



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGEMBANGAN PERANGKAT LUNAK UNTUK  
PENGUKURAN MEDAN DEKAT SILINDRIS DENGAN  
MEMPERHATIKAN FAKTOR KOMPENSASI PROBE**

**SKRIPSI**

**MOCHAMAD DANDY FIRMANSYAH  
06 06 02 9454**

**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA  
JULI 2010**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGEMBANGAN PERANGKAT LUNAK UNTUK  
PENGUKURAN MEDAN DEKAT SILINDRIS DENGAN  
MEMPERHATIKAN FAKTOR KOMPENSASI PROBE**

**SKRIPSI**

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

**MOCHAMAD DANDY FIRMANSYAH  
06 06 02 9454**

**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA  
JULI 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 : Mochamad Dandy Firmansyah**

**NPM : 0606029454**

**Tanda Tangan :**

**Tanggal : 09 Juli 2010**

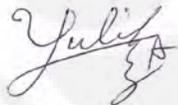
## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Mochamad Dandy Firmansyah  
NPM : 0606029454  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul Skripsi : Pengembangan Perangkat Lunak Untuk Pengukuran Medan Dekat Silindris dengan Memperhatikan Faktor Kompensasi 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. Ir. Fitri Yuli Zulkifli, M.Sc.

(  )

Penguji : Prof. Dr. Ir. Eko Tjipto Rahardjo M.Sc

(  )

Penguji : Ir. Gunawan Wibisono M.Sc, P.h.D

(  )

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 9 Juli 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. Fitri Yuli Zulkifli S.T, 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. Nofrizal, Catur Apriono Ilyas Safari, Aditya Inzani, M.Tajudin, Yudha Dwi P, Subroto F Sidik, Teddy Febrianto, Nara Brahma P, Fuadi Hasan, Achmad Fauzi, Boma A. Adhi, Cindy Chairunnisa 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, 09 Juli 2010

Penulis

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

---

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

Nama : Mochamad Dandy Firmansyah  
NPM : 0606029454  
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:

**PENGEMBANGAN PERANGKAT LUNAK UNTUK  
PENGUKURAN MEDAN DEKAT SILINDRIS DENGAN  
MEMPERHATIKAN FAKTOR KOMPENSASI 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 : 09 Juli 2010  
Yang menyatakan

(Mochamad Dandy Firmansyah)

## ABSTRAK

Nama : Mochamad Dandy Firmansyah  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul : Pengembangan Perangkat Lunak untuk Pengukuran Medan Dekat Silindris Dengan Memperhatikan Faktor Kompensasi *Probe*  
Pembimbing : Dr. Fitri Yuli Zulkifli, ST, Msc.

Pengukuran dari antena pada umumnya dilakukan pada medan jauh dari antena yang diujikan. Namun, pengukuran medan jauh memiliki keterbatasan, yaitu ketika pengukuran dilakukan pada ruangan yang terbatas seperti didalam ruang anti-gema (*anechoic chamber*), maka tidak dapat dilakukan pengukuran antena dengan dimensi yang besar. Hal tersebut karena batas medan jauh dari antena yang diuji melebihi dari ukuran ruang anti-gema tersebut. Pengukuran medan dekat adalah salah satu solusi untuk menyelesaikan permasalahan ini.

Pada penelitian ini akan dibahas mengenai perancangan perangkat lunak untuk mentransformasikan data medan dekat dari antena yang diukur menjadi data medan jauh. Pada perancangan ini, diperhitungkan juga faktor kompensasi dari *probe*. Hasil dari transformasi yang dilakukan oleh perangkat lunak ini ialah pola radiasi medan jauh dari antena uji. Hasil dari penggunaan perangkat lunak yang dirancang untuk pengukuran medan dekat antena akan dibandingkan dengan hasil dari pengukuran medan jauh antena secara langsung.

Secara keseluruhan hasil dari pengukuran, pola radiasi pada antena menunjukkan hasil yang serupa antara transformasi dan pengukuran medan jauh secara langsung. Dari hasil pengukuran, perbandingan antara transformasi medan dekat ke medan jauh dengan pengukuran medan jauh memiliki rata-rata penyimpangan sebesar 6.078 dB untuk hasil transformasi dengan tidak menggunakan faktor kompensasi *probe*. Sedangkan untuk hasil transformasi dengan menggunakan faktor kompensasi *probe*, memiliki nilai penyimpangan rata-rata sebesar 4.469 dB.

Kata kunci: medan dekat, antena, *silindris*, kompensasi *probe*

## ABSTRACT

Name : Mochamad Dandy Firmansyah  
Study Program : Teknik Elektro  
Title : Software Development for Cylindrical Near Field  
Measurement with the Probe Compensated Factor  
Consideration  
Supervisor : Dr. Fitri Yuli Zulkifi, ST, Msc.

The measurement of an antenna is usually done in the far field of the antenna under test. However the far field measurement has limitation, specifically when the measurement is conducted in a limited space like in an anechoic chamber, therefore only antenna with relatively small dimensions can be measured. This is because of the far field range of the antenna under test is bigger than the size of the anechoic chamber. The near field antenna measurement is one solution to solve this problem.

This research will discuss about software development to transform near field data from the measured antenna to the far field data. In this development, we also consider the probe compensated factor. The result of this software is the radiation pattern of the far field antenna under test. The result of the software utilization which is developed for the near field antenna measurement will be compared with the direct far field antenna measurement.

Overall, the result from measurement that the radiation pattern of antenna shows similar result between the transformation and the direct far field measurement. From the measurement results, the comparison between near field to far field transformation and the far field measurement has an average deviation around 6.078 dB. This result is achieved from the transformation without the probe compensated factor while the result using the probe compensated factor has an average deviation around 4.469 dB.

Key words : near field, antena, cylindrical, probe compensated

## DAFTAR ISI

|  |           |
|--|-----------|
| Sampul Depan.....  | i         |
| Halaman Pernyataan Orisinalitas.....   | ii        |
| Lembar Persetujuan.....  | iii       |
| Ucapan Terima Kasih.....   | iv        |
| Halaman Pernyataan Persetujuan Publikasi.....  | v         |
| Abstrak.....   | vi        |
| Abstract.....  | vii       |
| Daftar Isi.....  | viii      |
| Daftar Gambar.....   | x         |
| Daftar Tabel.....  | xii       |
| <b>1. PENDAHULUAN.....</b>   | <b>1</b>  |
| 1.1 Latar Belakang.....  | 1         |
| 1.2 Tujuan Penulisan.....  | 4         |
| 1.3 Batasan Masalah.....   | 4         |
| 1.4 Metodologi Penelitian.....   | 4         |
| 1.5 Sistematika Penulisan.....   | 4         |
| <b>2. PENGUKURAN MEDAN DEKAT METODE SILINDRIS.....</b>   | <b>6</b>  |
| 2.1 Medan Radiasi Antena.....  | 6         |
| 2.2 Sejarah Singkat Pengukuran Medan Dekat.....  | 7         |
| 2.3 Pengukuran Medan Dekat Silindris.....  | 8         |
| 2.4 Pola Radiasi sebagai Parameter Antena.....   | 15        |
| 2.5 Fast Fourier Transform (FFT).....  | 16        |
| 2.6 Fungsi Hankel.....   | 17        |
| 2.7 Integral Numerik dengan Integral Trapesium.....  | 20        |
| 2.8 Faktor Kompensasi Probe.....   | 22        |
| <b>3. PERANCANGAN PERANGKAT LUNAK DAN PERANCANGAN<br/>PENGUKURAN MEDAN DEKAT METODE SILINDRIS.....</b>                       | <b>24</b> |
| 3.1 Perancangan Perangkat Lunak Untuk Transformasi.....  | 24        |
| 3.2 Alur Proses dari Kerja Perangkat Lunak.....  | 27        |
| 3.2.1 Penerimaan dari Inputan Data Awal Medan Dekat.....   | 28        |
| 3.2.2 Penerimaan dari Inputan Data <i>Probe</i> .....  | 30        |
| 3.2.3 Proses Perhitungan.....  | 31        |
| 3.2.4 Proses Plot Grafik Medan Jauh.....   | 32        |
| 3.3 Ketentuan-ketentuan dalam Penggunaan Perangkat Lunak.....  | 34        |
| 3.4 Perancangan Sistem Pengukuran Medan Dekat Silindris.....   | 35        |
| <b>4. PENGUJIAN PERANGKAT LUNAK DAN PENGGUNAANNYA UNTUK<br/>PENGUKURAN MEDAN DEKAT ANTENA PADA RUANG ANTI-<br/>GEMA.....</b> | <b>38</b> |
| 4.1 Pengujian Perangkat Lunak Untuk Transformasi.....  | 38        |
| 4.1.1 Pengujian Perangkat Lunak dalam Penggunaan Fungsi-Fungsi<br>Matlab.....  | 38        |
| 4.1.2 Pengujian Perangkat Lunak Menggunakan Data Simulasi Medan<br>Dekat dari <i>Software</i> FEKO.....                      | 41        |
| 4.1.3 Pengujian Perangkat Lunak Menggunakan Data Hasil<br>Pengukuran IRCTR.....  | 45        |

