



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGUKURAN ANTENA DENGAN METODE
MEDAN DEKAT PADA PERMUKAAN PENGUKURAN
*PLANAR***

SKRIPSI

CATUR APRIONO

0405037057

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
DEPOK
JUNI, 2009**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGUKURAN ANTENA DENGAN METODE
MEDAN DEKAT PADA PERMUKAAN PENGUKURAN
*PLANAR***

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik
pada program studi Teknik Elektro Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Indonesia**

CATUR APRIONO

0405037057

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
DEPOK
JUNI, 2009**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Catur Apriono

NPM : 0405037057

Tanda Tangan :

Tanggal :

LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi dengan Judul :

PENGUKURAN ANTENA DENGAN METODE MEDAN DEKAT PADA PERMUKAAN PENGUKURAN PLANAR

dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada program studi Teknik Elektro Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia dan disetujui untuk diajukan dalam presentasi skripsi.

Depok, 16 Juni 2009

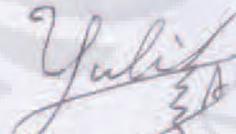
Dosen Pembimbing

Pembimbing I,

Pembimbing II,



(Prof. Dr. Ir. Eko Tjipto Rahardjo, MSc)
NIP. 131 122 083



(Dr. Fitri Yuli Zulkifli, ST., MSc.)
NIP. 132.206 671

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kehadirat Allah SWT, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Elektro pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Bapak Prof. Dr. Ir. Eko Tjipto Rahardjo, MSc, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- (2) Ibu Dr. Fitri Yuli Zulkifli, ST, MSc, selaku dosen pembimbing II atas waktu konsultasi yang diberikan dan bantuannya dalam membantu saya menyelesaikan skripsi ini.
- (3) orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral;
- (4) sahabat yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 16 Juni 2009

Penulis

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

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

Nama : Catur Apriono

NPM : 0405037057

Program Studi : Teknik Elektro

Departemen : Teknik Elektro

Fakultas : Teknik

Jenis karya : Skripsi

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

**PENGUKURAN ANTENA DENGAN METODE
MEDAN DEKAT PADA PERMUKAAN PENGUKURAN *PLANAR***

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Nonekklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan 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 : Juni 2009

Yang menyatakan

(Catur Apriono)

ABSTRAK

Nama : Catur Apriono
Program Studi : Teknik Elektro
Judul : Pengukuran Antena dengan Metode Medan Dekat pada Permukaan Pengukuran *Planar*
Pembimbing I : Prof. Dr. Ir. Eko Tjipto Rahardjo, MSc.
Pembimbing II: Dr. Fitri Yuli Zulkifli, ST. MSc.

Untuk mengukur kinerja dari antenna, sistem pengukuran yang biasanya digunakan adalah metode medan jauh. Namun, jika antenna memiliki ukuran besar, terjadi masalah berkaitan dengan besarnya jarak yang diperlukan dalam pengukuran metode medan jauh untuk mengukur pola radiasi antenna. Sehingga pengukuran antenna yang dilakukan di sebuah *anechoic chamber* dengan ruang terbatas tidak dapat dilakukan.

Salah satu solusi untuk mengatasi masalah ini adalah dengan menggunakan metode medan dekat. Terdapat tiga metode yang dikenal pada pengukuran medan dekat, yaitu permukaan *planar*, *cylindrical* dan *spherical*. Desain dari medan dekat dengan menggunakan metode permukaan *planar* memberikan kelebihan pada kesederhanaan rumus penghitungan dan proses dibandingkan dengan metode medan dekat lainnya.

Rancangan terdiri dari tiga bagian utama yaitu daerah *scanning*, peralatan pengukuran dan peralatan komputasi. Daerah *scanning* yang dirancang untuk menutupi permukaan *planar* di medan dekat antenna di uji (AUT). Peralatan komputer akan mencatat data dari peralatan pengukuran untuk setiap titik sampel yang ditentukan dari daerah *scanning*. Data medan jauh didapatkan dengan transformasi dari data medan dekat ke medan jauh dengan menggunakan metode fast Fourier transform (FFT). FFT adalah metode yang lebih efisien untuk proses perhitungan dibandingkan dengan metode lainnya. Hasil transformasi data dapat menunjukkan pola radiasi medan jauh dari antenna. Hasilnya menunjukkan bahwa pola radiasi yang diukur dari metode medan dekat hampir sama jika dibandingkan dengan pengukuran medan secara langsung.

Kata Kunci : *medan dekat, planar, pola radiasi*

ABSTRACT

Name : Catur Apriono
Study Program : Electrical Engineering
Title : Antenna Measurement with Near Field Method on Planar Surface
Advisor I : Prof. Dr. Ir. Eko Tjipto Rahardjo, MSc.
Advisor II : Dr. Fitri Yuli Zulkifli, ST. MSc.

To measure the performance of an antenna, the measurement system which is usually used is the far field method. However, if the antenna has a large size, a problem occurs concerning the large distance needed for the far field method to measure the radiation pattern of the antenna. For an antenna measurement conducted in an anechoic chamber with limited space, this cannot be achieved.

One solution to overcome this problem is to use near field method. There are three near field methods known which are the *planar*, cylindrical and spherical surface. In this paper, the design of the near field method with *planar* surface is proposed due to the advantages of the formula and computation process simplicity compared with the other near field surface methods.

The design consists of three main parts namely the scanning area, measurement equipment and computation equipment. The scanning area is designed to cover the *planar* surface in the near field region of the antenna under test (AUT). The computer equipment will record the data from the measurement equipment for each sampling points determined from the scanning area. The data is transformed from near field to far field data using the fast Fourier transform (FFT) method. This FFT method is more efficient for the computer process compared to other method. The transformed data can show the far field radiation pattern of the antenna. The result show that the radiation pattern measured from the near field method is similar compared to the far field measurement.

Keywords: *near field, planar, radiation pattern*

DAFTAR ISI

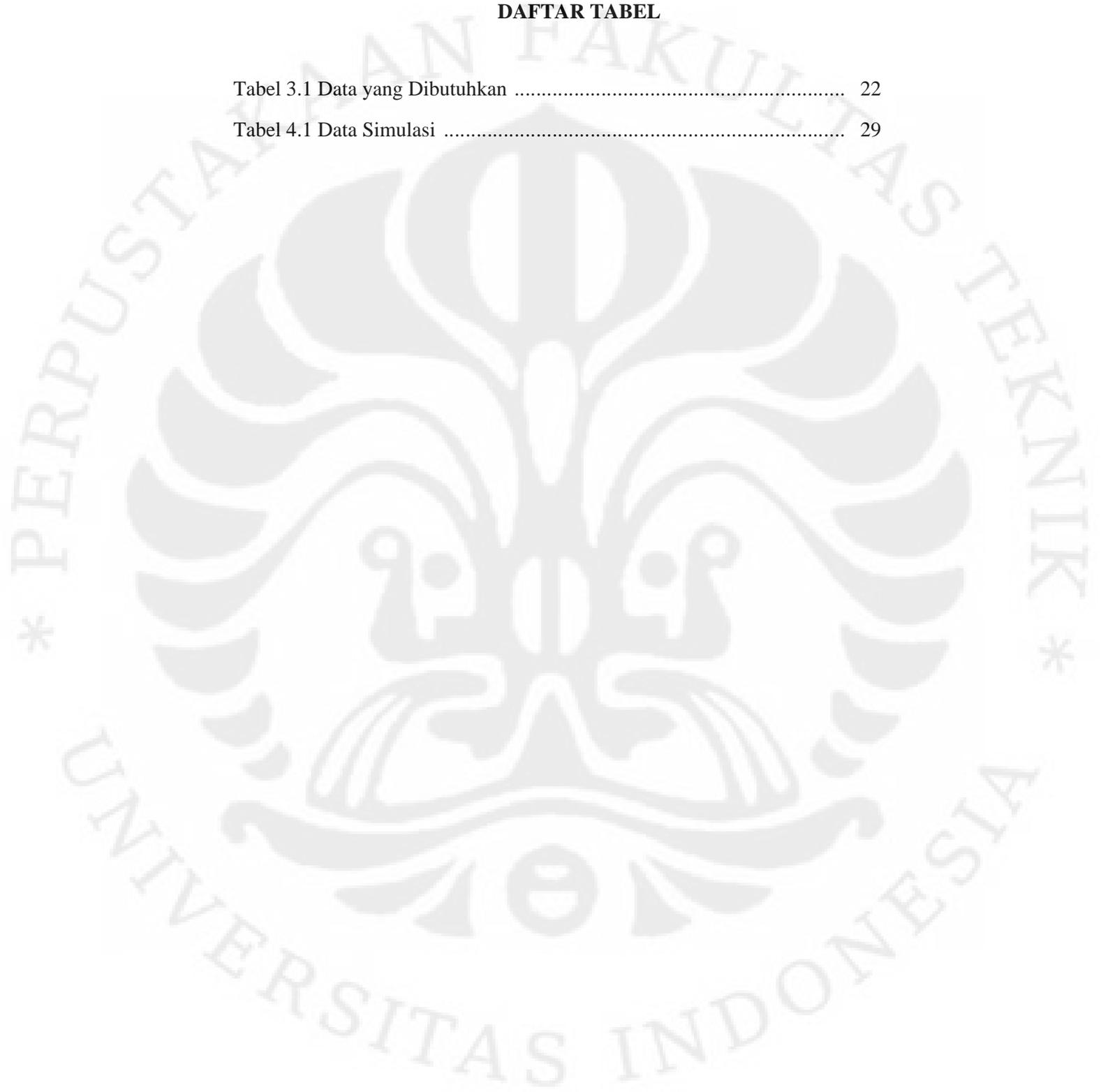
	Halaman
Halaman Judul	i
Halaman Pernyataan Orisinalitas	ii
Lembar Pengesahan	iii
Kata Pengantar	iv
Halaman Pernyataan Persetujuan Publikasi	v
Abstrak	vi
Daftar Isi	viii
Daftar Tabel.....	x
Daftar Gambar	xi
Daftar Singkatan	xii
Daftar Lampiran	xiii
1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penulisan	2
1.3 Pembatasan Masalah	3
1.4 Sistematika Penulisan	3
2 PENGUKURAN MEDAN DEKAT <i>PLANAR</i>	4
2.1 Sejarah Singkat Scanning Medan Dekat	4
2.2 Medan Radiasi Antena	5
2.3 Pengukuran <i>Planar</i>	6
2.4 Probe Medan Dekat	12
2.5 FFT (<i>Fast-Fourier Transform</i>)	14
3 PROSEDUR PENGUKURAN	17
3.1 Perancangan Sistem Pengukuran Medan Dekat <i>Planar</i>	17
3.2 Data Pengukuran	21

3.3 Perancangan Perangkat Lunak	23
4 SIMULASI PROGRAM	29
4.1 Variabel dan Konstanta Pengukuran	29
4.2 Hasil Simulasi Transformasi.....	33
5 KESIMPULAN DAN SARAN	38
DAFTAR ACUAN	39
DAFTAR PUSTAKA	40
LAMPIRAN	41



DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Data yang Dibutuhkan	22
Tabel 4.1 Data Simulasi	29



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Medan di sekeliling antenna yang <i>radiasi</i>	5
Gambar 2.2 Definisi Sistem Koordinat	8
Gambar 2.3 Definisi Sistem Permukaan <i>Planar</i>	9
Gambar 2.4 Sampel Scanning Permukaan <i>Planar</i>	12
Gambar 2.5 Penampang Antena Horn	13
Gambar 2.6 Grafik Perbandingan FFT vs DFT	15
Gambar 3.1 Sistem Pengukuran Medan Dekat	19
Gambar 3.2 Pola Permukaan Scanning	19
Gambar 3.3 Pola Pergerakan Probe	20
Gambar 3.4 Contoh Matriks Data	22
Gambar 3.5 Tampilan Halaman Program dengan GUI	23
Gambar 3.6 Diagram Alir (<i>Flowchart</i>)	25
Gambar 3.7. Posisi pengambilan data	26
Gambar 4.1 Desain Antena Horn 11,2 GHz	29
Gambar 4.2 Return Loss (RL) dari Antena Probe	30
Gambar 4.3 Dimensi Antena Probe	30
Gambar 4.4 Pola Radiasi Antena Horn	31
Gambar 4.5 Desain Antena Uji 3,35 GHz	31
Gambar 4.6 Pola Radiasi AUT 3,35 GHz	32
Gambar 4.7 <i>Return Loss</i> (RL) dari <i>Antenna Under Test</i> (AUT)	32
Gambar 4.8 Plot 3D Pola Medan Jauh	33
Gambar 4.9 Plot 2D pada Bidang ϕ	34
Gambar 4.10 Plot 2D pada Bidang θ	34
Gambar 4.11 Perbandingan Grafik Pola Radiasi bidang θ	35
Gambar 4.12 Perbandingan Grafik Pola Radiasi bidang ϕ	35

DAFTAR SINGKATAN

GHz	Giga Hertz
AUT	Antenna Under Test
FFT	Fast Fourier Transform
NF	Near Field
FF	Far Field
DFT	Discrete Fourier Transform
VNA	Vector Network Analyzer
PC	Personal Computer
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
GPIB	General Purpose Interface Bus

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A Source Code Program	41
Lampiran B Data Refernsi AUT	46
Lampiran C Data Simulasi Transformasi	48

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada dunia telekomunikasi, peran dari peralatan nirkabel berupa antena sangat penting untuk menghubungkan satu terminal ke terminal lain dalam suatu dimensi ruang. Pengukuran antena perlu dilakukan untuk memastikan bahwa antena yang dirancang sesuai dengan kinerja yang diharapkan. Biasanya pengukuran antena dilakukan dengan menggunakan metode medan jauh. Pada metode pengukuran medan jauh, ketika dimensi dari antena yang diukur berukuran besar, maka jarak medan jauh dimana antena akan diukur juga akan semakin panjang[1]. Pengukuran ini akan menimbulkan masalah apabila dilaksanakan pada ruang anti gema atau *anechoic chamber* yang memiliki keterbatasan dalam dimensi ruang. Sehingga pengukuran hanya akan dapat dilakukan dengan metode medan dekat[1].

Pengukuran antena yang dilakukan pada daerah radiasi medan dekat akan mendapatkan parameter-parameter pengukuran medan dekat yang kemudian secara analisis digunakan untuk mendapatkan parameter antena yang digunakan, seperti pola radiasi, besar *beamwidth* (lebar pancaran) dan *gain* antena[2]. Pada pengukuran medan dekat, selain antena uji yang akan diukur parameternya, diperlukan antena *probe* (penjejak) yang digunakan untuk mengukur efek langsung dari antena uji. Antena probe akan mengukur efek radiasi antena uji pada titik-titik pengukuran yang telah ditentukan. Probe akan bergerak melingkupi semua titik pengukuran yang membentuk suatu sistem koordinat tertentu, yaitu sistem koordinat *planar*, *cylindrical* atau *spherical*[2]. Dari ketiga metode medan dekat tersebut, metode pengukuran medan dekat *planar* memiliki beberapa kelebihan dari segi aplikasi dibandingkan dengan metode lain, diantaranya sederhana dalam rumus dan proses perhitungan yang digunakan[3].

