



UNIVERSITAS INDONESIA

**RANCANG BANGUN PERANGKAT LUNAK PENGUKURAN
KARAKTERISTIK ANTENA DENGAN METODE MEDAN DEKAT
PLANAR DENGAN MEMPERTIMBANGKAN FAKTOR KOREKSI
PROBE**

SKRIPSI

**NOFRIZAL
06 06 07 4205**

**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
DESEMBER, 2010**



UNIVERSITAS INDONESIA

**RANCANG BANGUN PERANGKAT LUNAK PENGUKURAN
KARAKTERISTIK ANTENA DENGAN METODE MEDAN DEKAT
PLANAR DENGAN MEMPERTIMBANGKAN FAKTOR KOREKSI
PROBE**

SKRIPSI

**Diajukan untuk melengkapi
sebagian persyaratan menjadi sarjana teknik**

**NOFRIZAL
06 06 07 4205**

**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
DESEMBER, 2010**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Nofrizal

NPM : 0606074205

Tanda Tangan :



Tanggal : 27 Desember 2010

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Nofrizal
NPM : 0606074205
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Rancang Bangun Perangkat Lunak Pengukuran Karakteristik Antena Dengan Metode Medan Dekat Planar Dengan Mempertimbangkan Faktor Koreksi Probe

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk mata kuliah Skripsi pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Fitri Yuli Zulkifli S.T., M.Sc.



Penguji : Prof. Ir. Dr. Eko Tjipto Rahardjo, M.Sc., Ph.D.



Penguji : Dr. Ir. Muhammad Asvial, M.Eng



Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 27 Desember 2010

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi tugas mata kuliah Skripsi di Departemen Teknik Elektro 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. *Dr.Ir. Fitri Yuli Zulkifli, Msc*, selaku dosen pembimbing dan *Prof. Eko Tjipto Rahardjo*, selaku Ketua *Antena Propagation and Microwave Research Group* yang telah bersedia meluangkan waktu memberi pengarahan, diskusi, bimbingan serta menyetujui sebagai bagian dari penelitian pada *Antenna and Microwave Research Group (AMRG)* sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik
2. Orang tua, kakak dan keluarga yang telah memberikan bantuan dukungan doa, material dan moral sehingga membuat saya selalu termotivasi serta mampu untuk menyelesaikan skripsi ini
3. Mochamad Dandy Firmansyah, Catur Apriono, Aditya Inzani, M.Tajudin, Achmad Fauzi, Ilyas Safari, Yudha Dwi P, Subroto F Sidik, dan rekan-rekan mahasiswa/i Teknik Elektro umumnya dan Angkatan 2006 khususnya yang telah banyak membantu dan mendukung saya dalam pengerjaan skripsi ini.
4. Semua pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.

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

Depok, 17 Desember 2010

Penulis

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

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

Nama : Nofrizal
NPM : 0606074205
Program Studi : Teknik Elektro
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

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

**RANCANG BANGUN PERANGKAT LUNAK PENGUKURAN
KARAKTERISTIK ANTENA DENGAN METODE MEDAN DEKAT
PLANAR DENGAN MEMPERTIMBANGKAN FAKTOR KOREKSI
PROBE**

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada Tanggal : 27 Desember 2010
Yang menyatakan



(Nofrizal)

ABSTRAK

Nama : Nofrizal
Program Studi : Teknik Elektro
Judul : Rancang Bangun Perangkat Lunak Pengukuran Karakteristik Antena Dengan Metode Medan Dekat Planar Dengan Mempertimbangkan Faktor Koreksi Probe
Pembimbing I : Dr. Fitri Yuli Zulkifli, ST, M.Sc.
Pembimbing II : Prof. Dr. Ir. Eko Tjipto Rahardjo, M.Sc., Ph.D.

Pengukuran medan dekat merupakan salah satu metode pengukuran karakteristik antena. Ada tiga macam pengukuran medan dekat, yaitu planar, silindris, dan bola. Diantara ketiga metode tersebut, metode planar merupakan metode yang mempunyai bentuk matematis yang sederhana sehingga mudah diimplementasikan dalam pemrograman. Dalam pengukuran medan dekat metode planar, data medan dekat antena tes diambil oleh antena probe ketika antena tes berada pada wilayah radiasi medan dekatnya. Data medan dekat tersebut akan ditransformasikan ke data medan jauh sehingga didapat pola radiasinya. Pengukuran medan dekat metode planar dengan koreksi probe, tidak hanya mengambil data medan dekat dari antena tes tetapi juga data medan jauh dari antena probe. Secara matematis pengukuran medan dekat metode planar dengan koreksi probe merupakan fungsi gabungan dari hasil bentuk fourier data medan dekat dan fungsi invers dari data medan jauh antena probe.

Program transformasi medan dekat ke medan jauh (NF-FF) telah dibandingkan hasilnya, baik dengan *electromagnetic* (EM) simulator yang komersil maupun pengukuran secara langsung. Hasil perbandingan medan jauh dari hasil transformasi dengan EM simulator menunjukkan nilai penyimpangan rata-rata 1.25 dB. Selanjutnya, perbandingan antara medan jauh pengukuran secara langsung dan hasil transformasi tanpa mempertimbangkan faktor respon probe diperoleh nilai penyimpangan sebesar 9.33 dB. Adapun hasil transformasi dengan mempertimbangkan faktor respon probe berhasil memperbaiki nilai penyimpangan menjadi rata-rata 4.4 dB.

Kata Kunci : transformasi medan dekat ke medan jauh, fungsi gabungan, probe koreksi, algoritma komputasi

ABSTRACT

Name : Nofrizal
Study Program : Electrical Engineering
Title : Software Development for Planar Near Field Measurements
with Probe Correction Compensation
Advisor I : Dr. Fitri Yuli Zulkifli, ST, MSc.
Advisor II : Prof. Dr. Ir. Eko Tjipto Rahardjo, M.Sc., Ph.D.

Near field measurement is one method to measure antenna performance. There are three methods to measure near field antenna; they are planar, cylindrical, and spherical methods. The simplest method for near field measurement is the planar method because its simplicity in the mathematical form and implementation in programming. The planar near field method receives near field data with near field antenna distance. The near field data will be transformed into far field data to get the antenna performance. The transformation from near field to the far field data is achieved by using Fast Fourier transform (FFT). The function of planar near field antenna measurement with probe correction or namely coupling function is equal to the product of the far field transformation with the far field probe correction simulation. The antenna coupling function consists of far field antenna under test (AUT) and data far field of the probe. In this paper we will discuss about the probe correction effect in the planar near field antenna measurement and the computation of algorithm scheme for planar near field measurements with probe correction.

The software development near field to far field (NF-FF) transformation was compared with simulation and measurement result. First, the developed software was compared between NF-FF transformation with far field electromagnetic (EM) software simulator. The comparison between EM simulator and the developed software for the radiation pattern $E_{\varphi=0}$ shows an average error of 1.25 dB. Second, the comparison between measured far field and transformation without probe correction, this shows an average error of 9.33 dB, and at last with probe correction, shows an improvement with average error of 4.4 dB.

Keywords: near field to far field transformation, coupling function, probe correction, computation of algorithm

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penulisan	4
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Sistematika Penulisan	5
BAB II FAKTOR RESPON PROBE DALAM PENGUKURAN MEDAN DEKAT PLANAR	6
2.1 Medan Dekat	6
2.2 Sistem Pengukuran Medan Dekat Metode Planar	8
2.2.1 Antena Tes	8
2.2.2 Antena Probe	9
2.2.3 Anechoic Chamber	9
2.2.4 Sistem Positioner	10
2.2.5 Sistem RF	10
2.3 Pemindaian Medan Dekat	10
2.4 Faktor Antena Probe pada Pengukuran Medan Dekat Metode Planar	12
2.5 Aplikasi Pengukuran Medan Dekat dengan Metode Planar yang	

Mempertimbangkan Faktor Respon Probe	15
2.6 Fast Fourier Transform	17
BAB III SKEMA ALGORITMA PEMOGRAMAN.....	19
3.1 Skema Algoritma tanpa Faktor Antena Probe	19
3.2 Skema Algoritma dengan Faktor Antena Probe	22
3.3 Validasi Algoritma Transformasi Medan Dekat ke Medan Jauh	24
3.3.1. Perangkat Lunak	25
3.3.2. Antena Tes	25
3.3.3. Wilayah Pemindaian dan Poin Sampling	28
3.3.4. Hasil Transformasi Medan Dekat ke Medan Jauh dengan Perangkat Lunak	29
BAB IV PENGUKURAN MEDAN DEKAT METODE PLANAR DENGAN MEMPERTIMBANGKAN FAKTOR ANTENA PROBE.....	33
4.1 Sistem Pengukuran Medan Dekat	33
4.1.1 Antena Probe	33
4.1.2 Antena Tes	35
4.1.3 Wilayah Pemindaian dan Poin Sampling	35
4.1.4 Pengambilan Data Medan Dekat Metode Planar	37
4.2 Hasil Pengukuran	39
4.3 Analisa Kesalahan dalam Pengukuran Medan Dekat Planar	41
4.3.1 Pengaruh Pengambilan Sampling	42
4.3.2 Pengaruh Loss Kabel dan Konektor	42
4.3.3 Pengaruh Refleksi dari Komponen Pengukuran Medan Dekat	42
4.3.4 Pengaruh Komputasi Numerik	42
BAB VI KESIMPULAN	43
DAFTAR ACUAN	44
LAMPIRAN A SOURCE CODE PROGRAM	47
LAMPIRAN B DATA PERCOBAAN	55

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Daeah Radiasi suatu Antena	7
Gambar 2.2	Sistem Pengukuran Medan Dekat Metode Planar	8
Gambar 2.3	Wilayah scan pengukuran medan dekat metode planar	11
Gambar 2.4	Panjang/Tinggi wilayah pemindaian.....	11
Gambar 2.5	Gambar geometri dari sistem pengukuran medan dekat metode planar.....	13
Gambar 2.6	Kordinat Bola (Spherical).....	14
Gambar 2.7	Perbandingan waktu komputasi antara FFT dan evaluasi langsung	17
Gambar 3.1	Skema algoritma tanpa faktor antena probe	21
Gambar 3.2	Skema algoritma dengan faktor antena probe	24
Gambar 3.3	Penampang antena <i>Horn</i> dari samping.....	26
Gambar 3.4	Penampang antena <i>Horn</i> dari depan	26
Gambar 3.5	Medan Jauh antena <i>Horn</i> ($\varphi = 0$).....	27
Gambar 3.6	Hubungan antara besar wilayah pemindaian dan poin <i>sampling</i>	28
Gambar 3.7	Skema wilayah pemindaian dan poin <i>sampling</i> simulasi medan dekat	30
Gambar 3.8	Perbandingan hasil transformasi medan dekat ke medan jauh dan medan jauh secara langsung.....	31
Gambar 3.9	Besar penyimangan hasil transformasi medan dekat ke medan jauh dan medan jauh secara langsung.....	31
Gambar 4.1	Antena dipole	34
Gambar 4.2	Antena dipole 3.35 GHz	34
Gambar 4.3	Antena mikrostrip array 8-element	35
Gambar 4.4	Skema pengambilan data medan dekat antena tes	38
Gambar 4.5	Skema pengambilan data medan jauh antena probe	38
Gambar 4.6	Hasil transformasi dari NF-FF data medan dekat pengukuran..	39
Gambar 4.7	Perbandingan antara pengukuran medan jauh dengan hasil transformasi	40

Gambar 4.8 Grafik penyimpangan hasil transformasi NF-FF terhadap Pengukuran FF secara langsung 40



DAFTAR TABEL

Table 3.1	Parameter antena <i>Horn</i>	27
Tabel 3.2	Skema simulasi pengukuran medan dekat dengan EMSS FEKO	29
Tabel 4.1	Spesifikasi antena dipole	34
Tabel 4.2	Spesifikasi antena mikrostrip array 8-element	35
Tabel 4.3	Spesifikasi wilayah pemindaian dan poin <i>sampling</i>	36

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Antena merupakan bagian yang terpenting dalam sistem telekomunikasi, khususnya sistem radio frekuensi (RF) atau sistem komunikasi *wireless*. Antena memegang peranan dalam mengirim dan menerima sinyal informasi dari pengirim ke penerima sehingga terjadi pertukaran informasi antara pengirim dan penerima berupa data, suara atau gambar. Mengingat antena adalah alat yang mengubah sinyal elektromagnetik terarah menjadi sinyal elektromagnetik yang meradiasi di udara, maka setiap antena memiliki karakteristik. Seorang perancang antenna harus memperhatikan karakteristik dari antena dan kebutuhan minimum dari sistem telekomunikasi yang ada agar antena tersebut dapat bekerja. Karakteristik dari sebuah antena diantaranya input impedansi, *voltage standing wave ratio* (VSWR), polarisasi, *directivity*, gain, efisiensi radiasi, pola radiasi, dan *noise temperature* dari antena [1],[2]. Ketika karakteristik suatu antena yang dirancang telah sesuai dengan kebutuhan minimum dari sistem telekomunikasi yang ada, maka antena tersebut dapat menjalankan fungsinya.

Untuk mengetahui karakteristik dari sebuah antena, maka antena harus diukur. Pengukuran antena terbagi menjadi dua metode, yaitu metode medan jauh (*far field measurements*) dan metode medan dekat (*near field measurements*). Biasanya pengukuran dilakukan dengan menggunakan metode medan jauh. Pengukuran dengan medan jauh dapat dilakukan di dalam ruangan *anechoic chamber* (*indoor*) atau di luar ruangan (*outdoor*). Pengukuran medan jauh di *indoor* dan *outdoor* memiliki keunggulan dan kelemahan. Keunggulan pengukuran medan jauh di *indoor* ialah pengukuran tidak terpengaruh pada faktor lingkungan, sedangkan kelemahannya ialah ketika jarak medan jauh dari antena yang diukur tidak mencukupi luas dari ruangan *anechoic chamber*. Lalu, keunggulan pengukuran medan jauh di *outdoor* ialah fleksibel, syarat jarak medan jauh dari antena yang diukur menjadi lebih mudah terpenuhi, sedangkan kelemahannya ialah adanya pengaruh faktor lingkungan ketika pengukuran dan pengoperasian yang cukup mahal[3].

Pengukuran dengan metode medan dekat menjadi alternatif ketika pengukuran dengan medan jauh tidak dapat dilakukan. Sama seperti pengukuran dengan metode medan jauh, pengukuran medan dekat dapat dilakukan di *indoor* maupun *outdoor*. Jarak pengukuran medan dekat relatif lebih pendek apabila dibandingkan dengan jarak pengukuran dengan menggunakan metode medan jauh. Sehingga pengukuran dengan metode medan dekat sangat cocok digunakan untuk mengukur antena dengan ukuran yang besar. Pada pengukuran medan dekat, diperlukan dua antena, antena pertama ialah antena tes atau *antenna under test* (AUT) sebagai antena yang ingin diketahui karakteristiknya dan antena *probe* sebagai antena pengukur efek medan elektromagnetik yang diradiasikan oleh antena tes. Pengukuran dengan metode medan dekat terbagi menjadi tiga teknik, yaitu teknik planar, silindris, dan bola [3]. Perbedaan setiap teknik terletak pada sistem koordinat antena tes dan probe. Pada teknik planar, antena tes diletakkan di tengah-tengah bidang pengukuran medan dekat lalu probe berdasarkan koordinat x - y di bidang scan dengan jarak tertentu antar tiap titik. Pada teknik silindris, antena tes diputar terhadap bidang z pada bidang xyz dengan perubahan sudut tertentu dan *probe* bergerak silindris terhadap antena tes. Adapun untuk teknik bola, antena tes diputar terhadap bidang z pada bidang xyz dengan perubahan sudut tertentu dan *probe* bergerak melingkar terhadap antena tes. Diantara ketiga teknik tersebut, teknik planar paling mudah untuk diaplikasikan dan memiliki rumusan matematis yang sederhana [4].

Prosedur pengukuran medan dekat dengan teknik planar terdiri atas tiga langkah. Langkah pertama ialah antena tes, metode pengukuran dengan teknik planar sangat baik digunakan untuk mengukur antena yang memiliki gain yang tinggi dan arah pola radiasi yang kuat pada arah tertentu (*directional*). Langkah kedua ialah wilayah *scan*, tempat dimana *probe* akan mengambil data medan elektromagnetik setiap titik pada wilayah scan. Langkah ketiga ialah komputasi, setelah data dari pengukuran medan dekat didapatkan dari titik pada wilayah scan, maka langkah selanjutnya ialah melakukan proses transformasi dari medan dekat ke medan jauh. Transformasi diproses dengan melakukan pendekatan ke bentuk *Discrete Fourier Transform* (DFT). Untuk menyelesaikan bentuk *Discrete Fourier Transform* tersebut, secara komputasi, digunakan metode *Fast Fourier*

Transform (FFT). FFT merupakan metode penyelesaian DFT yang cepat dan efisien, karena penyelesaian DFT secara komputasi akan membutuhkan *resource* yang besar [4]. Transformasi ini dilakukan secara komputasi sehingga didapatkan pola medan jauh dari antena.

Untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat dari pengukuran medan dekat, maka perlu mempertimbangkan faktor respon probe. Ketika *probe* mengambil data medan elektromagnetik pada posisi tertentu di bidang *scan*, data medan elektromagnetik tersebut merupakan data respon dari antena tes dan *probe*. Oleh karena itu, respon dari probe ini harus dihilangkan untuk mendapatkan pola dari antena tes. Pengaruh dari faktor respon probe ini hanya pada sisi side lobe dan tidak berpengaruh pada main lobe dari pola radiasi antena tes [5]. Proses penghilangan faktor respon probe ini dinamakan probe koreksi[6].

Untuk mengkompensasi faktor respon probe, maka data yang dibutuhkan tidak hanya data respon antena tes pada kondisi medan dekat dari antena tes, tetapi juga membutuhkan data respon probe pada kondisi medan jauh dari antena *probe*[7]. Maka, ketika melakukan pengukuran harus dipastikan bahwa antena *probe* terletak pada jarak medan dekat dari antena tes dan antena tes berada pada posisi medan jauh dari antena *probe*.

Formula untuk mendapatkan hasil dari pengukuran medan dekat yang mempertimbangkan faktor respon probe ialah hasil kali antara invers dari faktor respon *probe* dan hasil *fourier transform* dari respon antena tes [8]. Untuk mendapatkan hasil pengukuran tanpa mempertimbangkan faktor respon probe, maka hasil *fourier transform* sudah dapat diolah menjadi pola radiasi antena tes.

Terdapat penelitian dalam pengukuran antena menggunakan metode medan dekat dengan teknik planar [4]-[12]. Penelitian [6] dan [7] menjelaskan tentang dasar pengukuran antena dengan metode medan dekat. Penelitian [5] menjelaskan tentang perancangan sistem pengukuran antena medan dekat yang sederhana dan tidak mempertimbangkan faktor respon *probe* pada hasil pengukuran medan dekat. Penelitian [4] menjelaskan secara matematis dari pengaruh faktor respon probe dalam pengukuran medan dekat. Penelitian [6], [8], dan [10] menjelaskan tentang aplikasi dan hasil pengukuran medan dekat yang mempertimbangkan faktor respon probe. Penelitian [11] dan [12] merupakan

penelitian pertama Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia tahun 2008 pada pengukuran antenna dengan metode medan dekat, penelitian [11] menggunakan teknik planar yang diaplikasikan menggunakan software dan sudah mempertimbangkan faktor respon probe dan penelitian [12] menggunakan teknik silindris, yang diaplikasikan melalui pengukuran langsung di ruang anechoic chamber tetapi belum mempertimbangkan faktor respon probe. Pada penelitian [11] data medan dekat diambil dari perangkat lunak dan hasil transformasi dari medan dekat ke medan jauh dibandingkan dengan data medan jauh perangkat lunak. Hasil transformasi medan dekat ke medan jauh pada penelitian [11] memiliki error diatas 3 dB dibandingkan dengan medan jauh perangkat lunak.

Mengacu pada penelitian [11] terkait hasil transformasi medan dekat ke medan jauh, pada skripsi ini penulis melakukan perbaikan hasil transformasi medan dekat ke medan jauh untuk data perangkat lunak dengan nilai error maksimum 3dB. Setelah perbaikan secara perangkat lunak tercapai, selanjutnya penulis akan mengimplementasi pengukuran medan dekat metode *planar* secara langsung di *anechoic chamber* dengan memperhatikan faktor respon *probe* dan membandingkan hasil transformasi medan dekat ke medan jauh dengan pengukuran medan jauh secara langsung.

1.2 Tujuan Penulisan

Skripsi ini bertujuan untuk mengimplementasikan pengukuran medan dekat dengan menggunakan teknik pengukuran medan dekat *planar*.

Adapun tujuan khusus yang hendak dicapai ialah

1. Mempelajari pengukuran medan dekat dengan menggunakan teknik planar.
2. Mempelajari pengaruh dari faktor respon probe pada pengukuran medan dekat dengan menggunakan teknik planar.
3. Membuat perangkat lunak untuk transformasi medan dekat ke medan jauh metode planar.

4. Membandingkan hasil pengukuran medan dekat dengan menggunakan teknik planar yang mempertimbangkan dan yang tidak mempertimbangkan faktor respon probe.

1.3 Batasan Masalah

Pada skripsi ini menekan pada implementasi pengukuran medan dekat dengan teknik planar pada pengukuran secara langsung di ruang anechoic chamber dengan mempertimbangkan faktor respon probe. Antena *array microstrip* 8-element dan dipole digunakan sebagai antena tes dan *probe*. Data dari pengukuran berupa data medan dekat antena tes sebesar 17 x 17 dengan luas wilayah *scan* 0.64 meter x 0.64 meter dengan jarak setiap titik *sampling* sebesar 4 cm. Selain data medan dekat antena tes, pada pengukuran juga diambil data medan jauh antena *probe* berupa pola medan jauh antena *probe* saat polarisasi secara horizontal dan vertical. Penyelesaian persamaan fourier menggunakan pendekatan *Discrete Fourier Transform* (DFT) yang diselesaikan dengan metode *Fast Fourier Transform* (FFT). Untuk mendapatkan hasil pengukuran medan dekat dengan pengaruh faktor respon probe, maka hasil dari *fourier transform* dikalikan dengan faktor respon probe.