|   |           |
|---|-----------|
| 4.2 Penggunaan Perangkat Lunak dalam Pengukuran Medan Dekat.....  | 46        |
| 4.2.1 Penggunaan Perangkat Lunak untuk Pengukuran Medan Dekat Menggunakan Antena <i>Mikrostrip Fixed Position</i> pada Pita Frekuensi 3.35 GHz.....                   | 47        |
| 4.2.2 Analisis Grafik Pola Radiasi Hasil Transformasi Medan Dekat ke Medan Jauh Menggunakan Antena <i>Mikrostrip Fixed Position</i> pada Pita Frekuensi 3.35 GHz..... | 52        |
| 4.3 Pengaruh Faktor Kompensasi Probe dalam Pengukuran Medan Dekat Silindris.....  | 53        |
| 4.4 Antena <i>Probe</i> dalam Pengukuran Medan Dekat.....   | 53        |
| 4.5 Pengembangan Kedepan Pengukuran Antena Medan Dekat Silindris.....   | 55        |
| <b>BAB V KESIMPULAN.....</b>  | <b>57</b> |
| <b>Daftar Acuan.....</b>  | <b>58</b> |
| <b>Lampiran Program.....</b>  | <b>60</b> |

## DAFTAR GAMBAR

|             |  |    |
|-------------|--|----|
| Gambar 2.1  | Medan Radiasi Antena [3] .....   | 6  |
| Gambar 2.2  | Sistem Koordinat [17].....   | 11 |
| Gambar 2.3  | Pola Pemindaian Silindris [18].....  | 12 |
| Gambar 2.4  | Pola Radiasi Antena serta bagian-bagian <i>Lobes</i> Radiasinya [1]....  | 15 |
| Gambar 2.5  | Perbandingan Komputasi antara FFT dan DFT [19] .....   | 17 |
| Gambar 2.6  | Penyelesaian untuk Fungsi Bessel Jenis Satu [12].....  | 19 |
| Gambar 2.7  | Penyelesaian untuk Fungsi Bessel Jenis Dua [12].....   | 20 |
| Gambar 2.8  | Interpretasi Geometris dari Integral definite [13] .....   | 20 |
| Gambar 2.9  | Integrasi Numerik dengan Integral Trapesium [13].....  | 21 |
| Gambar 3.1  | Diagram Alir Perancangan Perangkat Lunak .....   | 26 |
| Gambar 3.2  | Tampilan Halaman Program dengan GUI.....   | 27 |
| Gambar 3.3  | Tampilan <i>Workspace</i> MATLAB untuk Inputan Awal.....   | 28 |
| Gambar 3.4  | Tampilan urutan Matriks.....   | 29 |
| Gambar 3.5  | Tampilan <i>Workspace</i> MATLAB inputan Medan Jauh <i>Probe</i> .....   | 30 |
| Gambar 3.6  | Sistem Koordinat Sferis [1].....   | 33 |
| Gambar 3.7  | Antena Positioner untuk Pengukuran Medan Dekat.....  | 35 |
| Gambar 3.8  | Positioner dan Rotator dalam Pengukuran Medan Dekat Silindris  | 36 |
| Gambar 3.9  | Daerah Pemindaian pada Pengukuran Medan Dekat Silindris .....  | 36 |
| Gambar 3.10 | <i>Vector Network Analyzer</i> .....   | 37 |
| Gambar 4.1  | Tampilan Software FEKO Suite 5.5 .....   | 41 |
| Gambar 4.2  | Tampilan Tab Solution untuk Mendapatkan Data Hasil.....  | 42 |
| Gambar 4.3  | Tampilan Pilihan sistem Koordinat pada Simulasi Pengukuran<br>Medan Dekat.....   | 42 |
| Gambar 4.4  | Tampilan Antena Horn 3.3 GHz pada sumbu-X.....   | 43 |
| Gambar 4.5  | Antena Magus untuk Merancang Antena Horn 3.3 GHz.....  | 43 |
| Gambar 4.6  | Grafik Kartesian dalam desibel (dB) perbandingan medan jauh hasil<br>simulasi dengan hasil transformasi perangkat lunak saat $\theta = 90^\circ$ ....                              | 44 |
| Gambar 4.7  | Grafik Kartesian pola Radiasi dalam desibel (dB) perbandingan<br>medan jauh hasil simulasi dengan hasil transformasi perangkat<br>lunak saat $\theta = 0^\circ$ .....              | 46 |
| Gambar 4.8  | Antena mikrostrip Array 8 elemen sebagai AUT dan Antena<br><i>Monopole</i> sebagai <i>probe</i> .....  | 47 |
| Gambar 4.9  | Grafik Dua Dimensi untuk perbandingan medan jauh hasil<br>pengukuran dengan hasil transformasi tanpa menggunakan faktor<br><i>probe compensated</i> saat $\theta = 90^\circ$ ..... | 48 |
| Gambar 4.10 | Grafik Kartesian dua dimensi untuk perbandingan medan jauh hasil<br>pengukuran dengan hasil transformasi menggunakan faktor<br>kompensasi probe saat $\theta = 90^\circ$ .....     | 49 |
| Gambar 4.11 | Grafik Kartesian dua dimensi perbandingan medan jauh hasil<br>pengukuran secara langsung dengan medan jauh hasil transformasi<br>saat $\theta = 90^\circ$ .....                    | 50 |
| Gambar 4.12 | Grafik Penyimpangan pada hasil transformasi tanpa menggunakan<br>faktor kompensasi <i>probe</i> terhadap medan jauh ukur langsung saat<br>$\theta = 90^\circ$ .....                | 51 |

|             |   |    |
|-------------|---|----|
| Gambar 4.13 | Grafik Penyimpangan pada hasil transformasi tanpa menggunakan faktor kompensasi <i>probe</i> terhadap medan jauh ukur langsung saat $\theta = 90^\circ$ ..... | 51 |
| Gambar 4.14 | Posisi Antena Uji Ketika Pengukuran Medan Dekat .....   | 53 |
| Gambar 4.15 | Sistem Komunikasi antar peralatan dalam Pengukuran Medan Dekat .....  | 55 |



## DAFTAR TABEL

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| Tabel 2.1 | Perbandingan Tiga Sistem Koordinat Pemindaian Pengukuran Medan Dekat .....                                  | 10 |
| Tabel 4.1 | Perbandingan Fungsi Bessel Jenis Satu Hasil Hitung Matlab dengan Tabel Bessel .....                         | 38 |
| Tabel 4.2 | Perbandingan Fungsi Bessel Jenis Dua Hasil Hitung Matlab dengan Tabel Bessel .....                          | 39 |
| Tabel 4.3 | Perbandingan Fungsi Hankel Jenis Dua Hasil Hitung Matlab dengan Tabel Bessel .....                          | 39 |
| Tabel 4.4 | Perbandingan Perhitungan Integral Fourier Hasil Perhitungan pada [8] dengan menggunakan algoritma FFT ..... | 40 |
| Tabel 4.5 | Properti yang digunakan dalam simulasi pengukuran medan dekat   | 44 |
| Tabel 4.6 | Properti Pengukuran Medan Dekat pada IRCTR.....   | 45 |
| Tabel 4.7 | Properti Pengukuran Medan Dekat Antenna Mikrostrip <i>Array Fixed Position</i> .....                        | 48 |

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan pada dunia telekomunikasi yang begitu pesat sangat dirasakan oleh semua orang pada saat ini. Perkembangan-perkembangan tersebut tidak lepas dari perkembangan peralatan-peralatan yang mendukung kinerja dari peralatan telekomunikasi yang digunakan. Salah satu peralatan yang penting untuk mendukung kinerja dari suatu sistem telekomunikasi nirkabel ialah antena. Antena ialah suatu alat yang dapat meradiasikan atau menerima gelombang radio [1]. Peranan dari antena ini ialah untuk menghubungkan antara rangkaian pengirim dengan rangkaian penerima dalam suatu sistem telekomunikasi nirkabel.