Pada saat melakukan pengukuran medan dekat, maka perlu diketahui komponen dasar dari sistem pengukuran medan dekat, yang secara umum dapat terbagi atas tiga bagian utama yaitu daerah *scanning*, peralatan pengukuran dan peralatan

komputasi[4]. Prosedur pengukuran medan dekat bertujuan untuk mendapatkan data medan dekat yang diinginkan. Selain itu, perlu diperhatikan metode komputasi yang sesuai pada proses transformasi dari pola medan dekat yang diperoleh dari pengukuran menjadi pola medan jauh. Guna mendapatkan hasil transformasi dengan tingkat keakuratan tinggi dan efisien, maka digunakan metode perhitungan yang tepat, yaitu dengan menggunakan *Fast Fourier Transform* (FFT)[5].

Terdapat penelitian-penelitian dalam penerapan pengukuran medan dekat antenna [2] - [7]. Penelitian [2], [3], dan [6] menjelaskan mengenai rumusan dasar penerapan pengukuran medan dekat pada ketiga bentuk pengukuran, yaitu *planar*, *cylindrical* dan *spherical*. Sedangkan pada penelitian [4] dan [7] dilakukan perancangan sistem pengukuran antenna medan dekat *planar*. Pada penelitian [4] dilakukan untuk mendapatkan pola medan dekat terukur terbatas sebesar 9 x 9 titik pengukuran yang kemudian digunakan untuk penentuan pola medan jauh dari antenna. Dukungan mengenai penggunaan *Fast Fourier Transform* (FFT) sebagai solusi efisien dalam pengukuran medan dekat planar dijelaskan pada penelitian [5].

Untuk mendapatkan pengukuran dengan keakuratan tinggi, data pengukuran medan dekat memiliki peran utama. Penggunaan data yang terbatas akan mendapatkan penggambaran kinerja yang terbatas. Oleh karena itu, diterapkan analisa dengan menggunakan jumlah data yang tersusun dalam matriks dengan dimensi 128 x 128 untuk tiap komponen data pengukuran yang didapatkan pada ukuran daerah scanning pengukuran sebesar 2 x 2 meter.

1.2 Tujuan Penulisan

Skripsi ini bertujuan untuk membahas tentang perancangan dan mekanisme pengukuran medan dekat dengan menggunakan teknik pengukuran medan dekat *planar*.

1.3 Batasan Masalah

Pada skripsi ini menekankan pada mekanisme pelaksanaan pengukuran antenna dengan metode medan dekat *planar* dengan menggunakan antenna horn sebagai antenna probe dan antenna mikrostrip sebagai antenna uji (*Antenna Under Test*) dengan menggunakan data sebesar 128 x 128 untuk tiap komponen pengukuran, proses transformasi menuju pola medan jauh serta penggunaan metode *Fast Fourier Transform* (FFT) untuk transformasi medan dekat ke medan jauh .

1.4 Sistematika Penulisan

Skripsi ini dibagi menjadi lima bab. Pada bab 1 berisi pendahuluan, bab 2 menjelaskan pengukuran medan dekat *planar*, bab 3 menjelaskan mengenai prosedur pengukuran, bab 4 menjelaskan mengenai simulasi program serta bab 5 tentang kesimpulan.

BAB 2

PENGUKURAN MEDAN DEKAT *PLANAR*

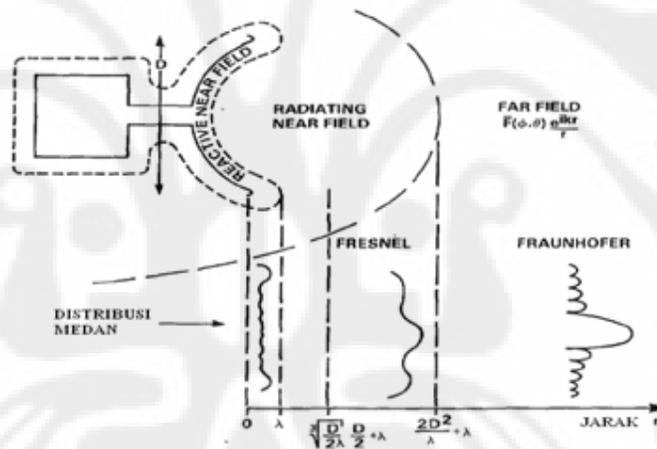
2.1 Sejarah Singkat Scanning Medan Dekat

Pengembangan dari scanning medan dekat sebagai sebuah metode untuk mengukur antenna dapat dibagi menjadi empat periode, yaitu periode eksperimen awal dengan tanpa menggunakan koreksi probe (1950-1961), periode pembahasan teori awal mengenai koreksi probe (1961-1975), periode penerapan teori penerapan koreksi probe (1965-1975) dan periode transfer teknologi (1975-1985) dimana terdapat 50 atau lebih pembuatan *scanner* medan dekat di seluruh dunia[6].

Kemungkinan *scanner* dari antenna medan dekat yang pertama adalah "*automatic antenna wave front plotter*" yang dibuat sekitar tahun 1950 oleh Barret dan Barnes [6]. Meskipun mereka tidak menghitung pola medan jauh dari data medan dekat terukur, mereka mendapatkan pemetaan yang lengkap dari variasi fase dan amplitudo di depan antenna *microwave*. Lima tahun kemudian Richmond dan Tice membandingkan kalkulasi medan jauh dari pengukuran medan dekat dengan pola medan jauh yang terukur secara langsung[6]. Pada tahun 1963 telah dilaporkan analisa gelombang permukaan oleh Kern. Hal ini merupakan solusi pertama yang tepat dan lengkap untuk permasalahan koreksi probe dalam tiga dimensi. Dari hal ini semua pengukuran medan dekat dihitung dengan dimensi terbatas dari probe dan dengan pengaruhnya pada antenna uji. Pada tahun 1965 telah direalisasikan probe terkoreksi pertama pengukuran antenna medan dekat di National Bureau Standards [6] menggunakan scanning permukaan. Teknik medan dekat antenna menggabungkan pengukuran lokal dengan proses numerik. Komputer yang lebih cepat dan modern secara khusus dirancang untuk pengukuran antenna yang tidak mudah diukur pada rentang medan jauh konvensional yang menyebabkan dilakukannya ekspansi dari pengukuran antenna medan dekat.

2.2 Medan Radiasi Antena

Suatu antena yang bekerja pada satu frekuensi yang tetap akan meradiasi gelombang elektromagnetik yang terdistribusi menjadi 3 daerah seperti yang tergambar pada Gambar 2.1. Distribusi ruang dari energi radiasi tersebut dinyatakan sebagai fungsi dari posisi observasi dalam suatu jari-jari (radius) yang konstan. Umumnya, fungsi tersebut adalah fungsi pola daya (E) dan fungsi pola medan. Pola daya adalah penggambaran dari daya yang diterima pada suatu radius konstan, sedangkan pola medan (fungsi dari θ dan ϕ) adalah variasi spasial dari medan elektrik dan medan magnetik pada suatu radius yang konstan. Daerah-daerah medan radiasi di sekitar antena tersebut adalah medan dekat reaktif (*reactive near-field*), medan dekat radiasi (*radiating near-field* atau *Fresnel region*) dan medan jauh (*far field* atau *Fraunhofer region*)[6].



Gambar 2.1 Medan di sekeliling antena yang radiasi

Medan dekat (*near-field* atau *near zone*) adalah daerah radiasi elektromagnetik dari suatu antena, dimana distribusinya secara *angular* tergantung dari jarak suatu titik pada daerah tersebut terhadap antena. Medan dekat terdiri dari medan dekat reaktif dan medan dekat *radiasi*. Medan dekat reaktif adalah bagian dari daerah medan dekat yang langsung mengelilingi atau paling dekat dengan antena dimana medan reaktifnya dominan. Jika D adalah dimensi terbesar dari suatu antena dan λ adalah panjang gelombang, maka medan

dekat reaktif dimulai dari permukaan antenna sampai sejauh $\lambda/2\pi$ dari permukaan antenna, meskipun eksperimen dengan pengukuran medan dekat mengindikasikan bahwa jarak sejauh satu panjang gelombang (λ) membentuk batas paling memungkinkan untuk medan dekat reaktif. Sedangkan daerah radiasi medan dekat adalah bagian dari medan dekat suatu antenna antara medan dekat reaktif dan medan jauh di mana distribusi medan secara *angular* tergantung dari jarak dari antenna. Medan dekat *radiasi* dimulai dari jarak $\sqrt{\frac{D}{2\lambda^2}} + \lambda$ dari permukaan antenna sampai awal radius medan jauh[6].

Medan jauh adalah daerah dari medan antenna dimana distribusi medan secara *angular* sudah tidak dipengaruhi oleh jarak dari suatu titik pada daerah di sekeliling antenna. Medan jauh dimulai dari radius $\frac{2D^2}{\lambda} + \lambda$ dari permukaan antenna sampai ke jarak tak terhingga. Oleh karena sifat dari medan terdistribusi pada medan ini sudah tidak dipengaruhi oleh jarak terhadap antenna, umumnya pengukuran antenna dilakukan pada daerah medan jauh ini karena beberapa variabel dapat dihilangkan dalam penghitungannya. Medan magnetik dan medan elektrik pada medan ini secara radial bervariasi dengan faktor sebesar $\frac{e^{jkr}}{r}$.

Penambahan nilai λ pada penghitungan radius radiasi medan dekat dan medan jauh adalah representasi dari jarak Rayleigh yang seharusnya dihitung dari permukaan terluar dari daerah medan dekat reaktif antenna. Namun, untuk arah pancaran (*beam*) utama, jarak Rayleigh kadang-kadang tidak diperhitungkan.

2.3 Pengukuran Planar

Pada bagian ini akan dijelaskan mengenai teori yang mendasari pengukuran antenna dengan menggunakan teknik medan dekat *planar*. Pembahasan akan dilakukan dari hal yang mendasar untuk mengenal dan memberi pemahaman yang lengkap terhadap teknik ini. Fitur-fitur utama dari teknik pengukuran medan dekat antenna adalah[2]:

1. Pengukuran dilaksanakan di medan dekat dari antenna yang diukur

2. Efek yang diterima oleh antena *probe* mengarah pada penyelidikan perhitungan terhadap efek yang disebabkan oleh antena yang diuji
3. Pola antena uji dihitung pada rentang permukaan tertentu.

Pelaksanaan eksperimen memerlukan tiga langkah dasar, terdiri dari[2]:

1. Pertama-tama dilakukan karakterisasi dari antena *probe*. Hal ini setara dengan menganalisa fungsi alih (*transfer function*) dari komponen sistem.
2. Menggunakan dua orientasi independen dari antena *probe*, dimana pengukuran medan tangensial diperoleh pada rentang yang telah ditentukan pada permukaan di bidang antena.
3. Evaluasi untuk pola medan jauh, biasanya menggunakan algoritma *Fast Fourier Transform* (FFT).

Beberapa keuntungan dari teknik ini dibandingkan pengukuran medan jauh secara langsung, meliputi[2]:

1. Pengukuran medan dekat lebih efektif pada biaya, waktu, serta keakuratan dan lebih baik dibandingkan pengukuran medan jauh.
2. Medan dekat menyediakan kemampuan pengaturan lingkungan dan cuaca.
3. Untuk antena berukuran besar, pembatasan ukuran pada rentang medan jauh, pemindahan (transportasi), dan masalah pemasangan, serta kebutuhan untuk menyediakan ruang yang besar dapat diatasi dengan pengukuran medan dekat.
4. Diperoleh informasi mengenai performansi mengenai antena secara lengkap.

Pengukuran antena dengan menerapkan metode medan dekat memiliki beberapa kerugian, meliputi[2]:

1. Dibutuhkan sistem pengukuran yang lebih rumit dan mahal
2. Dibutuhkan sebuah prosedur yang lebih luas untuk mengkalibrasi pengukuran medan dekat saat dibandingkan terhadap medan jauh
3. Pola antena tidak didapatkan secara *real time*
4. Software komputer memainkan peran penting dalam perhitungan pola.

Pada dasarnya, kedua medan yang diradiasi oleh antena uji dan *probe* diperluas dalam batasan-batasan dari gelombang permukaan dasar (*mode*). Berdasarkan pada sebuah teknik yang pertama kali disampaikan oleh Brown dan Jull, teorema Lorentz kemudian digunakan untuk menghitung keluaran *probe* sebagai fungsi dari medan yang diperluas. Hasilnya adalah sebuah persamaan

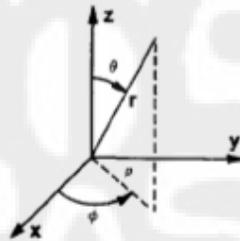
aljabar dengan hubungan antara medan dari *probe* (yang diketahui) terhadap medan radiasi (yang tidak diketahui) oleh antenna uji. Mode *amplitude* yang tidak diketahui kemudian ditentukan dari persamaan ini dan pola medan jauh akhirnya dapat dihitung.

Pada frekuensi tetap, antenna meradiasi gelombang elektromagnetik secara *spherical* pada daerah medan jauh (*far-field*). Ketika medan ini dinormalisasi terhadap koordinat radial, intensitas dari medan magnet dan medan listrik dapat dinyatakan sebagai:

$$\mathbf{E}(\theta, \varphi) = E_{\theta}(\theta, \varphi)\hat{\theta} + E_{\varphi}(\theta, \varphi)\hat{\varphi} \quad (2.1)$$

$$\mathbf{H}(\theta, \varphi) = \frac{1}{\eta} [E_{\theta}(\theta, \varphi)\hat{\theta} - E_{\varphi}(\theta, \varphi)\hat{\varphi}] \quad (2.2)$$

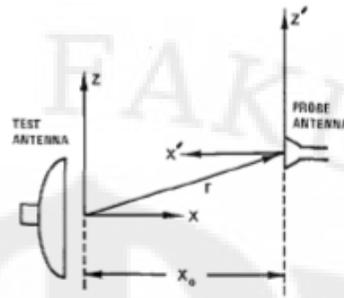
dimana $\eta = \sqrt{\mu/\epsilon}$ yang merupakan impedansi intrinsik dari medium, θ dan φ adalah masing-masing merupakan sudut elevasi dan *azimuth* dari titik observasi medan jauh[3]. Gambar 2.2 mendefinisikan sudut yang digunakan untuk menentukan koordinat-koordinat yang digunakan.