1.4 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi ini dibagi menjadi 6 bagian, yaitu Bab I berisi pendahuluan yang menjelaskan latar belakang, tujuan penulisan, batasan masalah, dan sistematika penulisan. Bab II berisi tentang dasar teori pengukuran medan dekat dengan teknik planar yang mempertimbangkan faktor respon probe. Bab III menjelaskan tentang algoritma pemrograman untuk pengukuran medan dekat dengan teknik planar baik yang mempertimbangkan respon *probe* maupun yang tidak memperhatikan respon probe dan validasi algoritma pemrograman untuk pengukuran medan dekat yang tidak memperhatikan respon *probe* dengan menggunakan software EMSS FEKO. Bab IV menjelaskan tentang pengukuran medan dekat dengan teknik planar pada kasus pengukuran langsung di ruang anechoic chamber. Bab V menjelaskan tentang kesimpulan dari skripsi ini.

BAB II

FAKTOR RESPON PROBE DALAM PENGUKURAN MEDAN DEKAT METODE PLANAR

Pengukuran medan dekat menjadi pilihan dalam mengukur karakteristik suatu antenna ketika pengukuran dengan metode medan jauh tidak atau sulit dilakukan. Pengukuran medan dekat dapat dilakukan dengan tiga metode, planar, silindris, dan bola, dari ketiga metode tersebut, metode planar yang paling banyak diimplementasikan dalam pengukuran medan dekat. Hal ini dikarenakan kemudahan dalam implementasi sistem dan rumusan matematis yang sederhana sehingga dapat diprogram secara komputasi. Untuk meningkatkan akurasi hasil dari pengukuran medan dekat metode planar, maka perlu mempertimbangkan faktor respon probe. Oleh karena itu, faktor probe respon harus dihilangkan agar hasil pengukuran medan dekat dapat mendekati hasil pengukuran medan jauh.

2.1 Medan Dekat

Untuk melakukan pengukuran medan dekat, kita perlu memahami dasar dari medan dekat. Pengukuran medan dekat ialah pengukuran karakteristik antenna yang dilakukan pada daerah medan dekat antenna. Daerah medan dekat dari suatu antenna dibagi menjadi dua bagian yaitu daerah medan dekat reaktif (*reactive near field region*) dan medan dekat radiasi (*radiating near field region*). Daerah medan dari suatu antenna dapat dilihat pada Gambar 2.1.

Secara umum, daerah radiasi suatu antenna dibagi menjadi tiga daerah, diantaranya[7]

1. Daerah Reaktif

Daerah reaktif antenna merupakan daerah di sekitar antenna dimana medan dekatnya bersifat reaktif atau tidak meradiasi. Daerah ini terdapat pada jarak $0 \leq r \leq \lambda/2\pi$ dari permukaan antenna. λ adalah panjang gelombang.

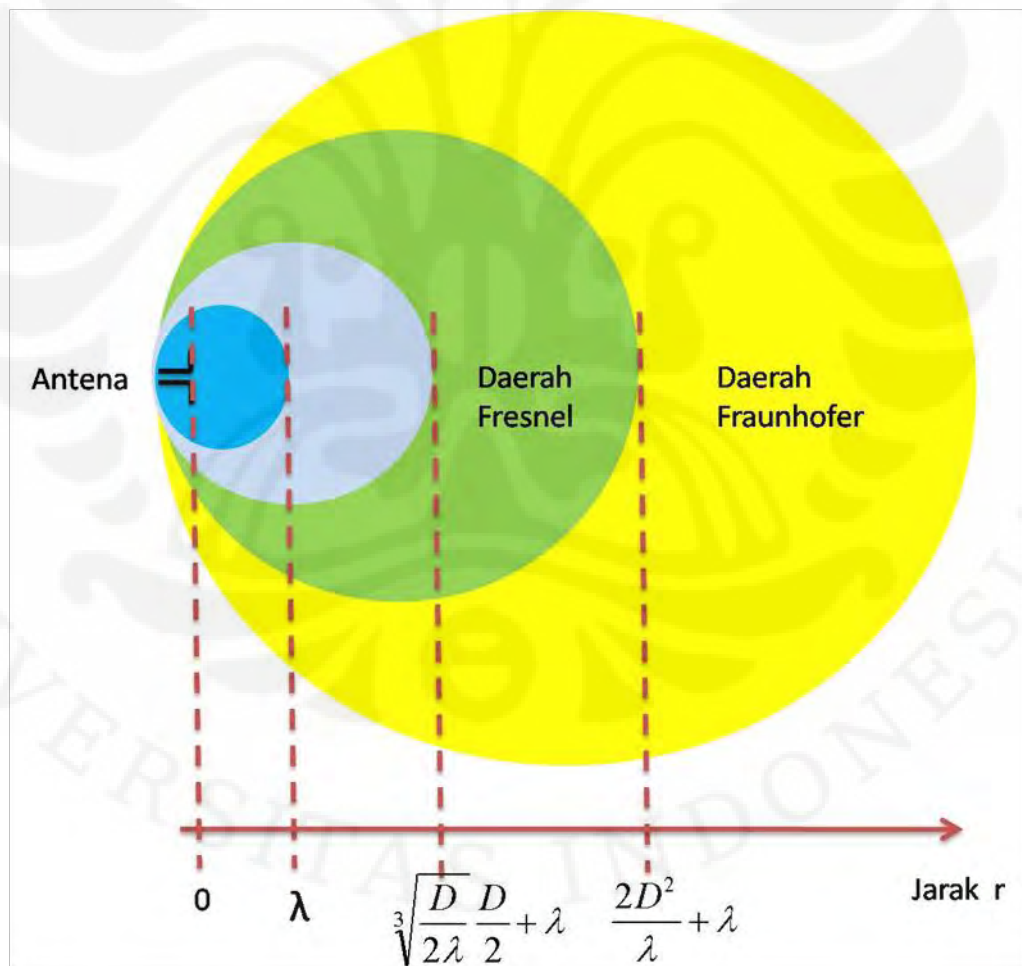
2. Daerah Medan Dekat

Daerah medan dekat antenna merupakan daerah yang berada antara daerah medan dekat reaktif dan medan jauh, dimana distribusi relatif *angular* dari medan tergantung pada jarak r . Jika D merupakan dimensi dari antenna dan

λ adalah panjang gelombang pada udara maka daerah ini berada pada jarak $\lambda \leq r \leq ((2D^2/\lambda) + \lambda)$. Untuk jarak $\sqrt[3]{D/2\lambda}(D/2) + \lambda \leq r \leq ((2D^2/\lambda) + \lambda)$ merupakan daerah Fresnel (Fresnel Region), daerah Fresnel merupakan bagian dari daerah medan dekat dan pada daerah ini kita melakukan pengukuran medan dekat.

3. Daerah Medan Jauh

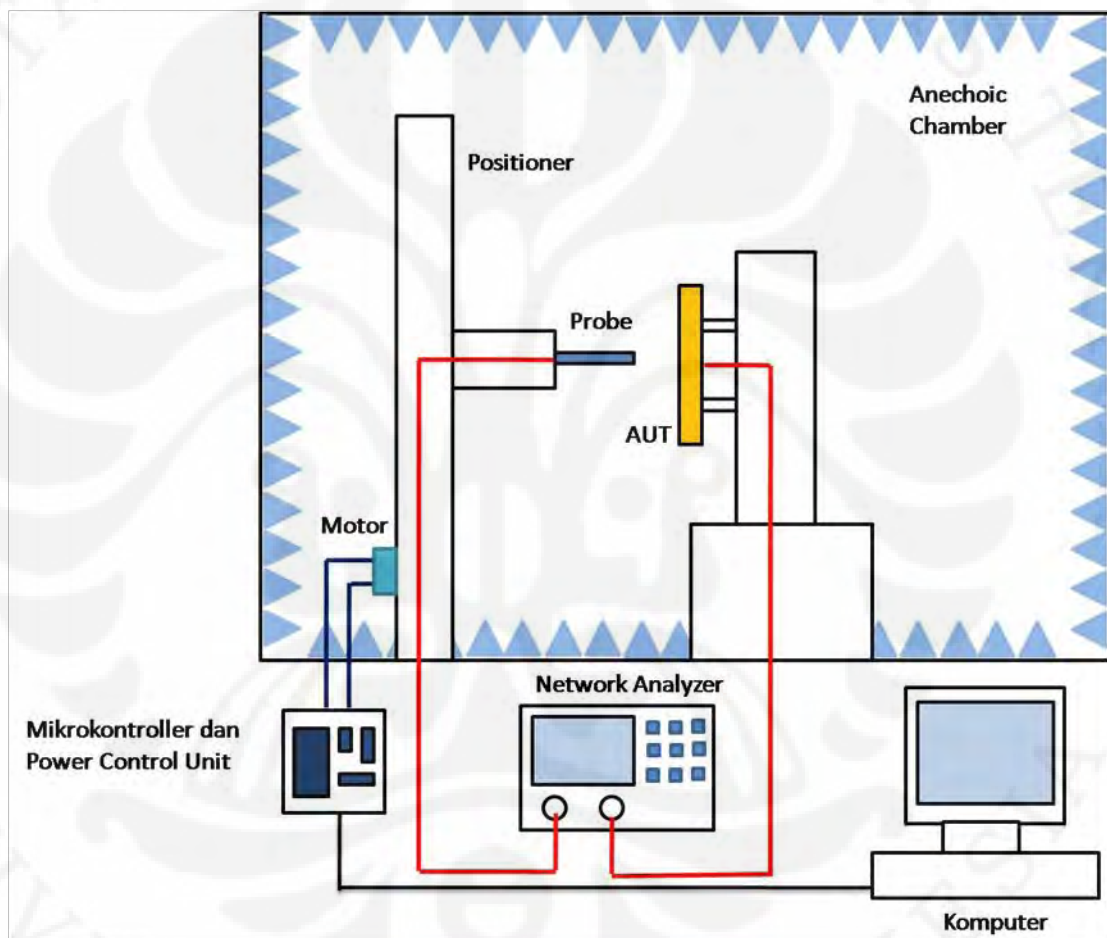
Daerah medan jauh antenna merupakan daerah setelah daerah medan dekat ke arah tidak terbatas dari permukaan antenna, dimana distribusi relatif *angular* dari medan tidak tergantung pada r . Daerah ini berada pada jarak $r > ((2D^2/\lambda) + \lambda)$ atau $r > 10\lambda$ (untuk antenna kecil [2]). Daerah ini disebut juga daerah Fraunhofer.



Gambar 2.1 Daerah radiasi suatu antenna [8]

2.2 Sistem Pengukuran Medan Dekat Metode Planar

Secara umum sistem pengukuran medan dekat metode planar terdiri atas lima bagian yaitu, antena tes, antena probe, anechoic chamber, sistem *positioner*, sistem RF[9]. Gambar sistem pengukuran medan dekat metode planar dapat dilihat pada Gambar 2.2. Adapun sistem pengukuran medan dekat metode planar pada skripsi ini disesuaikan dengan ketersediaan alat di Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia.



Gambar 2.2 Sistem Pengukuran Medan Dekat Metode Planar

2.2.1 Antena Tes

Antena tes pada pengukuran medan dekat disesuaikan dengan metode yang akan digunakan. Adapun antena tes yang memiliki *gain* yang tinggi dan memiliki pola radiasi yang kuat pada arah tertentu (*directional*) serta *side lobe* yang kecil maka pengukuran medan dekat dengan metode planar sangat cocok

digunakan. Sedangkan antena yang memiliki *side lobe* yang besar maka pengukuran medan dekat metode silindris dan bola sangat cocok digunakan. Pada literatur yang berkaitan dengan pengukuran medan dekat metode planar, antena horn atau antena yang memiliki *gain* tinggi digunakan sebagai antena tes.

2.2.2 Antena Probe

Antena probe dalam pengukuran medan dekat metode planar sangat berperan dalam kualitas data yang diambil dari wilayah sampel dari pengukuran medan dekat. Data tersebut akan menentukan keakuratan hasil dari pengukuran medan dekat. Antena probe berperan dalam mengukur nilai medan E atau H dari antena tes. Secara umum antena yang sering digunakan sebagai antena probe, diantaranya [11]

1. Antena *Open-ended Waveguide*

Antena ini memiliki nilai medan listrik E yang sama ke segala arah (*omnidirectional*) dengan gangguan elektromagnetik yang kecil.

2. Antena *Loop*

Antena ini digunakan untuk mengukur nilai medan magnet H.

3. Antena *High Gain*

Antena ini digunakan untuk pengukuran antena yang memiliki gain yang tinggi. Antena *high gain* diantaranya antena horn, dish, log periodik dan lain-lainnya.

4. Antena *Monopulse*

Antena ini cocok digunakan dalam pengukuran antena yang memiliki *side lobe* yang kecil.

2.2.3 Anechoic Chamber

Anechoic chamber ialah ruang yang didesain untuk meminimalkan pemantulan gelombang elektromagnetik. Untuk meminimalkan pemantulan gelombang maka di dalam anechoic chamber terdapat *absorber* RF.

2.2.4 Sistem Positioner

Sistem *positioner* terdiri atas dua bagian yaitu rel dan motor. Sistem *positioner* ini memiliki kemampuan bergerak pada dua arah, arah x dan y. Positioner dapat bergerak maksimum 1 m masing-masing pada arah x dan y. Gerak dari *positioner* diatur oleh *mikrokontroller*, *mikrokontroller* akan mengatur motor yang merupakan penggerak *positioner*.

2.2.5 Sistem RF

Sistem RF meliputi network analyzer dan kabel RF. Network analyzer ini akan menampilkan data medan elektromagnetik dari antenna tes yang merupakan output dari antenna probe pada setiap posisi pada wilayah scan. Namun, perlu diperhatikan ialah rugi-rugi kabel yang dapat mempengaruhi nilai medan yang terbaca pada *network analyzer*.

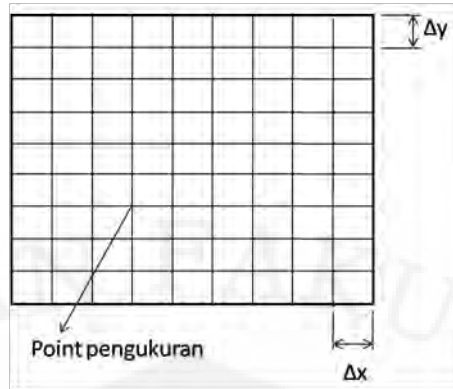
2.3 Pemindaian Medan Dekat

Pengukuran medan dekat metode planar menghitung besar medan elektromagnetik dari antenna tes kemudian mentransformasikan data medan-medan tersebut secara matematis sehingga didapatkan hasil medan jauh yang sama dengan hasil pengukuran medan jauh. Untuk mendapatkan data-data medan elektromagnetik dari antenna tes maka wilayah pemindaian harus diperhatikan.

Pengukuran medan dekat metode planar mempunyai wilayah scan berbentuk empat persegi panjang (*rectangular*). Wilayah pemindaian tersebut terdiri dari titik pengukuran dimana data-data medan elektromagnetik dari antenna tes didapatkan. Jarak setiap titik pengukuran pada wilayah pemindaian harus memenuhi syarat persamaan 2.1,

$$\Delta x = \Delta y = \frac{\lambda}{faktor}; faktor \geq 2 \quad (2.1)$$

Jarak maksimum dari setiap titik pengukuran baik pada komponen x maupun y ialah $\lambda/2$. Hal ini bertujuan untuk memenuhi kriteria *Nyquist* [7],[11], yang menyatakan frekuensi *sampling* harus dua kali frekuensi tertinggi atau frekuensi *Nyquist*. Skema wilayah pemindaian pengukuran medan dekat metode planar dapat dilihat pada Gambar 2.3,

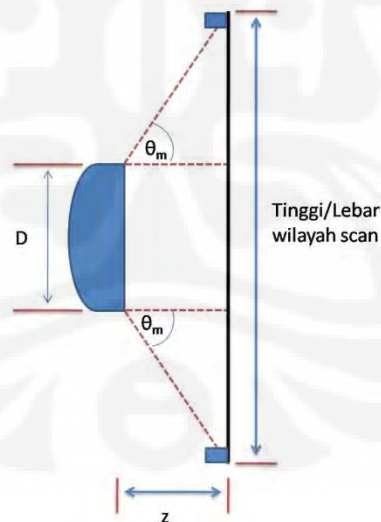


Gambar 2.3 Wilayah scan pengukuran medan dekat metode planar

Selain itu, wilayah pemindaian medan dekat harus memperhatikan hal-hal berikut, diantaranya [14]

1. Wilayah pemindaian harus cukup besar untuk dapat menerima radiasi dari antena tes. Panjang wilayah scan dapat dilihat pada Gambar 2.4 dan dapat ditentukan melalui Persamaan 2.2[14],

$$\text{panjang wilayah pemindaian} = D + 2Z \cdot \tan \theta_m \quad (2.2)$$



Gambar 2.4 Panjang/Tinggi wilayah pemindaian

dimana D adalah panjang/tinggi dari antena tes, Z adalah jarak antena tes dan probe dan θ_m adalah sudut maksimum dari *boresight*. Semakin besar sudut θ_m maka bidang wilayah pemindaian akan semakin besar dan dapat menerima radiasi medan dekat dari antena tes lebih luas.

2. S
etiap posisi dari antenna probe pada wilayah pemindaian adalah data medan dekat antenna tes akan disampel harus memenuhi kriteria *Nyquist*, dimana jarak maksimum antar sampling bernilai $\lambda/2$.
3. T
titik sample pada wilayah pemindaian tersusun dari dua dimensi, x-y.

2.4 Faktor Antena Probe pada Pengukuran Medan Dekat Metode Planar

Faktor probe koreksi pada pengukuran medan dekat metode planar berlandaskan pada teori *plane wave scattering matrix theory for antenna and antenna-antenna interaction* yang diformulasikan oleh D. M. Kerns pada tahun 1963 [7],[8],[13]. Kerns memformulasikan probe koreksi sebagai data medan elektromagnetik dari AUT yang diketahui karakteristik dari probe (*receiving characteristic*) pada setiap titik wilayah pemindaian di depan antenna tes. Formula probe koreksi mempertimbangkan karakteristik dari probe dan mengasumsikan pengaruh timbal balik antara antenna tes dan *probe* tidak ada [8]. Karakteristik dari probe ditentukan dari medan jauh dari antenna *probe* [7].

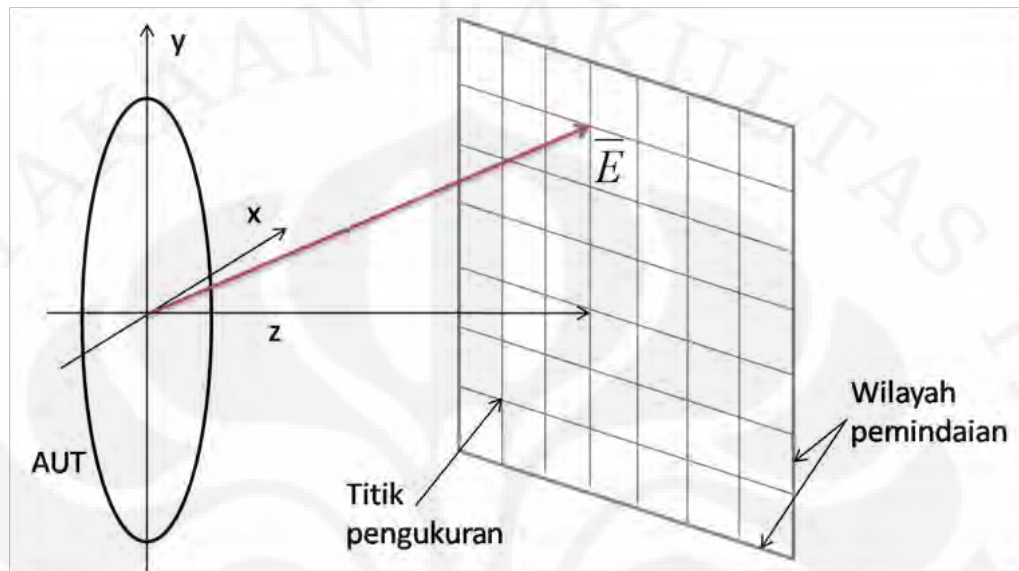
Gambar 2.5 menunjukkan geometri dari sistem pengukuran medan dekat metode planar, dimana $E(x,y,z)$ merupakan data medan yang terukur pada setiap titik pengukuran pada wilayah scan. Ketika antenna tes merupakan objek pada ruang bebas dan meradiasikan medan \mathbf{E} , dirumuskan pada Persamaan 2.3,

$$\overline{\mathbf{E}}(\overline{\mathbf{r}}) = \frac{a_o}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \overline{\mathbf{T}}(k_x, k_y) \cdot e^{j(k_x x + k_y y + \gamma z)} dk_x dk_y \quad (2.3)$$

dimana $\overline{\mathbf{T}}_o$ merupakan spektrum transmisi dari antenna tes dan $\overline{\mathbf{T}}_o(k_x, k_y) \cdot e^{j(k_x x + k_y y + \gamma z)}$ merupakan spektrum transmisi bidang (*plane wave spectrum*). $\overline{\mathbf{T}}_o(k_x, k_y)$ dirumuskan pada Persamaan 2.4,

$$\overline{\mathbf{T}}_o(k_x, k_y) = \frac{e^{-j\gamma z}}{2\pi a_o} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \overline{\mathbf{E}}(\overline{\mathbf{r}}) \cdot e^{-j(k_x x + k_y y + \gamma z)} dk_x dk_y \quad (2.4)$$

dengan $\vec{r} = x\hat{x} + y\hat{y} + z\hat{z}$, merupakan posisi probe titik pengukuran dan $\vec{E}(r)$ merupakan nilai medan yang terukur pada posisi \vec{r} .



