



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGEMBANGAN DESAIN SENSOR TIGA DIMENSI PADA
ELECTRICAL CAPACITANCE VOLUME TOMOGRAPHY
(ECVT) : PERCOBAAN DENGAN BAGIAN TUBUH MANUSIA**



SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Sains

**SYAMSUL MA'ARIF
030402076Y**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM STUDI S1 FISIKA
PEMINATAN MEDIS DAN BIOFISIKA
DEPOK
DESEMBER 2008**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.



Nama : Syamsul Ma'arif
NPM : 030402076Y
Tanda Tangan :
Tanggal :

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Syamsul Ma'arif
NPM : 030402076Y
Program Studi : S1 Fisika
Judul Skripsi : Pengembangan Desain Sensor Tiga Dimensi pada Electrical Capacitance Volume Tomography (ECVT) : Percobaan dengan Bagian Tubuh Manusia

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi S1 Fisika peminatan Fisika Medis Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Warsito ()

Pembimbing : Dwi Seno Kuncoro M.Si ()

Penguji : Prof. Dr. Djarwani S. S ()

Penguji : Dr. Sastra K. W ()

Penguji : Dr. Eng. Supriyanto ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 9 Desember 2008

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi **Allah SWT**, Tuhan semesta alam yang telah memberikan kemudahan dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Penelitian Tugas Akhir ini.

Pelaksanaan Tugas Akhir ini telah memberikan manfaat berupa penambahan pengalaman, wawasan. Dengan demikian, secara langsung maupun tidak langsung telah andil dalam melatih kemampuan penulis di dalam observasi.

Dalam pelaksanaannya, penulis banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak baik dorongan moril maupun bantuan langsung, sehingga berkenankan rasa terimakasih penulis haturkan pada kesempatan ini,

1. **ALLAH SWT** , tiada Tuhan selain Allah dan hanya kepada-Mu kami meminta dan memohon pertolongan.
2. **MUHAMMAD RASULULLAH SAW**, Rasul Allah pembawa risalah yang mulia.
3. Kedua **orang tua dan keluarga** atas doa, kasih sayang dan dorongan semangat yang diberikan,
4. Bapak **Dr. Warsito** selaku dosen pembimbing yang telah memberikan kesempatan untuk melakukan Penelitian Tugas Akhir ini. serta **Dr Wahyu Widada** dan **arbai yusuf** selaku tim hardware yang telah membuat alat *ECVT*.
5. Bapak **Dwi Seno Kuncoro M.Si** selaku dosen pembimbing,
6. Sahabat **senasib sepenanggungan** ; Marlyn R Baidillah, Sugiharto, Neni Wahyuni Yatarif, Elfira Wirza. Khususnya kepada Ahmad Novian Rahman Hakim yang telah melakukan rekonstruksi hasil sensitivitas matrik dan bersinergi menyelesaikan tantangan yang menghadang.
7. Sahabat **Fisika UI 2004**
8. Teman Seperjuangan Ahmad Ilhami, Syarif, Salman Al Farisi, Doyahudin
9. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