Gambar 2.2 Definisi Sistem Koordinat

Fungsi dari $E_{\theta}(\theta, \varphi)$ dan $E_{\varphi}(\theta, \varphi)$ masing-masing menunjukkan komponen elevasi dan komponen *azimuth* dari intensitas medan listrik medan jauh yang dinormalisasi[3].

Pengukuran medan dekat pada permukaan *planar* mempunyai keuntungan, yaitu sederhana dalam hal rumusan matematis dan komputasi. Permukaan pengukuran medan dekat *planar* diletakkan di depan antenna uji. Secara geometri dari sistem pengukuran ini dengan sistem koordinat yang dijelaskan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Definisi Sistem Permukaan *Planar*

Diasumsikan bahwa antenna uji tepat lurus terhadap bidang pengukuran sehingga radiasi dari antenna merupakan maksimum dengan arah tegak lurus terhadap bidang pengukuran, sehingga arah ini searah dengan sumbu x .

Dengan menganggap medan dekat dari antenna uji diukur pada titik-titik yang telah ditentukan sebelumnya pada bidang pengukuran oleh antenna *probe*, maka akan diasumsikan mengenai respon *probe* untuk satu dari dua komponen polarisasi yang telah ditentukan sebelumnya dari bidang medan dekat. Guna menyederhanakan deskripsi berikutnya, maka akan diambil untuk komponen horizontal dan vertikal dari intensitas medan listrik. Penentuan dari medan jauh antenna uji membutuhkan kedua komponen polarisasi dari medan dekat yang terukur. Sehingga fasilitas untuk merubah polarisasi dari *probe* dengan merotasinya pada sumbu longitudinal sangat diperlukan.

Keluaran *probe* dapat dideskripsikan secara matematis sebagai sinyal waktu sinusoidal yang memiliki *amplitude* dan *phase* yang bervariasi sesuai posisi pada permukaan pengukuran[3]. *Amplitude* dan *phase* dari sinyal ini dapat dideteksi dengan ditunjukkan dari *phase* dan *amplitude* koheren pada *receiver*. Sehingga sinyal yang terdeteksi dapat ditulis sebagai tegangan kompleks yang merupakan sebuah fungsi dari posisi. Keluaran *probe* yang terdeteksi ini akan dinotasikan dengan $v_V(x_0, y, z)$ dan $v_H(x_0, y, z)$, dimana *subscript* dari V dan H masing-masing menunjukkan polarisasi dari *probe* pada bidang vertikal dan horizontal. Koordinat dari x_0, y , dan z dapat dilihat pada Gambar. 2.

Persamaan gandeng ("*coupling*") antara *probe* dan antenna uji dapat direduksi menjadi sebuah persamaan yang menghubungkan keluaran *probe* yang

terdeteksi dengan hasil antara medan jauh teradiasi oleh antenna dan yang teradiasi oleh *probe* ketika digunakan sebagai transmitter. Dianggap bahwa medan jauh teradiasi oleh *probe* dinotasikan dengan $E_{\theta}^V(\theta, \varphi)\hat{\theta} + E_{\varphi}^V(\theta, \varphi)\hat{\phi}$ ketika dipolarisasi secara vertikal, dan dengan $E_{\theta}^H(\theta, \varphi)\hat{\theta} + E_{\varphi}^H(\theta, \varphi)\hat{\phi}$ ketika polarisasi horizontal[3]. Ketika persamaan gandeng ("*coupling*") ditulis untuk masing-masing polarisasi dari *probe*, Persamaan 2.3 dan Persamaan 2.4 dapat diselesaikan secara simultan untuk fungsi medan jauh pada antenna uji dimana $\Delta(\theta, \varphi)$ adalah determinan dari sistem dengan persamaan.

$$E_{\theta}(\theta, \varphi) = \frac{\sin\theta\cos\varphi}{\Delta(\theta, \varphi)} [I_H(\theta, \varphi)E_{\varphi}^V(\pi - \theta, \varphi) - I_V(\theta, \varphi)E_{\theta}^H(\pi - \theta, \varphi)] \quad (2.3)$$

$$E_{\varphi}(\theta, \varphi) = \frac{\sin\theta\cos\varphi}{\Delta(\theta, \varphi)} [I_H(\theta, \varphi)E_{\theta}^V(\pi - \theta, \varphi) - I_V(\theta, \varphi)E_{\theta}^H(\pi - \theta, \varphi)] \quad (2.4)$$

$$\Delta(\theta, \varphi) = E_{\theta}^H(\pi - \theta, \varphi)E_{\varphi}^V(\pi - \theta, \varphi) - E_{\theta}^V(\pi - \theta, \varphi)E_{\varphi}^H(\pi - \theta, \varphi) \quad (2.5)$$

Fungsi dari $I_V(\theta, \varphi)$ dan $I_H(\theta, \varphi)$ mewakili integral yang berkaitan dengan respon *probe*. Fungsi ini lebih sesuai ditulis sebagai fungsi dari "wavenumber" dibandingkan dengan koordinat sudut[3]. Dengan menganggap $k_y = k \sin\theta \sin\varphi$ dan $k_z = k \cos\theta$ dimana $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ adalah "wavenumber" ruang bebas. Persamaan 2.6 dan 2.7 menunjukkan bentuk persamaan integral untuk $I_V(k_y, k_z)$ dan $I_H(k_y, k_z)$.

$$I_V(k_y, k_z) = \exp(jk_x x_0) \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} v_V(x_0, y, z) \exp(jk_y \cdot y + jk_z \cdot z) dy dz \quad (2.6)$$

$$I_H(k_y, k_z) = \exp(jk_x x_0) \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} v_H(x_0, y, z) \exp(jk_y \cdot y + jk_z \cdot z) dy dz \quad (2.7)$$

$$\text{dimana } k_x = \sqrt{k^2 - k_y^2 - k_z^2} \quad (2.8)$$

Kedua persamaan integral adalah integral Fourier dua dimensi yang dapat dievaluasi secara numerik dengan efisien menggunakan algoritma *Fast Fourier*

Transform (FFT). Dengan menganggap permukaan pengukuran dibagi ke dalam titik-titik *grid* yang ditetapkan melalui koordinat $(x_0, m, \Delta y, n, \Delta z)$, dengan $0 \leq m \leq M - 1$, $0 \leq n \leq N - 1$ dimana M, N adalah bilangan integer positif. Hal ini ditentukan dengan dimensi linear dari sampling permukaan yang dibagi oleh jarak antar sampling. Apabila respon-respon dari *probe* $v_V(x_0, m, \Delta y, n, \Delta z)$ dan $v_H(x_0, m, \Delta y, n, \Delta z)$ direkam (*record*) pada titik-titik *grid* ini, kemudian FFT digunakan untuk menghitung $I_V(k_y, k_z)$ dan $I_H(k_y, k_z)$ pada *wavenumber* yang telah ditentukan secara eksplisit ditentukan dengan teori transformasi Fourier Diskrit dan diberikan dengan Persamaan 2.9 dan Persamaan 2.10 dengan hubungan koordinat sudut seperti yang dijelaskan pada Persamaan 2.11 dan 2.12.

$$k_y = \frac{2m\pi}{M\Delta y}, -\frac{M}{2} \leq m \leq \frac{M}{2} - 1 \quad (2.9)$$

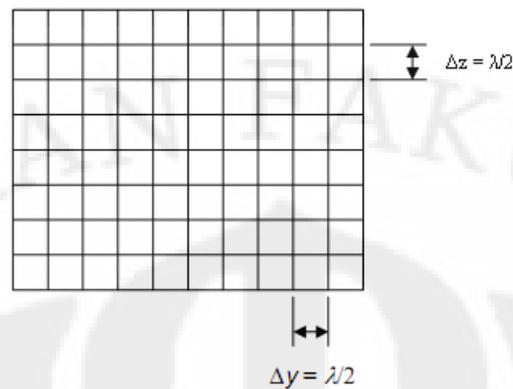
$$k_z = \frac{2n\pi}{N\Delta z}, -\frac{N}{2} \leq n \leq \frac{N}{2} - 1 \quad (2.10)$$

$$\theta = \frac{\pi}{2} - \tan^{-1} \left[\frac{z}{x_0} \right] \quad (2.11)$$

$$\varphi = \text{atan} \left[\frac{y}{x_0} \right] \quad (2.12)$$

Panjang dan tinggi dari permukaan pengukuran scanning dan $0 \leq a \leq N - 1$ dan $0 \leq b \leq M - 1$ ditunjukkan dengan variabel z dan y.

Untuk mendapatkan keakuratan dalam evaluasi dari integral Fourier membutuhkan grid spasi delta y dan delta z pada permukaan yang lebih kecil atau sama dengan $\lambda/2$, dan x_0 untuk beberapa panjang gelombang sesuai dengan batasan jarak medan jauh[7]. Pada gambar 2.4 ditunjukkan mengenai pembagian titik-titik scanning pada permukaan *planar*[1].



Gambar 2.4 Sampel Scanning Permukaan *Planar*

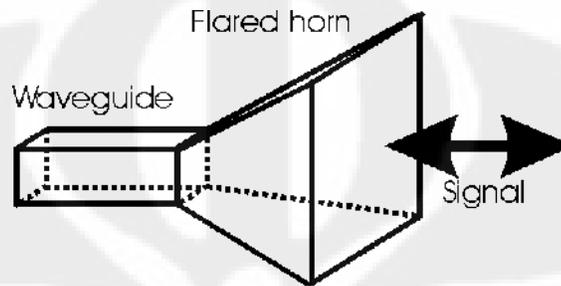
2.4 Probe Medan Dekat

Pemilihan yang tepat dari antenna probe medan dekat dapat secara signifikan meningkatkan kualitas dan kecepatan dari proses *acquisition* data[1]. Probe medan dekat mengukur antara E atau H dari antenna uji. Tipe-tipe dari probe yang digunakan dalam pengukuran medan dekat terdiri dari:

- *Open-ended waveguide* menyediakan sebuah pengukuran omnidirectional dari medan E dengan minimal gangguan terhadap medan elektromagnetik.
- *Antena Loop* mengukur medan H sebagai pengganti medan E. Hal ini mirip dengan *open-ended waveguide*.
- *High gain antenna*, seperti horn, dishes, logperiodic dan sebagainya. Antenna-antenna tersebut umumnya direferensikan untuk gain paling tinggi pada pengukuran antena yang dilakukan pada rentang medan dekat *planar*.
- *Monopulse antenna* dapat memberikan keuntungan-keuntungan signifikan dalam pengukuran pada *low sidelobe*.

Antena horn sebagai salah satu *high gain antenna* dapat dijadikan sebagai pilihan untuk probe yang akan digunakan dalam pengukuran medan dekat *planar*.

Nama antenna horn berasal dari penampilannya yang khas seperti yang tergambar pada Gambar 2.5. Bagian horn dapat segi empat, rectangular, silindris atau mengerucut. Arah radiasi maksimum sesuai dengan poros horn. Horn dapat dengan mudah diberikan input dengan *waveguide*, tetapi juga bisa diberikan input dengan kabel coax dengan peralihan yang benar.



Gambar 2.5 Penampang Antenna Horn

Antena horn sangat populer dalam daerah gelombang pendek (*microwave*). Antena horn secara umum dipakai sebagai elemen aktif dalam antena parabola. Horn tersebut mengarah pada pusat reflektor parabola. Penggunaan horn daripada antena dipole atau antena mana pun, di fokus parabola meminimalisir kehilangan energi di sekitar pinggiran reflektor parabola. Pada frekuensi 2,4 GHz, antena horn sederhana yang terbuat dari kaleng mempunyai gain sebesar 10 - 15 dBi.

Antena horn dapat dianggap sebagai sebuah transformer RF atau pencocok (*Match*) impedance antara pencatu *waveguide* dan ruang bebas dengan memiliki sebuah impedance 377 ohm. Dengan memiliki sebuah ujung runcing atau memiliki ujung yang melebar terhadap *waveguide*, antena horn dibentuk dan antena ini membuat *matching impedance*. Meskipun *waveguide* akan meradiasi tanpa antena horn, penggunaan *waveguide* akan menyebabkan *matching* akan jauh lebih efisien. Sebagai tambahan untuk memperbaiki *matching*, antena ini juga menyebabkan penekanan sinyal yang datang pada mode yang tidak diinginkan dalam *waveguide* dari yang sedang diradiasi.

Keuntungan utama dari antenna horn adalah bahwa antenna ini menyediakan level signifikan dari *directivity* dan *gain*. Untuk level yang lebih baik pada *gain*, antenna horn sebaiknya memiliki *aperture* yang luas.

2.5 FFT (*Fast-Fourier Transform*)

Dalam analisa transformasi medan dekat *planar* ke medan jauh (NF-FF) terdapat bentuk integral dalam bentuk $\iint_{-\infty}^{\infty} f(x, y) e^{j(\omega x + \omega y)} dx dy$. Analisa dilakukan dengan memperhatikan evaluasi numerik dari bentuk integral seperti yang tampak pada Persamaan 2.13 dengan $f(x)$ diasumsikan sebagai daerah terbatas, ω adalah parameter transformasi Fourier [5].

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) e^{j\omega x} dx \quad (2.13)$$

$$\begin{aligned} f(x) &= f(x), \quad \alpha \leq x \leq \beta \\ &= 0, \quad \text{lainnya} \end{aligned}$$

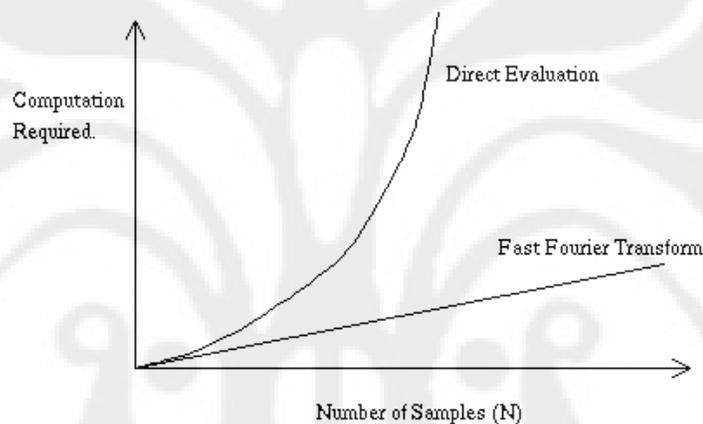
Untuk mengetahui tahapan dari penyelesaian rumus di atas, digunakan persamaan integral dimensi satu seperti pada Persamaan 2.14[6].

$$F(\omega) = \int_{-D/2}^{D/2} f(x) e^{j\omega x} dx \quad (2.14)$$

Persamaan 2.14 dapat diselesaikan dengan menggunakan metode *Discrete Fourier Transform* (DFT). Ada beberapa cara untuk mengkalkulasi *Discrete Fourier Transform* (DFT), seperti penyelesaian simultan persamaan linear atau metode korelasi. Fast Fourier Transform (FFT) adalah metode lain untuk menghitung DFT. Ketika FFT menghasilkan hasil sama seperti pendekatan lain, FFT memberikan hasil yang lebih efisien, bahkan mengurangi waktu komputasi.