Gambar 2.5 Gambar geometri dari sistem pengukuran medan dekat metode planar[9]

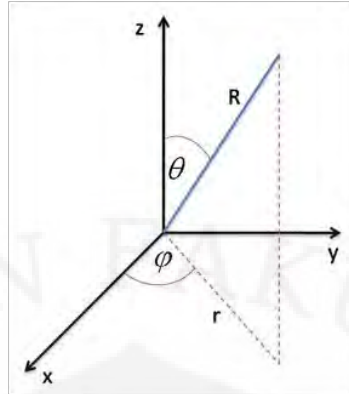
Nilai dari k_x , k_y , dan γ didefinisikan sebagai nilai panjang gelombang (*wavenumber*) pada masing-masing arah x, y , dan z , yang dirumuskan pada Persamaan 2.5, 2.6, dan 2.7.

$$k_x = k \cdot \sin \theta \cdot \cos \phi \quad (2.5)$$

$$k_y = k \cdot \sin \theta \cdot \sin \phi \quad (2.6)$$

$$\gamma = k \cdot \cos \theta \quad (2.7)$$

dimana sudut θ dan ϕ ditentukan melalui sudut pada kordinat bola (*spherical*). Definisi dari kordinat spherical dapat dilihat pada Gambar 2.6.

Gambar 2.6 Kordinat bola (*spherical*)[10]

Sekarang kita akan meninjau pengaruh dari faktor respon probe pada keluaran dari antenna *probe* di titik pengukuran pada wilayah pemindaian. Kita definisikan keluaran antenna *probe* di titik pengukuran pada wilayah pemindaian sebagai $\bar{b}_p(\bar{r})$ dan karakteristik probe sebagai \bar{R}_p . Keluaran dari antenna *probe* ketika berada pada pada posisi $\bar{r} = x\hat{x} + y\hat{y} + z\hat{z}$ yang diakibatkan oleh spektrum gelombang datang (*incident plane wave*) dirumuskan pada Persamaan 2.8[8],

$$\bar{b}_p = \bar{R}_p(k_x, k_y) \cdot \bar{e} e^{j(k_x x + k_y y + \gamma z)} \quad (2.8)$$

dari Persamaan 2.3, komponen radiasi spektrum transmisi bidang pada arah panjang gelombang (k_x, k_y) adalah $(a_o/2\pi) \bar{T}_o(k_x, k_y) e^{j(k_x x + k_y y + \gamma z)} dk_x dk_y$ dan vektor keluaran dari probe diakibatkan oleh spektrum transmisi bidang ini dirumuskan pada Persamaan 2.9[8],

$$d\bar{b}_p(\bar{r}) = a_o \bar{R}_p(k_x, k_y) \cdot \bar{T}_o(k_x, k_y) \cdot e^{j(k_x x + k_y y + \gamma z)} dk_x dk_y \quad (2.9)$$

maka total vektor keluaran dari probe dengan asumsi respon dari spektrum transmisi bidang secara tiba-tiba linear dirumuskan pada Persamaan 2.10[8],

$$\bar{b}_p(\bar{r}) = a_o \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \bar{R}_p(k_x, k_y) \cdot \bar{T}_o(k_x, k_y) \cdot e^{j(k_x x + k_y y + \gamma z)} dk_x dk_y \quad (2.10)$$

maka untuk mendapatkan persamaan dari spektrum transmisi bidang untuk keluaran dari probe yang terletak pada posisi \bar{r} yaitu dengan bentuk invers dari bentuk *Fourier* dari persamaan 2.10, dirumuskan pada persamaan 2.11[8],

$$\bar{R}_p(k_x, k_y) \cdot \bar{T}_o(k_x, k_y) = \frac{e^{-j\gamma z}}{(2\pi)^2 a_o} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \bar{b}_p(\bar{r}) \cdot e^{j(k_x x + k_y y + \gamma z)} dx dy \quad (2.11)$$

dari Persamaan 2.11, kita dapat melihat bahwa persamaan dari spektrum transmisi bidang untuk keluaran dari probe terdapat faktor karakteristik probe, \bar{R}_p . Maka, spektrum transmisi bidang dari antenna tes, \bar{T}_o dirumuskan pada persamaan 2.12[8],

$$\bar{T}_o(k_x, k_y) = \frac{e^{-j\gamma z}}{(2\pi)^2 a_o} \bar{R}_p^{-1}(k_x, k_y) \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \bar{b}_p(\bar{r}) \cdot e^{j(k_x x + k_y y + \gamma z)} dx dy \quad (2.12)$$

Persamaan 2.12 merupakan persamaan probe koreksi untuk pengukuran medan dekat metode planar. Radiasi medan listrik oleh antenna \bar{T}_o didefinisikan sebagai produk dari invers dari karakteristik probe dan bentuk *Fourier* dari keluaran antenna *probe* [8].

2.5 Aplikasi Pengukuran Medan Dekat dengan Metode Planar yang Mempertimbangkan Faktor Respon Probe

Faktor koreksi probe dibutuhkan pada pengukuran medan dekat untuk mengkompensasi faktor probe yang tidak ideal. Pada pengukuran medan dekat, data medan dekat merupakan data yang terdiri dari data respon antenna tes dan probe. Data respon antenna tes inilah yang berusaha untuk dihilangkan untuk mendapatkan nilai data respon antenna tes saja. Untuk mengkompensasi faktor respon probe dibutuhkan pola data medan jauh dari probe.

Pada pengukuran medan dekat dengan medan dekat dengan metode planar, data yang dibutuhkan ialah data medan dekat dari antenna tes yang diterima antenna probe ketika posisi antenna tes berpolarisasi secara horizontal dan vertikal. Selain data medan dekat antenna tes, aplikasi pengukuran medan dekat dengan metode planar membutuhkan data medan jauh antenna probe. Data medan jauh probe diperoleh ketika antenna tes pada kondisi transmit dan antenna probe menerima.

Posisi antenna probe berpolarisasi horizontal ialah ketika arah medan antenna tes berada pada posisi yang sama terhadap arah datangnya medan dari antenna probe. Untuk antenna tes berpolarisasi vertikal, antenna probe dirotasi 90° terhadap posisi antenna probe saat berpolarisasi horizontal artinya posisi medan dari antenna tes sebesar 90° terhadap arah medan antenna probe. Pengukuran terhadap dua polarisasi antenna probe ini bertujuan untuk menghilangkan distorsi yang diakibatkan oleh interaksi fase antara antenna tes dan probe[17].

Untuk mendapatkan pola medan jauh dari antenna tes tanpa memperhatikan faktor respon probe, data medan dekat ditransformasi ke medan jauh menggunakan pendekatan *Discrete Fourier Transform* (DFT). Selama komponen polarisasi *cross* dari antenna probe diperhitungkan maka persamaan medan jauh tanpa memperhatikan koreksi probe merupakan data transformasi medan dekat dan data medan jauh probe dirumuskan persamaan 2.13 dan 2.14[17],

$$E_{pu} = E_p.E_{pp1} + E_c.E_{cp1} \quad (2.13)$$

$$E_{cu} = E_p.E_{cp2} + E_c.E_{pp2} \quad (2.14)$$

E_{pu} dan E_{cu} merupakan pola medan jauh tanpa memperhatikan faktor respon probe pada saat polarisasi horizontal dan vertikal. E_p dan E_c merupakan data transformasi medan dekat ke medan jauh pada saat polarisasi horizontal dan vertikal. E_{pp1} dan E_{cp1} merupakan data medan jauh probe untuk polarisasi horizontal. E_{pp2} dan E_{cp2} merupakan data medan jauh probe untuk polarisasi vertikal.

Persamaan 2.13 dan 2.14 merupakan persamaan medan jauh tanpa memperhatikan faktor respon probe, persamaan medan jauh dengan

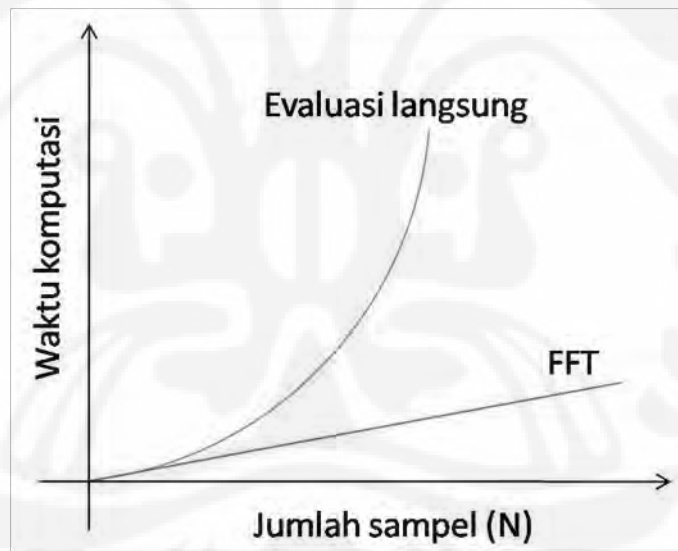
memperhatikan faktor respon probe dirumuskan pada persamaan 2.15 dan 2.16[17],

$$EP = \frac{Epp2.Epu - Ecp1.Ecu}{Epp1.Epp2 - Ecp1.Ecp2} \quad (2.15)$$

$$EC = \frac{-Ecp2.Epu + Epp1.Ecu}{Epp1.Epp2 - Ecp1.Ecp2} \quad (2.16)$$

2.6 Fast Fourier Transform (FFT)

Untuk menyelesaikan persamaan integral dari persamaan 2.12, maka digunakan prinsip Discreet Fourier Transfor (DFT). DFT dapat diprogram langsung secara komputasi secara langsung atau menggunakan FFT. Penggunaan FFT bertujuan untuk menyelesaikan persamaan DFT dan mempercepat waktu komputasi. Perbandingan waktu komputasi dapat dilihat pada gambar 2.7



Gambar 2.7 Perbandingan waktu komputasi antara FFT dan evaluasi langsung [11]

Dari persamaan 2.12, kita perlu menyelesaikan persamaan bentuk *Fourier* dari keluaran probe, $\bar{b}_p(\bar{r})$. Asumsikan hasil dari bentuk *Fourier* dari keluaran probe, $\bar{B}_p(\bar{r})$ dirumuskan pada Persamaan 2.17,

$$\bar{B}_p(k_x, k_y) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \bar{b}_p(\bar{r}) \cdot e^{j(k_x x + k_y y + \gamma z)} dx dy \quad (2.17)$$

nilai k_x dan k_y didefinisikan pada Persamaan 2.18 dan 2.19,

$$k_x = k_{x0} + n\Delta k_x \quad (2.18)$$

$$k_y = k_{y0} + m\Delta k_y \quad (2.19)$$

Selama nilai dari $|k_{x0}| = \left| \frac{\pi}{\Delta x} \right|$ dan $|k_{y0}| = \left| \frac{\pi}{\Delta y} \right|$, maka nilai k_x dan k_y , dirumuskan

pada Persamaan 2.20 dan 2.21,

$$k_x = n\Delta k_x - \frac{\pi}{\Delta x} \quad (2.20)$$

$$k_y = m\Delta k_y - \frac{\pi}{\Delta y} \quad (2.21)$$

dimana nilai $n = 1, 2, 3, 4, \dots, N-1$ dan $m = 1, 2, 3, 4, \dots, M-1$. Nilai Δk_x dan Δk_y didefinisikan pada Persamaan 2.18 dan 2.19,

$$\Delta k_x = \frac{2k_{x0}}{N} = \frac{2\pi}{N\Delta x} \quad (2.22)$$

$$\Delta k_y = \frac{2k_{y0}}{M} = \frac{2\pi}{M\Delta y} \quad (2.23)$$

maka penyelesaian FFT dari persamaan 2.13, dirumuskan pada persamaan 2.20

$$\bar{B}_p(k_x, k_y) \approx \Delta x \Delta y \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{M-1} b_p(n\Delta x, m\Delta y, z=0) \cdot e^{j(k_x n\Delta x + k_y m\Delta y)} \quad (2.24)$$

BAB III

SKEMA ALGORITMA PEMOGRAMAN

Pada Bab III ini akan dijelaskan mengenai skema algoritma pemograman transformasi dari medan dekat ke medan jauh (*NF-FF Transformation*). Pada Bab III ini juga akan jelaskan skema algoritma transformasi dari medan dekat ke medan jauh tanpa faktor probe koreksi dan dengan faktor probe koreksi. Skema algoritma tanpa probe koreksi digunakan untuk proses validasi *software* dan skema algoritma dengan probe koreksi digunakan untuk proses pengukuran.

3.1 Skema Algoritma tanpa Faktor Antena Probe

Skema ini dilakukan sebagai validasi terhadap algoritma yang dibuat, sebelum melakukan pengukuran. Adapun input data berasal dari data perangkat lunak. Algoritma tanpa probe koreksi ini mengacu pada metode konvensional [5] dan [9]. Spektrum dari antenna tes ditentukan dari data sample medan dekat dengan menggunakan Persamaan 3.1,

$$f(k_x, k_y, z=0) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} E_{NF}(x, y, z=0) e^{j(k_x x + k_y y)} dx dy \quad (3.1)$$

$E_{NF}(x, y, z=0)$ merupakan data sampel medan dekat dalam bentuk kompleks. Pada software data yang kita peroleh berupa amplitude dan phase. Maka bentuk kompleks $E_{NF}(x, y, z=0)$ yang diperoleh dari pengukuran menggunakan Persamaan 3.2,

$$E_{NF}(x, y, z=0) = |E_{amplitude}(x, y, z=0)| \cdot e^{jkE_{phase}} \quad (3.2)$$

Karena data medan dekat bersifat diskrit, maka persamaan 3.1 dapat dituliskan dalam bentuk DFT pada Persamaan 3.3

$$f(k_x, k_y, z=0) = \Delta x \Delta y \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{M-1} E_{NF}(n\Delta x, m\Delta y, z=0) e^{j(k_x n\Delta x + k_y m\Delta y)} \quad (3.3)$$

Untuk mendapatkan pola medan jauh dari antenna tes, komponen medan listrik \mathbf{E} antenna tes perlu diketahui melalui Persamaan 3.4[16],

$$E(x, y, z) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} f(k_x, k_y) e^{-jk_z z} e^{-j(k_x x + k_y y)} dx dy \quad (3.4)$$

Persamaan 3.4, Medan listrik \mathbf{E} antenna tes terdiri dari komponen x,y dan z, yang dapat dinyatakan pada persamaan 3.5, 3.6, dan 3.7 [16],

$$E_x(x, y, z) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} f_x(k_x, k_y) e^{-jk_z z} e^{-j(k_x x + k_y y)} dx dy \quad (3.5)$$

$$E_y(x, y, z) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} f_y(k_x, k_y) e^{-jk_z z} e^{-j(k_x x + k_y y)} dx dy \quad (3.6)$$

$$E_z(x, y, z) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} f_z(k_x, k_y) e^{-jk_z z} e^{-j(k_x x + k_y y)} dx dy \quad (3.7)$$

Pada persamaan 3.7, nilai spectrum f_x dan f_y ditentukan melalui persamaan 3.1 dengan input data medan dekat komponen x dan y, E_x dan E_y . Nilai spektrum f_z ditentukan melalui Persamaan 3.8[16],

$$k_x f_x(k_x, k_y) + k_y f_y(k_x, k_y) + k_z f_z(k_x, k_y) = 0 \quad (3.8)$$

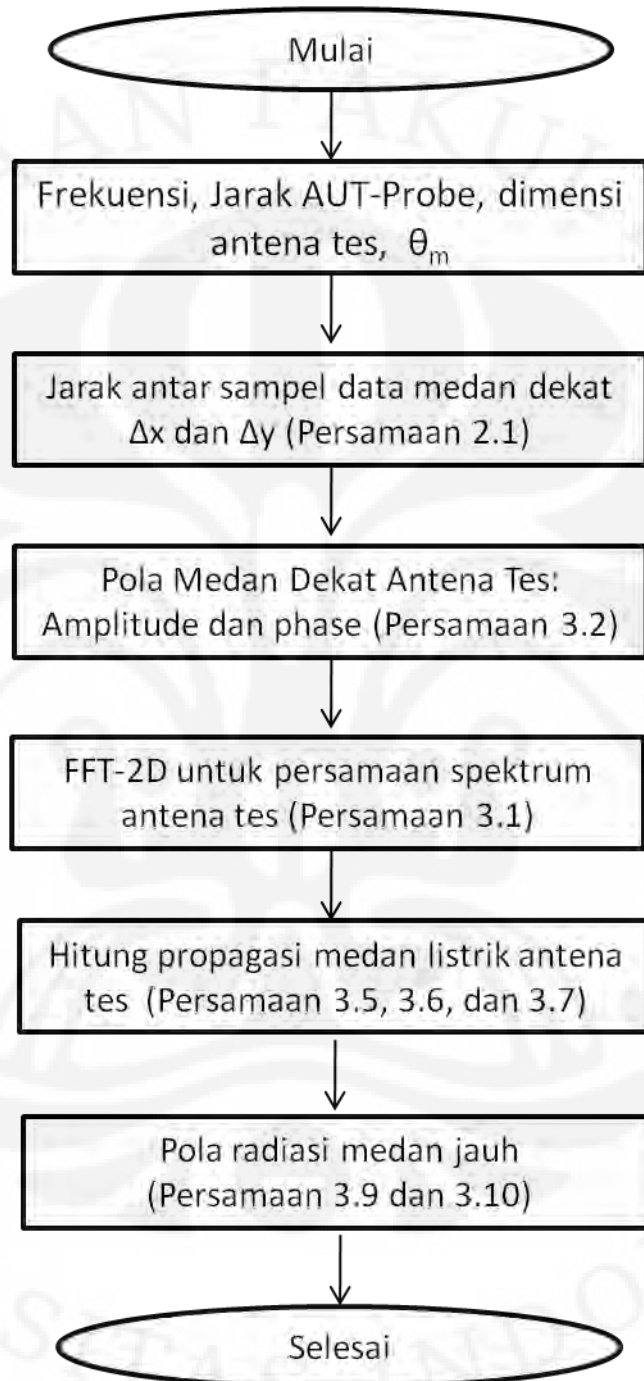
Setelah komponen medan listrik \mathbf{E} antenna tes diketahui, pola medan jauh dari antenna tes dapat ditentukan dari hasil Persamaan 3.9 dan 3.10[9],

$$E_\theta = E_x \cos \theta \cos \varphi + E_y \cos \theta \sin \varphi - E_z \sin \theta \quad (3.9)$$

$$E_\varphi = -E_x \sin \theta + E_y \cos \theta \quad (3.10)$$

E_θ dan E_φ merupakan pola medan jauh dalam model *polar spherical*, dimana E_θ dan E_φ saling tegak lurus (ortogonal). Medan listrik \mathbf{E} total merupakan resultan

antara nilai medan E_θ dan E_ϕ . Skema algoritma tanpa probe koreksi dapat dilihat pada Gambar 3.1



Gambar 3.1 Skema algoritma tanpa faktor antenna probe

3.2 Skema Algoritma dengan Faktor Antena Probe

Skema algoritma dengan probe koreksi digunakan pada kasus pengukuran di anechoic chamber. Skema ini tidak berbeda jauh dengan skema algoritma tanpa probe koreksi, dimana perbedaan antara skema algoritma dengan dan tanpa probe koreksi terletak pada fungsi gabungan (*coupling*) antara data medan jauh antenna probe dan bentuk *Fourier* dari keluaran probe. Input data medan dekat dari pengukuran sama dengan input medan dekat pada kasus validasi *software*, yaitu amplitude dan phase. Parameter frekuensi, jarak AUT-probe, dimensi antenna, θ_m , dan jarak tiap point sample, Δx dan Δy , sama nilainya pada saat tanpa probe koreksi.