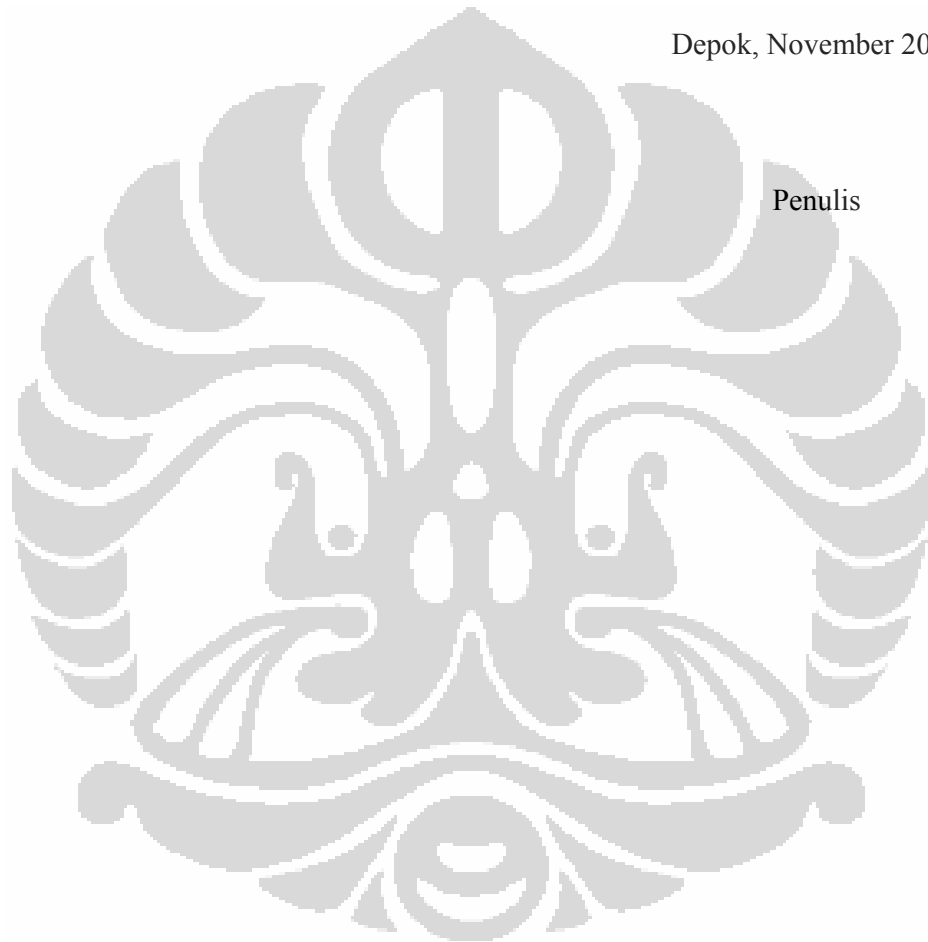
Menyadari keterbatasan pengalaman dan kemampuan yang penulis miliki, sudah tentu terdapat kekurangan dalam penulisan skripsi ini serta kemungkinan

jauh dari sempurna, untuk itu penulis tidak menutup diri dari segala saran dan kritik yang sifatnya membangun dari semua pihak.

Akhir kata semoga Allah SWT membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membantu perkembangan dunia fisika medis dalam bidang imaging non destruktif. Amin

Depok, November 2008

Penulis



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai civitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Syamsul Ma'arif
NPM : 030402076Y
Program Studi : S1 Fisika – Fisika Medis
Departemen : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Jenis karya : Skripsi

demikian pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

PENGEMBANGAN DESAIN SENSOR TIGA DIMENSI (3D) PADA
ELECTRICAL CAPACITANCE VOLUME TOMOGRAPHY (ECVT) :
PERCOBAAN DENGAN BAGIAN TUBUH MANUSIA

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia / formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis / pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 9 Desember 2008

Yang menyatakan

(Syamsul Ma'arif)

ABSTRAK

Nama : Syamsul Ma'arif
Program Studi : S1 Fisika
Judul : Pengembangan Desain Sensor Tiga Dimensi pada Electrical Capacitance Volume Tomography (ECVT) : Percobaan dengan Bagian Tubuh Manusia

Pencitraan volumetric berdasarkan prinsip electrical capacitance tomography (ECT), dinamakan electrical capacitance volume tomography (ECVT), telah dikembangkan dalam penelitian ini. Teknik yang digunakan berawal dari pengukuran kapasitan diseluruh geometri benda volumetrik tiga dimensi yang diliputi sensor kapasitan. Pengembangan ini memungkinkan real-time pencitraan volume bergerak (4 D). Pengembangan dari teknik pencitraan ECVT meliputi 3-D desain sensor untuk mendapatkan citra yang optimal dan teknik rekonstruksi pencitraan volum. Teknik rekonstruksi gambar dimodifikasi oleh algoritma 3-D matrik sensitivitas. Distribusi sensitivitas sangat mempengaruhi citra yang dihasilkan. penelitian ini telah dilakukan dengan simulasi dan komputasi medan listrik pada software COMSOL Multiphysics yang berdasarkan metode element terbatas dan dihitung dalam MATLAB 2007b serta di ujicobakan melalui alat.

