe Elemen dalam <i>Finite Element Methode</i>	21
2.6.3 Formulasi 3D FEM	22
2.7 Rumus Dasar ANSYS	23
 BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	26
3.2 Alat dan Bahan.....	26
3.3 Diagram Alir Penelitian	26
3.3.1 Perumusan Masalah	27
3.3.2 Studi Literatur	27
3.3.3 Identifikasi Data yang Dibutuhkan	28
3.3.4 Desain Dimensi Transformator dengan Software ANSYS® R15.0	28
3.3.5 Analisis Distribusi Kerapatan Fluks dan Intensitas Medan Magnetik pada Transformator Distribusi	28
3.4 Data Transformator Distribusi.....	29
 BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Geometri dan Sistem Koordinat Transformator	32
4.2 Metode Elemen Hingga (<i>Finite Element Method</i>)	35
4.3 Pengaturan Analisis Magnetostatik	38
4.4 Hasil Analisis Magnetostatik	42
4.4.1 <i>Current Density</i>	44
4.4.2 <i>Total Magnetic Flux Density</i>	47

4.4.3 <i>Total Magnetic Field Intensity</i>	49
4.4.4 <i>Total Force</i>	55
4.5 Perbandingan Hasil Kerapatan Fluks Magnetik	58
BAB 5. PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	60
5.2 Saran	61
DAFTAR PUSTAKA	62
LAMPIRAN	64

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 Parameter Trafo Distribusi 400kVA, 22kV/400V	31
Tabel 4.1 Data Hasil Pemodelan Geometri Transformator	33
Tabel 4.2 Data Sistem Koordinat	34
Tabel 4.3 Data Statistik <i>Meshing</i> Geometri Transformator	38
Tabel 4.4 Pengaturan Analisis <i>Step Controls</i>	39
Tabel 4.5 Arus pada Kumparan Sekunder	40
Tabel 4.6 Arus pada Kumparan Primer	41
Tabel 4.7 Hasil Analisis Magnetostatik Transformator Distibusi 400 kVA	43
Tabel 4.8 Nilai Hasil Kerapatan Arus	46
Tabel 4.9 Nilai Hasil Total Kerapatan Fluks Magnetik	48
Tabel 4.10 Nilai Hasil Jumlah Intensitas Medan Magnetik	49
Tabel 4.11 Data <i>Probe</i> Kerapatan Fluks Magnetik dan Intensitas Medan Magnetik	51
Tabel 4.12 Data <i>Probe</i> Kerapatan Fluks Magnetik	52
Tabel 4.13 Data <i>Probe</i> Intensitas Medan Magnetik	53
Tabel 4.14 Nilai Gaya Total	55

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Induksi Magnetik	6
2.2 Fluks Magnetik	7
2.3 Hukum Lorenz	8
2.4 Medan Magnet	9
2.5 Segmen dari Sebuah Kawat Penghantar Arus Listrik	10
2.6 Transformator dalam Keadaan Tanpa Beban	13
2.7 Rangkaian Ekuivalen Transformator dalam Keadaan Tanpa Beban	13
2.8 Gambar Vektor Transformator dalam Keadaan Tanpa Beban	14
2.9 Grafik Gelombang I_0 Tertinggal 90° dari V_1	14
2.10 Grafik Gelombang e_1 Tertinggal 90° dari Φ	15
2.11 Transformator dalam Keadaan Berbeban	16
2.12 Rangkaian Ekuivalen Transformator Dalam Keadaan Berbeban	17
2.13 Elemen 1 Dimensi	21
2.14 Elemen 2 Dimensi	22
2.15 Elemen 3 Dimensi	22
3.1 Diagram Alir Penelitian Analisis Magnetostatik Transformator Distribusi ..	27
3.2 Detail dimensi transformator distribusi 400kVA	30
4.1 Geometri Transformator Distribusi 400 kVA	32
4.2 Sistem Koordinat Transformator	35
4.3 Hasil <i>Meshing</i> Transformator Distribusi 400 kVA	37
4.4 Pengaturan <i>Magnetic Flux Parallel</i>	40
4.5 Grafik Gelombang Sinus Arus Transformator Distribusi 400 kVA	42
4.6 Hasil Simulasi Kerapatan Arus pada <i>software</i> ANSYS® R15.0	45
4.7 Grafik Nilai Hasil Kerapatan Arus dengan 20 step	46
4.8 Hasil Simulasi Kerapatan Fluks Magnetik Total	48
4.9 Grafik Nilai Hasil Total Kerapatan Fluks Magnetik dengan 20 step	49

4.10 Hasil Simulasi Intensitas Medan Magnetik Total	50
4.11 Grafik Nilai Hasil Simulasi Intensitas Medan Magnetik Total dengan 20 step	51
4.12 Grafik Nilai <i>Probe</i> Kerapatan Fluks Magnetik dengan 20 step	53
4.13 Grafik Nilai <i>Probe</i> Intensitas Medan Magnetik dengan 20 step	54
4.14 Grafik Nilai Gaya Total	57
4.15 Hasil Simulasi Gaya Total	57
4.16 Perbandingan Hasil Analisis Kerapatan Fluks Magnetik.....	58
4.17 Garis Vektor Kerapatan Fluks Magnetik Hasil Simulasi ANSYS® R15.0.	59