Dari Persamaan 2.13 dan 2.14, nilai E_p dan E_c merupakan bentuk *Fourier* untuk mendapatkan hasil transformasi dari medan dekat ke medan jauh yang dapat diselesaikan dengan pendekatan *Discrete Fourier Transform* (DFT). Pada pengukuran diperoleh data medan dekat untuk kondisi antenna probe berpolarisasi secara horizontal maupun vertikal dinyatakan pada Persamaan 3.11 dan 3.12,

$$f_p(k_x, k_y) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} E_{h_nf}(x, y, z=0) e^{j(k_x x + k_y y)} dx dy \quad (3.11)$$

$$f_c(k_x, k_y) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} E_{v_nf}(x, y, z=0) e^{j(k_x x + k_y y)} dx dy \quad (3.12)$$

Persamaan *Plane Wave Spectrum* untuk komponen normal terhadap bidang antenna dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan 3.8 dan dinyatakan pada Persamaan 3.13,

$$f_n(k_x, k_y) = -\frac{(k_x f_p + k_y f_c)}{k_z} \quad (3.13)$$

Setelah kita mendapatkan tiga komponen *Plane Wave Spectrum* (PWS); f_p , f_c , dan f_n , selanjutnya dari Persamaan 3.11, 3.12 dan 3.13, didapat medan listrik \mathbf{E} dari antenna tes untuk masing-masing komponen yang dinyatakan pada Persamaan 3.14, 3.15 dan 3.16,

$$E_h(x, y, z) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} f_p(k_x, k_y) e^{-jk_z z} e^{-j(k_x x + k_y y)} dx dy \quad (3.14)$$

$$E_C(x, y, z) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} f_C(k_x, k_y) e^{-jk_z z} e^{-j(k_x x + k_y y)} dx dy \quad (3.15)$$

$$E_n(x, y, z) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} f_n(k_x, k_y) e^{-jk_z z} e^{-j(k_x x + k_y y)} dx dy \quad (3.16)$$

Dari Persamaan 3.14, 3.15 dan 3.16, didapat pola transformasi medan dekat ke medan jauh dalam model polarisasi *polar spherical* dinyatakan pada Persamaan 3.17 dan 3.18,

$$E_\theta = E_h \cos \theta \cos \varphi + E_v \cos \theta \sin \varphi - E_n \sin \theta \quad (3.17)$$

$$E_\varphi = -E_h \sin \theta + E_v \cos \theta \quad (3.18)$$

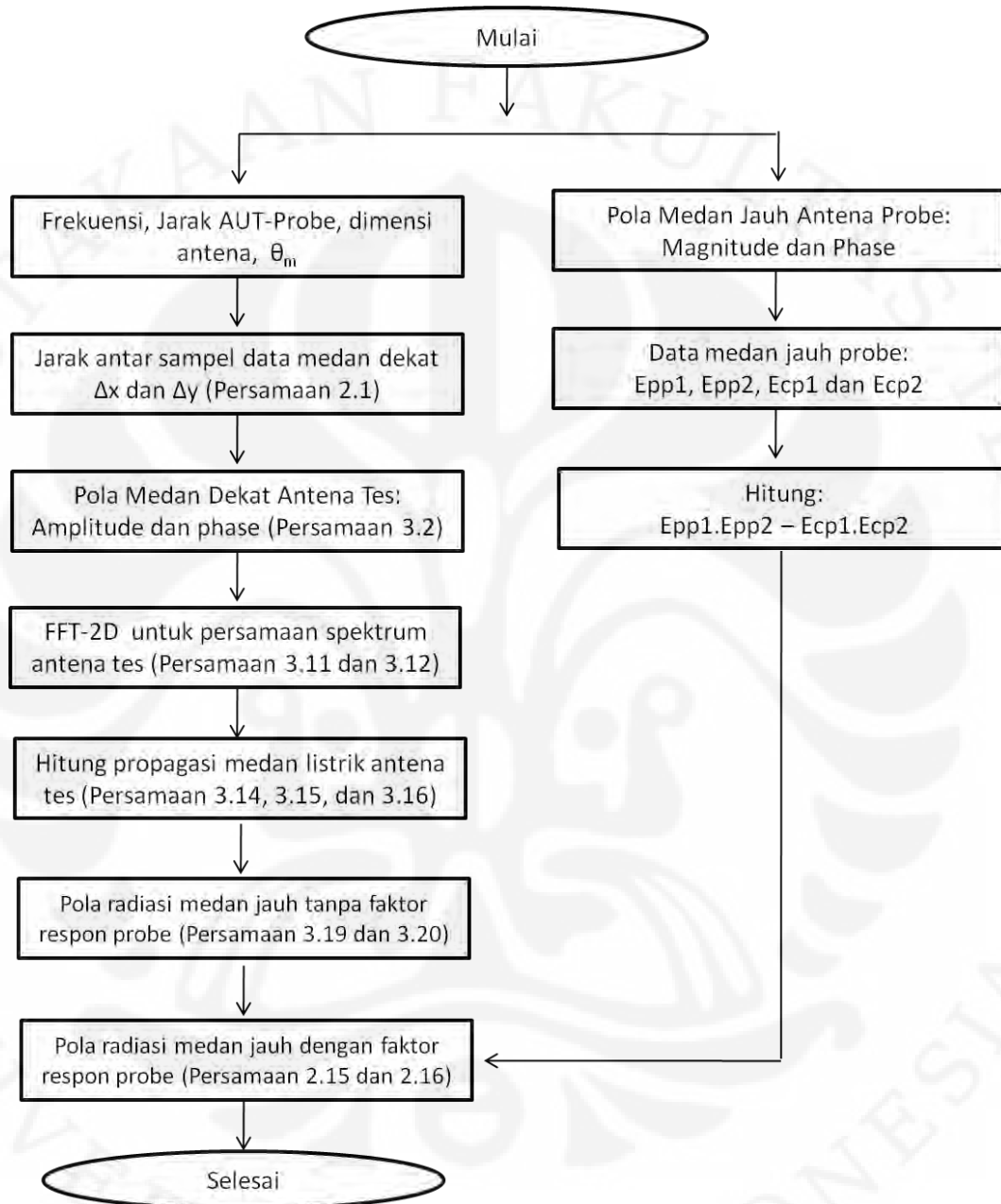
E_θ dan E_φ merupakan data transformasi medan dekat ke medan jauh untuk polarisasi vertikal dan horizontal. Pola medan jauh tanpa probe koreksi dapat diselesaikan dengan menggunakan Persamaan 2.13 dan 2.14 dinyatakan dengan persamaan 3.19 dan 3.20,

$$E_{pu} = E_\varphi \cdot E_{pp1} + E_\theta \cdot E_{cp1} \quad (3.19)$$

$$E_{cu} = E_\varphi \cdot E_{cp2} + E_\theta \cdot E_{pp2} \quad (3.20)$$

dan pola medan jauh dengan memperhatikan faktor respon probe dapat diselesaikan dengan Persamaan 2.15 dan 2.16. Pada Persamaan 2.13, 2.14, 2.15, dan 2.16 data medan jauh probe $E_{pp1}, E_{pp2}, E_{cp1}$ dan E_{cp2} diperoleh melalui pengukuran. Notasi 1 dan 2 menandakan polarisasi dari antenna tes, notasi 1 ialah kondisi ketika antenna tes berpolarisasi secara horizontal dan notasi 2 ialah kondisi antenna tes berpolarisasi secara vertikal atau rotasi 90° terhadap posisi antenna saat berpolarisasi horizontal. Sedangkan, E_{pp} dan E_{cp} ialah kondisi antenna probe berpolarisasi secara horizontal dan vertikal.

Gambar skema algoritma transformasi medan dekat ke medan jauh dengan mempertimbangkan faktor respon probe dapat dilihat pada Gambar 3.2,



Gambar 3.2 Skema algoritma dengan faktor antenna probe

3.3 Validasi Algoritma Transformasi Medan Dekat ke Medan Jauh

Validasi perangkat lunak (*software*) dilakukan untuk memastikan algoritma transformasi medan dekat ke medan jauh sesuai dengan hasil simulasi medan jauh secara *software*. Pada bagian ini hanya menguji algoritma

transformasi medan dekat ke medan jauh tanpa mempertimbangkan karakteristik antena *probe*. Hal ini dikarenakan data medan dekat antena tes yang didapat hanya merupakan data medan dekat dari suatu rancangan antena. Pengujian secara *software* merupakan langkah awal untuk selanjutnya melakukan pengukuran langsung medan dekat.

3.3.1 Perangkat Lunak

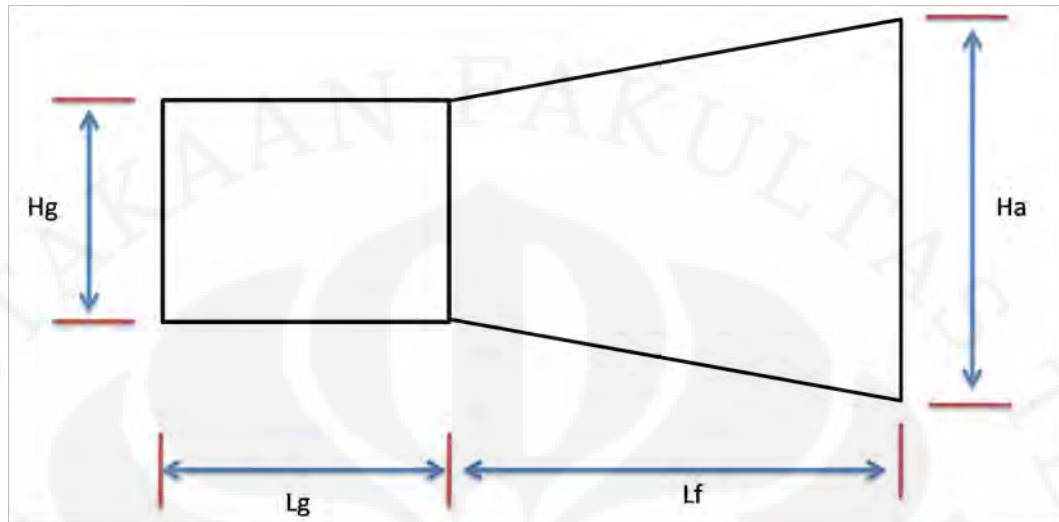
Perangkat lunak yang digunakan pada bab ini ada tiga buah, yaitu

1. Antena desain kit, Antenna Magus. *Software* ini berguna untuk merancang antena yang akan dijadikan sebagai antena tes. *Software* ini mempermudah dalam merancang suatu antena karena kita cukup memasukkan parameter frekuensi kerja dan *gain* dari suatu antena.
2. Simulator Elektromagnetik FEKO V5.5 (Electromagnetic Software and System (EMSS) FEKO). Simulator ini menggunakan teknik *Method of Moment* (MoM) dalam menyelesaikan persamaan elektromagnetik secara komputasi. Pada *software* ini, kita akan mendapatkan data medan dekat dari suatu antena.
3. MATLAB, *software* ini berguna dalam proses transformasi medan dekat ke medan jauh. Pada *software* ini, algoritma transformasi diterapkan secara komputasi.

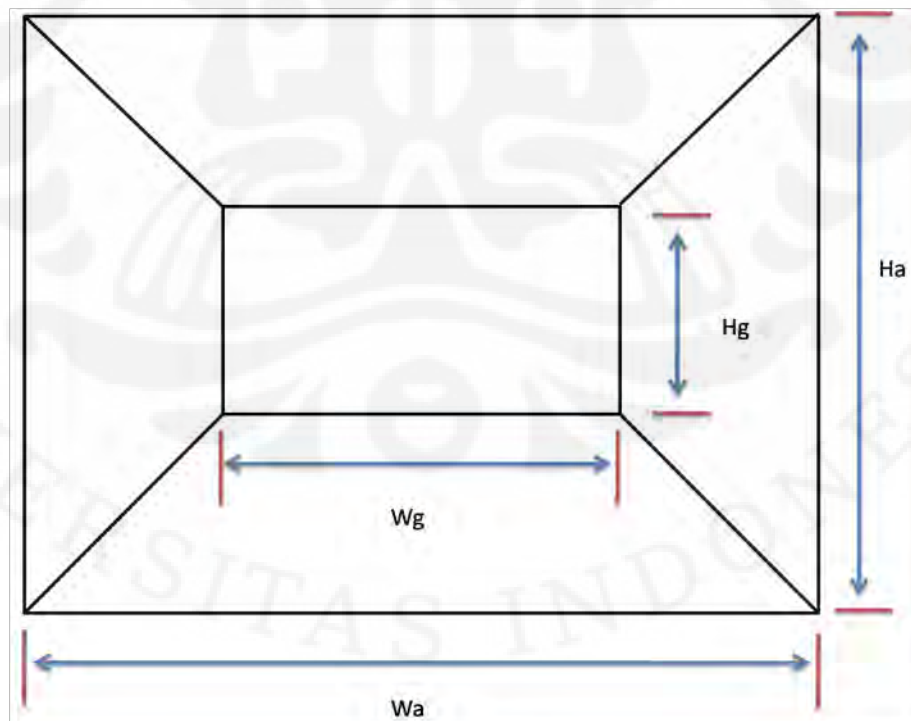
3.3.2 Antena Tes

Antena tes yang akan diuji pada proses validasi *software* ini ialah antena *Horn*. Antena *Horn* dipilih karena mempunyai pola radiasi yang kuat pada arah tertentu (*directional*) dan *side lobe* yang kecil. Pertimbangan ini diambil mengingat pengukuran medan dekat sangat baik digunakan pada pengukuran antena yang mempunyai pola radiasi yang kuat dan *side lobe* yang kecil. Selain itu, literatur yang berkaitan dengan pengukuran medan dekat pada umumnya menggunakan antena *Horn* sebagai standar pengukuran dan validasi antara pengukuran medan jauh dan hasil transformasi medan dekat ke medan jauh.

Gambar 3.3, Gambar 3.4 dan Tabel 3.1 merupakan rancangan antena *horn* yang akan dijadikan antena tes,



Gambar 3.3 Penampang antenna *Horn* dari samping

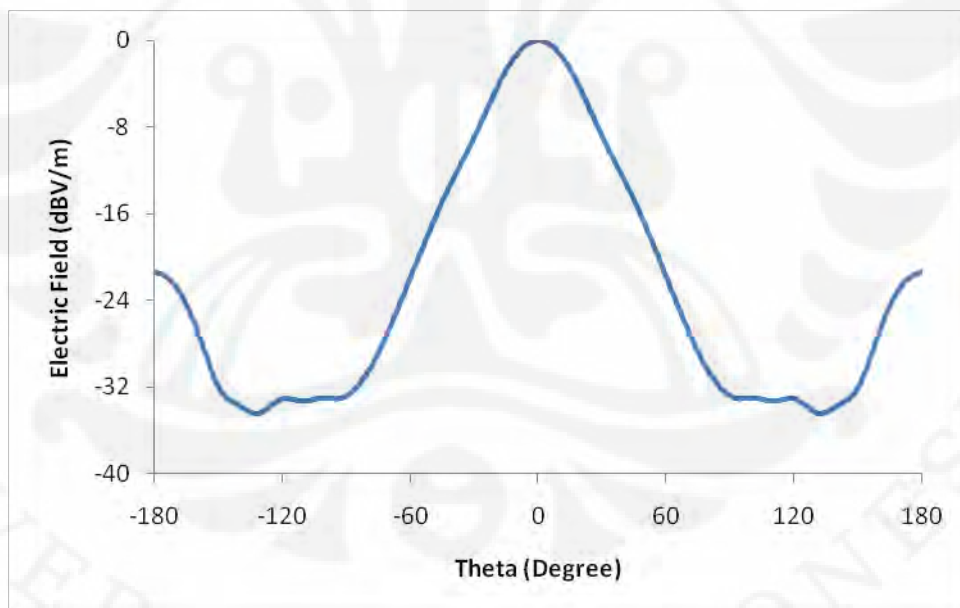


Gambar 3.4 Penampang antenna *Horn* dari depan

Parameter	Keterangan
Frekuensi Kerja	9 GHz
Gain	15 dBi
Wg	26.15 mm
Hg	13.07 mm
Lg	49.97 mm
Wa	85.61 mm
Ha	63.74 mm
Lf	41.35 mm

Table 3.1 Parameter antenna *Horn*

Adapun karakteristis medan jauh antenna *Horn* yang digunakan pada simulasi dengan EMSS FEKO ini dapat dilihat pada Gambar 3.5,



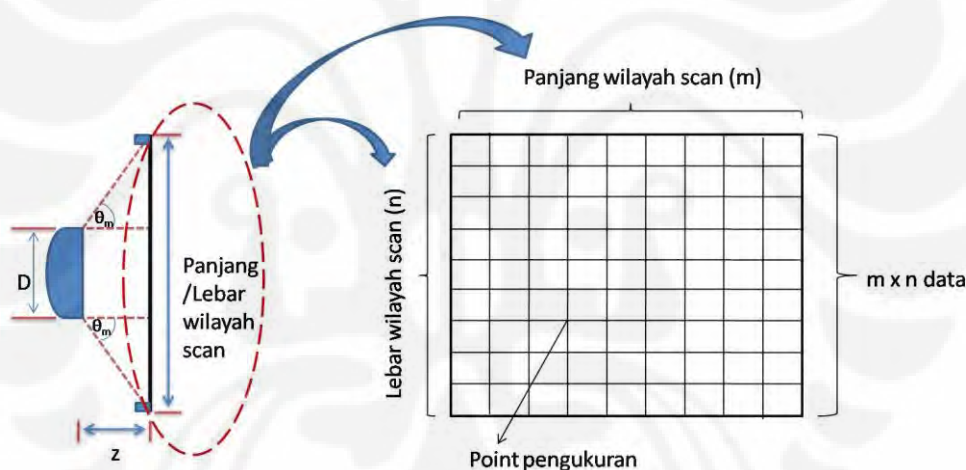
Gambar 3.5 Medan jauh antenna *Horn* ($\varphi = 0$)

Gambar 3.5 memperlihatkan pola medan jauh dari antenna *Horn* yang menunjukkan antenna tes memiliki pola radiasi yang cukup kuat pada arah di depan antenna ($\theta = 0$) dan side lobe yang kecil.

3.3.3 Wilayah Pemindaian dan Poin Sampling

Wilayah pemindaian merupakan bagian penting dalam proses validasi *software*. Wilayah pemindaian menunjukkan seberapa banyak data medan dekat dari antenna tes yang dapat diambil. Wilayah pemindaian diusahakan sebesar mungkin agar dapat mengambil data medan dekat [2],[12]. Wilayah pemindaian minimum, $L_{\min} \geq D + 2z \cdot \tan \theta_m$ dimana D merupakan dimensi terbesar dari antenna. Pada proses validasi ini dipilih wilayah pemindaian 1.032 m x 1.032 m, wilayah pemindaian ini cukup besar terhadap dimensi terbesar dari antenna. Poin *sampling* setiap titik pengukuran medan dekat maksimum $\lambda/2$ atau 0.0167 meter.

Adapun besar wilayah pemindaian dan poin *sampling* berhubungan dengan Persamaan 2.1 dan 2.2. Hubungan Persamaan 2.1 dan 2.2 ditunjukkan oleh Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Hubungan antara besar wilayah pemindaian dan poin *sampling*

Untuk penentuan jarak pengukuran medan dekat antenna tes, terdapat beberapa teori terkait jarak antara antenna tes dan antenna *probe* atau bidang *scan* medan dekat selain yang telah dibahas pada BAB II FAKTOR RESPON PROBE DALAM PENGUKURAN MEDAN DEKAT PLANAR. Untuk $D \gg \lambda$ jarak pengukuran medan dekat berdasarkan Persamaan 3.21[19],

$$r \leq 0.62 \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}} \quad (3.21)$$

Persamaan 3.21 merupakan jarak maksimum untuk pengambilan data medan dekat, sedangkan jarak minimum untuk pengambilan data medan dekat ialah pada

jarak 2λ atau 3λ [18]. Hal ini perlu diperhatikan untuk menghindari medan reaktif dari antenna tes yang secara teori pada jarak λ [7]. Sehingga pada pengukuran medan dekat dengan menggunakan EMSS didapat jarak minimum dan maksimum untuk mengambil data medan dekat dari antenna tes,

Jarak maksimum:

$$r \leq 0.62 \sqrt{\frac{0.8561^3}{0.033}}$$

$$r \leq 2.68 \text{ m}$$

dan jarak minimum,

$$r \geq 2\lambda$$

$$r \geq 0.066 \text{ m}$$

Jadi jarak pengukuran medan dekat untuk antenna *Horn* 9GHz ialah $0.066 \text{ m} \leq r \leq 2.68 \text{ m}$. Pada pengambilan ini dipilih jarak pengambilan medan dekat pada jarak 0.066 m. Skema pengambilan data medan untuk antenna *Horn* 9 Ghz dengan menggunakan EMSS FEKO dapat dilihat pada Tabel 3.2 dan Gambar 3.7,

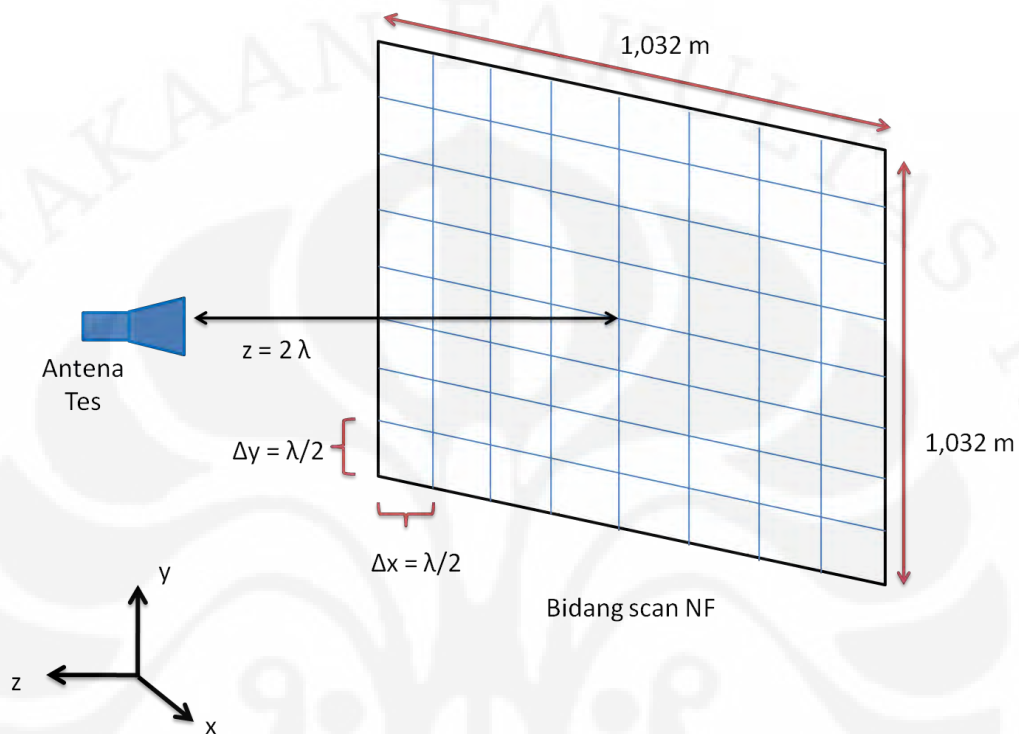
Parameter	Keterangan
Banyak data medan dekat	63 data x 63 data
Jarak antara poin <i>sampling</i> ($\Delta x = \Delta y$)	0.0167 m atau $\lambda/2$
Jarak Antena tes – Wilayah pemindaian (z)	0.0666 m atau 2λ
Dimensi terbesar antenna (D)	0.08561 m
Panjang/Lebar wilayah pemindaian	1.032 m

Tabel 3.2 Skema simulasi pengukuran medan dekat dengan EMSS FEKO

3.3.4 Hasil Transformasi Medan Dekat ke Medan Jauh dengan Perangkat Lunak

Setelah melakukan simulasi pada *software* EMSS FEKO, maka langkah selanjutnya ialah mengambil data medan dekat pada *software* FEKO. Data medan dekat yang diambil ialah berupa *magnitude* dan *phase*. Data medan dekat diolah di MATLAB kemudian didapatkan hasil transformasi medan dekat ke medan jauh. Hasil transformasi medan dekat ke medan jauh kemudian dibandingkan dengan data medan jauh yang juga diambil dari EMSS FEKO. Hasil transformasi medan

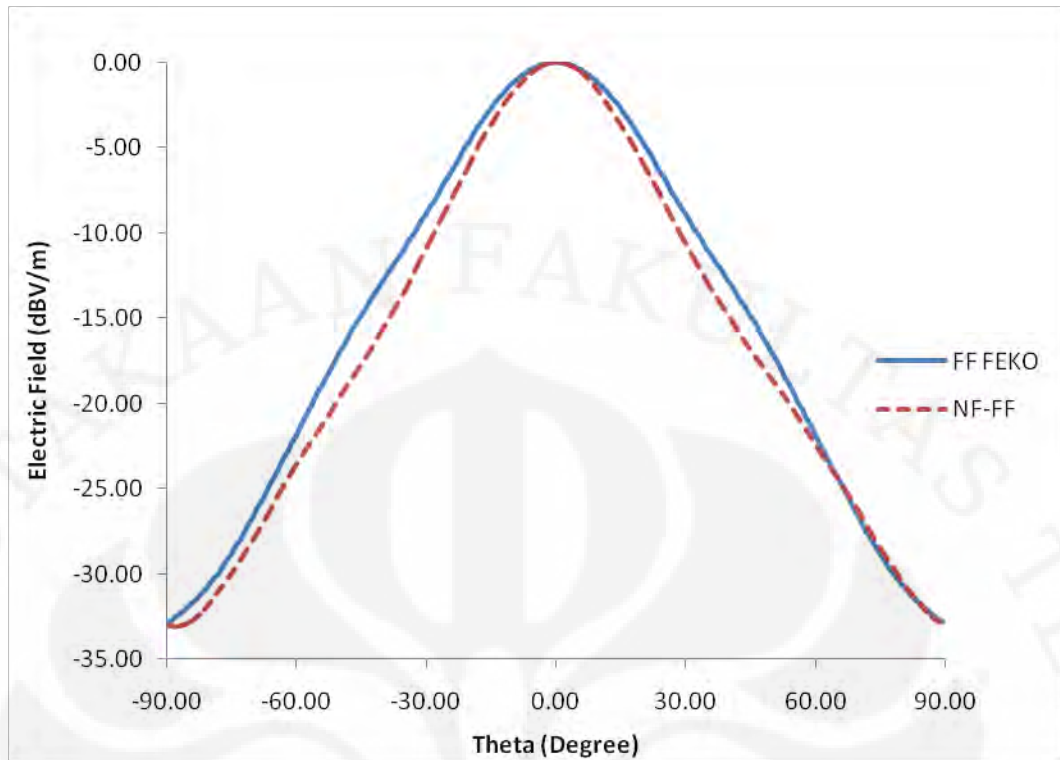
dekat ke medan jauh pada bagian validasi dengan perangkat lunak menggunakan algoritma transformasi medan dekat ke medan jauh tanpa mempertimbangkan faktor probe respon.