Kata kunci :
Electrical Capacitance Volume Tomography (ECVT), Desain Sensor,
Sensitivitas matrik, COMSOL Multiphysics, MATLAB 2007b.

ABSTRACT

Nama : Syamsul Ma'arif
Program Studi : S1 Fisika
Judul : The Development of Three Dimensional Sensor Design on
Electrical Capacitance Volume Tomography (ECVT) :
Experiment with a Part of Human Body

A dynamic volume imaging based on the principle of electrical capacitance tomography (ECT), namely, electrical capacitance volume tomography (ECVT), has been developed in this research. The technique generates, from the measured capacitance, a whole volumetric image of the region enclosed by the geometrically three-dimensional capacitance sensor. This development enables a real-time, 3-D imaging of a moving object or a real-time volume imaging (4-D) to be realized. The development of the ECVT imaging technique primarily encloses the 3-D capacitance sensor design to get the optimum image and image volume reconstruction technique. The image reconstruction technique is modified by introducing into the algorithm a 3-D sensitivity matrix. The Distribution of sensitivity affects the produced image. The research is done with the simulation system and computational electric field in COMSOL Multiphysics software that is based in a finite element method and calculated in MATLAB 2007b and is examined with hardware.

Key words :
Electrical Capacitance Volume Tomography (ECVT), Sensor Design, Sensitivity Matrix, COMSOL Multiphysics, MATLAB 2007b.

DAFTAR ISI

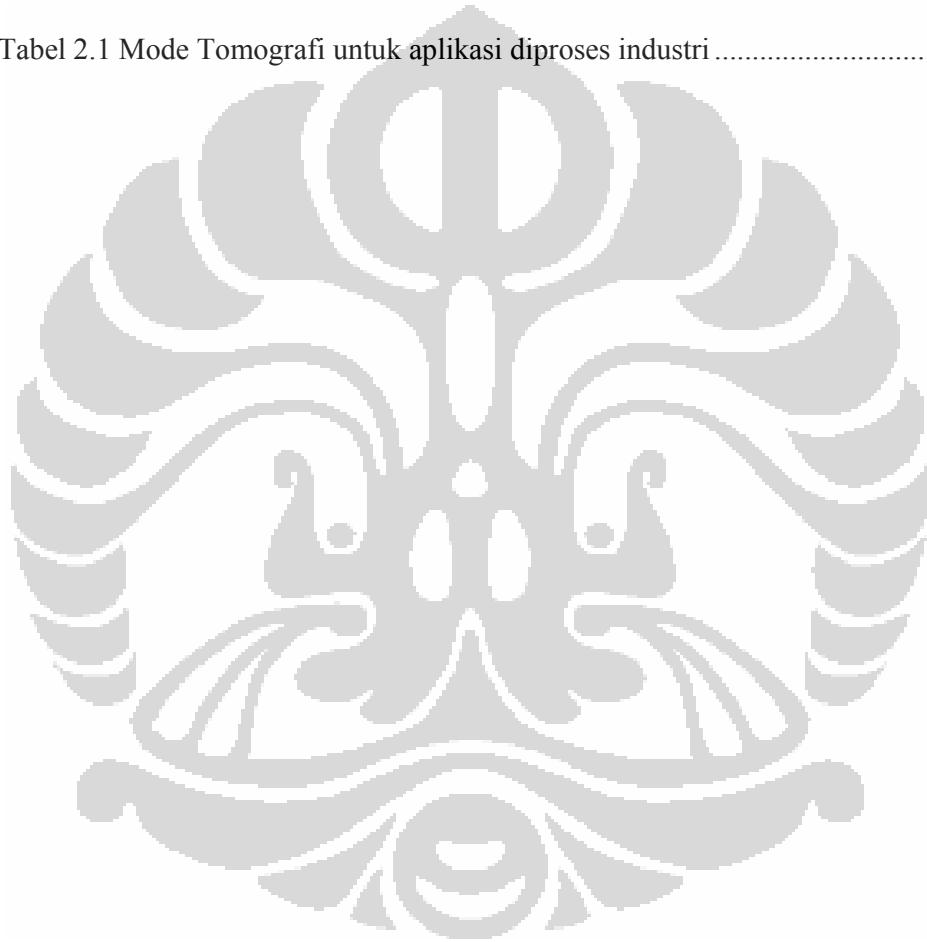
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	vi
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB 1. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian	3
1.4 Batasan Penelitian	3
1.5 Metode Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Teori Medan Elektro Magnet	6
2.1.1 Teorema Gauss.....	6
2.1.2 Koefisien Potensial, Koefisien Kapasitans dan Kapasitor	9
2.1.3 Persamaan Poisson.....	13
2.2 Tomography.....	14
2.2.1 Prinsip Pencitraan Tomography.....	15
2.2.2 Proses Rekonstruksi Citra Tomography.....	19
2.2.3 Perkembangan Elemen hingga.....	21
2.3 Electrical Capacitance Volume Tomography (ECVT).....	22
2.3.1 Prinsip ECVT.....	23
2.3.2 Desain Sensor Pada ECVT.....	23
2.3.3 Sensitivitas Matriks.....	24
2.3.4 Masalah Forward.....	25
2.3.5 Masalah Invers	26
2.3.6 Kapasitans dalam ECVT	26
2.3.7 Rekonstruksi Citra ECVT	28
2.3.7.1 Metode NN MOIRT	29
2.3.7.1.1 Multi-creation	29
2.3.7.1.2 Solusi dengan Hopfield Dynamic.....	32
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Simulasi pemodelan sistem ECVT	36
3.1.1 Deskripsi sistem	37
3.1.1.1 Persamaan Poissons	37