Dalam perancangan suatu antena, ada beberapa tahap yang dilakukan. Tahap-tahap tersebut ialah antara lain:

1. Perancangan ukuran fisik dari antena. Dalam tahapan ini, ukuran-ukuran dari antena yang akan dibuat akan dihitung terlebih dahulu sesuai dengan teori.
2. Simulasi dengan perangkat lunak di komputer untuk mengetahui parameter-parameter dari hasil perhitungan antena yang dilakukan sebelumnya. Selain itu, pada tahap ini juga dilakukan proses eksperimen untuk mendapatkan hasil sesuai dengan parameter-parameter antena yang diinginkan.
3. Fabrikasi atau merealisasikan bentuk fisik dari antena tersebut. Dalam tahap ini, hasil dari simulasi dengan komputer yang telah didapatkan parameter yang sesuai dengan keinginan akan dibuat bentuk fisik dari antenanya.
4. Pengukuran dari antena yang telah direalisasikan bentuk fisiknya. Dalam tahap ini, parameter-parameter antena yang telah dirancang dalam simulasi akan dilihat ketika telah dibuat bentuk fisiknya.

Dalam perancangan antena, tahap pengukuran antena ialah salah satu tahap penting dan sangat menentukan dari beberapa tahap yang lain. Hal tersebut dikarenakan pada tahap ini akan dilihat parameter-parameter dari antena yang telah dibuat untuk melihat hubungannya dengan kinerja dari antena tersebut ketika

diimplementasikan pada suatu sistem. Pengukuran antenna memiliki beberapa teknik pengukuran yang dapat dilakukan, yaitu antara lain teknik pengukuran medan jauh (*far field measurement*), pengukuran medan dekat (*near field measurement*) dan pengukuran jangkauan kecil (*compact range measurement*) [1].

Pada umumnya, pengukuran dari antenna dilakukan dengan menggunakan pengukuran metode medan jauh. Namun metode ini memiliki kekurangan, terutama ketika kita akan mengukur dalam ruang anti gema yang memiliki ukuran terbatas. Hal ini dikarenakan ketika kita akan melakukan pengukuran dari antenna yang memiliki dimensi yang besar, maka jarak dari pengukuran medan jauh akan semakin besar dari ruangan yang tersedia [3]. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengukuran dengan menggunakan metode medan dekat, yang mana jarak pengukurannya dapat dilakukan dengan ukuran lebih kecil jika dibandingkan dengan pengukuran medan jauh.

Pengukuran dengan metode medan dekat dikembangkan oleh karena pada pengukuran dengan menggunakan metode ini akan mendapatkan hasil yang sama dengan pengukuran metode medan jauh dengan melakukan perubahan menggunakan transformasi secara matematis dari medan dekat ke medan jauh [2]. Data hasil pengukuran medan dekat ini selanjutnya akan dianalisis untuk memperoleh hasil berupa parameter-parameter antenna seperti pola radiasi (*radiation pattern*), lebar pancaran (*beamwidth*) dan gain dari antenna. Pengukuran dengan menggunakan medan dekat, dapat dibagi menjadi tiga bagian berdasarkan sistem koordinat yang digunakan saat pengukuran, yaitu sistem koordinat planar, silindris, dan yang terakhir ialah sferis. Pada skripsi ini akan dibahas mengenai pengukuran antenna medan dekat dengan menggunakan sistem koordinat silindris.

Pada pengukuran medan dekat, komponen utama yang perlu diperhatikan sebagai dasar dari sistem pengukurannya yaitu antara lain ialah pengukuran, komputasi, dan yang terakhir ialah daerah dari *scanning* [2]. Pada komponen pengukuran, perlu diperhatikan mengenai peralatan yang dipergunakan untuk melakukan pengukurannya, seperti antenna untuk probe, antenna positioner serta peralatan lain yang menunjang pengukuran. Selanjutnya pada komponen komputasi, perlu diperhatikan mengenai metode yang digunakan untuk komputasi yang sesuai dengan proses transformasi dari medan dekat ke medan jauh. Pada

skripsi ini, metode komputasi yang digunakan ialah metode komputasi dengan menggunakan *Fast Fourier Transform* (FFT). Komponen terakhir yang perlu untuk diperhatikan ialah komponen daerah *scanning* dari pengukuran. Pada komponen ini, perlu diperhatikan mengenai jarak antar antena yang digunakan pada pengukuran, serta jarak yang digunakan untuk melakukan pemindaian dengan menggunakan sistem koordinat silindris.

Pada pengukuran antena dengan menggunakan medan dekat silindris, telah terdapat beberapa penelitian yang terkait. Penelitian untuk menentukan daerah dari medan dekat silindris dilakukan pada [3]. Pada penelitian [8], dilakukan penelitian mengenai penggunaan dari *Fast Fourier Transform* (FFT) untuk perhitungan dari integral Fourier pada persamaan yang digunakan dalam pengukuran medan dekat. Untuk penurunan persamaan dari pengukuran medan dekat silindris tanpa menggunakan faktor kompensasi dari probe, dilakukan oleh penelitian [7]. Selain itu, terdapat penelitian pengembangan persamaan matematis untuk transformasi medan dekat silindris dengan menggunakan faktor kompensasi dari probe, yaitu pada [4], [14], dan [17]. Sementara itu, penelitian [15] menunjukkan mengenai analisis dari error yang dapat terjadi dalam pengukuran medan dekat silindris.

Pada penelitian yang dilakukan di Departemen Teknik Elektro, telah dilakukan penelitian mengenai pengukuran medan dekat planar pada [19] dan pengukuran medan dekat silindris pada [20]. Pada skripsi ini dilakukan beberapa pengembangan dari skripsi tentang pengukuran medan dekat silindris yang dilakukan pada [20]. Pada penelitian [20] tersebut, dilakukan perancangan perangkat lunak untuk pengukuran medan dekat silindris, namun tanpa memperhatikan faktor kompensasi *probe*. Pengembangan yang dilakukan pada skripsi ini yaitu antara lain penggunaan dari *Fast Fourier Transform* (FFT) untuk perhitungan dari integral Fourier pada persamaan matematis untuk transformasi. Selain itu, pada skripsi ini juga dilakukan pengukuran dengan menggunakan antena positioner untuk menggerakkan antena *probe* sepanjang sumbu  $z$  untuk pengambilan data yang lebih presisi. Dan pada skripsi ini juga diperhitungkan mengenai faktor kompensasi *probe* pada perangkat lunak yang dirancang.

## 1.2 Tujuan Penulisan

Skripsi ini bertujuan untuk merancang mekanisme pengukuran medan dekat dengan menggunakan pemindaian silindris serta membuat algoritma yang akan digunakan dalam merancang perangkat lunak yang digunakan dalam proses transformasi medan dekat ke medan jauh dengan pengaruh faktor kompensasi probe.

## 1.3 Batasan Masalah

Pada skripsi ini, akan ditekankan mengenai proses transformasi dengan menggunakan perangkat lunak dari medan dekat ke medan jauh dengan pemindaian silindris, penggunaan metode Fast Fourier Transform (FFT) dalam proses transformasi, pengaruh faktor kompensasi dari antenna *probe*, serta pelaksanaan pengukuran antenna dengan menggunakan medan dekat sistem koordinat silindris.

## 1.4 Metodologi Penelitian

Metodologi yang diterapkan dalam skripsi ini adalah :

1. Studi literatur, yaitu dengan mempelajari jurnal dan buku perancangan sistem pengukuran medan dekat antenna menggunakan sistem koordinat silindris.
2. Pengambilan data dengan melakukan pengukuran medan dekat antenna menggunakan sistem koordinat silindris pada ruang anti-gema.
3. Perancangan perangkat lunak untuk transformasi data medan dekat ke medan jauh dengan menggunakan *Fast Fourier Transform* (FFT).

## 1.5 Sistematika Penulisan

Pada penulisan skripsi ini, pembahasannya akan terdiri atas lima bagian, yaitu antara lain :

### BAB 1 PENDAHULUAN

Pada bagian ini akan berisi mengenai pendahuluan dari penulisan skripsi ini yaitu menjelaskan tentang latar belakang, tujuan penulisan, batasan masalah dan juga sistematika penulisan.

## BAB 2 PENGUKURAN MEDAN DEKAT METODE SILINDRIS

Pada bagian ini, akan dibahas mengenai beberapa teori dasar mengenai medan-medan radiasi pada antena, sejarah pengukuran medan dekat serta pengukuran medan dekat dengan menggunakan sistem koordinat silindris. Selain itu, pada bagian ini juga akan dibahas mengenai beberapa fungsi yang digunakan pada transformasi medan dekat ke medan jauh, seperti fungsi Hankel, *Fast Fourier Transform* (FFT), dan fungsi integral trapezoidal. Pada bagian ini, juga akan dibahas mengenai faktor kompensasi *probe* yang digunakan untuk sistem koordinat silindris.