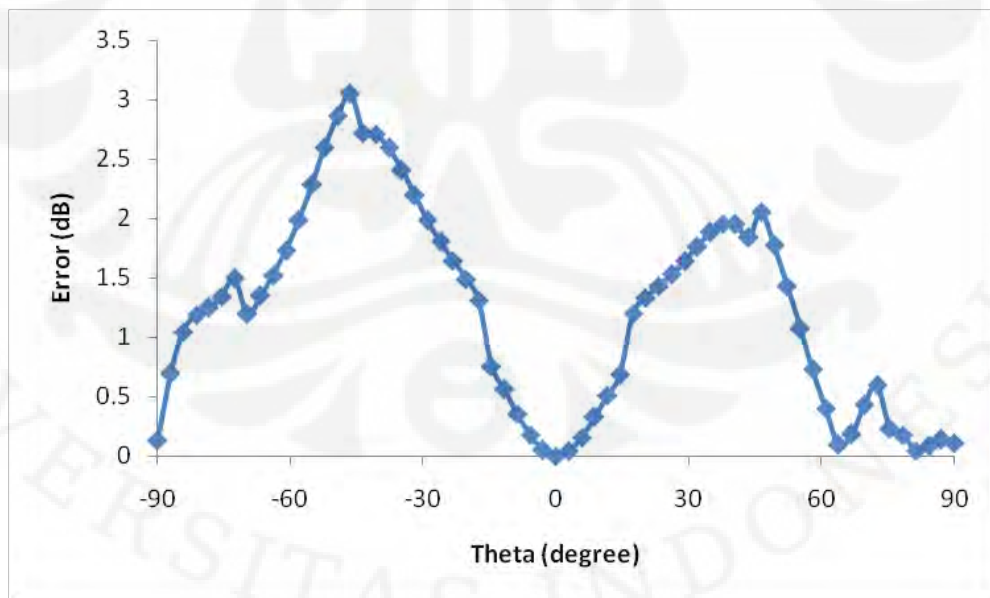
Gambar 3.7 Skema wilayah pemindaian dan poin *sampling* simulasi medan dekat

Pada bagian validasi pengukuran medan jauh, diambil variasi sudut θ pada rentang $-90^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$. Hal ini dilakukan mengingat pada pengukuran medan dekat dengan menggunakan metode *planar*, data medan dekat yang diambil merupakan data medan dekat yang berada di depan antenna. Sehingga pada hasil transformasi hanya didapatkan pola medan jauh di depan antenna. Apabila dibandingkan dengan metode silindris, data medan dekat yang diperoleh tidak hanya data medan dekat di depan antenna tetapi juga data medan dekat di belakang antenna.

Perbandingan hasil transformasi medan dekat ke medan jauh dengan medan jauh secara langsung dan besar penyimpangan antara hasil transformasi medan dekat ke medan jauh dan medan jauh secara langsung dapat dilihat pada Gambar 3.8 dan Gambar 3.9,



Gambar 3.8 Perbandingan hasil transformasi medan dekat ke medan jauh dan medan jauh secara langsung



Gambar 3.9 Besar penyimpangan hasil transformasi medan dekat ke medan jauh terhadap medan jauh secara langsung

Pada Gambar 3.8 dapat dilihat hasil transformasi dari medan dekat ke medan jauh untuk data medan dekat dari perangkat lunak sudah hampir sama dan mempunyai titik puncak yang sama dengan medan jauh secara langsung dari perangkat lunak EMSS FEKO. Pada Gambar 3.9 dapat dilihat besar penyimpangan yang terjadi dari hasil transformasi medan dekat ke medan jauh terhadap medan jauh secara langsung maksimal bernilai 3 dB pada nilai $\theta = 46^\circ$. Nilai penyimpangan yang kecil terjadi pada nilai $\theta = 0^\circ$ yaitu 0 dB. Rata-rata penyimpangan yang terjadi bernilai 1.25 dB. Perbaikan pada sisi perangkat lunak telah tercapai dengan rata-rata penyimpangan dibawah 3 dB. Maka, algoritma transformasi medan dekat ke medan jauh dapat digunakan untuk implementasi pada pengukuran medan dekat metode *planar* secara langsung di *anechoic chamber*.

BAB IV

PENGUKURAN MEDAN DEKAT METODE PLANAR DENGAN MEMPERTIMBANGKAN FAKTOR ANTENA PROBE

Pada pengukuran medan dekat ini menggunakan metode planar dimana akan ditinjau pengaruh dari faktor antena *probe*. Data yang diambil pada pengukuran medan dekat tidak hanya data medan dekat dari antena tes tetapi juga data medan jauh dari antena *probe*. Jadi, posisi antena *probe* berada pada posisi medan dekat dari antena tes dan antena tes berada pada posisi medan jauh dari antena *probe*. Data yang diambil berupa *amplitude* dan *phase* baik data medan dekat antena tes maupun data medan jauh antena *probe* dari *network analyzer*.

4.1 Sistem Pengukuran Medan Dekat

Sistem pengukuran medan dekat pada bab ini mencakup tiga hal yaitu antena *probe*, antena tes, wilayah pemindaian dan poin *sampling*. Sistem secara keseluruhan telah dijelaskan pada Bab II.

4.1.1 Antena Probe

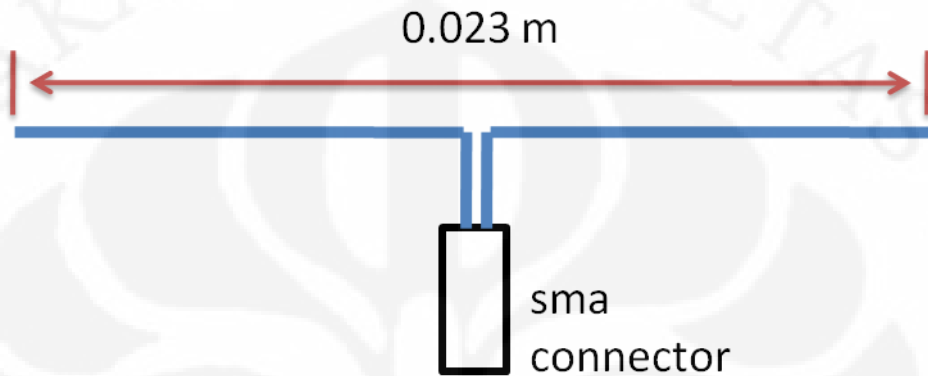
Antena probe digunakan sebagai pembaca informasi medan dekat dari antena tes yang kemudian informasi tersebut terbaca pada *network analyzer*. Pada pengukuran medan dekat, suatu antena dapat dijadikan antena probe memiliki syarat, diantaranya[6]

- a. Mempunyai direktivitas yang rendah (*Low Directivity*)
- b. Secara elektrik dan fisik memiliki ukuran yang kecil
- c. Mempunyai bandwidth yang lebar

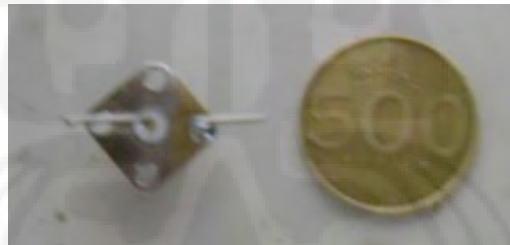
Pada pengukuran medan dekat umumnya, antena yang digunakan sebagai antena probe diantaranya *cylindrical waveguide*, *rectangular waveguide*, *corrugated horn*, dan *pyramidal horn*. Pada prakteknya antena tersebut tidak tersedia di lab pengukuran. Maka, dipilih antena dipole sebagai antena *probe* dengan pertimbangan karena memiliki bentuk fisik yang kecil dan gain yang tidak terlalu besar. Bentuk antena dipole yang kecil dapat memenuhi satu dari tiga syarat suatu antena dapat dijadikan antena *probe*. Selain itu, bentuk antena dipole

yang kecil diharapkan dapat menghindari efek *multiple reflection* antara antenna *probe* dengan antenna tes, dimana dasar teori pengukuran medan dekat metode planar mengabaikan faktor *multiple reflection* [9].

Spesifikasi antenna dipole yang dijadikan antenna *probe* pada Gambar 4.1, Gambar 4.2 dan Tabel 4.1,



Gambar 4.1 Antena dipole



Gambar 4.2 Antena dipole 5.2 GHz

Parameter	Keterangan
Frekuensi <i>center</i>	5.2 GHz
Dimensi antenna	0.023 m
Return Loss	- 21.2 dB
Bandwidth	4.82 – 5.6 GHz (780 MHz)

Tabel 4.1 Spesifikasi antenna dipole

4.1.2 Antena Tes

Antena tes yang digunakan pada pengukuran medan dekat ini adalah antena mikrostrip *array* 8-elemen. Pemilihan antena mikrostrip *array* sebagai antena tes ialah karena antena *array* pada umumnya memiliki gain yang tinggi. Pengukuran medan dekat metode planar sangat baik pada digunakan pada antena yang memiliki gain yang tinggi [3]. Gambar dan spesifikasi antena tes dari pengukuran medan dekat dapat dilihat pada Gambar 5.3 dan Tabel 4.2.



Gambar 4.3 Antena mikrostrip array 8-element

Parameter	Keterangan
Ukuran antena (pxl)	0.363 m x 0.084 m
Frekuensi kerja	3.35 GHz
Return Loss	-17.782 dB
VSWR	1.307

Tabel 4.2 Spesifikasi antena mikrostrip array 8-element

Baik antena *probe* dan antena tes tidak bekerja pada frekuensi yang sama. Pada pengukuran medan dekat, tidak ada referensi yang mengatakan antara antena *probe* dan antena tes harus memiliki frekuensi kerja yang sama. Hal ini dikarenakan pada pengukuran medan dekat, antena probe dalam hal ini antena dipole hanya digunakan sebagai pembaca medan dekat dari antena tes. Oleh karena itu, dapat dipilih konfigurasi antena tes dan antena *probe* yang memiliki frekuensi kerja yang tidak sama.

4.1.3 Wilayah Pemindaian dan Poin Sampling

Wilayah pemindaian dan poin *sampling* merupakan satu hal penting dalam pengukuran medan dekat. Wilayah pemindaian dan poin *sampling* menentukan

keakurasian data medan dekat dan lama pengukuran. Sebagaimana telah dilakukan sebelumnya pada bagian BAB III SKEMA ALGORITMA PEMOGRAMAN, wilayah pemindaian dan poin *sampling* menentukan data medan dekat yang akan ditrasformasi. Pada saat melakukan pengukuran medan dekat metode planar dipilih wilayah pemindaian yang cukup besar dan titik sampling yang banyak agar hasil transformasi medan dekat ke medan jauh dapat akurat.

Untuk menentukan jarak minimum dan maksimum dari pengukuran medan dekat digunakan persamaan 3.15. Jarak maksimum pengukuran medan dekat metode planar ialah

$$r_{maks} \leq 0.62 \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}}$$

$$r_{maks} \leq 0.62 \sqrt{\frac{0.363^3}{0.896}}$$

$$r_{maks} \leq 0.453 \text{ m}$$

sedangkan jarak minimum ialah

$$r_{min} \geq 2\lambda$$

$$r_{min} \geq 0.179 \text{ m}$$

Jadi, jarak maksimum dan minimum dari pengukuran medan dekat ialah $0.179 \text{ m} \leq r \leq 0.453 \text{ m}$. Pada pengukuran ini dipilih jarak antara antenna tes dan probe sebesar 0.38 m. Spesifikasi wilayah pemindaian pada pengukuran medan dekat dapat dilihat pada Tabel 4.3,

Parameter	Keterangan
Banyak data medan dekat	17 data x 17 data
Jarak antara poin <i>sampling</i> ($\Delta x = \Delta y$)	0.04 m
Jarak Antena tes – Wilayah pemindaian (z)	0.38 m
Dimensi terbesar antenna (D)	0.363 m
Panjang/Lebar wilyah pemindaian	0.64 m

Tabel 4.3 Spesifikasi wilayah pemindaian dan poin *sampling*

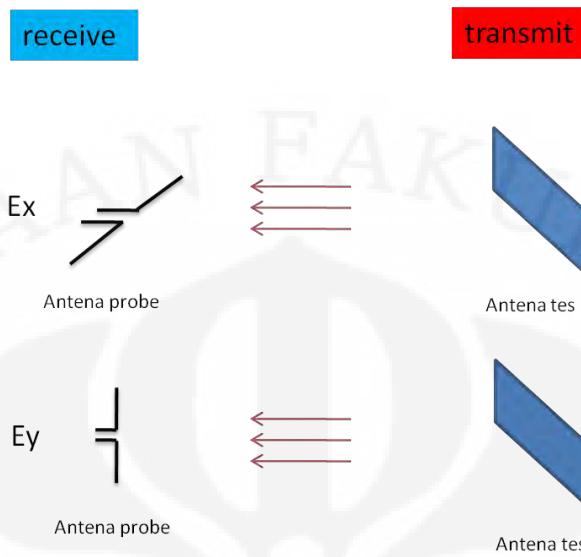
4.1.4 Pengambilan Data Medan Dekat Metode Planar

Prosedur pengambilan data medan dekat metode *Planar* terbagi menjadi dua bagian, yaitu prosedur pengambilan data medan dekat antenna tes dan pengambilan data medan jauh antenna probe.

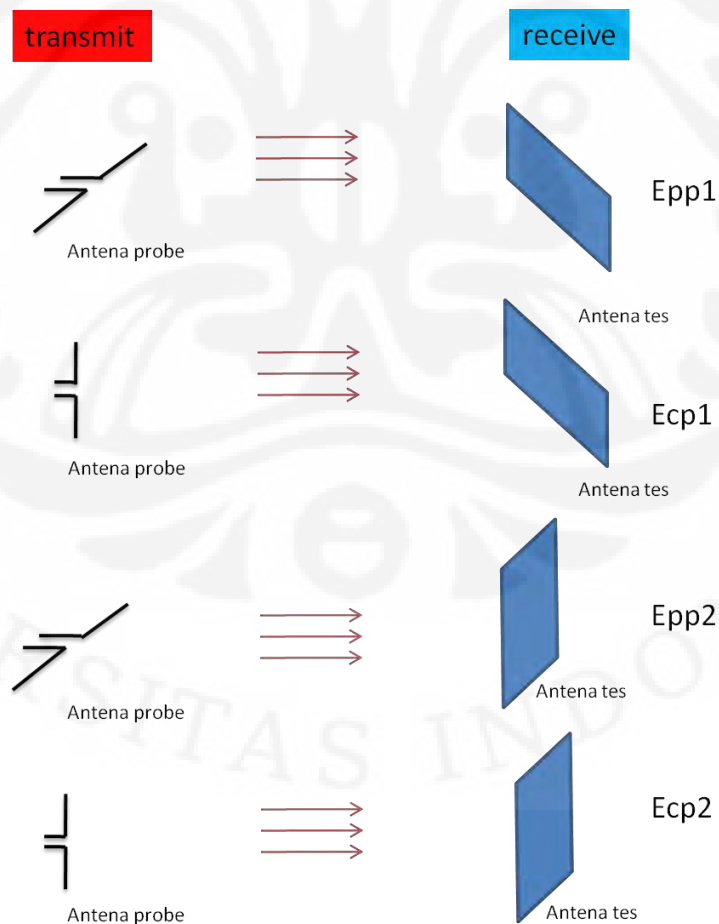
Prosedur pengambilan data medan dekat antenna tes ialah data medan dekat yang diambil berupa *magnitude* dan *phase* yang tercatat pada *Network Analyzer* HP 8753. Data medan dekat antenna tes yang diambil pada kondisi polarisasi secara horizontal dan vertikal dari antenna tes. Data polarisasi secara horizontal dari antenna tes ditentukan ketika antenna tes dan probe pada posisi *E-Plane* sedangkan data polarisasi secara vertikal ditentukan dengan merotasi antenna probe sebesar 90° artinya antenna tes pada posisi *E-Plane* dan antenna probe pada posisi *H-Plane*.

Prosedur pengambilan data medan jauh antenna probe ialah data medan jauh yang diambil berupa *magnitude* dan *phase* yang tercatat pada *Network Analyzer* HP 8753. Data medan jauh antenna probe yang diambil tidak hanya pada kondisi polarisasi secara horizontal dan vertikal tetapi posisi antenna tes pada kondisi polarisasi secara horizontal dan vertikal. Maka, akan didapatkan data pola medan jauh sebanyak empat pola, diantaranya kondisi pertama ialah antenna tes saat polarisasi horizontal dengan antenna probe pada kondisi polarisasi secara horizontal dan vertikal sedangkan kondisi kedua ialah antenna tes saat polarisasi vertikal dengan antenna probe pada kondisi polarisasi secara horizontal dan vertikal. Pada kondisi pertama akan didapatkan data medan jauh berupa Epp1 dan Ecp1 sedangkan kondisi kedua akan didapatkan data medan jauh berupa Epp1 dan Ecp2. Notasi 1 dan 2 menunjukkan kondisi antenna tes pada saat polarisasi horizontal dan vertikal. Posisi antenna tes saat polarisasi vertikal ialah rotasi posisi antenna tes sebesar 90° terhadap posisi antenna tes saat polarisasi horizontal. Epp menunjukkan data medan jauh antenna probe ketika antenna probe berpolarisasi horizontal dan Ecp menunjukkan data medan jauh antenna probe ketika antenna probe berpolarisasi vertikal. Posisi antenna probe saat polarisasi vertikal ialah rotasi posisi antenna probe sebesar 90° terhadap posisi antenna probe saat polarisasi horizontal. Skema pengambilan data medan dekat antenna tes dan medan jauh

antena probe pada pengukuran medan dekat metode planar dijelaskan pada Gambar 4.4 dan 4.5,



Gambar 4.4 Skema pengambilan data medan dekat antena tes



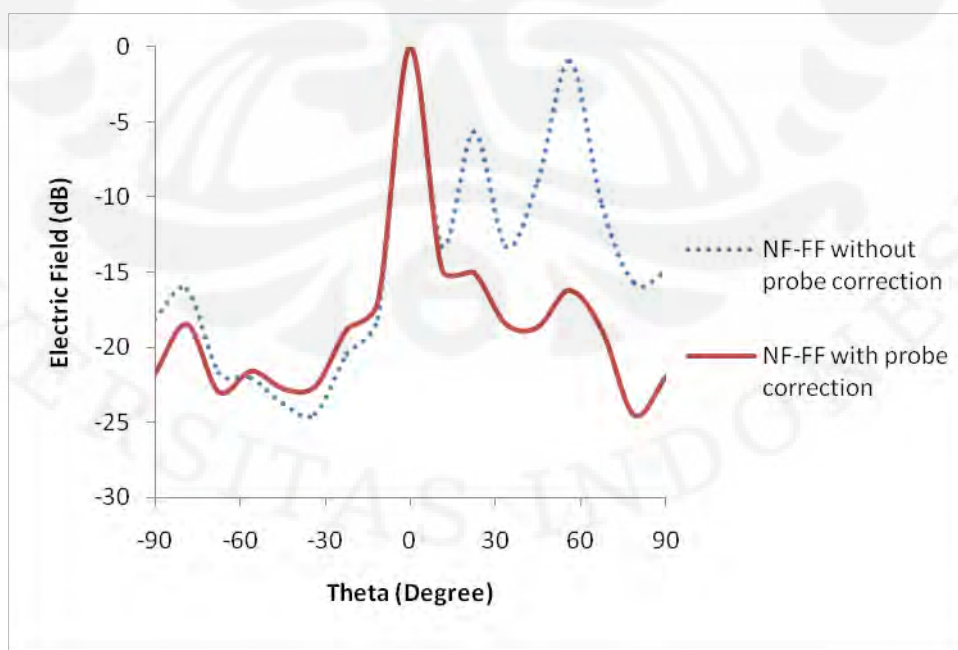
Gambar 4.5 Skema pengambilan data medan jauh antena probe

4.2 Hasil Pengukuran

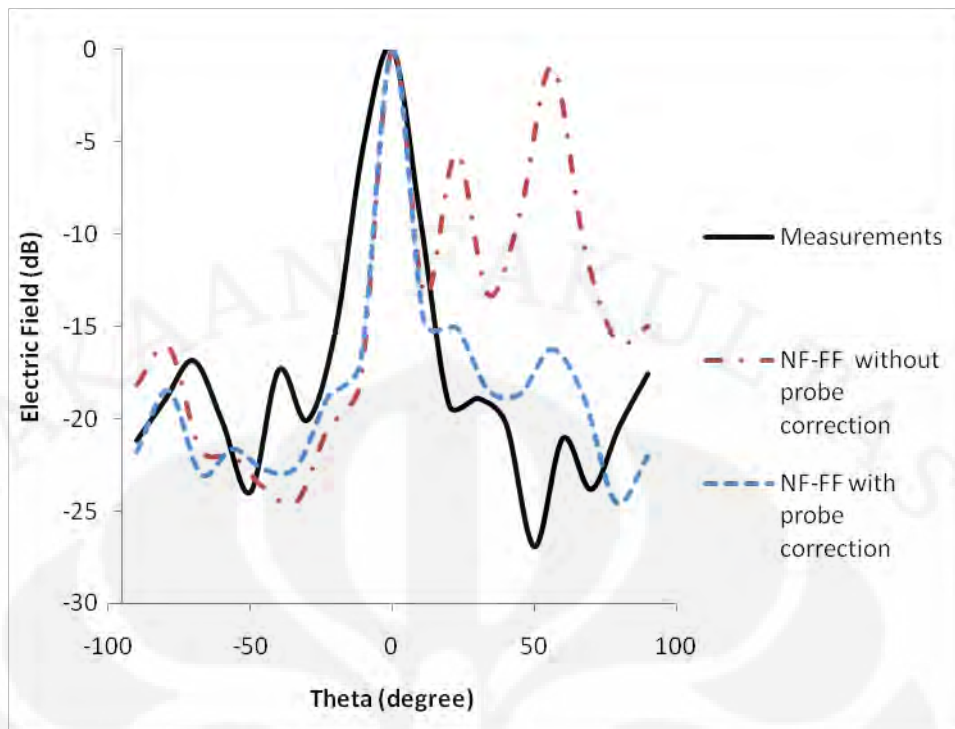
Pada hasil pengukuran akan ditinjau pengaruh wilayah pemindaian dan poin *sampling* serta pengaruh faktor antenna probe.