3.1.2 Desain Sensor 3D	38
3.1.2.1 Parameter Subdomain	41
3.1.2.2 Parameter Boundary Condition	42
3.1.2.3 Parameter Mesh	43
3.1.3 Sensitivitas matrik	45
3.1.4 Rekonstruksi	45
3.2 Instrumen sistem ECVT	45
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Distribusi Sensitivitas dengan Variasi Model Sensor	48
4.2 Sensitivitas map dengan desain sensor	60
4.3 Dead zone	61
4.4 Hasil rekonstruksi	61
BAB 5. PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	66
5.2 Saran	66
DAFTAR REFERENSI	67

DAFTAR TABEL

halaman

Tabel 2.1 Mode Tomografi untuk aplikasi diproses industri 16



DAFTAR GAMBAR

	halaman
Gambar 2.1 Asumsi model kapasitor	11
Gambar 2.2 Proses Tomography.....	15
Gambar 2.3 Sistem Tomography.....	17
Gambar 2.4 Alat ECVT.....	22
Gambar 2.5 Sistem gambar koordinat.....	23
Gambar 2.6 Metode Hopfield Network Evolution.....	32
Gambar 3.1 Sebuah domain 3D dengan ketinggian 2a.....	38
Gambar 3.2 Model delapan sensor persegi satu tingkat.....	39
Gambar 3.3 Model delapan sensor persegi dua tingkat.....	39
Gambar 3.4 Model 8 sensor persegi dua tingkat dengan tingkat kedua diputar 45 derajat.....	40
Gambar 3.5 Model delapan sensor segitiga dua tingkat.....	40
Gambar 3.6 Model 12 sensor segitiga tingkat diputar 45 derajat.....	41
Gambar 3.7 Label nomor subdomain (atas), tampilan jendela pengaturan <i>Subdomain</i>	42
Gambar 3.8 <i>Boundary</i> pada geometri model (atas), tampilan jendela pengaturan <i>Boundary Conditions</i> (bawah).....	43
Gambar 3.9 Geometri yang telah di- <i>mesh</i>	44
Gambar 3.10 Geometri yang telah di- <i>solve</i>	44
Gambar 3.11 Instrumen ECVT.....	45
Gambar 3.12 Model 8 sensor persegi satu Tingkat.....	46
Gambar 3.13 Model delapan sensor persegi dua tingkat.....	46