## BAB 3 PERANCANGAN PERANGKAT LUNAK UNTUK TRANSFORMASI MEDAN DEKAT KE MEDAN JAUH

Pada bagian ini, akan dibahas mengenai mekanisme perancangan perangkat lunak untuk perhitungan transformasi medan dekat ke medan jauh, alur logika dalam perangkat lunak, serta proses plotting hasil transformasi ke grafik dan perancangan sistem pengukuran medan dekat silindris.

## BAB 4 PENGUJIAN PERANGKAT LUNAK DAN PENGGUNAANNYA UNTUK PENGUKURAN MEDAN DEKAT PADA RUANG ANTI GEMA

Pada bagian ini, akan dibahas mengenai pengujian dari perangkat lunak yang telah dirancang dengan menggunakan data medan dekat hasil simulasi, serta pengujian dengan menggunakan data pengukuran yang dilakukan pada IRCTR. Selain itu, perangkat lunak yang dirancang juga akan digunakan dalam pengukuran medan dekat yang dilakukan pada *anechoic chamber* milik Departemen Teknik Elektro, Universitas Indonesia. Data hasil transformasi tersebut selanjutnya akan dilakukan plot pola radiasi hasil transformasi yang akan dibandingkan dengan pola radiasi hasil pengukuran medan jauh secara langsung. Selain itu, pada bagian ini juga akan dibahas mengenai pengaruh penggunaan kompensasi *probe* terhadap data hasil pengukuran.

## BAB 5 KESIMPULAN

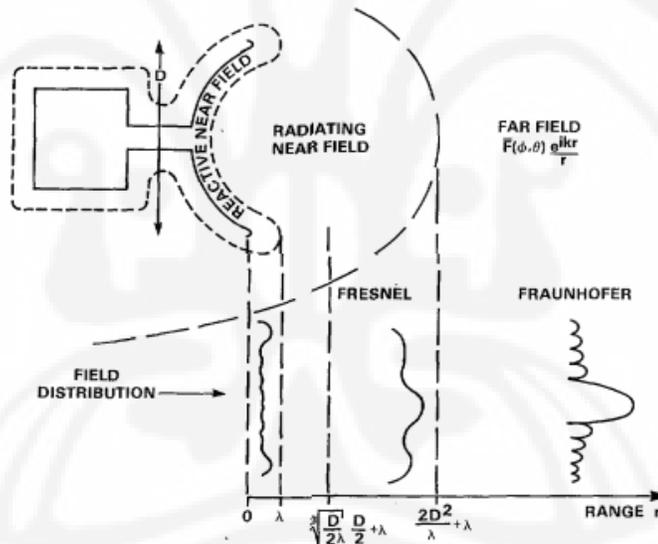
Pada bagian ini, akan dibahas mengenai kesimpulan yang dapat diambil dari penulisan skripsi ini.

## BAB 2

### PENGUKURAN MEDAN DEKAT METODE SILINDRIS

#### 2.1 Medan Radiasi pada Antena

Suatu antena yang bekerja pada suatu frekuensi akan meradiasikan suatu gelombang elektromagnetik yang terdistribusi menjadi daerah-daerah medan radiasi tertentu. Distribusi dari daerah medan radiasi yang dihasilkan oleh suatu antena berubah secara bertahap sesuai dengan jarak dari antenanya. Ada tiga daerah utama yang merupakan daerah medan radiasi yang dihasilkan oleh suatu antena, yaitu daerah medan dekat reaktif (*reactive near field*), daerah medan dekat radiasi (*radiating near field* atau *Fresnel Region*) dan medan jauh (*Far field* atau *Fraunhofer region*) [3]. Ketiga daerah medan radiasi tersebut diilustrasikan pada Gambar 2.1



Gambar 2.1 Medan Radiasi Antena [3]

Medan jauh ialah daerah terjauh dari antena yang distribusi medan relatif secara angular tidak bervariasi dengan jarak antenanya. Daerah radiasi medan jauh memiliki jarak dimulai dari radius  $\frac{2D^2}{\lambda} + \lambda$  dari permukaan antena, sampai dengan jarak tak terhingga, dimana nilai  $D$  ialah dimensi terbesar dari suatu antena dan nilai  $\lambda$  ialah suatu panjang gelombang dari antena tersebut yang diukur dari frekuensi kerja pada antena. Pada jarak tersebut, sifat dari medan terdistribusi

pada daerah ini sudah tidak terpengaruhi dengan jarak terhadap antenna. Oleh karena itu, maka pengukuran antenna selama ini dilakukan pada daerah medan jauh ini.

Medan dekat ialah daerah yang distribusi medan relatif secara angular bervariasi dengan jarak antenanya. Pada daerah medan radiasi ini, terbagi atas dua daerah utama, yaitu daerah medan dekat reaktif dan daerah medan dekat radiasi.

Daerah medan dekat reaktif ialah daerah yang terdekat dengan antenna, yang mana komponen dari energi elektromagnetiknya akan turun dengan pengaruh dari jaraknya [2]. Daerah ini sesuai dengan Gambar 2.1 membentang dari permukaan konduktif dari antenna sampai dengan  $\lambda$ .

Daerah medan dekat kedua ialah daerah medan dekat radiasi. Daerah ini ialah daerah yang densitas energi rata-ratanya relatif konstan pada daerah yang berbeda dari antenanya [2]. Daerah ini sesuai dengan Gambar 2.1 terletak pada radius  $\sqrt[3]{\frac{D}{2\lambda} \cdot \frac{D}{2}} + \lambda$  sampai dengan radius awal dari medan jauh. Pada skripsi ini, pengukuran medan dekat akan dilaksanakan pada daerah ini dari antenna yang akan diuji (*Antenna Under Test/AUT*).

Pada perhitungan jarak untuk medan dekat radiasi dan medan jauh, terdapat penambahan nilai dari rentang jarak untuk masing-masing daerah dengan nilai  $\lambda$ . Hal tersebut dikarenakan untuk meliputi kemungkinan ketika dimensi maksimum dari antenna ( $D$ ) akan memiliki jarak yang lebih kecil dari panjang gelombangnya. Penambahan nilai ini adalah merupakan suatu representasi dari jarak Rayleigh yang seharusnya dihitung dari batasan terluar dari medan dekat reaktif antenna [3].

## 2.2 Sejarah Singkat Pengukuran Medan Dekat

Pengembangan dari pemindaian medan dekat sebagai metode untuk pengukuran antenna secara umum dapat dibagi menjadi empat periode, yaitu periode pertama ialah percobaan awal tanpa memperhatikan faktor kompensasi dari probe (1950-1961). Periode kedua ialah periode dimana digunakan teori kompensasi dari probe (1961-1975). Periode selanjutnya ialah periode yang pertama kali dilakukan percobaan dari teori-teori yang ada ke dalam praktek

(1965-1975). Dan periode terakhir ialah periode dilakukannya transfer teknologi (1975-1985) yang mana sekitar 50 atau lebih dari pengukuran medan dekat dibangun pada hampir seluruh dunia [3].

Sejarah pertama dilakukan pemindaian antena pada medan dekat dilakukan dengan menggunakan “*automatic antenna wave plotter*” yang mana dibuat pada tahun 1950 oleh Barnes dan Barrett dari *Air Force Cambridge Research Center*. Barret dan Barnes menemukan pemetaan secara ukuran penuh dari variasi fasa dan amplitude di depan antena yang bekerja pada gelombang pendek [3]. Namun pada percobaan tersebut mereka tidak menghitung pola medan jauh dari antenanya. Pada awalnya semua percobaan pada periode-periode awal hanya mengasumsikan bahwa probe mengukur komponen rectangular dari vektor elektrik dan magnetik pada medan dekat. Mulai pada tahun 1963, dimana Kerns melaporkan analisis bidang gelombang yang kemudian menjadi solusi yang lengkap untuk permasalahan kompensasi dari probe secara tiga dimensi.

Selanjutnya pada tahun 1965, pengukuran medan dekat dengan probe kompensasi mulai dilakukan pada National Bureau Standards. Selanjutnya mulai ditemukan penelitian-penelitian mengenai teori sampling untuk jarak data per titik, kemudian ditemukan juga metode yang dapat digunakan untuk mengefisienkan metode komputasi serta masih banyak lagi penelitian lainnya setelah itu [3].

### **2.3 Pengukuran Medan Dekat Silindris**

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, pengukuran medan dekat ialah pengukuran yang dilakukan pada daerah medan dekat radiasi atau *Fresnel Region*. Pada pengukuran dengan metode ini, ada beberapa kelebihan yang dapat diperoleh jika dibandingkan dengan pengukuran menggunakan metode medan jauh, diantaranya ialah [5]:

1. Rentang pada medan dekat menyediakan suatu kapabilitas untuk semua cuaca dan juga suatu kemampuan untuk pengaturan cuaca.
2. Informasi yang dihasilkan ialah berupa performansi dari antena secara lengkap.