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-j2\pi(\frac{k}{N})n} \quad (2.15)$$

Jika melihat pada persamaan umum dari *Discrete Fourier Transform* pada Persamaan 2.15, maka tampak bahwa akan sulit dikerjakan yang berkaitan dengan banyak penjumlahan dan perkalian berkaitan dengan bilangan kompleks. Sebagai contoh delapan sinyal sederhana akan membutuhkan 49 perkalian kompleks dan 56 penjumlahan kompleks untuk mendapatkan DFT. Pada tingkatan ini masih dapat dijangkau, akan tetapi sebuah sinyal yang realistis dapat memiliki 1024 sampel yang membutuhkan lebih 20000000 perkalian kompleks dan penjumlahan. Seperti yang dapat dilihat pada jumlah perhitungan yang dibutuhkan hingga mencapai proporsi yang tak dapat dijangkau.



Gambar 2.6 Grafik Perbandingan FFT vs DFT

FFT adalah sebuah metode sederhana dari penggunaan komputasi, yang digunakan dalam jumlah besar dan cepat untuk nilai yang besar dari N , dimana N adalah jumlah dari sampel. Ini merupakan cara yang cerdas untuk mencapai hasil dibandingkan metode DFT dengan waktu yang dibutuhkan sejumlah P^2 .

Ide di balik FFT adalah pendekatan pembagian dengan untuk membagi N titik sampel ke dalam dua ($N/2$) urutan (*sequences*). Hal ini karena urutan dari permasalahan yang lebih kecil lebih mudah untuk diselesaikan dibandingkan yang besar. DFT membutuhkan sebanyak $(N-1)^2$ perkalian kompleks dan $N(N-1)$ penambahan kompleks sedangkan berbeda dengan pendekatan FFT yang

membagi nya ke dalam sebuah deret dari 2 titik sample yang hanya membutuhkan 1 perkalian dan 2 penambahan dan rekombinasi dari titik-titik menjadi minimal.

Untuk menggunakan FFT, interval $[\alpha, \beta]$ dibagi sebanyak M_x pembagian, dan akan mendapatkan sebanyak M titik FFT pada nilai sampel. Sehingga akan menggunakan bentuk Persamaan 2.14.

$$F(\omega) = e^{j\omega(\alpha + \frac{h}{2})} \cdot h \cdot \sum_{m=0}^{M-1} g(mh) W_M^{mp} \quad (2.16)$$

dimana:

$$h = \frac{\beta - \alpha}{M_x}$$

$M = 2^n$, sehingga $M \geq M_x$, n bilangan integer

$$g(x) = f\left(x + \alpha + \frac{h}{2}\right)$$

$$W_m = e^{\frac{j2\pi}{M}}$$

$g(mh) = 0$, untuk $m \geq M_x$

$$p = \left(\frac{Mh}{2\pi}\right) \omega = 0, 1, 2, \dots, M-1$$

Sehingga,

$$F(\omega) = e^{j\omega(\alpha + \frac{h}{2})} \cdot h \cdot FFT[g(0), g(h), \dots, g(M-1h)] \quad (2.17)$$

Persamaan 2.15 merupakan persamaan yang digunakan dalam proses transformasi dari medan dekat menuju medan jauh guna menyelesaikan persamaan integral Fourier.

BAB 3 PROSEDUR PENGUKURAN

3.1 Perancangan Sistem Pengukuran Medan Dekat *Planar*

Perancangan sistem pengukuran medan dekat akan menyediakan fleksibilitas yang signifikan terhadap peningkatan kapabilitas uji antenna. Probe yang berada pada *scanner* dapat bergerak mengelilingi permukaan *planar* tertentu, misalnya area dengan luas 2 m x 2 m. Selain itu, probe juga dapat berotasi untuk mendapatkan variabel pada komponen polarisasi vertikal dan horizontal. Desain yang akan dibahas sangat sesuai untuk diletakkan dalam *anechoic chamber* dengan dimensi terbatas. Berdasarkan pada *Fourier Transform*, pola radiasi medan jauh dapat dihitung dari data medan dekat yang didapat.

Perhatian pada perancangan sistem ini dapat dibagi dalam 3 bagian, yaitu[4]:

1. *Scanner*

Sepasang *motor stepper* yang dikendalikan oleh komputer digunakan untuk menentukan posisi probe pada area scanning pada permukaan *planar*. Selain itu juga digunakan sebuah *motor stepper* untuk merubah polarisasi dari probe.

2. *Measuring equipment*

Digunakan *Vector Network Analyzer (VNA)*, dimana untuk tipe HP 8753e yang merupakan “*vector network analyzer*” untuk laboratorium atau pengukuran produktif dari refleksi dan parameter transmisi yang telah tersedia di *anechoic chamber* Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

3. *Management and communication system*

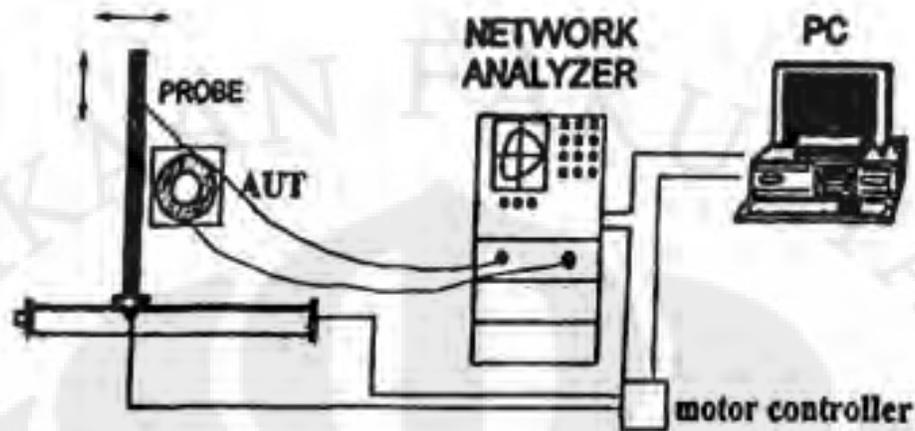
Setelah pergerakan dari *motor stepper*, kemudian didapatkan data dari VNA dan data ditransfer dari VNA ke komputer dengan dikendalikan oleh komputer. Di komputer ini akan dikalkulasi transformasi dari medan dekat ke medan jauh dengan *discrete Fourier Transform*. Komunikasi antara PC dan VNA dilakukan dengan GPIB, antarmuka dengan standar IEEE-488, dimana kecepatan transfer

data mencapai 1 megabyte/sec. Komunikasi terhadap *scanning system* dilakukan dengan system A-BUS yang meliputi sebuah adapter A-BUS dan satu “*Dual Stepper Motor Controller*”.

Peralatan yang digunakan dalam rancangan sistem pengukuran medan dekat planar, terdiri dari:

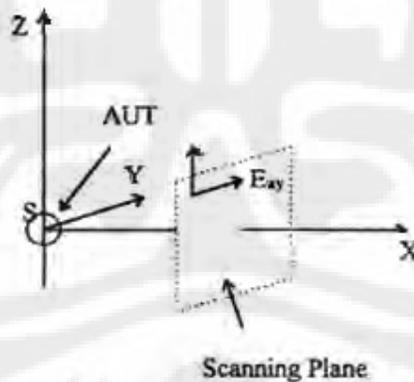
1. PC
2. GPIB
3. VNA, dalam hal ini HP 8753e
4. Dual motor controller
5. 3 buah motor stepper
6. Antenna probe
7. AUT
8. Lintasan pergerakan probe
9. Interface-interface lainnya dengan area scanning

Pada Gambar 3.1 dijelaskan mengenai pengaturan tiap komponen pengukuran menjadi sebuah sistem pengukuran. Peran PC sebagai pengatur pergerakan *motor stepper* tampak ketika PC tersebut terhubung dengan *motor controller*. *Motor controller* akan mengendalikan pergerakan *motor stepper* dari *scanner* yang bertujuan untuk penentuan lokasi antenna probe dalam pengambilan data. Antena probe dihubungkan ke NA yang bertujuan untuk pengukuran medan dekat yang terdeteksi. Sedangkan AUT terhubung dengan NA menunjukkan pemberian supply power pada AUT untuk dapat meradiasikan gelombang elektromagnetik ke ruang bebas.



Gambar 3.1 Sistem Pengukuran Medan Dekat

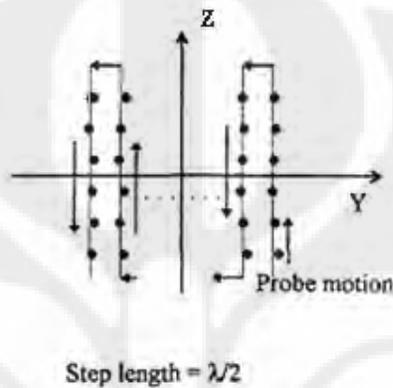
Bidang pergerakan antenna probe dijelaskan pada Gambar 3.2. Bidang pengukuran terletak di depan AUT yang berbentuk *planar*. Dengan hanya memperhatikan bidang pengukuran tersebut, maka pergerakan dari probe dapat disederhanakan posisinya hanya menjadi bidang koordinat Cartesian 2 dimensi (Y, Z).



Gambar 3.2 Pola Permukaan Scanning

Pola pergerakan probe dalam pengukuran di bidang pengukuran *planar* dijelaskan pada Gambar 3.3. Dengan pola pengukuran data tersebut untuk tiap titik pengukuran, maka akan tampak seolah-olah data didapatkan dengan

pengambilan pada sebuah garis yang terbagi menjadi beberapa titik. Sehingga akan didapatkan data hanya dalam bentuk $(m \times n, 1)$ data dengan m dan n adalah banyak titik pengukuran pada bidang vertikal dan horizontal. Jika dimensi pengukuran $(m \times n)$, maka dibutuhkan suatu prosedur untuk mengkonversi data menjadi data matriks berdimensi $(m \times n)$ dari data matriks satu kolom $(m \times n, 1)$



Gambar 3.3 Pola Pergerakan Probe

Dari sistem perancangan tersebut dapat dikembangkan menjadi sistem pengukuran *cylindrical* dengan menambahkan fitur *rotating* pada antenna uji (AUT).

Setelah perancangan pengukuran medan dekat *planar* selesai diimplementasikan seperti pada Gambar 3.1, maka proses pengukuran medan dekat *planar* dapat dilaksanakan. Adapun penjelasan langkah-langkah kerja sistem medan dekat *planar*, sebagai berikut[8]:

- *Data Acquisition:*

Pada tahap ini dilakukan proses-proses yang berlangsung pada sistem hardware yang telah dibuat. Tujuan utamanya adalah untuk mendapatkan data medan dekat dari antenna yang diujikan yang terdiri dari beberapa tahapan, yaitu:

1. Komputer akan menentukan posisi pengukuran pada bidang *planar*
2. Terjadi pergerakan probe pada posisi yang telah ditentukan

3. Mengukur AUT
4. Menyimpan hasil pengukuran
5. Mengulangi langkah 1 sampai semua titik telah terukur untuk polarisasi antena probe vertikal dan horizontal

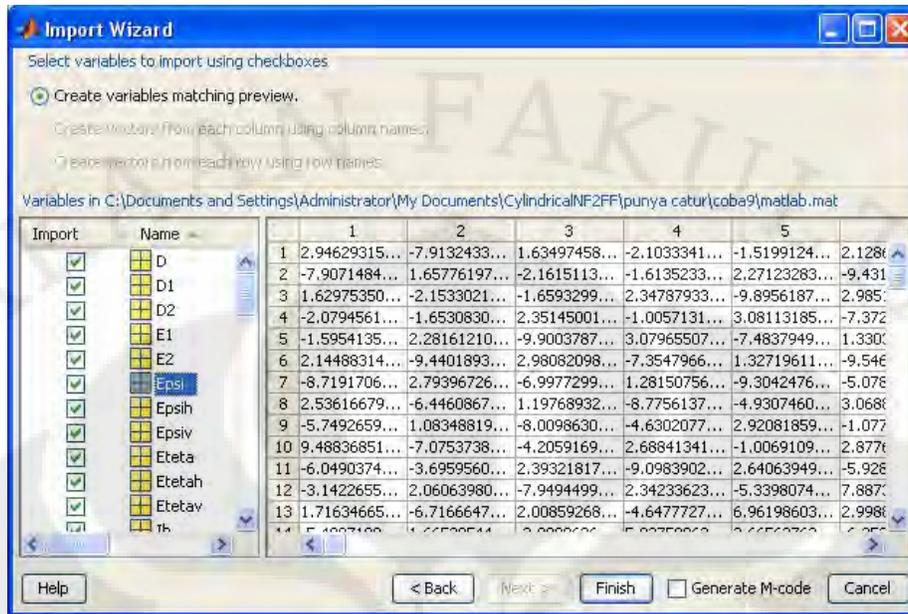
- *Data Transformation:*

Pada proses ini digunakan program yang berguna untuk memproses lebih lanjut data medan dekat yang telah didapatkan dari proses sebelumnya. Pengolahan data medan dekat yang berupa transformasi data tersebut menjadi data medan jauh untuk melihat kinerja antenna uji yang terdiri dari 2 tahap, yaitu:

1. Transformasi pengukuran medan dekat ke medan jauh
2. Plot hasil pengukuran

3.2 Data Pengukuran

Data yang digunakan adalah data yang dibutuhkan untuk melakukan transformasi medan dekat ke medan jauh yang secara umum terbagi atas dua bagian, yaitu data medan dekat dari antenna uji dan data medan jauh dari antenna probe. Komponen-komponen data dari kedua medan tersebut tersusun dalam bentuk matriks. Besarnya dimensi matriks sesuai dengan jumlah data yang terukur dalam bidang *planar*. Tiap komponen data berupa bilangan kompleks yang terdiri atas komponen real dan imajiner. Contoh dari data yang digunakan dalam proses transformasi ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Contoh Matriks Data

Tabel 3.1 menunjukkan informasi mengenai medan jauh dari antenna probe dan medan dekat yang digunakan dalam proses transformasi medan dekat menuju medan jauh antenna.