Gambar 3.14 Model 8 sensor persegi dua tingkat dengan tingkat kedua diputar 45 derajat.....	47
Gambar 3.15 Model delapan sensor segitiga dua tingkat	47
Gambar 4.1 Distribusi sensitivitas matrik 8 sensor, pasangan sensor 1 dan 2, satu tingkat.....	48
Gambar 4.2 Distribusi sensitivitas matrik 8 sensor, pasangan sensor 1 dan 5, satu tingkat.....	48
Gambar 4.3 Ilustrasi interaksi medan listrik antara kedua sensor yang saling menguatkan	49
Gambar 4.4 Ilustrasi interaksi medan listrik antara kedua sensor yang saling melemahkan	49
Gambar 4.5 Jumlah distribusi sensitivitas model 8 sensor persegi satu tingkat ...	51
Gambar 4.6 Distribusi sensitivitas matrik 8 sensor, pasangan sensor tingkat 1 dan tingkat 2 (berdekatan)	52
Gambar 4.7 Distribusi sensitivitas matrik 8 sensor, pasangan sensor tingkat 1 dan tingkat 2 (bersebrangan serta berjauhan)	52
Gambar 4.8 Jumlah distribusi sensitivitas model 8 sensor persegi dua tingkat	53
Gambar 4.9 Distribusi sensitivitas matrik 8 sensor, pasangan sensor tingkat 1 dan tingkat 2 di putar 45 (berdekatan).....	54
Gambar 4.10 Gambar 4.10 distribusi sensitivitas matrik 8 sensor, pasangan sensor tingkat 1 dan tingkat 2 di putar 45 (bersebrangan dan berjauhan).....	54
Gambar 4.11 Jumlah distribusi sensitivitas model 8 sensor persegi dua tingkat dengan tingkat kedua diputar 45 derajat.	55
Gambar 4.12 Distribusi sensitivitas model 8 sensor dua tingkat Untuk pasangan sensor 1 dengan 5 (berdekatan, beda tingkat)	56
Gambar 4.13 Distribusi sensitivitas model 8 sensor dua tingkat Untuk pasangan sensor 1 dengan 7 (berhadapan beda tingkat)	56
Gambar 4.14 Jumlah distribusi sensitivitas model 8 sensor segitiga dua tingkat .	57
Gambar 4.15 Distribusi sensitivitas model 12 sensor persegi tiga tingkat (sensor 1-2).....	58

Gambar 4.16 Distribusi sensitivitas model 12 sensor persegi 3 tingkat (sensor 1-3)	58
Gambar 4.17 Jumlah distribusi sensitivitas model 12 sensor persegi 3 tingkat....	59
Gambar 4.18 Daerah dead zone berada di dalam kotak.....	61
Gambar 4.19 Phantom bola.....	62
Gambar 4.20 Hasil rekonstruksi 8 sensor persegi satu tingkat	62
Gambar 4.21 Hasil rekonstruksi 8 sensor persegi dua tingkat.....	63
Gambar 4.22 Hasil rekonstruksi 8 sensor persegi dua tingkat dengan tingkat kedua diputar 45 derajat.....	63
Gambar 4.23 Hasil rekonstruksi 8 sensor segitiga dua tingkat.....	64
Gambar 4.24 Hasil rekonstruksi 12 sensor persegi tig tingkat.....	64
Gambar 4.25 Korelasi distribusi sensitivitas dengan citra yang dihasilkan.....	65

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A.....	69
LAMPIRAN B.....	72
LAMPIRAN C.....	77