3. Untuk sistem antena yang besar, permasalahan-permasalahan seperti batasan ukuran rentang medan jauh, transportasi dan pemasangan, serta permasalahan untuk positioner skala besar dapat diatasi dan juga dihilangkan.
4. Pengukuran medan dekat memiliki tingkat akurasi dari pola yang dikomputasi lebih baik atau dapat dibandingkan dengan medan jauh. Selain itu, pengukuran medan dekat juga menawarkan solusi waktu dan biaya yang lebih efektif.

Selain dari beberapa keuntungan yang telah dijelaskan sebelumnya, pengukuran dengan metode ini juga memiliki beberapa kerugian, yaitu antara lain [5]:

1. Diperlukan suatu prosedur ekstensif untuk mengkalibrasi *probe* pada pengukuran medan dekat seperti dibandingkan dengan medan jauh dari *probe*.
2. Pola antena yang diuji tidak didapatkan secara *real time*.
3. Dibutuhkan suatu pengukuran yang lebih kompleks dan mahal.
4. Perangkat lunak dari komputer memainkan peranan penting dalam mengkalkulasi perhitungan dari pola antena.

Pelaksanaan dari eksperimen untuk pengukuran medan dekat memerlukan tiga langkah dasar, yaitu antara lain:

1. Dilakukan karakterisasi dari antena *probe*.
2. Menggunakan dua orientasi dari antena *probe*, dimana pengukuran dari medan tangential diperoleh pada interval yang dipilih pada sebuah permukaan di medan dekat antena uji.
3. Evaluasi pola medan jauh dilakukan terakhir, dan pada umumnya menggunakan algoritma *Fast Fourier Transform* (FFT).

Pengukuran medan dekat berdasarkan pada sistem koordinat yang digunakan untuk pemindaian dapat dibagi menjadi tiga bagian, yaitu sistem koordinat planar, silindris dan sferis. Ketiga sistem koordinat ini memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing pada pengukuran medan dekat, yaitu antara lain ditunjukkan oleh Tabel 2.1

Tabel 2.1 Perbandingan Tiga Sistem Koordinat Pemindaian Pengukuran Medan Dekat [7]

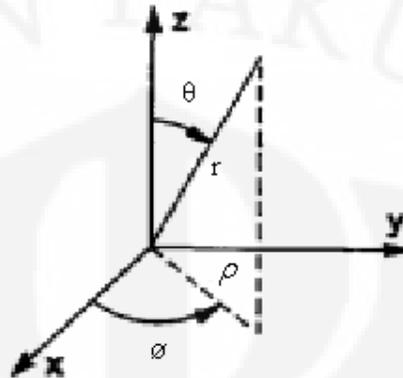
| Method    | Kompleksitas | Cakupan    | Kompleksitas |
|-----------|--------------|------------|--------------|
|           | Mekanik      | Pemindaian | Matematis    |
| Planar    | Sedang       | Rendah     | Sederhana    |
| Silindris | Sederhana    | Sedang     | Sedang       |
| Sferis    | Kompleks     | Baik       | Kompleks     |

Berdasarkan perbandingan antar sistem koordinat dalam pemindaian pengukuran medan dekat pada Tabel 2.1, dapat terlihat bahwa keunggulan utama dari sistem koordinat planar ialah mudah dalam matematis dan komputasinya. Namun, kekurangan dari sistem koordinat planar ialah polanya hanya dapat dikalkulasi pada daerah berbentuk *cone* dengan sudut kurang dari  $180^\circ$  [5]. Kekurangan tersebut dapat diatasi dengan melakukan pengukuran dengan sistem koordinat silindris. Pola yang terbentuk dapat mencapai sudut azimuth  $180^\circ$  untuk semua sudut elevasi, namun tidak termasuk dari sudut polar sferis. Untuk melakukan pengukuran sudut polar sferis, maka dapat menggunakan metode pengukuran sistem koordinat sferis, karena pengukuran dengan metode ini dapat mengukur pola lengkap sampai dengan  $4\pi$  steradian [5].

Pembagian berdasarkan tiga sistem koordinat tersebut selanjutnya memiliki beberapa fungsi dan penggunaan masing-masing dalam proses pengukuran medan dekat. Pada sistem koordinat planar banyak digunakan untuk antena gain tinggi yang hanya memerlukan sedikit kompensasi probe dan memiliki simulasi *zero gravity* yang baik. Sedangkan pengukuran medan dekat dengan sistem koordinat sferis biasanya digunakan untuk antena gain rendah dan antena *feed element*. Pada pemindaian dengan sistem koordinat sferis, hasil yang diperoleh sangat akurat dalam menggambarkan pola suatu antena dibandingkan dengan pemindaian metode yang lain. Sedangkan untuk pengukuran medan dekat silindris, biasanya digunakan untuk antena yang memiliki bentuk pola radiasi *omnidirectional* [2].

Secara umum, penggambaran geometri dari sistem koordinat silindris ialah dengan menggunakan koordinat-koordinat silindris. Definisi sudut digunakan

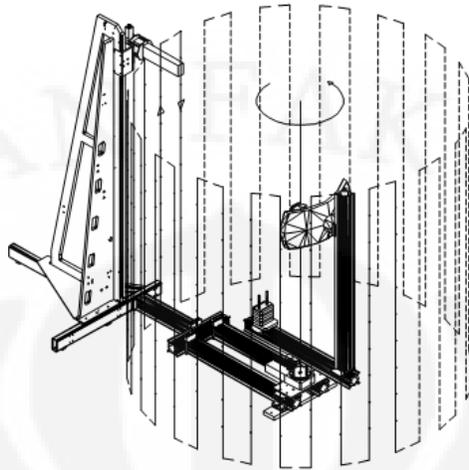
untuk menentukan sudut-sudut pada koordinat yang digunakan. Gambar 2.2 ialah penggambaran dari sistem koordinat yang digunakan dengan definisi sudut:



Gambar 2.2 Sistem Koordinat [17]

Pada Gambar 2.2 tersebut, terlihat bahwa sudut-sudut yang digunakan dalam pemindaian silindris, yaitu sudut  $\phi$  dan sudut  $\theta$ . Sudut  $\phi$  ialah sudut yang digunakan pada pemindaian silindris untuk bidang-XY. Sedangkan sudut  $\theta$  ialah sudut yang digunakan dalam pemindaian silindris untuk bidang-YZ.

Sudut-sudut tersebut pada pengukuran medan dekat silindris terbentuk dari pergerakan antara antena uji (*Antenna Under Test-AUT*) dan antena *probe*. Pergerakan dari AUT yang berputar akan membentuk sudut  $\phi$ . Sedangkan pergerakan dari antena *probe* pada sumbu-Z akan menyebabkan antena uji dipindai membentuk sebuah sudut elevasi, yang mana kemudian akan sama dengan sudut  $\theta$  pada bidang-YZ. Pergerakan dari kedua antena ini selanjutnya akan membentuk suatu pola pemindaian silindris yang melingkupi antena uji. Gambar 2.3 ialah penggambaran dari pola pemindaian silindris hasil pergerakan dari dua antena tersebut



Gambar 2.3 Pola Pemindaian Silindris [18]

Berdasarkan pada teknik yang disampaikan oleh Brown dan Jull pada tahun 1961, yang berdasarkan pada aplikasi dari teori integral keterbalikan Lorentz, maka pada tahun 1975 dilakukan penelitian oleh Leach dan Paris [4] mengenai perhitungan kompensasi probe pada pengukuran medan dekat silindris yang berbasiskan pada vektor gelombang silindris secara tiga dimensi pada medan elektromagnetik. Hasil dari penelitian tersebut ialah beberapa persamaan aljabar yang menegaskan mengenai hubungan antara medan dari antena *probe* dengan medan radiasi dari antena uji. Selanjutnya dari persamaan tersebut, maka akan dapat diperoleh pola medan jauh dari antena uji.