Tabel 3.1 Data yang Dibutuhkan

Komponen Medan Jauh Antena probe	Simbol
Medan jauh bidang teta, polarisasi vertikal	E_{θ}^V
Medan jauh bidang teta, polarisasi horizontal	E^H
Medan jauh bidang psi, polarisasi vertikal	E_{θ}^V
Medan jauh bidang psi, polarisasi horizontal	E^H

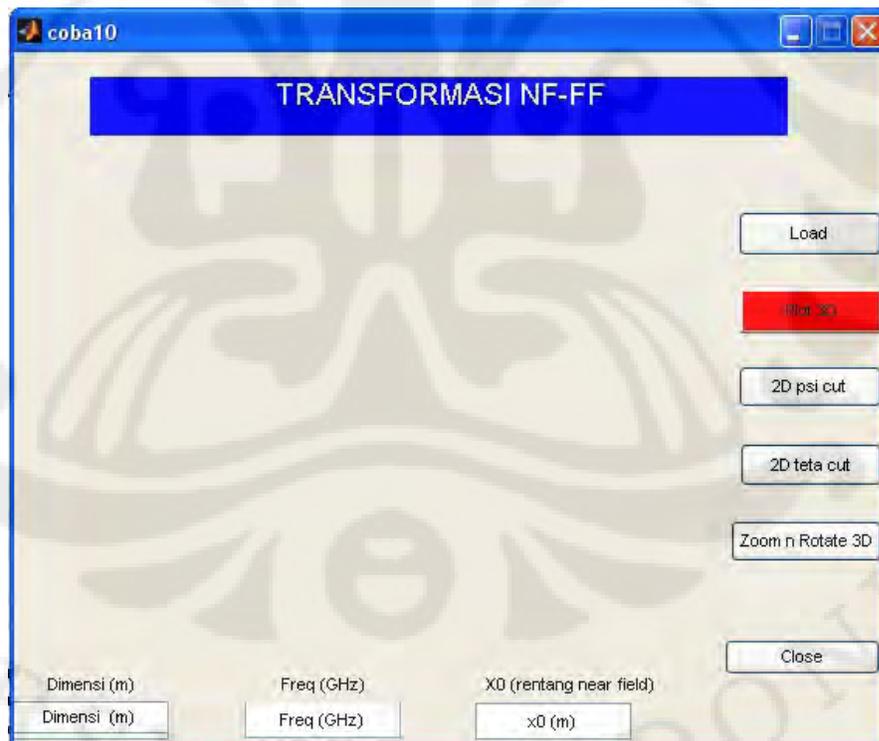
Komponen Medan Dekat Antena Uji (AUT)	Simbol
Medan dekat polarisasi vertikal	$V_V(x_0, y, z)$
Medan dekat polarisasi horizontal	$V_H(x_0, y, z)$

Data ini didapatkan dari simulasi pengukuran dengan menggunakan *software* simulasi Ansoft HFSS version 11.1.1. Selain data yang dibutuhkan pada

pengukuran medan dekat, digunakan pula pola medan jauh dari antenna uji (AUT) sebagai pembanding (referensi) terhadap proses penerapan pengukuran medan dekat *planar* dengan pengukuran medan jauh secara langsung.

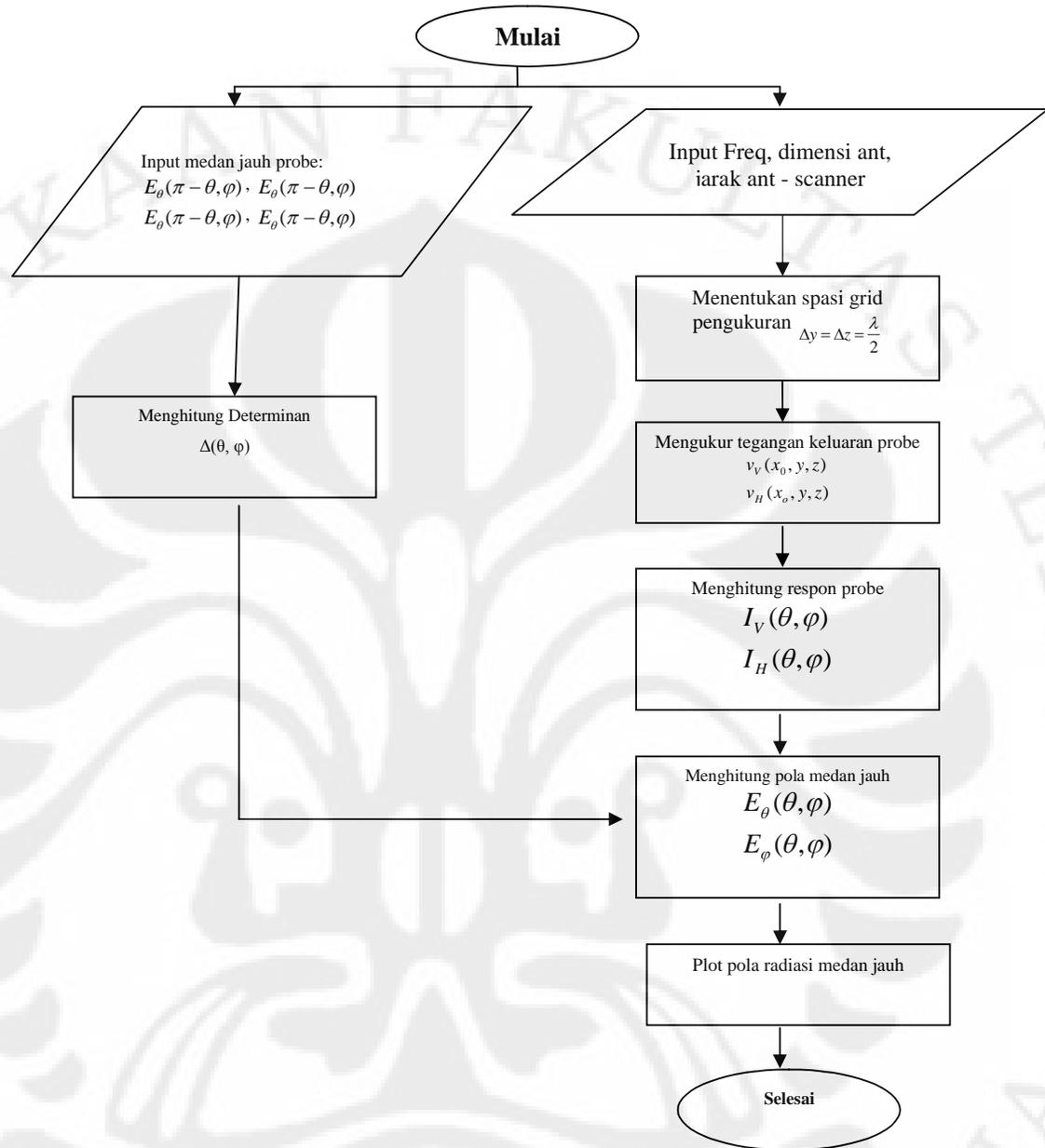
3.3 Perancangan Perangkat Lunak

Pada media perhitungan untuk mendapatkan data medan jauh dari medan dekat, digunakan bahasa pemrograman MATLAB® (*Matrix Laboratory*) versi 7.5.0 (R2007b) dengan menggunakan algoritma yang disusun berdasarkan perhitungan yang telah dibahas sebelumnya. Penggunaan *Graphic User Interfaces* (GUI), yang memberikan/menyediakan fasilitas seperti *menus*, *pushbuttons*, *sliders* dan sebagainya, sesuai dengan program yang diinginkan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.5. Fasilitas ini memungkinkan untuk berinteraksi secara langsung dan lebih baik dengan file dan program yang digunakan.



Gambar 3.5 Tampilan Halaman Program dengan GUI

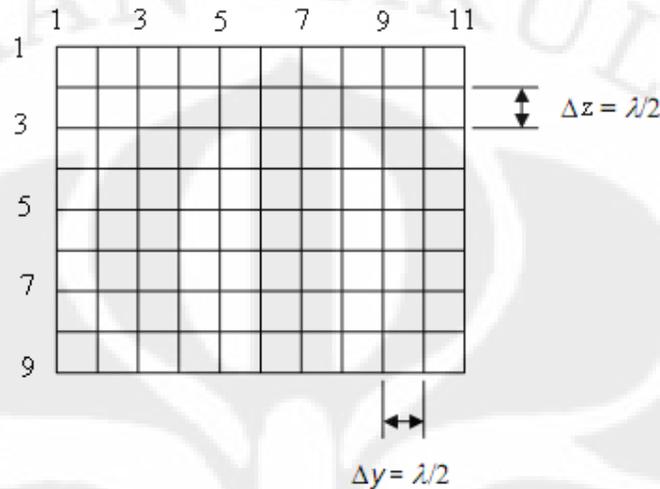
Sebelum dilakukan pengkodean program, pertama-tama dilakukan pembuatan diagram alir dari penghitungan pada pengukuran medan jauh dengan metode *planar*. Dari pembahasan yang telah dilakukan pada Bab 2, maka disusun alur yang dibutuhkan seperti pada Gambar 3.6 untuk mendapatkan pola medan jauh. Dengan memberikan beberapa inputan informasi yang dibutuhkan, seperti frekuensi dan dimensi antena. Mengenai panjang dan lebar permukaan *scanner*, jarak antena dengan bidang permukaan dapat ditentukan sesuai dengan perancangan sistem yang dibuat. Selain itu, diperlukan informasi medan jauh probe dan informasi medan dekat terukur dari antena yang keduanya berupa data-data yang tersusun dalam matrik dalam satu file terpisah dengan ekstensi ".mat".



Gambar 3.6 Diagram Alir (Flowchart)

Pada penyusunan program dilakukan operasi terhadap nilai-nilai dari variabel-variabel dari medan jauh antenna probe dan medan dekat antenna uji yang tersusun dalam suatu matriks. Guna mempermudah dalam operasi dan visualisasi dalam pengukuran, diasumsikan bahwa setiap posisi dimana data diambil pada

titik-titik di permukaan pengukuran sebagai posisi komponen matriks yang bersangkutan.



Gambar 3.7. Posisi pengambilan data

Tahapan dari proses yang terjadi dalam perangkat lunak, dijelaskan sebagai berikut:

- Input data antenna uji

Bagian pertama dari program berfungsi untuk melakukan inputan informasi dari antenna uji yang diukur. Inputan pertama yang dibutuhkan adalah frekuensi dari antenna yang disimpan dalam variabel “freq” yang dalam hal ini satuan inputan yang digunakan dalam Giga Hertz (GHz). Kemudian dari satuan GHz diubah menjadi Hz yang disimpan dalam variabel “f”. Dari input yang telah diberikan, maka akan dihitung panjang gelombang (λ) dengan variabel “lambda” dan jarak antar titik pada tiap pengukuran baik pada arah horizontal (Δy) yang tersimpan dalam “deltay” maupun vertical (Δz) yang disimpan dalam “deltaz”. Sehingga banyaknya titik yang akan digunakan untuk pengukuran akan didapatkan sebagai perkalian matriks ($m \times n$) dengan “m” merupakan banyaknya titik pada sumbu horizontal dan “n” sebagai banyaknya titik pada sumbu vertikal.

Input yang diperlukan kemudian adalah dimensi dari antenna uji (D). Setelah dimensi dari antenna diketahui dan panjang gelombang didapatkan dari inputan sebelumnya, maka akan didapatkan rentang medan dekat dimana input selanjutnya akan ditentukan dalam rentang jarak ini yang berfungsi untuk menentukan jarak antara antenna uji dengan bidang pengukuran (x_0).

- Penghitungan Konstanta-konstanta yang digunakan

Setelah informasi awal pengukuran diketahui, maka langkah berikutnya menghitung nilai-nilai konstanta yang digunakan pada perhitungan berikutnya, yaitu “ky” dan “kz” yang dihitung dari data-data antenna yang diketahui pada setiap titik. Banyaknya konstanta dari “ky” dan “kz” diketahui dari perhitungan sebelumnya dengan membagi panjangnya lintasan dibagi dengan jarak pengukuran antar titik.

- Input data medan jauh dari probe

Dalam melakukan pengukuran medan dekat antenna dan kemudian melakukan perhitungan untuk mendapatkan medan jauh dari antenna uji, maka diperlukan data medan jauh dari antenna probe yang digunakan. Dengan menganggap medan jauh dari antenna probe sebagai $E_{\theta}^V(\theta, \varphi)\hat{\theta} + E_{\varphi}^V(\theta, \varphi)\hat{\varphi}$ dan $E_{\theta}^H(\theta, \varphi)\hat{\theta} + E_{\varphi}^H(\theta, \varphi)\hat{\varphi}$, maka diperlukan untuk mendefinisikan medan jauh probe sebagai $E_{\theta}^V(\theta, \varphi)$, $E_{\varphi}^V(\theta, \varphi)$, $E_{\theta}^H(\theta, \varphi)$, dan $E_{\varphi}^H(\theta, \varphi)$ dalam pembuatan program, keempat variabel tersebut diberi nama dengan “Etejav”, “Etejah”, “Epsiv”, dan “Epsih”. Nilai yang dimasukkan dalam variabel-variabel ini akan digunakan untuk proses pada perhitungan medan jauh berikutnya.

- Input data pengukuran tiap titik pengukuran

Data pengukuran diambil pada permukaan pengukuran yang telah ditentukan sebelumnya. Dalam pengukuran untuk tiap titik yang telah ditentukan di permukaan pengukuran, dilakukan pengukuran dalam dua bentuk, yaitu polarisasi vertikal dan polarisasi horizontal. Data yang didapatkan juga dalam 2 bentuk dimana dari data medan dekat ini yang berbentuk bilangan kompleks akan digunakan untuk penghitungan pola medan jauh dari antenna uji. Data pengukuran terbagi dalam dua bentuk, yaitu data pada polarisasi vertikal dan data pada polarisasi horizontal. Data-data tersebut yang tersimpan dalam bentuk array 2 dimensi atau membentuk matriks untuk memudahkan penggambaran dengan posisi pengukuran antenna. Informasi data yang didapatkan dari tiap titik pengukuran akan digunakan sebagai referensi di perhitungan transformasi medan dekat ke medan jauh berikutnya.

- Menghitung nilai $I_V(\theta, \varphi)$, $I_H(\theta, \varphi)$ dan pola Medan Jauh

Setelah informasi yang dibutuhkan telah diketahui, langkah selanjutnya adalah melakukan penghitungan untuk mendapatkan pola medan jauh. Sebelum medan jauh didapatkan, dilakukan perhitungan terlebih dahulu terhadap komponen $I_V(\theta, \varphi)$ dan $I_H(\theta, \varphi)$. Kedua komponen tersebut mewakili integral yang berkaitan dengan respon *probe*. Penghitungan integral tersebut dilakukan pada setiap titik pengukuran. Dalam penulisan program, kedua variabel dituliskan dengan “Iv(r,p)” dan “Ih(r,p)”. Proses integrasi dilakukan dua kali dengan menggunakan metode FFT dikarenakan untuk mendapatkan nilai akhir dari kedua variabel tersebut dirumuskan dengan integral rangkap dua.