Pada spesifikasi wilayah pemindaian yang digunakan pada pengukuran medan dekat di *anechoic chamber* ini, wilayah pemindaian cukup besar yaitu 0.64 m x 0.64 m dengan jarak per poin *sampling* 0.04 m. Dari spesifikasi akan didapat data *sampling* sebesar 17 data x 17 data. Berikut hasil transformasi dari medan dekat ke medan jauh pada pengukuran medan dekat di *anechoic chamber*, pada gambar 4.6. Sebagai validasi, kita membandingkan hasil transformasi dengan pengukuran langsung. Perbandingan antara pengukuran medan jauh secara langsung dan hasil transformasi dapat dilihat pada gambar 4.7

Gambar 4.6 dan 4.7 terlihat bahwa hasil transformasi pada wilayah pemindaian II hampir mendekati grafik pengukuran medan jauh secara langsung untuk range theta -90 s.d +90. Terlihat pengaruh faktor antenna probe dalam memperbaiki pola radiasi hasil transformasi terhadap pengukuran medan jauh secara langsung. Selain itu, faktor antenna probe tidak berpengaruh pada main lobe dan hanya berpengaruh pada side lobe. Hal ini sesuai dengan teori yang mengatakan pengaruh probe koreksi hanya pada main lobe pola radiasi [5].



Gambar 4.6 Hasil transformasi dari NF-FF data medan dekat pengukuran



Gambar 4.7 Perbandingan antara pengukuran medan jauh dengan hasil transformasi

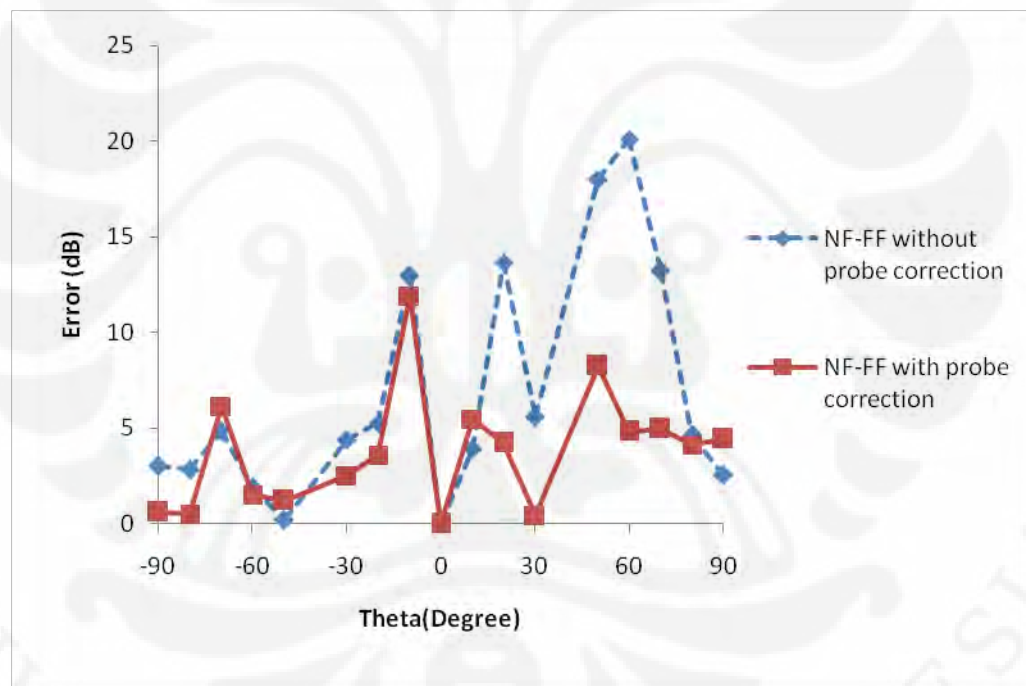
Besar penyimpangan antara transformasi medan dekat ke medan jauh tanpa memperhatikan faktor respon probe dan dengan memperhatikan faktor respon probe terhadap pengukuran medan jauh secara langsung dihitung dengan Persamaan 4.1,

$$Error(dB) = |E_{NF-FF} - E_{FF}| \quad (4.1)$$

Dengan menggunakan Persamaan 4.1 akan mendapatkan Gambar 4.6 yang menunjukkan grafik penyimpangan hasil transformasi medan dekat ke medan jauh terhadap pengukuran medan jauh secara langsung. Gambar 4.6 terlihat bahwa penyimpangan terbesar berada pada posisi theta +60° sebesar 20 dB. Selain itu, pengaruh faktor antena probe terlihat pada range theta dari +90 s.d 90 dimana faktor antena probe memperbaiki hasil transformasi medan dekat ke medan jauh terhadap pengukuran medan jauh secara langsung. Nilai penyimpangan rata-rata untuk hasil transformasi medan dekat ke medan jauh tanpa memperhatikan faktor respon probe sebesar 9.33 dB. Sedangkan nilai penyimpangan rata-rata untuk

hasil transformasi medan dekat ke medan jauh dengan faktor respon probe sebesar 4.4 dB.

Gambar 4.7 juga memperlihatkan hasil transformasi medan dekat ke medan jauh baik tanpa faktor antenna probe dan dengan faktor antenna probe sangat baik untuk wilayah tertentu di theta dari $+90^\circ$ s.d -90° . Wilayah theta dari $+90^\circ$ s.d -90° merupakan daerah di depan antenna tes. Secara teori, pengukuran medan dekat metode planar sangat baik untuk wilayah pola radiasi di depan antenna tes. Namun, pada pengukuran medan dekat pada skripsi ini, hasil transformasi medan dekat ke medan jauh dapat diterima dengan baik pada wilayah theta dari 0° s.d $+13^\circ$. Adapun, hasil transformasi juga menunjukkan level daya medan listrik maksimum yang sama, yaitu pada wilayah theta 0° .



Gambar 4.8 Grafik penyimpangan Hasil Transformasi NF-FF terhadap Pengukuran FF secara Langsung

4.3 Analisa Hasil Transformasi Medan Dekat ke Medan Jauh

Pada pengukuran medan dekat planar, akurasi data medan dekat sangat dipengaruhi oleh empat hal, yaitu pengaruh pengambilan *sampling*, pengaruh *loss* kabel dan konektor, pengaruh refleksi dari komponen pengukuran medan dekat, dan pengaruh komputasi numerik.

4.3.1 Pengaruh Pengambilan Sampling

Pengaruh pengambilan *sampling* terjadi ketika melakukan *sampling* pada wilayah pemindaian. Wilayah pemindaian diusahakan sebesar mungkin agar dapat menangkap energi medan dekat dan poin *sampling* diperbanyak. Hal ini dilakukan agar didapat data medan dekat yang akurat. Selain itu, pengaruh pada pengambilan sampling terletak pada ketidakakuratan posisi dari *positioner*. Posisi *positioner* pada saat melakukan *sampling* tidak tepat pada posisi *sampling* seharusnya akibat panas yang dihasilkan dari *driver* motor yang menyebabkan rusaknya beberapa komponen pada *driver* motor sehingga terjadi *malfunction* dari *positioner*. Hal ini dapat diatasi dengan mengganti komponen pada driver motor dan melakukan kalibrasi terhadap motor.

4.3.2 Pengaruh Loss Kabel dan Konektor

Pengaruh *loss* kabel dan konektor dapat mengurangi keakuratan nilai data medan dekat yang terbaca pada *network analyzer*. *Loss* kabel tidak hanya disebabkan oleh panjang kabel *coaxial*, *bending* atau pelenturan kabel dapat menimbulkan *loss* sehingga mempengaruhi nilai yang terbaca pada *Network Analyzer*. Pengaruh ini dapat dikurangi dengan menggunakan sistem RF yang berkualitas.

4.3.3 Pengaruh Refleksi dari Komponen Pengukuran Medan Dekat

Pengaruh refleksi komponen RF pada saat pengukuran medan dekat dapat disebabkan oleh adanya pengaruh mutual coupling antara antena tes dan probe, dan refleksi antara *positioner* yang bersifat konduktor. Kedua pengaruh tersebut dapat dikurangi dengan menggunakan RF *absorber*.

4.3.4 Pengaruh Komputasi Numerik

Adanya penyimpangan hasil transformasi medan dekat ke medan jauh terhadap medan jauh secara langsung ini disebabkan pada saat perhitungan bentuk *Fourier* yang diselesaikan dengan cara DFT atau FFT di Matlab. DFT dan FFT merupakan metode numerik untuk menyelesaikan persamaan *Fourier*. Ketika

menyelesaikan persamaan *Fourier*, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan yang dapat memberikan kontribusi *Error* diantaranya[20],

- Bentuk persamaan *Fourier* pada teori merupakan fungsi kontinu. Pada saat diselesaikan dengan DFT atau FFT, persamaan *Fourier* didekatkan ke fungsi diskrit, artinya dibutuhkan data *sampling* yang besar untuk mencapai keakuratan antara hasil perhitungan langsung dengan komputasi. Data yang besar akan membutuhkan waktu yang sangat banyak untuk menyelesaikan persamaan *Fourier*.
- Bentuk persamaan *Fourier* diselesaikan dengan DFT atau FFT yang merupakan metode numerik dalam menyelesaikan persamaan *Fourier*. Hasil perhitungan dengan metode numerik tidak mutlak sama ketika diselesaikan secara langsung, ada *Error* dari penghitungan secara numerik.

BAB V

KESIMPULAN

Pada skripsi ini telah dirancang perangkat lunak pengukuran karakteristik antenna dengan metode medan dekat planar dengan mempertimbangkan faktor koreksi probe. Berdasarkan data validasi secara perangkat lunak dan pengukuran langsung yang telah dilakukan, didapat beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Pada perangkat lunak *electromagnetic* (EM) simulator, hasil transformasi medan dekat ke medan jauh dengan metode planar dari diperoleh besar nilai penyimpangan rata-rata 1.25 dB.
2. Pada pengukuran, hasil transformasi medan dekat ke medan jauh dengan metode planar diperoleh besar nilai penyimpangan rata-rata 9.33 dB untuk hasil transformasi medan dekat ke medan jauh tanpa mempertimbangkan faktor respon probe
3. Pada pengukuran, hasil transformasi medan dekat ke medan jauh dengan mempertimbangkan faktor respon probe berhasil memperbaiki nilai penyimpangan menjadi rata-rata 4.4 dB.
4. Faktor antenna probe pada pengukuran medan dekat metode planar berpengaruh pada sisi *side lobe* dari hasil transformasi medan dekat ke medan jauh tanpa faktor probe koreksi.
5. Hasil transformasi medan dekat ke medan jauh metode planar dipengaruhi oleh empat faktor, yaitu pengaruh pengambilan *sampling*, pengaruh *loss* kabel dan konektor, pengaruh refleksi dari komponen pengukuran medan dekat, dan pengaruh komputasi numerik.

DAFTAR ACUAN

- [1] Jeffrey A. Fordam, "Introduction to Antenna Test Range, Measurements, and Instrumentation", Microwave Instrumentation Technologies, LLC
- [2] ORBIT/FR Inc, "Antenna Measurement Theory"
- [3] NSI, "Near-field vs Far-Field", Nearfield System Inc
- [4] 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
- [5] 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
- [6] Greg Hindman, David S. Fooshe, "Probe Correction Effect on Planar, Cylindrical, and Spherical Near-Field Measurements", Nearfield System Incorporated, Antenna Measurements Techniques Association symposium, 1998
- [7] A. D. Yaghjian, "An Overview of Near-Field Antenna Measurements", IEEE Trans. Antennas Propagat. , Vol. AP-34, no. 1, pp. 30-45, January 1986
- [8] Thorkild B. Hansen, Arthur D. Yaghjian, "Formulation of Probe-Corrected Planar Near-Field Scanning in Time Domain", Vol. 43, No. 6, June 1995
- [9] Stuart Gregson, John McCormick, Clive Parini, "Principles of Planar Near-Field Antenna Measurements", Institution of Engineering and Technology , 2007
- [10] 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
- [11] Catur Apriono, "Pengukuran Antena dengan Metode Medan Dekat pada Permukaan Pengukuran Planar ", Universitas Indonesia, 2009
- [12] Ayudha Nandi Pradipta, "Perancangan dan Pengujian Perangkat Lunak Pengukuran Antena Medan Dekat dengan Metode Pemindaian Silindris ", Universitas Indonesia, 2009

- [13] Roman Tkadlec, "Near-Field Antenna Measurements", Department of Radio Electronics, Brno University of Technology
- [14] Roman Tkadlec, "Modeling of Near Field Scanning in Matlab", Department of Radio Electronics, Brno University of Technology
- [15] D. M. Kerns, "Plane Wave Scattering Matrix Theory of Antennas and Antenna-Antenna Interaction", NBS Monograph 162, 1981
- [16] Johnson J. H. Wang, "An Examination of The Theory and Practices of Planar Near Field Measurements", IEEE Transactions on Antennas and Propagation., Vol. 36, No. 6, June 1988
- [17] Gregory F. Masters, "Probe Correction Coefficients Derived from Near Field Measurements", Antenna Measurements Techniques Association Conference, 1991
- [18] Constantine A. Balanis, *Antenna Theory : Analysis and Design*, (USA: John Willey and Sons, 1997)
- [19] Basari, "Cara Pengukuran Antena (Teori dan Implementasi)", School of Engineering Chiba University, 2010
- [20] Levent Sevgi, "Numerical Fourier Transforms DFT and FFT", DOGUS University, Electronics and Communication Engineering Department, 2010

LAMPIRAN B

DATA PERCOBAAN

A. Antena Tes Berada pada Kondisi E-Plane

z 38-39 cm

HORIZONTAL						VERTIKAL					
y	x	s21		s12		y	x	s21		s12	
		mag	phase	mag	phase			mag	phase	mag	phase
-32	-32	-58	7.3	-57.8	-41	-32	-32	-53.5	179	-53.4	132
-28		-64	100	-64	37	-28		-51.3	-57.6	-52.7	-116
-24		-65	161	-65	120	-24		-57.2	-49.7	-58	-87
-20		-67	-142	-66.7	165	-20		-56.6	78	-57.2	27
-16		-74	-79	-74	-115	-16		-59.2	97	-59.6	50
-12		-71.6	-25	-72.2	-75.3	-12		-60	168	-60.5	113
-8		-64.5	-85.7	-63.5	-137.5	-8		-71	97	-71	42
-4		-66	-124	-66	-166.4	-4		-61.7	138.5	-62.8	90
0		-60.8	-87	-60.4	-135	0		-59.8	109	-59.4	58.5
4		-64.3	-105	-63.6	-150	4		-60.9	115	-60	64
8		-59.8	-92.8	-58.2	-140	8		-59.7	101	-59.8	49.4
12		-59	-117	-59	-162	12		-58.4	75	-58.6	27.5
16		-60.7	-158	-60.5	150	16		-61.4	58.7	-62.25	6.8
20		-61.9	160	-62	127	20		-59.5	-58	-59	-102
24		-59.4	93.3	-58.3	41	24		-55.3	-170	-54.38	138
28		-61.3	8.5	-61	-25	28		-54.4	94	-54.7	51.7
32	-62.5	-5.2	-63.4	-55	32	-56.7	23.8	-57.2	-31.6		
-32	-28	-54.7	88	-55	52	-32	-28	-52	-142	-54	-170
-28		-56.4	176	-56.3	120	-28		-50.18	-12.5	-50.4	-60.4
-24		-56.8	-117	-56.8	-155	-24		-58.3	27.6	-59.4	-4.5
-20		-59.7	-67	-58	-119	-20		-52.8	118.7	-51.8	68.7
-16		-59.6	22.4	-59.5	-22.5	-16		-55.7	-171	-55.9	148
-12		-60.6	22	-59.6	-23	-12		-56.8	-124	-55.6	-175.8
-8		-68	20	-68.4	-23.6	-8		-58.9	-58	-59.3	-107.4
-4		-73.4	25.7	-73	-11	-4		-65.5	-59.6	-65	-110
0		-65.7	-36	-66.5	-80	0		-63.5	-10.5	-63.5	-56.4
4		-72.4	22.3	-72	-21.4	4		-68.3	-15.2	-67.8	-58.2
8		-64.3	-24	-63.8	-72.8	8		-65.8	-38	-66.8	-78
12		-64.7	-33	-63.6	-79	12		-68.6	96.4	-69	45
16		-64.8	-105	-64	-157	16		-69.4	42	-68.7	-35
20		-71.4	157	-71.5	123	20		-57.6	-59.4	-57	-88.8
24		-63.5	86	-64.4	32	24		-51.97	-150.7	-52.3	150
28		-65.3	25.2	-67	-18	28		-52.4	124	-52.3	84
32	-62.4	23	-63.7	-35	32	-52.7	65.6	-53.7	7.6		
-32	-24	-55.6	112	-55.5	64.7	-32	-24	-54.6	-121.6	-54.7	-168.8
-28		-53.3	-133.8	-55.2	157	-28		-48.8	-2.4	-49.7	-56.3

-24		-58	-63	-58.5	-134.5	-24		-64.2	53	-65.3	26
-20		-55	-31.7	-55.15	-85	-20		-55.3	150.6	-55.6	100
-16		-57.7	52	-56.5	7.4	-16		-59.96	-132	-59.5	-176
-12		-61.3	83	-60.4	28.5	-12		-58.3	-57.6	-58.8	-117
-8		-66.8	157	-65.2	118	-8		-58.7	3.6	-57.8	-39.7
-4		-65.7	141	-65	97.3	-4		-66.5	48.7	-65.5	-12.7
0		-64.7	-67	-62.2	-115	0		-58.6	68.3	-57.2	19.6
4		-61	-168	-61.7	154	4		-60.7	90.7	-60.4	37.6
8		-75	-18	-70	-66	8		-59.5	79.2	-58.7	29
12		-70	-96	-69.7	-122	12		-57.5	78	-57.3	28.7
16		-66.4	-145	-66.2	170	16		-59.4	62.8	-59.2	9.7
20		-67	-178	-68	156	20		-53.3	-8.5	-53.8	-48
24		-59	124	-58	72	24		-51.7	-100.6	-50.7	-153
28		-61.2	48	-61	15	28		-50.7	178	-51.2	145
32		-59.8	40.7	-59.3	-8.3	32		-50.2	116.6	-50	64.8
-32		-52.9	124	-54.4	98.5	-32		-50.3	-109	-51.8	-136
-28		-51.6	-98.7	-51.2	-151	-28		-46.8	13.3	-46.5	-34.6
-24		-56.6	-44.7	-56.3	-73	-24		-66.2	47	-67	35
-20		-55.6	12.5	-53.2	-39.7	-20		-54.7	141	-53	92.3
-16		-55.5	110	-55.6	64.8	-16		-60.3	-117	-60.6	-167.7
-12		-67.4	126	-63.3	72	-12		-67.3	-119	-65.4	-167
-8		-60.5	-128	-60.8	174	-8		-59.3	62.8	-59.2	14.8
-4		-70	-125	-68.7	151	-4		-66.2	-171.4	-66.4	148
0	-20	-57	-47	-57.8	-105	0	-20	-60.14	130.4	-59.9	84
4		-63.5	-106	-63	-153	4		-59.5	175	-60	121.5
8		-62	-40	-61.6	-86	8		-58	172.5	-57.3	110
12		-61.7	-58.2	-62	-100	12		-52	135	-51.8	90.3
16		-58	-102	-58	-152	16		-53.6	108	-53.9	47
20		-60	-158	-59.7	166	20		-53.6	28.3	-52.2	-17.5
24		-56.7	145	-57.3	92	24		-52	-79	-52	-135
28		-58.3	88	-59.6	43.7	28		-51.6	-160	-51.4	157
32		-54.5	56	-55	3	32		-49.6	140	-50.3	87.5
-32		-50.6	93	-50.7	45	-32		-49.7	-102.7	-49.8	-150.3
-28		-53.8	-116	-55.4	-174	-28		-46.4	9	-47	-42.4
-24		-52.7	-87	-53.5	-129	-24		-54.5	32.4	-58	28
-20		-52.7	6.7	-53.4	-50	-20		-52.18	145	-52.8	92.5
-16		-55.7	67	-54.9	29.5	-16		-57.2	-166	-58	155.7
-12	-16	-58	104	-57.4	51.3	-12	-16	-58.6	-114	-58.6	-167.3
-8		-66.8	177	-64.8	140	-8		-71.6	148	-67.8	80.4
-4		-63.4	171	-62.4	123	-4		-59.6	-97.7	-60.4	-150.7
0		-63.6	-21	-61.5	-69.4	0		-64.6	-115	-67	-168
4		-67.4	-152	-69.4	-154	4		-55.7	-117	-56.6	-166
8		-63.6	8.3	-61	-41	8		-55.3	-137	-55.9	169
12		-62.3	-3	-61.3	-50.7	12		-52	175	-52.3	128.8