Pada frekuensi tertentu, suatu antena meradiasi suatu gelombang transversal elektromagnetik (TEM) pada bidang sferis pada medan jauh dari antena tersebut. Nilai intensitas dari medan magnet dan medan listrik yang diradiasikan akan dinyatakan dengan Persamaan (2.1) dan (2.2) [17]:

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

$$H(\theta, \phi) = \frac{1}{\eta} \left( E_{\theta}(\theta, \phi)\hat{\theta} - E_{\phi}(\theta, \phi)\hat{\phi} \right) \quad (2.2)$$

Pola medan jauh dari suatu permukaan dari sebuah lingkaran dengan radius R, maka intensitas medan listrik yang diradiasikan oleh antena dapat dituliskan pada Persamaan (2.3) dan (2.4) [4] :

$$E_{\theta}(\theta, \phi) = j \sin \theta \sum_{n=-\infty}^{n=\infty} j^n b_n(h) \exp(jn\phi) \quad (2.3)$$

$$E_{\phi}(\theta, \phi) = \sin \theta \sum_{n=-\infty}^{n=\infty} j^n a_n(h) \exp(jn\phi) \quad (2.4)$$

Nilai dari  $a_n(h)$  dan  $b_n(h)$ , dimana  $h$  adalah wave number dengan nilai  $h = k \cos \theta$  pada persamaan tersebut ialah sebuah fungsi bobot amplitudo dari faktor-faktor gelombang silindris pada perluasan gelombang silindris dari medan yang diradiasikan oleh antenna [7]. Kalkulasi dari Persamaan (2.3) dan (2.4) tersebut dapat dilakukan secara efisien dengan menggunakan algoritma *Fast Fourier Transform* (FFT). Komponen medan jauh selanjutnya dapat dihitung menjadi  $E_{\theta}$  dan  $E_{\phi}$  dimana berlaku Persamaan (2.5) [4]:

$$\phi_n = \frac{2n\pi}{N} \quad 0 \leq n \leq N-1 \quad (2.5)$$

Persamaan mengenai fungsi bobot amplitudo pada gelombang silindris dari antenna test ini selanjutnya akan direlasikan dengan sebuah transformasi Fourier dari tegangan output pada sebuah antenna *probe* ketika permukaan dari pengukurannya ialah sebuah silinder dengan radius  $r_0$ . Fungsi bobot amplitudo pada gelombang silindris dapat dicari dengan Persamaan (2.7) dan (2.6) [4]

$$a_n(h) = \frac{k^2}{\Lambda^2 \Delta_n(h)} \left( I_n(h) \sum_{m=-\infty}^{m=\infty} d_m'(-h) H_{n+m}^{(2)}(\Lambda r_0) - I_n'(h) \sum_{m=-\infty}^{m=\infty} d_m(-h) H_{n+m}^{(2)}(\Lambda r_0) \right) \quad (2.6)$$

$$b_n(h) = \frac{k^2}{\Lambda^2 \Delta_n(h)} \left( I_n'(h) \sum_{m=-\infty}^{m=\infty} c_m(-h) H_{n+m}^{(2)}(\Lambda r_0) - I_n(h) \sum_{m=-\infty}^{m=\infty} c_m'(-h) H_{n+m}^{(2)}(\Lambda r_0) \right) \quad (2.7)$$

Dimana nilai dari  $\Lambda$  ialah  $\Lambda = \sqrt{k^2 - h^2}$ .  $k$  ialah sebuah konstanta dengan nilai  $2\pi/\lambda$  dan  $h$  ialah sebuah *wave number*. Nilai dari  $H_{n+m}^{(2)}$  ialah fungsi dari Hankel jenis dua. Sedangkan nilai dari  $c_m(-h)$ ,  $c_m'(-h)$ ,  $d_m(-h)$ ,  $d_m'(-h)$  ialah nilai dari koefisien *probe* yang digunakan untuk kompensasi dari *probe*. Sementara itu, nilai

dari  $\Delta_n$  ialah determinan dari persamaan sistem yang ditunjukkan oleh Persamaan (2.8) [4]:

$$\Delta_n(h) = \left( \sum_{m=-\infty}^{m=\infty} c_m(-h) H_{n+m}^{(2)}(\Lambda r_0) \right) \left( \sum_{m=-\infty}^{m=\infty} d_m'(-h) H_{n+m}^{(2)}(\Lambda r_0) \right) - \left( \sum_{m=-\infty}^{m=\infty} c_m'(-h) H_{n+m}^{(2)}(\Lambda r_0) \right) \left( \sum_{m=-\infty}^{m=\infty} d_m(-h) H_{n+m}^{(2)}(\Lambda r_0) \right) \quad (2.8)$$

Selanjutnya, nilai dari  $I_n$  dan  $I_n'$  yang merupakan sebuah fungsi dari tegangan kompleks output pada probe yang direpresentasikan oleh Persamaan (2.9) dan (2.10) [4]:

$$I_n(h) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\pi}^{\pi} v(r_0, \phi, z) \exp(-jn\phi) \exp(jhz) d\phi dz \quad (2.9)$$

$$I_n'(h) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\pi}^{\pi} v'(r_0, \phi, z) \exp(-jn\phi) \exp(jhz) d\phi dz \quad (2.10)$$

Nilai dari  $v(r, \phi, z)$  adalah tegangan output ketika polarisasi vertikal dari antenna *probe*, sedangkan  $v'(r, \phi, z)$  ialah tegangan output dari antenna *probe*, ketika diputar  $90^\circ$  sesuai dengan sumbu longitudinalnya.

Fungsi-fungsi berupa  $I_n(h)$  dan  $I_n'(h)$  terdiri atas integral Fourier kompleks dua dimensi yang selanjutnya akan dapat dikalkulasikan secara numerik dengan efisien menggunakan algoritma *Fast Fourier Transform* (FFT).

Permukaan dari pengukuran silindris dapat dibagi menjadi beberapa kisi-kisi dari titik dengan koordinat  $(r_0, n\Delta\theta, m\Delta z)$ , dimana nilai batasan yang berlaku  $0 \leq n \leq N-1$  dan  $0 \leq m \leq M-1$ . Nilai dari  $M$  dan  $N$  adalah sebuah bilangan bulat positif yang diambil dari jumlah sampling pada silinder yang dibentuk dari pemindaian.

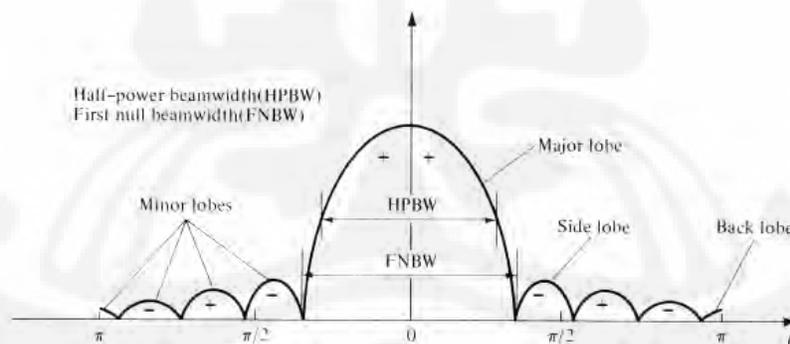
Untuk mendapatkan nilai dari sampling yang akurat dalam evaluasi dari integral Fourier, maka diperlukan jarak spasi delta yang sesuai dengan kriteria-kriteria yang telah ditentukan. Kriteria tersebut adalah saat  $\Delta z \leq \lambda/2$  dan saat  $\Delta\phi \leq \pi/k.a$ , dimana nilai dari  $\lambda$  ialah panjang gelombang dari antenna uji, dan nilai dari  $a$  ialah radius dari silinder terkecil dengan bagian tengah bertepatan dengan sumbu  $z$  yang menyelimuti antenna.

## 2.4 Pola Radiasi sebagai Parameter Antena

Parameter-parameter dari antena digunakan untuk menjelaskan performansi dari suatu antena. Secara umum, ada banyak parameter dari antena yang dapat dilakukan pengukuran untuk mendapatkan hasil berupa performansi suatu antena. Menurut [1], beberapa parameter antena yaitu antara lain ialah pola radiasi, lebar pancaran (*beamwidth*), keterarahan (*directivity*), efisiensi antena, gain, efisiensi pancaran, polarisasi, bandwidth, dan lainnya.

Pada pengukuran medan dekat silindris ini, hasil dari transformasi data medan dekat ke data medan jauh berupa parameter antena yang disebut dengan pola radiasi. Pola radiasi ialah representasi grafis dari properti radiasi suatu antena sebagai fungsi dari koordinat ruang. Properti dari radiasi dapat berupa densitas fluks, intensitas radiasi, kuat medan, keterarahan, polarisasi atau fasa[1].