Langkah berikutnya adalah menentukan komponen medan jauh dari antenna dengan menghitung $E_\theta(\theta, \varphi)$ dan $E_\varphi(\theta, \varphi)$ dengan menggunakan variabel-variabel yang dibutuhkan dari perhitungan sebelumnya. Dari kedua komponen ini, maka medan jauh dari antenna dapat diketahui.

BAB 4 SIMULASI PROGRAM

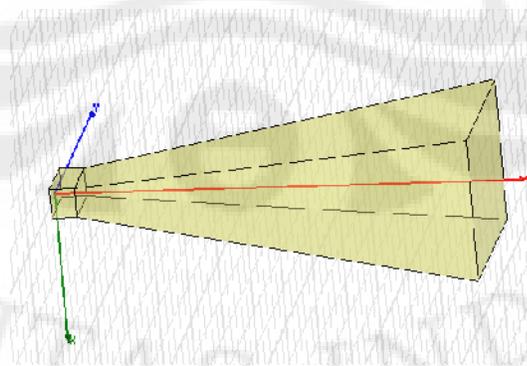
4.1 Variabel dan Konstanta Pengukuran

Dalam simulasi program yang dilakukan, terdapat beberapa nilai konstanta dan variabel-variabel yang ditentukan. Tabel 4.1 menjelaskan komponen perhitungan digunakan sesuai dengan karakteristik pengukuran yang diharapkan.

Tabel 4.1 Data Simulasi

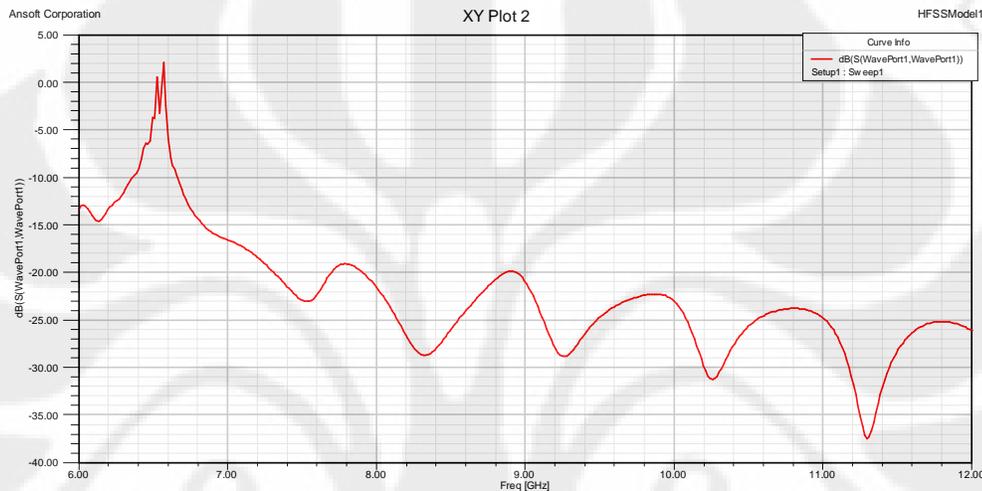
No	Variabel dan Konstanta	Besar yang ditetapkan
1	Jarak antenna dengan permukaan scanning	$x_0 = 0.38$ m
2	Ukuran panjang <i>scanner</i>	$y = 2$ meter
3	Ukuran tinggi <i>scanner</i>	$z = 2$ meter
4	Jarak antar titik pengukuran	$\Delta y = 0.015625$ meter
		$\Delta z = 0.015625$ meter
5	Dimensi matriks data	128 x 128

Pada pengukuran medan dekat *planar* digunakan antenna horn dengan frekuensi resonan sebesar 11,3 GHz sebagai antenna probe. Gambar 4.1 menunjukkan desain dari antenna horn yang digunakan sebagai antenna probe (*receiver*) dalam proses simulasi dengan ukuran dimensi antenna yang digunakan seperti tampak pada Gambar 4.3.



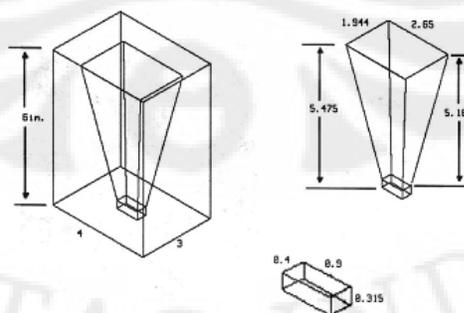
Gambar 4.1 Desain Antena Horn 11,3 GHz

Antena Horn, seperti tampak pada Gambar 4.1 memiliki *Bandwidth* yang lebar (*wideband*). Apabila dilihat pada Gambar 4.2 yang menunjukkan grafik *Return Loss* dari antena *probe*, maka ketika ditinjau ketika nilai RL sebesar -30 dB, akan didapatkan *Bandwidth* sebesar 0.03 GHz. Pada saat dilihat pada RL -15 maka akan didapatkan *bandwidth* yang sangat lebar (hingga lebih dari 10 GHz), dimana hal ini merupakan salah satu kelebihan yang dimiliki oleh antena horn.



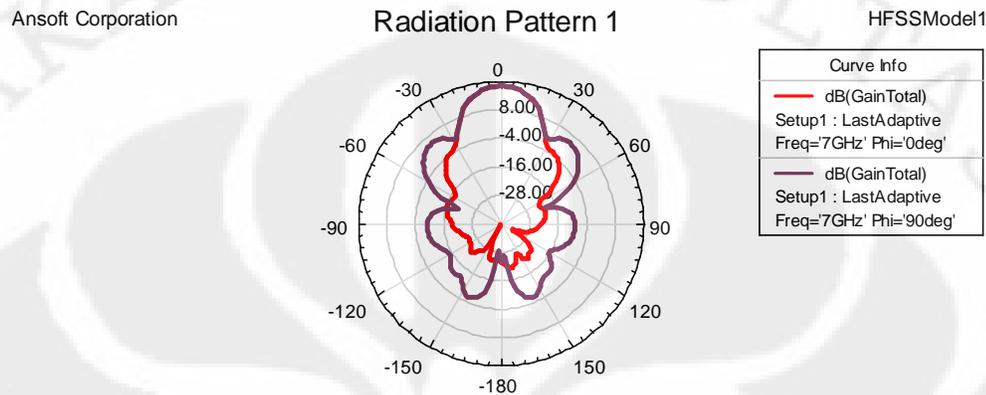
Gambar 4.2 *Return Loss* (RL) dari Antenna Probe

Dimensi dari antena horn memiliki ukuran horn top sebesar 4.93776 cm x 6.731 cm dan jarak dari permukaan atas horn ke bawah sepanjang 13.88618 cm dan dari permukaan atas horn ke dasar dari horn sepanjang 13.1064 cm. Gambar 4.3 memperlihatkan mengenai ukuran dimensi antena horn.



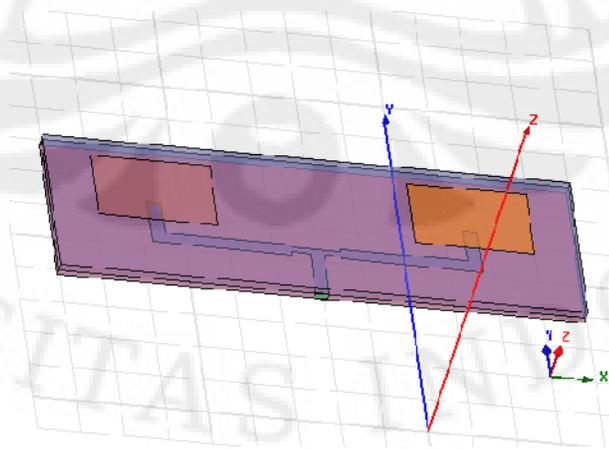
Gambar 4.3 Dimensi Antena Probe

Setelah desain dari antenna, maka dilakukan proses identifikasi kinerja antenna tersebut. Gambar 4.4 memperlihatkan mengenai pola radiasi dari antenna Horn yang didapatkan melalui software simulator Ansoft HFSS version 11.1.1.



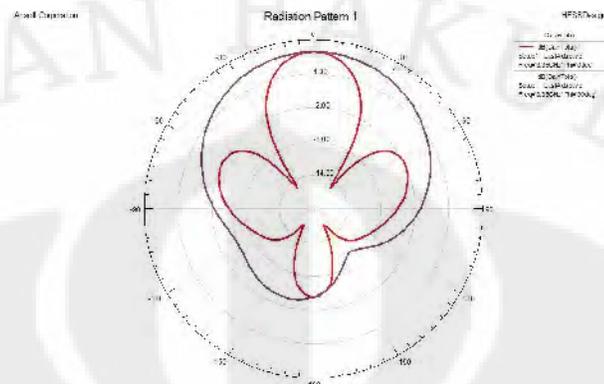
Gambar 4.4 Pola Radiasi Antena Horn

Setelah semua bagian dari sistem medan dekat *planar* terpenuhi, maka hal berikutnya yang harus dilakukan adalah menentukan antenna yang akan diukur. Gambar 4.5 menunjukkan penampang antenna mikrostrip array dua elemen yang digunakan sebagai AUT (Tx) dalam proses pengukuran medan dekat. Dari antenna ini akan ditentukan karakteristik medan dekat yang dimiliki untuk kemudian data medan dekat yang diperoleh akan ditransformasikan menjadi medan jauh. Dimensi dari antenna uji yang digunakan memiliki ukuran panjang 12 cm, lebar 4 cm dan tinggi (ketebalan) 0.32 cm.



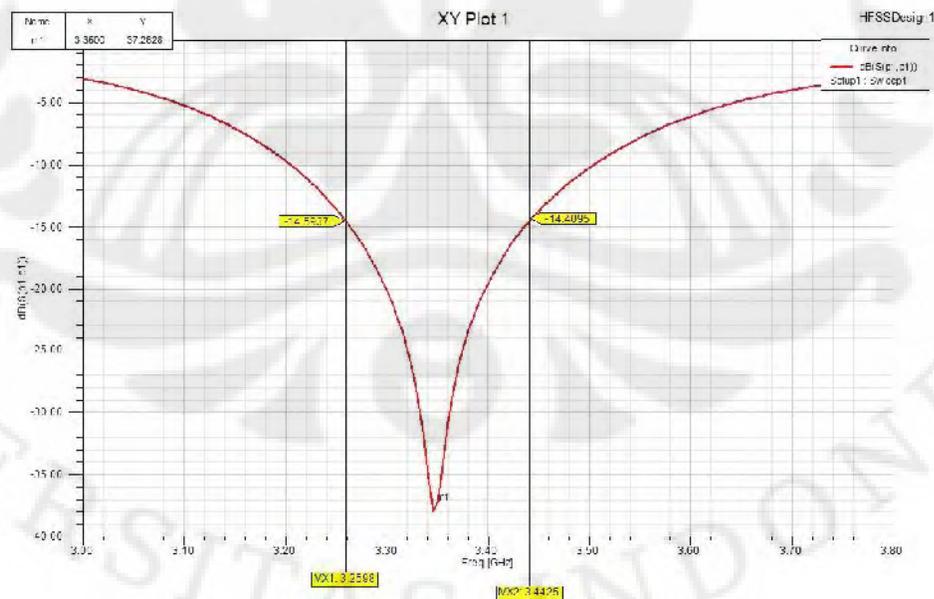
Gambar 4.5 Desain Antena Uji 3,35 GHz

Gambar 4.6 memperlihatkan mengenai pola radiasi dari AUT yang didapatkan melalui software simulator Ansoft HFSS version 11.1.1



Gambar 4.6 pola Radiasi *Antenna Under Test* (AUT) 3,35 GHz

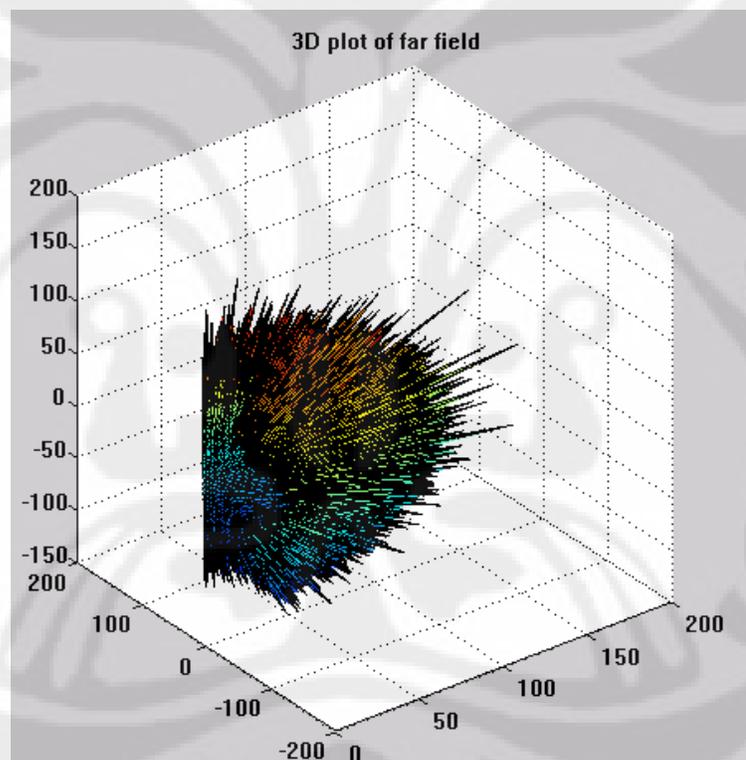
Antenna mikrostrip yang digunakan memiliki frekuensi resonan pada 3.35 GHz yang dirancang untuk dapat bekerja pada aplikasi WIMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*). Gambar 4.7 memperlihatkan *Return Loss* (RL) dari AUT yang memiliki frekuensi center 3,35 GHz, dan jika memiliki *Bandwidth* sebesar 182,7 MHz pada rentang frekuensi 3,2598 GHz sampai 3,4425 GHz dengan RL di bawah -15 dB.