16		-60.5	-37.6	-59.4	-87	16		-52.6	158	-53	107
20		-59.3	-83	-59	-116	20		-54.4	58.7	-54.8	24
24		-57.8	-175	-56.5	133	24		-54.8	-75	-52.3	-128
28		-60.4	128	-60.6	95	28		-51.6	-154	-51.8	168.7
32		-54.7	92.5	-53.8	41.5	32		-49.8	153	-49.7	102
-32		-46.5	130	-47	105	-32		-45	-88.5	-46	-118
-28		-48.8	-95.5	-49.8	-147	-28		-42.6	22.7	-42.3	-27.3
-24		-50	-72.8	-51.6	-103	-24		-51.4	58	-52.2	23.5
-20		-50.6	33	-50.2	-17	-20		-47.8	166	-46.7	116
-16		-52	77	-52.3	38	-16		-52.7	-128.7	-52.8	-167
-12		-55.8	111	-54.8	61.6	-12		-54.7	-82.5	-53	-132
-8		-57.4	-178	-56.7	132	-8		-59	36	-59.6	-17.8
-4		-56.7	-172	-55	138	-4		-64.5	-49.3	-63	-97.5
0	-12	-64.9	-86	-64.5	-148	0	-12	-63	95	-63.4	52.7
4		-58.7	-156	-58	155	4		-63.5	-127	-65.4	176.6
8		-69.7	-105	-73	-146	8		-64.4	-158.3	-63.4	134
12		-62.5	102	-61.7	58	12		-54.6	167	-54.8	119.8
16		-62.8	1.5	-62	-57	16		-58.4	142	-59.3	75
20		-69.3	-93	-66.5	-130	20		-56	4.5	-54.9	-32
24		-58.2	141	-59.4	90	24		-47.9	-94	-48	-148
28		-62	96	-65	46	28		-47.7	-168.4	-47.8	150.2
32		-52.7	92	-53.8	32	32		-47	146	-47.8	92.3
-32		-44.3	-141.8	-44.3	170	-32		-45.4	-74.8	-45.4	-122.7
-28		-48	-11.5	-49.7	-84	-28		-43.8	29.5	-44.6	-29.8
-24		-45	25	-45.2	-18.7	-24		-48.2	66.7	-49.3	24
-20		-47	139	-47.6	75	-20		-48.6	-174	-49.3	128
-16		-46.5	-174	-46.3	143	-16		-51	-121	-51.3	-164
-12		-47.4	-103	-47.7	-158	-12		-53	-56.4	-53.3	-113
-8		-53	-56	-53.6	-95	-8		-57.6	82	-55.7	37
-4		-49.7	-18	-49.8	-68.7	-4		-70	76	-65	27
0	-8	-55	9.7	-56	-30	0	-8	-55.7	142	-53.8	95
4		-54.5	33.6	-54.6	-13.2	4		-55	160	-55	105
8		-56.8	16.6	-57.3	-30	8		-56.4	166	-55.2	116.17
12		-63.8	91.8	-63	24.4	12		-49.7	144	-50	96
16		-59.8	25.7	-58	-24	16		-52.4	96	-52	37
20		-54.5	-13	-54.6	-54.6	20		-48.6	10.5	-48.9	-27
24		-51.4	-82	-50.18	-136.4	24		-45.8	-74	-44.7	-127
28		-50.7	-138	-50.7	177	28		-44.8	-148	-45.2	-177
32		-48.7	164.7	-48.4	113	32		-45.18	158	-45.2	104.3
-32		-43.6	-100	-44.6	-138	-32		-42.7	-72	-43.7	-102.7
-28		-44	25	-44.5	-28	-28		-41.15	38	-40.9	-12.2
-24	-4	-46.5	62	-47.4	27	-24	-4	-46	82.8	-46.5	40.6
-20		-47	163	-46.3	111.5	-20		-45.8	-170.3	-45.5	140
-16		-49	-130	-49	-166	-16		-50.6	-95.2	-50.8	-137.3

-12		-49.7	-90	-48.4	-139	-12		-53.6	-48	-52.2	-97.6
-8		-58.7	-11	-58	-57.7	-8		-53.2	92.7	-53.6	45.6
-4		-55.3	-6	-54.7	-55.4	-4		-61.3	141	-63.7	86
0		-61.7	39	-62	-2.5	0		-52.6	150	-52.6	107
4		-65	81.4	-64.3	39	4		-53.3	179.5	-52.9	130
8		-59.7	69.7	-59.7	28.8	8		-53	167.4	-52.5	112
12		-60	123	-59	77	12		-50	146	-49.5	101
16		-59	54	-58.8	1.7	16		-52.4	103	-52.6	42
20		-54.4	-12.2	-54	-51.4	20		-49.2	13	-48.3	-26
24		-49.9	-82.5	-50	-138.7	24		-45	-70	-45.2	-128
28		-49.6	-141	-49.4	175	28		-45.15	-147	-44.8	171
32		-47.7	160	-48.5	102	32		-45	156	-46.3	97.6
-32		-47.5	-129.5	-47.6	-177.4	-32		-43.5	-50.4	-43.5	-98.4
-28		-49.6	14	-52	-45	-28		-42.7	56.2	-43.6	-5.6
-24		-47.7	36	-48.6	-9	-24		-45.2	100	-46.4	56
-20		-48.6	151	-49.6	95	-20		-48.3	-149.5	-48.8	153
-16		-51.5	-171	-52.3	148	-16		-51.8	-87.4	-51.8	-128
-12		-48.9	-97	-49	-148.7	-12		-54.2	-29.2	-53.9	-84
-8		-55.7	-87	-58.7	-130	-8		-59.8	142	-57.9	95
-4		-54.7	-27	-55	-78	-4		-70	-134	-71.4	148
0	0	-61.7	-27.5	-63.6	-73	0	0	-58.7	-158	-57.2	150
4		-64	1	-64.2	-47.6	4		-55.17	-142	-55.5	164
8		-72	-27	-74	-74	8		-55.4	-134	-55	172
12		-59.7	155	-60.5	103	12		-49.95	178	-50.3	132
16		-61.7	94	-60.8	38.7	16		-53.5	135	-53.8	80.5
20		-57.2	32	-57.2	-10	20		-49.7	41	-50	-2
24		-55.2	-55.4	-54.2	-107	24		-46.8	-50	-45.9	-101
28		-53.4	-106	-53.6	-144	28		-45.6	-125	-46	-163
32		-50.7	-175	-50.4	133.7	32		-45.8	172.6	-46	120
-32		-47.8	-80	-48.7	-115	-32		-44.9	-52.4	-45	-86
-28		-46.6	35	-46.5	-14.5	-28		-44	60.5	-44	6.5
-24		-52.7	72	-53.6	46	-24		-47.4	93.6	-48.5	58
-20		-48.6	171	-47.8	122	-20		-48.8	-152	-47.7	158
-16		-55.6	-112	-54.6	-153	-16		-55	-86	-54	-128
-12		-53.7	-98	-52.6	-146	-12		-54.7	-57	-53.98	-103.6
-8		-59	-25	-59	-78	-8		-70.4	116	-73.7	30
-4	4	-57.3	-51	-56.2	-98	-4	4	-56	-52.4	-55.6	-97
0		-70	-7	-70	-52	0		-63.3	-77.5	-63	-120
4		-61.2	-31	-61.8	-75	4		-55	-58.8	-56.6	-106
8		-62.7	-58	-63.4	-118	8		-53.2	-72	-53.5	-128
12		-59.2	-149	-59	165	12		-51.6	-136	-51.8	178
16		-61.7	159	-61	100	16		-52.6	-164	-53.5	137
20		-61.2	58	-59.4	14.7	20		-54.8	80	-53.2	37
24		-59	-48	-59.3	-105	24		-51.6	-41.8	-52.3	-106

28		-58	-105	-58	-138	28		-52.8	-131	-52.5	-172
32		-54.2	-167	-54.7	135	32		-52	167	-52.8	114
-32	8	-53.8	-126	-53.8	-174	-32	8	-49.7	-36.8	-49.7	-84
-28		-51.4	11.6	-53.2	-42	-28		-49	62.4	-49.8	6.25
-24		-52.8	38	-53.8	-6.8	-24		-50.8	100.8	-52.23	57.6
-20		-50.5	152	-51	100	-20		-57.2	-147.26	-57	148
-16		-53.5	-148	-53.3	169	-16		-58	-90.8	-57.7	-138
-12		-51.4	-100	-51.6	-152	-12		-60.8	-106	-60.6	-155
-8		-56.18	-47	-56	-87	-8		-62.3	-127	-62.4	-176
-4		-54.14	-22	-54.14	-70	-4		-56	-69.5	-56.8	-122
0		-60	10	-61	-32	0		-57.4	-69.5	-58	-116
4		-59.4	17.5	-59.5	-25	4		-54.5	-62.5	-55.5	-111
8		-61.7	-21	-62	-73	8		-52.3	-76.3	-52	-127.4
12		-71.4	-132	-73	-165	12		-52	-129.5	-52.4	-170.6
16		-68.8	-143	-70	167	16		-52	-153	-52.4	152
20		-60.3	96	-60.8	54.3	20		-52.2	112	-52.4	68.5
24		-61.6	23	-60	-34	24		-56.4	16	-54.7	-43
28		-55.4	-51	-56	-92	28		-54.5	-80	-54.8	-115
32	-54.5	-137	-53.8	170	32	-54.6	-160	-54	147		
-32	12	-53.3	-82	-54	-116	-32	12	-49.5	-25	-50	-65
-28		-50.8	24.8	-50.4	-24.8	-28		-48.8	83.5	-48.7	33
-24		-55.2	88	-55.3	47.4	-24		-53.6	142	-54.4	110
-20		-54.3	156	-52.6	104	-20		-55.7	-110	-53.8	-165
-16		-55.5	-116	-55.2	-162	-16		-56.5	-34.8	-57	-80.7
-12		-55.8	-100	-54.9	-149.8	-12		-65	38.4	-64.2	-15.6
-8		-58.5	-26	-58	-72.4	-8		-61	113	-61.5	68
-4		-57.7	-22	-56.9	-71.8	-4		-66	-130	-66.7	-178
0		-62	20	-61	-17	0		-64	-178	-65.2	138
4		-61.6	13.4	-61.18	-30	4		-62	-86	-64.8	-135
8		-63	-3.2	-64	-47	8		-58.4	-106	-58.6	-166
12		-78	-48	-78.2	-75	12		-57.3	-156	-57.5	156
16		-71.8	-76	-72.8	-114	16		-56.3	178	-56.7	117
20		-66.8	71	-65.8	30.2	20		-53.2	82	-52.6	38.8
24		-62	-15	-61.3	-78	24		-52	-9.2	-52.3	-63
28		-56.8	-84	-56.2	-123	28		-53	-97	-52	-133
32	-53.8	-162	-55	132	32	-52.8	-165	-54.5	135		
-32	16	-54.95	-148	-55	163	-32	16	-50.13	-16.8	-50	-64.6
-28		-57	-31	-58	-95	-28		-51.8	70	-52.4	8.4
-24		-54.8	32.7	-54.7	-13	-24		-51.3	140	-50.8	98
-20		-55.2	115	-55.4	60	-20		-55	-118	-55.4	-174
-16		-54.6	-175	-54.16	140	-16		-54	-74.7	-54.3	-116.6
-12		-55.96	-111	-56	-168	-12		-56.5	1.4	-57	-54.7
-8		-58.7	-62	-58.5	-101.3	-8		-57.4	17.7	-58.2	-29.4
-4		-57.4	-30	-57.3	-80.5	-4		-63	23.4	-62.7	-22.7

0		-62.5	20	-63	-24	0		-61.8	67.8	-61.4	21.8
4		-59	24.7	-59.3	-18	4		-61.8	26	-62	-18.2
8		-60.6	-9	-62.2	-62.7	8		-62.3	-27.6	-62.4	-78
12		-74	-11	-72.3	-57.4	12		-67.7	-122	-68.4	-160
16		-66	-68	-64	-118	16		-66.5	-157	-66.7	145
20		-75	145	-76	110	20		-57.2	48.5	-58.6	7
24		-67	-28	-64	-82	24		-53	-37	-52.2	-88.7
28		-57	-104	-57	-146	28		-50.7	-114	-51.2	-146
32		-55	176	-54.5	120	32		-52.2	171.4	-51.7	116
-32		-57.4	-96	-57.4	-132	-32		-48.6	-33.8	-49	-72
-28		-56.8	-11.8	-56.5	-63	-28		-51.3	58.8	-51.4	0.504
-24		-55	50	-55	6.8	-24		-49	116	-49.6	71.7
-20		-58.8	140	-59.8	86	-20		-53.2	-142	-53.6	164
-16		-60	168	-60.5	132	-16		-55.5	-113	-56.4	-153
-12		-59.3	-113	-58.7	-163	-12		-58.2	-53	-58.2	-101.7
-8		-63.4	-73.7	-63.3	-114	-8		-59.5	-63.4	-59.8	-109
-4		-62.6	-47.2	-61.8	-98	-4		-60.7	-50.8	-60.8	-100.8
0	20	-67	-2.7	-66.8	-45.6	0	20	-62	-31.4	-61.6	-84.6
4		-64.2	-12	-63.8	-55.3	4		-57.3	-60	-57.6	-103
8		-64.7	-42	-65.5	-95	8		-58	-88	-58.6	-140.5
12		-69.8	-143	-71.4	172	12		-59.7	-138	-60	175
16		-65	-143	-67	163	16		-60	-162.2	-61.7	133
20		-69.2	104	-68.3	60.5	20		-65.7	36.8	-63.7	10.4
24		-68.2	-50	-67	-118	24		-55.5	-78	-55.7	-138
28		-61.4	-144	-61	175	28		-53.4	-168	-52.9	153
32		-57.7	133	-58.4	75	32		-52.7	120.9	-53.7	62.5
-32		-65.5	161	-65.3	114	-32		-51.5	-59.6	-51.6	-107
-28		-67.3	-100	-67.6	-174	-28		-56	5.5	-56	-57.7
-24		-58.8	-22	-58.2	-68	-24		-53.4	70	-53	24
-20		-68	145	-71	94	-20		-60	-177	-61.8	114
-16		-60	115	-60.4	65	-16		-58.6	163	-59.5	107
-12		-59.8	-128	-60.6	178	-12		-73	-95	-75	156
-8		-68.6	-141	-75.3	168	-8		-60.8	-164	-59.8	146
-4		-61.8	-26	-62.4	-73.3	-4		-59.5	-162	-59.7	147
0	24	-70	-61	-71	-109	0	24	-58	-150.7	-58.2	162
4		-67.6	52	-68	3.6	4		-55.6	-156	-56	155
8		-72.5	7.2	-72.5	-50	8		-56.6	-169.4	-57.4	138
12		-67	84	-67.7	32	12		-56	148	-56.4	108
16		-71.6	65	-72	11.3	16		-57.4	123	-58.3	68.7
20		-65.6	31	-66	-15.3	20		-57.6	28.7	-58.2	-8.6
24		-63.6	-52	-62.4	-105	24		-58.8	-75	-57.8	-128
28		-61.12	-145	-61.3	178	28		-56.8	177	-57.7	148.2
32		-59.7	117	-59.78	64.8	32		-56.3	90.5	-55.7	39.7
-32	28	-61.98	-149.4	-61.8	165.6	-32	28	-51.7	-94.3	-52.3	-138

-28		-63.6	-76.5	-65.2	-133.7	-28		-62	-20	-62.2	-79
-24		-59	-50.3	-59.8	-101	-24		-56.9	28.8	-58.2	-19.5
-20		-61.2	122	-60.7	80	-20		-62.7	-147	-61.4	166
-16		-65.7	31.6	-68	-28	-16		-61.5	15.8	-61.2	-34.5
-12		-60.8	-138.7	-59.3	174	-12		-61	15.8	-59.8	-45.3
-8		-72.7	85	-74	7	-8		-56.4	82.6	-56.4	35.7
-4		-62.7	-45	-62	-91.6	-4		-56	95.5	-55.8	44.6
0		-79	-24	-79	-47	0		-54.8	115	-54	66
4		-64.8	25	-65	-17	4		-54	105	-53.9	58.2
8		-64	-5	-64	-50.6	8		-55.3	84	-55.2	32.4
12		-64.16	-5.7	-63.4	-48	12		-54.8	61	-54.2	17
16		-63.7	-59	-64	-109.6	16		-56	20.7	-56.2	-38.8
20		-63.8	-61.7	-64.5	-106	20		-55	-38	-54.5	-80
24		-59	-120	-59.13	-178	24		-54.3	-110	-54.8	-167
28		-58.4	162	-58	120.3	28		-57.4	155	-56	116
32		-56.94	76	-58	20	32		-56.7	64.3	-58	5.6
-32		-70.8	50.4	-70.6	3.47	-32		-56.5	-135.5	-56.8	177
-28		-83	47	-77	17	-28		-81	-87	-76	-177
-24		-61	-125	-59.7	-175	-24		-65	35	-65.3	-12.5
-20		-62.8	77	-64	36	-20		-58.3	177.7	-59.6	128
-16		-61.5	8.5	-62	-44	-16		-61.3	-98.4	-59.7	-138
-12		-59.4	168	-60.2	125	-12		-54.48	-68	-54.8	-118
-8		-64.2	102	-65	43	-8		-55.8	-18.2	-55.6	-62
-4		-60.7	-107	-61.8	-152	-4		-55	0.254	-55.3	-48.8
0	32	-65.5	-163	-67.8	142	0	32	-56.5	24	-56.4	-18
4		-65.6	-26	-66.5	-73.5	4		-54	20	-54.3	-24.5
8		-63.3	-83.7	-63.1	-134.9	8		-55.4	-6.6	-55.7	-58.7
12		-65.7	-100	-65.2	-142	12		-55.9	-24	-56	-70.3
16		-62.3	-147.4	-61.4	161	16		-55.7	-75.6	-55.4	-126
20		-65	-170	-64.6	147	20		-54.3	-114	-54.6	-154
24		-61.4	165	-60.4	155.5	24		-53.8	-172	-53	134
28		-57.8	103	-58	65	28		-54	112	-54.2	70.4
32		-57.2	32.2	-56.6	-23.3	32		-55.5	33.6	-55	-22.5

B. Antena Tes Berada Pada Kondisi H-Plane

z 38-39 cm

HORIZONTAL						VERTIKAL					
y	x	s21		s12		y	x	s21		s12	
		mag	phase	mag	phase			mag	phase	mag	phase
-32	-32	-61.88	112	-62	65	-32	-32	-62.4	-0.785	-62	-50
-28		-59.6	175	-60.5	114	-28		-61	53	-61.7	-4.6
-24		-56.7	-138	-56.3	175	-24		-63	73.7	-65.7	28
-20		-54.6	-108	-54.5	-158	-20		-74.8	112	-74.3	47.5
-16		-53.9	-74.6	-53.7	-121	-16		-67.4	24.8	-67.3	-23.2
-12		-51.6	-70	-51.9	-119	-12		-60.7	28	-61	-17.7
-8		-48.8	-81.4	-48.6	-130	-8		-61.8	42.3	-62.3	-4.6
-4		-47.2	-84	-47.3	-133	-4		-70.4	117	-69.8	42.6
0		-48	-79	-48.3	-126.7	0		-63.8	150	-64	103
4		-49.3	-73	-49	-121.4	4		-68	-137	-68.7	166
8		-51.2	-69.5	-52	-118	8		-62.2	-108	-61.8	-156
12		-55.3	-50.8	-55.5	-104	12		-71.5	-154	-69.6	175
16		-54.7	-51.5	-54.6	-100	16		-70	-43.2	-70.3	-85
20		-55.8	-65	-55.9	-111.8	20		-68.6	-61	-69.2	-98.3
24		-56.8	-93.4	-57.2	-144	24		-66.8	-30.9	-65	-85
28		-59.7	-137	-59.4	-175	28		-65	-105	-65.6	-138
32	-64	-176	-64.3	128	32	-68.3	-175	-68	129		
-32	-28	-62.5	-122	-62.6	-167	-32	-28	-65.4	70.3	-66.5	32.7
-28		-60	-65	-60	-120	-28		-64.6	90.4	-64.7	43.8
-24		-54.3	-24	-54	-70	-24		-63.8	43.4	-62.8	-18.3
-20		-52.8	-10	-52.8	-61	-20		-60.6	33	-60.6	-21.4
-16		-51.4	21.3	-51.2	-26.4	-16		-55.6	78	-55.2	30.6
-12		-49.3	22	-50	-25	-12		-53.2	80.5	-53.3	32.3
-8		-47.6	14.3	-47.5	-34	-8		-53.2	84.2	-53.6	36.5
-4		-46.3	17.7	-46.6	-32.2	-4		-54.6	92	-54.8	45.3
0		-46	24.2	-46.2	-23	0		-56.2	75.7	-56.7	25.6
4		-47.8	28	-47.7	-20.3	4		-59.2	62.3	-58.9	13.4
8		-50.8	36	-51.2	-10	8		-60.3	48	-60.9	7
12		-53	54	-53.4	5.3	12		-63.5	78.2	-63.9	26.5
16		-53	47	-53	0.4	16		-61.4	85	-61.3	28.4
20		-53.8	28	-53.4	-16	20		-60.7	60.4	-60.5	15.5
24		-55.7	-6.5	-56	-59.6	24		-61.3	38	-61.7	-15
28		-59.8	-41	-59.3	-87	28		-64.4	7.7	-64.5	-35.5
32	-62.9	-68	-63.6	-127	32	-69	-35	-69.7	-97		
-32	-24	-62.7	-7.2	-63	-55.8	-32	-24	-63.4	117	-63.6	70.3
-28		-59.8	33.4	-60.2	-21.4	-28		-63.4	-172	-63.8	132
-24		-55	64	-54.4	17	-24		-68	168	-69.3	108
-20		-52.7	87	-53	34	-20		-67	96	-68	47.6
-16		-50.6	116	-50.2	70.8	-16		-60.7	158	-59	112
-12		-48	122	-48.3	73	-12		-54	165.7	-54.6	114.6