Pada umumnya, medan atau pola daya digambarkan dalam normalisasi terhadap nilai maksimumnya[1]. Umumnya, pola daya digambarkan dalam satuan skala logaritma atau lebih sering dalam skala desibel (dB). Bagian-bagian dari pola radiasi dinamakan sebagai *lobes* yang dapat dibagi menjadi beberapa bagian, yaitu *major* atau *mainlobe*, *minorlobe*, *sidelobe*, dan *backlobe*. Gambar 2.4 menunjukkan *lobes* radiasi dari pola sebuah antena :



Gambar 2.4 Pola Radiasi Antena serta bagian-bagian dari *Lobes* Radiasinya[1]

Dari bagian-bagian dari *lobes* pada Gambar 2.4 tersebut, *mainlobe* ialah *lobe* radiasi yang berisi arah maksimum dari radiasi. Sedangkan *minorlobe* ialah merepresentasikan radiasi pada arah yang tidak diinginkan. *Sidelobe* ialah sebuah *lobe* radiasi pada semua arah yang lain daripada *lobe* yang diinginkan. Dan yang terakhir ialah *backlobe* yaitu sebuah *lobe* radiasi yang porosnya membentuk sudut sebesar  $180^\circ$  terhadap beam dari suatu antena.

## 2.5 FFT (*Fast Fourier Transform*)

Untuk melakukan transformasi medan dekat ke medan jauh dari sistem koordinat silindris, digunakan algoritma *Fast Fourier Transform* (FFT) untuk kalkulasi dari beberapa persamaannya. FFT adalah salah satu penyelesaian dari *Discrete Fourier Transform* (DFT). FFT menggunakan algoritma yang lebih efisien dari DFT dalam melakukan perhitungan, sehingga akan mempercepat waktu dari perhitungannya.

Dalam perhitungan transformasi medan dekat ke medan jauh dari sistem koordinat silindris, terdapat integral dalam bentuk  $\int \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) e^{j(ux+vy)} dx dy$ , seperti yang ditunjukkan oleh Persamaan (2.9) dan (2.10) Integral rangkap dua tersebut dapat diselesaikan dengan menggunakan prinsip perhitungan DFT [8]. Selain itu, pada persamaan untuk perhitungan dari medan jauh dari intensitas medan listrik yang diradiasikan oleh antenna uji dapat juga menggunakan prinsip perhitungan dengan DFT. Persamaan umum dari DFT dapat dilihat pada Persamaan (2.11):

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-jnx_k} \quad (2.11)$$

Dimana nilai dari  $x_k$  dapat diperoleh dari Persamaan (2.12):

$$x_k = \frac{2\pi k}{N} \quad (2.12)$$

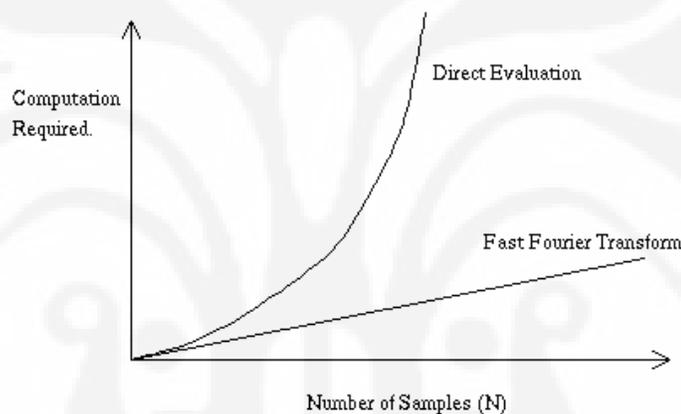
Dimana nilai dari  $k = 0, \dots, N-1$ . Maka dengan mensubstitusi Persamaan (2.11) ke Persamaan (2.12), maka persamaan umum dari DFT akan menjadi Persamaan (2.13)

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-j2\pi k \frac{n}{N}} \quad (2.13)$$

Persamaan (2.9) dan (2.10) dapat diperhitungkan dengan menggunakan perhitungan DFT dikarenakan bentuk umumnya akan sama dengan persamaan (2.13). Persamaan umum dari DFT tersebut nampak sulit untuk dikerjakan, dikarenakan sulit untuk melakukan operasi perkalian dan penjumlahan dalam bilangan kompleks terutama dalam jumlah sample yang banyak. Untuk menghitung Persamaan (2.13) secara langsung, maka akan diperlukan operasi

perhitungan sebanyak  $O(N^2)$ , dimana ada sebanyak  $N$  output dari  $X_k$  dan setiap dari outputnya membutuhkan penjumlahan dari  $N$  bagian.

Permasalahan tersebut dapat diselesaikan dengan menggunakan metode FFT, yang mana merupakan suatu metode komputasi dari DFT yang lebih efisien dalam perhitungannya. FFT hanya membutuhkan operasi perhitungan sebanyak  $O(N) \log_2 N$ , sehingga perhitungannya akan lebih efisien dibandingkan dengan menghitung menggunakan DFT secara langsung yang memerlukan operasi perhitungan sebanyak  $O(N^2)$ . Gambar 2.5 menerangkan perbandingan kebutuhan dari komputasi yang diperlukan antara FFT dengan DFT jika dilihat dari perubahan jumlah dari sample ( $N$ )



Gambar 2.5 Perbandingan Komputasi antara DFT dan FFT [19]

Menurut penjelasan dari [17], untuk dapat menggunakan algoritma FFT secara maksimum untuk melakukan perhitungan dari fungsi DFT, jumlah data dari medan dekat yang diukur harus sama dengan  $2^N$  dimana nilai dari  $N$  ialah sebuah bilangan bulat.

## 2.6 Fungsi Hankel

Fungsi Hankel ialah suatu fungsi yang berupa fungsi kompleks yang juga dapat disebut sebagai fungsi Bessel jenis ketiga atau fungsi Weber adalah sebuah kombinasi linear dari fungsi Bessel jenis pertama dan jenis kedua [12]. Fungsi ini digunakan untuk analisis perambatan ke arah radial.

Fungsi Hankel terdiri atas dua jenis, yaitu jenis pertama ( $H_\alpha^{(1)}(x)$ ) dan jenis kedua ( $H_\alpha^{(2)}(x)$ ). Fungsi Hankel jenis pertama digunakan untuk

mengekspresikan propagasi gelombang silindris bagian luar dari persamaan propagasi gelombang silindris, sedangkan fungsi Hankel jenis kedua digunakan untuk mengekspresikan propagasi gelombang silindris bagian dalam dari persamaan gelombang silindris. Fungsi Hankel jenis pertama memiliki bentuk umum dari persamaannya sebagai berikut:

$$H_{\alpha}^{(1)}(x) = J_{\alpha}(x) + jY_{\alpha}(x) \quad (2.14)$$

Sedangkan untuk fungsi Hankel jenis kedua memiliki bentuk umum dari persamaannya sebagai berikut:

$$H_{\alpha}^{(2)}(x) = J_{\alpha}(x) - jY_{\alpha}(x) \quad (2.15)$$

Dimana nilai dari  $j$  ialah satuan imajiner yaitu  $\sqrt{-1}$ . Persamaan (2.14) dan (2.15) menerangkan tentang hubungan antara fungsi Hankel dengan fungsi Bessel. Seperti yang telah disebutkan bahwa fungsi Hankel adalah suatu kombinasi linier dari fungsi Bessel jenis satu  $J_{\alpha}(x)$  dan fungsi Bessel jenis kedua  $Y_{\alpha}(x)$ . Fungsi Bessel ini memiliki aplikasi yang sangat banyak, terutama untuk penyelesaian masalah propagasi gelombang.

Fungsi Bessel jenis satu adalah sebuah penyelesaian dari persamaan diferensial yang berbentuk seperti Persamaan (2.16) yang tidak tunggal pada origin ( $x = 0$ ):

$$x^2 \frac{d^2 y}{dx^2} + x \frac{dy}{dx} + (x^2 - \nu^2)y = 0 \quad (2.16)$$

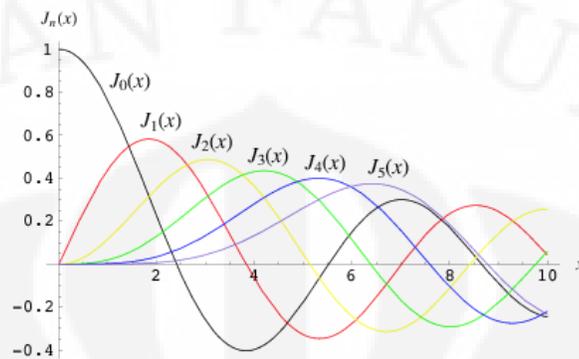
Fungsi Bessel jenis satu  $J_{\alpha}(x)$  dimana ketika nilai  $\alpha = n$  didefinisikan sebagai Persamaan (2.17) [10]:

$$J_n(x) = x^n \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(-1)^m x^{2m}}{2^{2m+n} m!(n+m)!} \quad (2.17)$$