Gambar 4.7 *Return Loss* (RL) dari *Antenna Under Test* (AUT)

4.2 Hasil Simulasi Transformasi

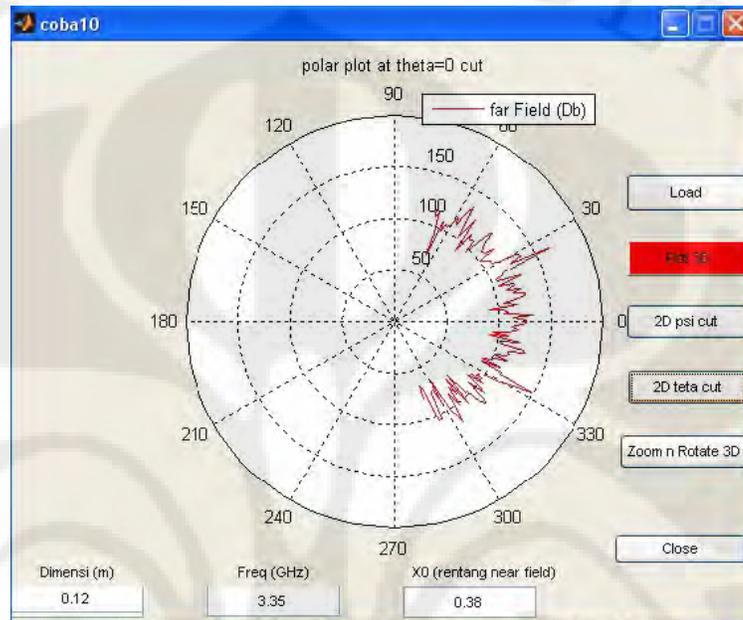
Pengujian dilakukan dengan menggunakan data hasil simulasi dengan *software* simulator Ansoft HFSS version 11.1.1. Pengambilan data dilakukan dengan mengambil contoh data sebanyak 128 x 128 pada permukaan pengukuran berbentuk planar pada daerah medan dekat AUT yang berukuran 2 x 2 m. Setelah ditentukan parameter mengenai variabel, konstanta dan penggunaan data simulasi yang digunakan, Gambar 4.8 memberikan gambaran hasil transformasi pola radiasi dari data medan dekat menjadi medan jauh pada 3 dimensi.



Gambar 4.8 Plot 3D Pola Medan Jauh

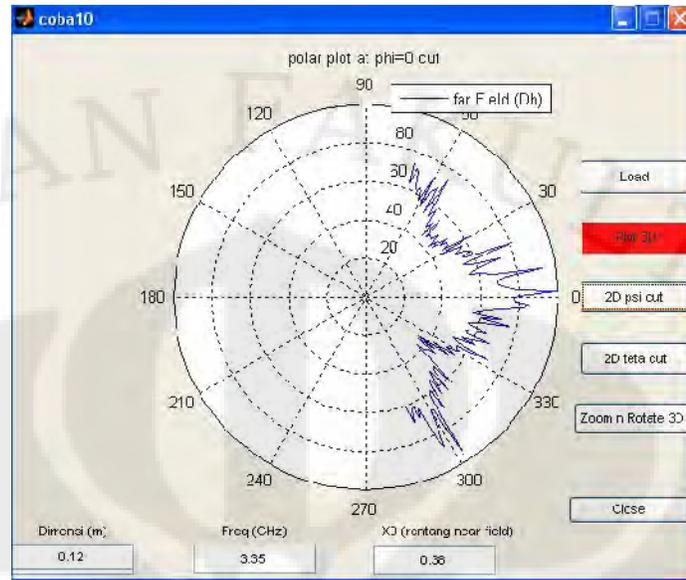
Selain melihat pola radiasi pada posisi tiga dimensi, Gambar 4.9 dan Gambar 4.10 memberikan gambaran pola radiasi ketika dilihat pada dua dimensi

atau irisan pada salah satu bidang, yaitu vertikal dan horizontal. Gambar 4.9 memperlihatkan pola radiasi AUT ketika dilihat pada bidang ϕ .



Gambar 4.9 Plot 2D pada Bidang ϕ

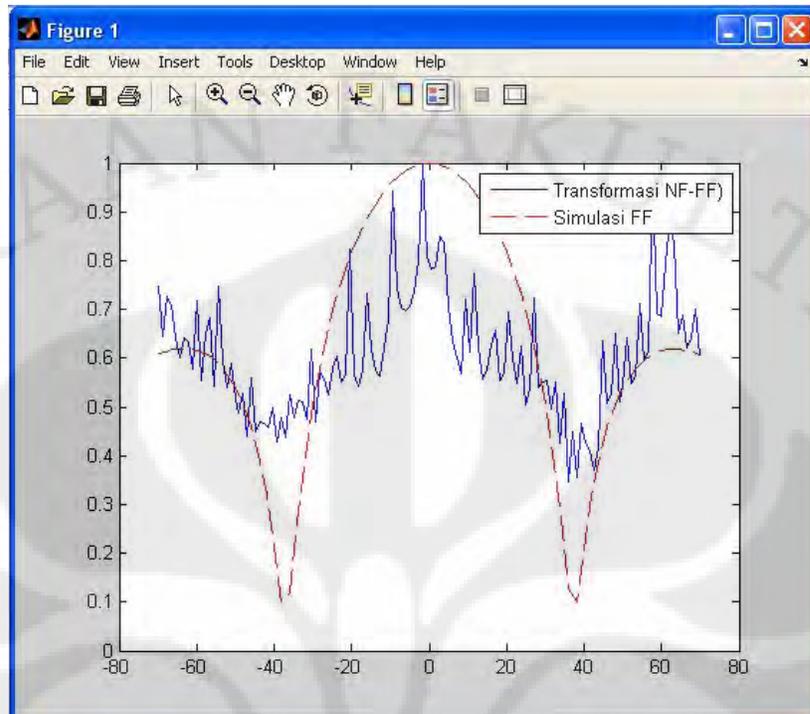
Gambar 4.10 memperlihatkan penggambaran pola radiasi dari antenna dilihat pada bidang θ yang memperlihatkan adanya pancaran utama (*main beam*) dan *side lobe*. Pada penggambaran ini pula dapat dilihat prediksi lebar pancaran (*beamwidth*) dari radiasi gelombang elektromagnetik yang dipancarkan oleh AUT.



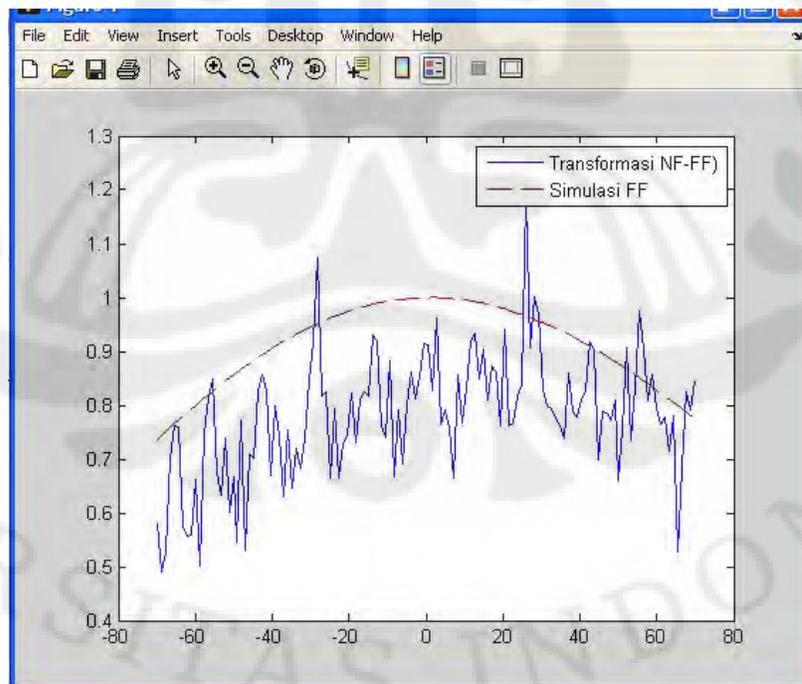
Gambar 4.9 Plot 2D pada Bidang θ

Simulasi dilakukan dengan memberikan input dimensi sebesar 0.12 m yang merupakan ukuran dari AUT yang digunakan, input frekuensi 3.35 GHz yang merupakan frekuensi resonansi dari AUT dan rentang medan jauh dipilih sebesar 0.38 m yang memenuhi kondisi pada jarak dimana terdapat pada posisi medan jauh dari antenna probe dan medan dekat dari antenna uji. Adapun setelah dilakukan kalkulasi, maka rentang medan jauh dari AUT berada pada 0.089552 meter hingga 0.41115 meter, sedangkan antenna probe posisi medan dekatnya terletak pada 0.026549 meter hingga 0.029962 meter.

Dari hasil penggambaran (*plot*) pola radiasi hasil transformasi pada Gambar 4.1 hingga Gambar 4.3, maka tampak terbentuk suatu pola yang dapat menggambarkan kondisi dari kinerja antenna. Apabila diperhatikan dengan seksama, bentuk dari penggambaran pola radiasi yang didapatkan tidak menggambarkan kondisi yang halus (*smooth*). Hal ini bisa dimungkinkan karena pengaruh jarak antar titik pengambilan data (*grid spacing*) mendekati batas maksimum ($\lambda/2$), yaitu sebesar 0.044776 meter atau 4.4776 cm, sedangkan pada simulasi digunakan nilai jarak antar titik sebesar 0.015625 meter atau 1.5625 cm.



Gambar 4.10 Perbandingan Grafik Pola Radiasi bidang θ



Gambar 4.11 Perbandingan Grafik Pola Radiasi bidang ϕ

Sedangkan jika dibandingkan dengan bentuk pola radiasi medan jauh dari AUT yang didapatkan secara langsung sebagai referensi, seperti yang tampak pada Gambar 4.10 dan 4.11, maka dapat dilihat bahwa bentuk dari *mainlobe* terdapat sedikit perbedaan, yaitu pada kehalusan grafik yang didapat dan juga nilai gain maksimum yang sedikit berbeda. Selain itu, hal yang tampak jelas pada perbedaan kedua hasil adalah tidak adanya penggambaran *backlobe* dari hasil transformasi. Hal ini dikarenakan pengukuran yang dilakukan dengan medan dekat *planar* tidak mendapatkan nilai besarnya medan dan sudut hingga pada posisi di belakang daerah radiasi antena.

Pengukuran sistem ini dirancang untuk menjangkau sudut θ pada rentang 20.8068° hingga 158.8918° dan ϕ pada rentang -69.1932° hingga 68.8918° dimana koordinat ini didefinisikan pada Gambar 2.2.

Pengembangan ke depan dari program transformasi medan jauh dapat dilakukan dengan mengintegrasikan program ini dengan sistem pengukuran dengan melakukan *interface* pada sistem pengukuran yang dirancang melalui sebuah perangkat komputer. Software yang dirancang tidak hanya digunakan untuk menghitung tetapi digunakan juga dapat digunakan untuk mengendalikan pengukuran secara otomatis dengan memasukkan parameter yang diinginkan. Misalnya ketika input frekuensi dan dimensi antena diberikan, software akan dapat menghitung panjang gelombang (λ) dan jarak antara antena uji dan bidang pengukuran (x_0). Dengan menggunakan motor (misal motor stepper) maka sistem pengukuran akan menyesuaikan jarak x_0 sesuai yang diharapkan yang sesuai dengan batasan rentang medan dekat yang sesuai secara otomatis.

BAB 5

KESIMPULAN

1. Rancangan terdiri dari tiga bagian utama yaitu daerah *scanning*, peralatan pengukuran dan peralatan komputasi.
2. Langkah kerja sistem medan dekat *planar* secara umum terbagi atas 2 bagian, yaitu *Data Acquisition* dan *Data Transformation*.
3. *Data Acquisition* berlangsung pada sistem hardware dengan tujuan utama adalah mendapatkan data medan dekat dari antenna yang diujikan.
4. *Data Transformation* berupa pengolahan data medan dekat yang berupa transformasi data tersebut menjadi data medan jauh untuk melihat kinerja antenna uji serta melihat kinerja dari antenna uji melalui *plot* pola radiasi yang terbentuk.
5. Pola radiasi hasil transformasi yang diukur dari metode medan dekat mendekati sama jika dibandingkan dengan pengukuran pola radiasi secara langsung.

DAFTAR ACUAN

- [1] I. R. Tkadlec, "Near-Field Antenna Measurements", Dept. of Radio Electronics FEEC BUT
- [2] E. B. Joy, W. M Leach, and G. P. Rodrigue, "Applications of Probe-Compensated Near-Field Measurements", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, Vol. AP-26, no. 3, pp. 379-389, May 1978
- [3] D. T. Paris, W. M. Leach, and E. B. Joy, "Basic Theory of Probe-Compensated Near-Field Measurements", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, Vol. AP-26, no. 3, pp. 373-379, May 1978
- [4] Bing Yan, S. A. Saoudy, B. P. Sinha, "A Low Cost *Planar* Near-Field/Far-Field Antenna Measurement System", C-CORE, Memorial University of Newfoundland, IEEE, 1997
- [5] M. S. Narasimhan, M. Karthikeyan, "Evaluation of Fourier Transform Integrals Using FFT with Improved Accuracy and Its Applications", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, Vol. AP-32, no. 4, pp. 404-408, April 1984
- [6] A. D. Yaghjian, "An Overview of Near-Field Antenna Measurements", *IEEE Trans. Antennas Propagat.* , Vol. AP-34, no. 1, pp. 30-45, January 1986
- [7] Dan Slater, Greg Hindman, "A Low Cost Portable Near-Field", Nearfield System Incorporated, October 9-13, 1989
- [8] E. B. Joy and D. T. Paris, "Spatial Sampling and Filtering in Near-Field Measurement", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, Vol. AP-20, no. 3, pp. 253-261, May 1972

DAFTAR PUSTAKA

Balanis, Constanine A, "*Antenna Theory Analysis and Design*". Second Edition. John Wiley & Sons, INC. USA. 1997

Kraus, John D. Margefka Ronald J. "*Antenna For All Applications*". Third Edition. Mc Graw Hill. New York. 2002

Ifeachor, Emmanuel C. Jerwis, Barrie W. "*Digital Sinyal Processing*". Second Edition. Prentice Hall. USA. 2002

Away, Gunadi A. "*The Shortcut of MATLAB Programming*". Informatika. Bandung. Juni 2006

LAMPIRAN A

Source Code Program

1. Transformasi Medan Dekat ke Medan Jauh

```

load('freq');
load('vv');
load('vh');
load('D');
load('x0');
load('Etetav');
load('Etetah');
load('Epsiv');
load('Epsih');
fq=freq*10^9;
lambda = (3*10^8)/fq;
k=2*pi/lambda;

deltay=0.015625;
deltaz=0.015625;
y=2; %ukuran panjang scanner = 2 meter
z=2; %ukuran tinggi scanner = 2 meter
m=0;
y1=y/deltay;
while y1>=1
    m=m+1;
    y1=y1-1;
end;

n=0;
z1=z/deltaz;
while z1>=1
    n=n+1;
    z1=z1-1;
end;

% menghitung variabel kz dan ky dan sudut teta serta psi
semntray=int64(m/2);
awaly=-double(semntray);
akhirz=double(semntray)-1;
awalye=0;
for r=1:m;
    psi(r)=atan((-y/2+awalye*deltay)/x0);
    awalye=awalye+1;
    awaly=awaly+1;
end;

semntraz=int64(n/2);
awalz=-double(semntraz);
akhirz=double(semntraz)-1;