-8		-46.8	115	-46.6	66.8	-8		-54	175	-54	128
-4		-45	118	-45	70	-4		-54.5	170	-54.3	128
0		-45.2	125	-45.3	78	0		-56.7	175	-57	127.6
4		-46.6	128	-46.4	79	4		-58.5	153	-58.3	108.4
8		-49.9	135	-50.6	88	8		-60.8	108	-61.4	54
12		-52	167	-52	112	12		-65.6	-163	-66.7	117
16		-51.4	154	-51.4	104	16		-59.6	165	-59.2	114
20		-52.7	123	-52.3	77.7	20		-61.3	134	-61.2	92.5
24		-55.3	101	-55.5	50.3	24		-62	133	-61.8	83
28		-57.7	62.8	-57.9	18.3	28		-62.2	78.2	-62.2	43.7
32		-60.8	38	-61.5	-12.2	32		-66.5	39.4	-68.3	-15.7
-32		-60.2	88	-60.4	36	-32		-64	170	-64.6	128
-28		-59.5	120	-59.9	62	-28		-62.3	-143	-62.9	170
-24		-55.3	146	-54.8	100.3	-24		-60.5	-156	-60.8	146
-20		-53.2	173	-53.3	118	-20		-60	-168	-60.7	134
-16		-50.3	-158	-49.8	154	-16		-54.2	-134	-53.8	177
-12		-47.5	-154	-47.9	155.7	-12		-51.4	-124	-51.8	-174
-8		-46.5	-155	-46.3	156	-8		-50.2	-113	-50	-160
-4		-44.8	-149	-45	160	-4		-49.5	-111	-49.5	-160
0	-20	-44.4	-146	-44.5	165	0	-20	-51.3	-113	-51.7	-163
4		-46.7	-141.7	-46.4	168	4		-54.3	-121.8	-53.8	-170
8		-49.8	-126	-50.3	-172	8		-60.4	-118	-60.6	-158
12		-49.9	-107	-50	-160	12		-57.4	-96.3	-57.8	-142
16		-50.5	-119	-50.8	-169	16		-56.5	-113	-56.9	-163
20		-51.8	-151	-51.9	168	20		-58.4	-131	-58.2	-177
24		-54.2	-172	-55.3	132	24		-60.5	-154	-60.8	148
28		-61.2	152	-60.3	107	28		-66	172	-66.3	123
32		-60.2	137	-60.3	88.2	32		-64.8	163	-65	107.8
-32		-58.3	158	-58.7	108	-32		-65.6	-142	-65.8	167
-28		-57.8	-148	-58.3	152	-28		-61.4	-56.7	-62.8	-114
-24		-54.8	-136	-54.7	174.6	-24		-63.4	-28.2	-64.5	-68
-20		-53.3	-105	-53.5	-158	-20		-69.6	17	-68.9	-28.4
-16		-49.5	-81.8	-49	-128	-16		-60.7	-58	-59	-109
-12		-47.7	-77.2	-47.9	-127	-12		-55.3	-63.3	-55.7	-113
-8		-46.3	-75	-46	-123	-8		-52	-43	-51.3	-88.7
-4		-43.9	-70	-44.2	-119.6	-4		-49.8	-47.8	-49.9	-92.6
0	-16	-43.8	-65	-43.8	-113	0	-16	-51.2	-42.6	-51.5	-90.7
4		-45.8	-58.5	-45.8	-109.5	4		-54.5	-48.7	-54.3	-97.7
8		-48.2	-44.3	-48.6	-90	8		-58	-45.7	-59.8	-92.6
12		-48.4	-31.3	-48.6	-81.5	12		-55.9	-18.7	-56.4	-69
16		-49.13	-45.8	-49.35	-96.8	16		-55.4	-37	-55.6	-88.2
20		-51.4	-78	-51.4	-118	20		-59.4	-58.7	-58.9	-106
24		-55.4	-100.4	-56.7	-151	24		-60.6	-68.6	-61.2	-118
28		-61.3	-111	-61.2	-158	28		-62.8	-94.5	-63	-132

32		-58.4	-149	-58.3	158	32		-63	-128	-63	178
-32		-57	-141	-57.5	178	-32		-63.2	-101	-63.5	-142
-28		-56.3	-101	-56.5	-153	-28		-60.5	-50.7	-60.6	-101.2
-24		-55	-77	-55	-122	-24		-62	-26	-62.3	-60.6
-20		-52	-47.4	-52.4	-98.7	-20		-61.7	10.7	-63.4	-40.8
-16		-49	-23	-49	-70.5	-16		-56.5	2.2	-56.2	-48.5
-12		-47.5	-16.3	-47.7	-65.3	-12		-52.2	3.4	-53	-44.7
-8		-45.7	-10.7	-45.5	-59.3	-8		-49.6	7.8	-49.3	-39.5
-4		-43.6	-7.5	-43.9	-56.5	-4		-48.8	8.05	-48.7	-41
0	-12	-43.2	-4.2	-43.5	-51	0	-12	-49	11.5	-49.4	-38.8
4		-45.7	6.4	-45.7	-43	4		-53.4	6.5	-52.4	-42.3
8		-47.6	22.3	-47.8	-24.2	8		-57.3	24	-57	-20
12		-48.5	26.2	-48.4	-21	12		-55.3	33.2	-55.7	-13
16		-49.6	13.5	-50	-38	16		-56	16.4	-56.4	-32
20		-53.7	-20.8	-53	-62	20		-59.5	3.17	-59.3	-45
24		-59	-34	-60.4	-77	24		-61.8	2	-62	-50.3
28		-60.3	-30.5	-60.3	-74	28		-62.7	-24.7	-62.6	-65.5
32		-57.3	-90	-57.8	-147	32		-61.8	-76	-62	-130
-32		-57.2	-90.7	-57	-138	-32		-70.2	-156	-70.4	154
-28		-57.6	-43.6	-56.9	-87	-28		-65	3.3	-66.3	-48.7
-24		-56.2	-13.6	-56	-64.6	-24		-63.6	67	-63.5	27
-20		-53.5	13.5	-53.2	-34	-20		-61.6	122	-61.8	68
-16		-49.6	40	-50	-8.8	-16		-62.2	118	-63	60
-12		-48.5	43	-48.3	-4.7	-12		-58	75.7	-60.8	34.7
-8		-45.8	45.6	-46.2	-2.8	-8		-55.3	67	-54.8	19.4
-4		-43.7	48	-43.6	0.464	-4		-53.3	62.3	-53.4	14.7
0	-8	-43	51	-43	1.8	0	-8	-54	57.7	-54.3	8.7
4		-45	59.3	-45.7	15.6	4		-58.3	42.3	-58.2	-3.3
8		-47.3	73	-47.2	22.4	8		-62.3	63	-63	19.2
12		-48.6	76	-48.9	28	12		-59.8	82	-60.3	35.8
16		-50.4	65.5	-50.3	18.7	16		-58.9	76	-58.8	25
20		-54.2	31.7	-54.8	-20	20		-62.2	45.2	-62	5.6
24		-61.5	35	-61.2	-17.5	24		-65	58	-65.2	12.5
28		-59.2	31.3	-58.8	-17.5	28		-61.8	32	-62.4	-8.5
32		-57.2	-46.5	-57.7	-87.6	32		-62.3	-33	-61.4	-91.6
-32		-56.2	-52.8	-56.4	-102	-32		-68.5	-30.6	-68.4	-70.2
-28		-57.3	-11.2	-57.2	-64.6	-28		-64.5	23	-65.4	-38
-24		-56.6	28	-56.2	-16.4	-24		-60.4	70.4	-60	32.4
-20		-53.6	59.5	-53.9	9.5	-20		-58.7	112	-59.3	58
-16	-4	-50.5	80.4	-50.13	32	-16	-4	-56.3	123	-56.6	75.4
-12		-49	78.6	-49.3	31.3	-12		-54.5	115	-55.2	69.4
-8		-46.8	82	-46.4	34.8	-8		-52	110	-51.9	60.4
-4		-43.6	83.4	-44	35	-4		-51	102	-51	54
0		-43.2	85	-43.3	37	0		-51.5	96.7	-52	46.7

4		-45.6	96	-45.5	44.8	4		-56.5	11.2	-56.3	51
8		-47.4	104	-48	58	8		-58.3	115	-58.3	68.6
12		-49.8	113	-49.8	64	12		-57.4	121	-57.4	73.8
16		-51.3	102	-51.8	51.9	16		-57.4	105	-57.7	53.7
20		-58.2	72	-57.3	31.7	20		-62.3	90.5	-62.6	43
24		-60.5	88.8	-60.5	43.8	24		-60	97	-60.3	42.6
28		-57	60.5	-57.3	16.6	28		-59.7	50	-59.2	5.4
32		-58.9	-15.2	-58.7	-75	32		-62.6	-25.6	-63	-76.5
-32		-56.8	-35.2	-57.3	-82.7	-32		-62.6	168	-62.7	120
-28		-59.2	32.3	-59.7	-28.2	-28		-65.4	-125	-65.7	177
-24		-56.8	69	-56.5	23	-24		-72.6	130	-72	81
-20		-55.8	87	-56	40.8	-20		-59.8	178	-60.5	128.4
-16		-52.3	110	-51.8	62.7	-16		-59.3	-177	-59.8	130
-12		-50.7	113	-50.8	64	-12		-60.2	-176	-60.4	136
-8		-48.3	112	-47.8	64.7	-8		-57.2	175	-56.8	127
-4		-44.9	109	-45.2	61.6	-4		-61	178	-60.6	126
0	0	-44.5	111	-44.6	63.8	0	0	-66.7	178	-67.6	118
4		-47	120.8	-46.8	71.2	4		-84.5	-81	-85	-163
8		-49.2	132	-49.8	86	8		-72.6	125	-72.6	81.3
12		-51.6	145	-51.5	94	12		-64.3	134	-64.8	82.4
16		-53.3	136	-53.9	86	16		-60.6	125	-60.2	74
20		-60	126	-59.6	78.6	20		-64	105	-63.3	62.6
24		-59.3	126	-58.7	77.5	24		-61.8	110	-61.5	61.3
28		-56.9	82	-57	46	28		-61.4	65	-61.6	26.8
32		-60.17	15.4	-59.9	-44.3	32		-66.3	8.2	-67.2	-52
-32		-57.53	-24	-57.6	-71.8	-32		-65.7	85.7	-66.8	53.3
-28		-59.3	43.5	-59.7	-17.5	-28		-68	140	-67.8	94.8
-24		-56.4	76.5	-56.3	30.8	-24		-67.6	118	-66.7	80.6
-20		-55.7	118	-56	63.7	-20		-60.4	162	-61.6	109
-16		-51.7	130.6	-51.4	82.7	-16		-57.3	164.6	-57.6	118
-12		-50.4	130	-50.6	79.6	-12		-55.2	164	-55.7	117
-8		-48.4	127	-48.18	78	-8		-54	160	-54	108.4
-4		-45.3	123	-45.7	75.3	-4		-55.3	150	-54.9	103
0	4	-45.2	123	-45.5	75	0	4	-57.6	142	-58.4	94.3
4		-48	134	-47.8	83.5	4		-65.7	150	-65.8	103
8		-50.3	147	-50.9	101	8		-67.2	167	-66.7	115
12		-52.5	162	-52.5	112.6	12		-62.4	144	-63	100
16		-53.2	155	-53.6	103	16		-61.5	114	-62.3	67.5
20		-59.2	141.2	-58.4	95.6	20		-67.5	100	-68.3	54.3
24		-58.6	131.2	-58.2	80.3	24		-65	101	-64.6	51.4
28		-57.6	91.4	-57.5	47.4	28		-65.5	66.3	-65.4	21.4
32		-62	16.8	-62	-37.6	32		-68.5	8.8	-68.4	-60.7
-32		-59.2	-46.4	-60	-83.7	-32		-60.4	146	-60.4	98.2
-28	8	-59.5	41.7	-60	-13.6	-28	8	-58.9	-163	-59	138

-24		-56.8	72.3	-57	27.5	-24		-66.7	-121.7	-66.8	-169.5
-20		-57.2	106	-58.3	54.5	-20		-62.3	-137.4	-62.6	174.3
-16		-53.9	120	-53.9	72.5	-16		-69.4	-162	-74.6	156
-12		-52.5	123	-53	74	-12		-64	-164.5	-64.5	152.7
-8		-50.2	122	-50	72.7	-8		-60	-175	-59.3	135
-4		-46.7	114	-46.8	66.4	-4		-62	-143	-62.2	162.8
0		-46.9	117	-47.3	69.5	0		-61.6	-103	-61.4	-148
4		-49.5	133	-49.2	84.2	4		-62.4	-57.3	-62.2	-114
8		-51.4	147	-51.7	102	8		-65	-46	-66	-93.5
12		-53.2	157	-53.2	109.7	12		-65.6	42.4	-66.7	-7.7
16		-54.3	147	-55	96.4	16		-63.4	37.7	-63.2	-14.8
20		-60.4	133	-60.2	86.5	20		-68.4	21	-68	-30.8
24		-60.6	125	-59.7	72.5	24		-70.9	51	-70.2	14
28		-59	78	-58.6	33	28		-69.6	20	-69.5	-20.3
32		-63.4	-5.5	-64.2	-58.8	32		-70.6	-51.8	-70.3	-111
-32		-63.4	-74	-63.2	-120	-32		-63.3	90.6	-62.8	48.7
-28		-59.5	24.6	-60.6	-32.6	-28		-61.8	118	-61	68.7
-24		-56.5	47.6	-56.2	0.422	-24		-68.6	162	-68.5	121.6
-20		-57.9	89.6	-58	35.7	-20		-63.8	-177	-63.2	133
-16		-55.2	98.3	-55.2	51.4	-16		-67.6	-145	-67	163
-12		-52.7	100	-52.9	53.4	-12		-62.4	-172	-62.6	140
-8		-51.5	106	-51.2	58.3	-8		-60.6	-169	-61	147
-4		-48.4	97.3	-48.6	49.8	-4		-58.8	-118	-60	-169
0	12	-48.6	96.2	-49	48.4	0	12	-57.3	-102	-57	-145
4		-50.7	110	-50.7	59.8	4		-57.3	-87	-56.8	-137
8		-52.3	126.5	-52.6	80.8	8		-60.6	-80.5	-61.6	-124
12		-54.5	135	-54.4	85.7	12		-63	-19.2	-63.5	-68.4
16		-55.7	124	-56	75.5	16		-61	-26	-61.5	-81.6
20		-61.7	111	-60.6	64	20		-66.8	-57.4	-65.9	-106
24		-62.7	96.6	-62.6	46.5	24		-71.7	-36	-72	-89.5
28		-60.7	-57.4	-60.8	18.7	28		-70.7	-73.7	-70.8	-110
32		-65.3	-15.3	-65.3	-74.8	32		-69.7	-127	-70.6	-177
-32		-68.7	-144	-70	-167	-32		-59.7	66.8	-60	17.8
-28		-63	-25.8	-63.4	-78	-28		-61.4	89.2	-61	36.7
-24		-61.3	12.8	-61.8	-34	-24		-64.8	164	-64.3	121.7
-20		-64.3	53.4	-65.9	-7.3	-20		-59.6	153	-59.8	108
-16		-62.3	53.3	-61.7	9.4	-16		-66	-124	-63.4	172
-12	16	-57.5	65.6	-57.6	17.2	-12	16	-66	-171	-65.3	148
-8		-56.7	83.5	-56.4	31.2	-8		-65.8	162	-65.7	116
-4		-53.5	67	-53.7	19.4	-4		-59	-160	-60	150
0		-52.9	64	-53.2	18.4	0		-57.6	-150.8	-57.9	161.3
4		-54.3	75	-54	26.3	4		-58	-125	-57.9	-178
8		-55.2	91.8	-55.5	44.3	8		-59.4	-126.4	-60.2	-174.3
12		-56.9	94.3	-57	46.8	12		-63.4	-83.5	-63.7	-137

16		-58	79.6	-58.7	28.3	16		-62.8	-77	-62.8	-130
20		-67	45	-67	4.6	20		-64.6	-103	-65	-139.7
24		-66.4	68	-66	11.4	24		-68.4	-97.6	-70.7	-150
28		-63.8	26.7	-62.7	-15.3	28		-75.8	-146	-75.3	174
32		-66	-74	-66.2	-128.4	32		-71.8	-144.3	-72	166.2
-32		-71.2	-176	-70.6	136	-32		-73.2	8.5	-70	-46.6
-28		-62.8	-73.2	-63.7	-122.4	-28		-65.3	-14	-64	-63.5
-24		-62.8	-44.9	-62.6	-94	-24		-84	-166	-83.4	102
-20		-63.5	-1	-64.6	-56.6	-20		-68.6	59.5	-67.3	18
-16		-61.6	-32	-62.5	-82	-16		-65	-118	-64.4	-176
-12		-58.4	-7.7	-58.8	-56.3	-12		-66.5	-167	-66.4	143.8
-8		-59.6	11.3	-59.7	-34.4	-8		-67.8	-148	-66.2	164.7
-4		-56.3	6.5	-56.6	-40.7	-4		-58.3	-150	-58.8	162
0	20	-55.8	-6.6	-56	-56.2	0	20	-56	-155	-56.2	154
4		-58.5	-5.5	-58.2	-55	4		-56.7	-158	-56.4	155.3
8		-59.6	26	-59.6	-19	8		-60.2	-167	-60.7	148
12		-60.2	17.8	-60.2	-28	12		-62.8	-119	-63.7	-168
16		-60.7	7.8	-61.5	-42.6	16		-61.2	-130	-61.4	-178
20		-66.5	-53	-66.3	-93.5	20		-63.2	-142	-62.8	170
24		-72.3	-38.4	-72.7	-78	24		-68.2	-167	-68.4	145
28		-67	-20	-67.6	-61.6	28		-69.7	166	-69.7	118
32		-67.9	-116	-67.7	-168	32		-69.4	153	-69.4	94
-32		-70.5	52.3	-70	5.2	-32		-65	-35.7	-64.6	-85.7
-28		-69.7	-125	-68.3	-175	-28		-60.5	-18.2	-60.3	-68.5
-24		-76	-142	-77.5	163	-24		-63.2	42	-62.8	2.75
-20		-80.6	-124	-81.7	-168	-20		-56.7	63	-57.2	15.2
-16		-62.3	-156	-63	158	-16		-58.8	116	-58.2	71.3
-12		-64.3	-128	-64	-171	-12		-55.4	117	-55.7	69.4
-8		-70.3	-125	-69.9	177	-8		-55.4	103.7	-55.7	54.6
-4		-65.2	-144	-64.5	165	-4		-51	115	-51.5	65.2
0	24	-59.4	-140	-59.7	171.5	0	24	-50.5	110.7	-50.6	61.8
4		-59.7	-148	-60	160	4		-52	120	-51.8	70
8		-70.7	-113	-70	-178	8		-53.4	115	-53.9	66
12		-64.4	-87	-64	-137	12		-58.4	134.4	-58.3	82.2
16		-65	-106	-65	-146	16		-58	134.6	-58	82.7
20		-64.4	-155	-63.5	151.5	20		-61.4	124	-61.2	72.6
24		-72	148	-71.3	120.3	24		-64.8	106	-65.4	51.3
28		-73.8	-45	-72.7	-105	28		-67.8	66.3	-67.2	20.3
32		-68	152	-69	117	32		-68.6	64.3	-68.4	12.4
-32		-67.8	-23.7	-67.7	-72	-32		-69.6	18.4	-70.7	-55
-28		-71	-158	-72.7	173	-28		-69.7	-141.7	-67.2	-137
-24	28	-69.3	72	-67	20	-24	28	-66.8	112	-67.3	52
-20		-74.2	45	-72	2.4	-20		-74.6	-16	-72	-44.3
-16		-60.7	124.6	-60.3	74	-16		-62.7	127	-62	68

-12		-64.5	115	-64	63	-12		-59.5	78.7	-59.5	32.4
-8		-62.8	110	-61	62	-8		-61.2	88.8	-60.4	42.4
-4		-58	104	-58	56	-4		-55.4	83.2	-55.4	35.2
0		-56.3	119	-56.2	71	0		-55.18	72.6	55.4	22.3
4		-57	115	-56	70.2	4		-56.4	69.3	-56.5	22.6
8		-63.4	104	-66.3	56	8		-57.4	50.5	-58.8	4.6
12		-63.7	172	-63.8	114	12		-63.5	80.8	-63.8	32.4
16		-65	146	-65	94	16		-61.6	76	-61.8	27.7
20		-61.7	132	-62.4	85	20		-65	67	-64.8	22
24		-65.4	87.7	-66.4	33.4	24		-67	42	-67.2	-13
28		-71	-37	-71.7	-58	28		-69.3	-1.3	-67.3	-35
32		-73.5	76.5	-73.4	28	32		-71.6	-2.4	-71.9	-57.6
-32		-63.5	-81.6	-65.6	-145	-32		76.5	108	-76.4	57
-28		-83	15	-84	25	-28		-70.6	173	-70.8	121.4
-24		-61.4	-14.7	-61.6	-66.3	-24		-77	-86	-76.6	-118
-20		-68	11.5	-68.7	-61	-20		-60.8	-101.8	-61.7	-145.5
-16		-57	48	-57.6	-6.8	-16		-71	-46.7	-70.5	-84.2
-12		-58.6	29	-58	-17.8	-12		-60	-31.7	-60.7	-82.2
-8		-57.4	22.8	-57	-22	-8		-59.5	-49.2	-59.8	-94.6
-4		-53.6	24	-53.7	-24	-4		-56	-34	-56.4	-83.3
0	32	-54.3	35	-54.6	-9.2	0	32	-55.6	-42.6	-55.6	-92.4
4		-54.6	34	-54	-12.2	4		-56.6	-33.7	-56.8	-84.7
8		-60	14.3	-61	-23.6	8		-56.5	-42.5	-57	-94
12		-62.5	78	-63.5	34	12		-64.3	-38	-63.6	-88.7
16		-61.4	50.4	-61.8	-2	16		-61.8	-24	-61.4	-78.7
20		-62.3	38	-62	-8	20		-65.4	-41.6	-64.8	-90
24		-65.7	-10.7	-65.8	68.7	24		-66.4	-52	-66.6	-102
28		-70	-72.4	-69.5	-120.5	28		-67	-93.2	-66.8	-135
32		-70.5	-23	-70.6	-78.3	32		-71.2	-78	-71.4	-125