```

Universitas Indonesia

```

awalze=0;
for r=1:n;
    teta(r)=pi/2-atan((z/2-awalze*deltaz)/x0);
    awalz=awalz+1;
    awalze=awalze+1;
end;

% Menghitung nilai IV da IH
alpaz=awalz;
awaly=-double(semntray);
alpay=awaly;
county=akhiry-awaly;
for p=1:n
    for r=1:m
        ky(r)=k*sin(teta(p))*sin(psi(r));
        kz(p)=k*cos(teta(p));
        kx=k*sin(teta(p))*cos(psi(r));

        for k=1:m
            lagi1(k)=vv(r,k);
        end;

        for k=1:m
            lagi2(k)=vv(k,p);
        end;

        Iv1=exp(i*ky(r)*(alpay+deltay/2))*deltay*fft(lagi1);
        Iv2=exp(i*kz(p)*(alpaz+deltaz/2))*deltaz*fft(lagi2);
        Iv(r,p) = exp(i*kx*x0)*Iv1*Iv2';
    end;
end;
disp(' ');
awalz=-double(semntraz);
alpaz=awalz;
awaly=-double(semntray);
alpay=awaly;
county=akhiry-awaly;
for p=1:n
    for r=1:m
        ky(r)=k*sin(teta(p))*sin(psi(r));
        kz(p)=k*cos(teta(p));
        kx=k*sin(teta(p))*cos(psi(r));

        for k=1:m
            lagi1(k)=vh(r,k);
        end;

        for k=1:m
            lagi2(k)=vh(k,p);
        end;

        Ih1=exp(i*ky(r)*(alpay+deltay/2))*deltay*fft(lagi1);
        Ih2=exp(i*kz(p)*(alpaz+deltaz/2))*deltaz*fft(lagi2);
        Ih(r,p) = exp(i*kx*x0)*Ih1*Ih2';
    end;
end;

```

```

end;
disp(' ');
% mencari nilai determinan delta (teta, psi)
% delta yang bakal kepa ke yang berikut ini:
for p=1:n
    for r=1:m
        delta(r,p)=Etetah(r,p)*Epsiv(r,p)-
Etetav(r,p)*Epsih(r,p);
    end;
end;

awalz=-double(semntraz);
awaly=-double(semntray);
for p=1:n
    for r=1:m

Eteta(r,p)=sin(teta(r))*cos(psi(p))/delta(r,p)*(Ih(r,p)*Epsiv(r
,p)-Iv(r,p)*Epsih(r,p));
    end;
end;
disp(' ');
awalz=-double(semntraz);
awaly=-double(semntray);
for p=1:n
    for r=1:m

Epsi(r,p)=sin(teta(r))*cos(psi(p))/delta(r,p)*(Ih(r,p)*Etetav(r
,p)-Iv(r,p)*Etetah(r,p));
    end;
end;
disp(' ');
save

```

2. Mencari Batas Medan Dekat

```
freq=str2double(get(myform.freq,'String'));
```

```

D=str2double(get(myform.Dim,'String'));

f=freq*10^9;
lambda=(3*10^8)/f;
k=(2*pi)/lambda;
batasdkt=lambda;
batasjauh=2*(D^2)/lambda+lambda;

set(myform.batasdkt,'String',num2str(batasdkt));
set(myform.batasjauh,'String',num2str(batasjauh));
set(myform.lambda,'String',num2str(lambda));

```

3. Mencari Sudut Pengukuran

Parameter	Value	Unit	Value
Panjang bidang Y (dalam meter)	2		
Spasi bidang Y (dalam meter)	0.015625		
Panjang Bidang Z (dalam meter)	2		
Spasi bidang Z (dalam meter)	0.015625		
Jarak Antena (dalam meter)	0.38		
Sudut Ukur AUT	20.8068	Theta (dalam derajat)	158.582
	-69.1932	Psi (dalam derajat)	68.582
Sudut Ukur Probe	159.1932	Theta Probe (dalam derajat)	21.418
	-69.1932	Psi Probe (dalam derajat)	68.582

```

x=str2double(get(myform.x,'String'));
y=str2double(get(myform.y,'String'));
z=str2double(get(myform.z,'String'));
deltay=str2double(get(myform.deltay,'String'));
deltaz=str2double(get(myform.deltaz,'String'));
toy=y/deltay;
toz=z/deltaz;
n=0;
m=0;
for r=1:toz
    teta(r)=pi/2-atan((z/2-n*deltaz)/x);
    tetaprobe(r)=pi-(pi/2-atan((z/2-n*deltaz)/x));
    n=n+1;

```

Universitas Indonesia

```
end;

for r=1:toy
    psi(r)=atan((-y/2+m*deltay)/x)
    psiprobe(r)=atan((-y/2+m*deltay)/x)
    m=m+1;
end;

tetaawal=teta(1)*180/pi;
tetaakhir=teta(int64(toz-1))*180/pi;
psiawal=psi(1)*180/pi;
psiakhir=psi(int64(toy-1))*180/pi;
tetaawalprobe=tetaprobe(1)*180/pi;
tetaakhirprobe=tetaprobe(int64(toz-1))*180/pi;
psiawalprobe=psiprobe(1)*180/pi;
psiakhirprobe=psiprobe(int64(toy-1))*180/pi;

set(myform.tetaawal, 'String', num2str(tetaawal));
set(myform.tetaakhir, 'String', num2str(tetaakhir));
set(myform.psiakhir, 'String', num2str(psiakhir));
set(myform.psiawal, 'String', num2str(psiawal));
set(myform.tetaawalprobe, 'String', num2str(tetaawalprobe));
set(myform.tetaakhirprobe, 'String', num2str(tetaakhirprobe));
set(myform.psiakhirprobe, 'String', num2str(psiakhirprobe));
set(myform.psiawalprobe, 'String', num2str(psiawalprobe));

save
```

LAMPIRAN B
DATA REFERENSI AUT

sudut [deg]	mag(rETotal) Teta [V]	mag(rETotal) psi [V]
-70	6.024886	8.773209
-68	6.122829	9.120443
-66	6.190893	9.475969
-64	6.223349	9.839151
-62	6.214118	10.209302
-60	6.15686	10.585681
-58	6.045097	10.967488
-56	5.872373	11.353861
-54	5.632459	11.743873
-52	5.319635	12.136533
-50	4.929065	12.530782
-48	4.457393	12.925502
-46	3.903803	13.319509
-44	3.272353	13.711565
-42	2.578451	14.100378
-40	1.871916	14.484611
-38	1.332884	14.862884
-36	1.415764	15.23379
-34	2.176092	15.595899
-32	3.239162	15.947768
-30	4.442073	16.287954
-28	5.72744	16.615023
-26	7.064266	16.927565
-24	8.428473	17.224201
-22	9.797654	17.5036
-20	11.149549	17.764489
-18	12.461728	18.005666
-16	13.711752	18.226008
-14	14.877555	18.424488
-12	15.937929	18.600179
-10	16.873062	18.752265
-8	17.66507	18.880053
-6	18.298517	18.982973
-4	18.760869	19.06059
-2	19.042874	19.112604

Universitas Indonesia

sudut [deg]	mag(rETotal) Teta [V]	mag(rETotal) psi [V]
0	19.138855	19.138855
2	19.046884	19.139322
4	18.768842	19.114125
6	18.310362	19.063522
8	17.680652	18.987904
10	16.892205	18.887795
12	15.960425	18.76384
14	14.903163	18.616802
16	13.740211	18.447551
18	12.49276	18.257056
20	11.182871	18.046374
22	9.832986	17.816639
24	8.46555	17.569053
26	7.102854	17.304868
28	5.767348	17.025381
30	4.483156	16.731918
32	3.281228	16.425825
34	2.218164	16.108452
36	1.451039	15.781148
38	1.342256	15.445246
40	1.860685	15.102054
42	2.55916	14.752847
44	3.249923	14.398861
46	3.8802	14.041278
48	4.433548	13.681231
50	4.905476	13.319787
52	5.29659	12.957951
54	5.610127	12.596659
56	5.850852	12.236775
58	6.024441	11.879091
60	6.137094	11.524323
62	6.195246	11.173116
64	6.205364	10.82604
66	6.173781	10.483591
68	6.106574	10.146199
70	6.009472	9.814222

LAMPIRAN C

DATA SIMULASI TRANSFORMASI

sudut [deg]	mag(rETotal) Teta [V]	mag(rETotal) psi [V]
-69.971836	0.74623629	80.03061366
-68.869918	0.644190898	67.61462327
-67.767999	0.725736071	72.74663973
-66.66608	0.71020539	96.56021702
-65.564162	0.64242662	104.8386719
-64.462243	0.599741324	104.5658456
-63.360324	0.641071525	79.27408377
-62.258406	0.63264005	76.69843504
-61.156487	0.57833956	76.91822875
-60.054568	0.716836099	91.16616466
-58.95265	0.554002459	69.13213765
-57.850731	0.64997008	102.6571393
-56.748812	0.681598389	112.1491006
-55.646894	0.541095656	116.8658501
-54.544975	0.747528722	92.88882391
-53.443056	0.596135023	87.19203114
-52.341137	0.538666216	101.5438754
-51.239219	0.588298367	82.80225462
-50.1373	0.515406491	91.90149582
-49.035381	0.486038351	75.04707966
-47.933463	0.526425409	106.2067542
-46.831544	0.440302746	72.91385306
-45.729625	0.559159759	97.57044807
-44.627707	0.448243815	96.65057552
-43.525788	0.469249968	113.6722878
-42.423869	0.465979136	117.8799052
-41.321951	0.457609501	113.8143761
-40.220032	0.499524095	92.20299492
-39.118113	0.427017341	109.955564
-38.016195	0.476803981	102.5314989
-36.914276	0.435710568	86.89373464
-35.812357	0.524933669	103.769484
-34.710439	0.478944799	89.12012021
-33.60852	0.512959866	99.21900661
-32.506601	0.511199442	93.9751515

Universitas Indonesia

sudut [deg]	mag(rETotal) Teta [V]	mag(rETotal) psi [V]
-31.40468247	0.473802264	101.4982159
-30.30276378	0.61822029	116.4040086
-29.2008451	0.467902547	126.2784345
-28.09892642	0.572662131	147.9929272
-26.99700774	0.556566631	112.6016138
-25.89508905	0.524131934	113.7423647
-24.79317037	0.581104418	91.36507781
-23.69125169	0.604469196	109.4219963
-22.589333	0.552429657	91.41636094
-21.48741432	0.566815916	100.3460177
-20.38549564	0.822894813	102.8067027
-19.28357695	0.566582429	113.3520879
-18.18165827	0.543259222	100.5106315
-17.07973959	0.575901352	111.7567034
-15.9778209	0.731184087	113.7973568
-14.87590222	0.61760915	112.6597549
-13.77398354	0.573813931	127.9823349
-12.67206486	0.561867169	126.8275069
-11.57014617	0.620591157	104.8143652
-10.46822749	0.678801309	101.994137
-9.366308806	0.943794108	121.551864
-8.264390123	0.744705521	91.91833771
-7.16247144	0.704317994	108.8684655
-6.060552757	0.696490933	95.30384586
-4.958634074	0.70527782	110.1902347
-3.856715391	0.736296359	118.7467893
-2.754796708	0.800934799	111.9903497
-1.652878025	0.999999996	117.505133
-0.550959342	0.807798141	125.8163572
0.550959342	0.780890992	125.4875999
1.652878025	0.789038747	114.0478623
2.754796708	0.850440314	132.4384376
3.856715391	0.837554298	105.3239992
4.958634074	0.706682503	108.9386505
6.060552757	0.636944369	104.0573834

sudut [deg]	mag(rETotal) Teta [V]	mag(rETotal) psi [V]
7.16247144	0.60014446	91.47475592
8.264390123	0.570108882	118.0853569
9.366308806	0.721613394	105.8267416
10.46822749	0.611327989	114.3363718
11.57014617	0.772993862	126.8037681
12.67206486	0.622143849	128.3053219
13.77398354	0.557140335	116.8053568
14.87590222	0.575833765	124.6614209
15.9778209	0.628214963	111.3795174
17.07973959	0.657175319	120.0337488
18.18165827	0.554897469	118.8216293
19.28357695	0.567963722	104.8417658
20.38549564	0.69395308	129.5126353
21.48741432	0.599042923	105.03593
22.589333	0.547068455	105.7603145
23.69125169	0.62334433	112.6439045
24.79317037	0.503425768	115.3348476
25.89508905	0.537595013	164.1051099
26.99700774	0.723463592	124.8406798
28.09892642	0.538983528	137.7261119
29.2008451	0.550058674	133.1134781
30.30276378	0.554012597	113.8506763
31.40468247	0.496262271	109.8197589
32.50660115	0.552265114	109.3102999
33.60851983	0.424025725	107.0774349
34.71043852	0.528124576	104.8492872
35.8123572	0.346958433	101.5034132
36.91427588	0.448689436	118.177156
38.01619457	0.355879683	108.4743439
39.11811325	0.46631171	106.9682424
40.22003193	0.424717258	111.3715087
41.32195062	0.409549599	113.8237465
42.4238693	0.368444287	126.4286289
43.52578798	0.416902236	124.5116965
44.62770666	0.635167393	96.30821634

sudut [deg]	mag(rETotal) Teta [V]	mag(rETotal) psi [V]
45.72962535	0.507365985	108.6247023
46.83154403	0.524627117	108.2083702
47.93346271	0.649691758	106.3922847
49.0353814	0.509601862	111.4297986
50.13730008	0.546020629	90.93790816
51.23921876	0.640824979	104.2017693
52.34113745	0.547036554	124.9131293
53.44305613	0.563595693	101.2738218
54.54497481	0.711587412	115.0169626
55.6468935	0.594148975	134.4022993
56.74881218	0.614970417	124.3272019
57.85073086	0.969914531	111.4971749
58.95264954	0.692491173	118.1389951
60.05456823	0.68711106	109.5622074
61.15648691	0.793973479	105.2095605
62.25840559	0.883856498	106.9856991
63.36032428	0.835649608	98.56031557
64.46224296	0.649422271	107.503169
65.56416164	0.688355699	72.59714884
66.66608033	0.621812783	93.97013722
67.76799901	0.641843737	113.7024097
68.86991769	0.700385083	109.0887005
69.97183638	0.603919902	116.6282024