Fungsi Bessel jenis satu ini juga dapat disebut sebagai fungsi silindris atau silinder harmonik [12]. Selanjutnya, ketika nilai dari  $\alpha = -n$ , maka persamaan dari fungsi Bessel akan menjadi Persamaan (2.18):

$$J_{-n}(x) = (-1)^n J_n(x) \quad (2.18)$$

Gambar 2.6 adalah gambaran dari plot penyelesaian dari  $J_n(x)$  untuk nilai  $n = 0, 1, 2, \dots, 5$



Gambar 2.6 Penyelesaian untuk Fungsi Bessel jenis satu  $J_n(x)$  [12]

Fungsi Bessel jenis kedua ialah penyelesaian dari persamaan diferensial pada Persamaan (2.10) yang tunggal pada origin ( $x = 0$ ). Fungsi Bessel jenis dua  $Y_\alpha(x)$  didefinisikan sebagai persamaan (2.19) [10]:

$$Y_\alpha(x) = \frac{J_\alpha(x) \cos(\alpha\pi) - J_{-\alpha}(x)}{\sin(\alpha\pi)} \quad (2.19)$$

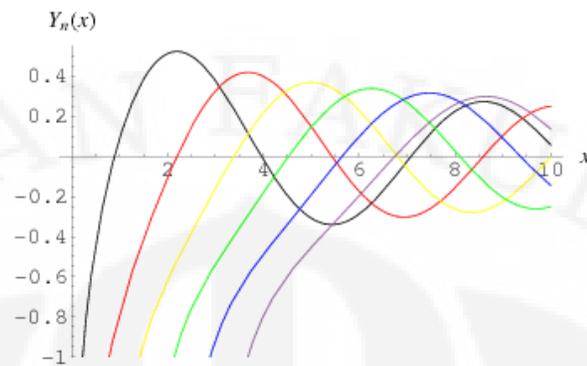
Pada kasus dimana pada orde  $n$  yang berupa bilangan bulat, fungsi Bessel jenis dua ini dijelaskan dengan mengambil limit dari nilai  $\alpha$  yang tidak berupa bilangan bulat mendekati nilai  $n$ , yaitu sebagai berikut:

$$Y_n(x) = \lim_{\alpha \rightarrow n} Y_\alpha(x) \quad (2.20)$$

Selanjutnya, ketika nilai dari  $\alpha = -n$ , maka terdapat hubungan dari persamaan tersebut menjadi:

$$Y_{-n}(x) = (-1)^n Y_n(x) \quad (2.21)$$

Gambar 2.7 adalah gambaran dari plot penyelesaian dari  $Y_n(x)$  untuk nilai  $n = 0, 1, 2, \dots, 5$



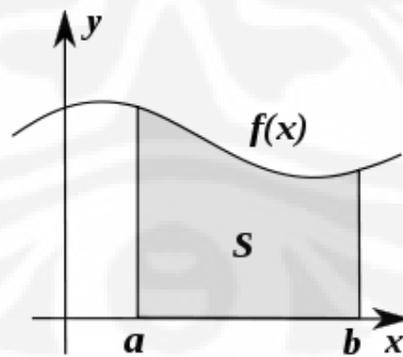
Gambar 2.7 Penyelesaian untuk Fungsi Bessel jenis dua  $Y_n(x)$  [12]

## 2.7 Integrasi Numerik dengan Integral Trapesium

Integral Numerik ialah evaluasi dari suatu integrasi dengan menggunakan metode numerik [10]. Berikut ini adalah persamaan dari integrasi secara umum, yaitu:

$$S = \int_a^b f(x)dx \quad (2.22)$$

dimana nilai dari  $a$  dan  $b$  ialah batas dari integral yang diberikan, dan  $f(x)$  adalah suatu fungsi yang akan dianalisis. Maka secara geometris pada Gambar 2.8, nilai dari  $S$  ialah sebuah luasan daerah di bawah kurva yang dibentuk oleh fungsi  $f(x)$  dengan batas antara  $a$  dan  $b$ .

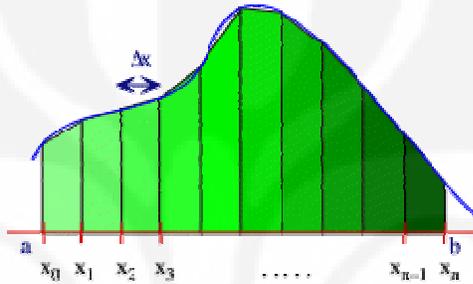


Gambar 2.8 Interpretasi Geometris dari integral *definite* [13]

Metode integrasi secara numerik diperoleh dengan melakukan aproksimasi dari integran  $f$  dengan menggunakan fungsi yang dapat dengan mudah untuk diintegrasikan [10]. Ada dua aturan yang dapat digunakan dalam integrasi secara

numerik, yaitu dengan menggunakan aturan rektangular dan yang lain ialah dengan menggunakan aturan trapesium atau integral trapesium [10].

Pada skripsi ini, akan dibahas mengenai integral numerik dengan menggunakan integral trapesium. Pada teknik integrasi ini, kita dapat memperoleh hasilnya dengan membagi perbagian dari daerah di bawah kurva menjadi bentuk-bentuk seperti trapesium. Gambar 2.9 menunjukkan pembagian dari daerah dibawah kurva dengan bentuk-bentuk trapesium dengan batas integrasi antara a sampai dengan b:



Gambar 2.9 Integrasi Numerik menggunakan integral Trapesium [13]

Selanjutnya kita akan dapat melakukan penjumlahan dari masing-masing luas trapesium yang terbentuk dari daerah dibawah kurva tersebut untuk memperoleh hasil integrasi numerik dengan menggunakan aturan trapesium. Luas daerah yang dibentuk dari masing-masing trapesium yang terbentuk dari kiri ke kanan ialah:

$$\text{Trapezium Paling Kiri : } \frac{1}{2}(f(x_0) + f(x_1))\Delta x$$

$$\text{Trapezium Selanjutnya : } \frac{1}{2}(f(x_1) + f(x_2))\Delta x$$

...

$$\text{Trapezium Terakhir : } \frac{1}{2}(f(x_{n-1}) + f(x_n))\Delta x$$

$$\text{Penjumlahan Trapezium} = \frac{1}{2}(f(x_0) + f(x_1))\Delta x + \dots + \frac{1}{2}(f(x_{n-1}) + f(x_n))\Delta x \quad (2.23)$$

Penjumlahan dari semua trapesium yang terbentuk antara batas daerah  $a$  sampai dengan  $b$  seperti ditunjukkan pada Persamaan (2.23) akan menghasilkan integrasi numerik dengan menggunakan aturan integral trapesium ini.

## 2.8 Faktor Kompensasi Probe

Untuk evaluasi dari Persamaan (2.6) dan (2.7) untuk fungsi bobot amplitudo pada ekspansi gelombang silindris dari medan jauh yang diradiasikan oleh antenna uji, maka penting untuk mengetahui fungsi bobot amplitudo pada medan yang diradiasikan oleh *probe* [4]. Fungsi tersebut dapat dicari dari *probe* ketika dihubungkan dengan sumber sinyal.

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, bahwa untuk mengkompensasi dari efek *probe* dalam kalkulasi dari medan jauh antenna uji, maka diperlukan untuk mencari nilai-nilai dari koefisien *probe* yang berupa  $c_n(h)$ ,  $d_n(h)$ ,  $c_n'(h)$  dan  $d_n'(h)$  dengan argumen  $h = -k \cos \theta_m = k \cos (180^\circ - \theta_m)$ , dimana nilai dari  $\theta_m$  adalah sudut elevasi yang dibentuk saat perhitungan dari medan jauh antenna uji. Bentuk dari pola kompensasi dari *probe*, yaitu berupa ekspansi gelombang silindris dari medan probe pada dapat dilihat pada persamaan (2.24) dan (2.25) [14] :

$$c_m(-h) = \frac{1}{j^m \sin \theta} \int_{-\phi_1}^{\phi_1} E_\phi(\theta, \phi) \cdot \exp(-jm\phi) d\phi \quad (2.24)$$

$$d_m(-h) = \frac{1}{j^{m+1} \sin \theta} \int_{-\phi_1}^{\phi_1} E_\theta(\theta, \phi) \cdot \exp(-jm\phi) d\phi \quad (2.25)$$

Nilai dari  $\phi_1$  ialah nilai dari sudut yang digunakan ketika melakukan pengukuran medan jauh antenna *probe*. Selain itu, perhitungan diatas juga dilakukan untuk posisi dari probe ketika diputar  $90^\circ$  sesuai dengan sumbu longitudinalnya. Hal tersebut akan menghasilkan nilai dari  $c_m'(-h)$  dan juga nilai  $d_m'(-h)$ . Maka persamaannya akan menjadi seperti pada Persamaan (2.26) dan (2.27) [14] :

$$c_m'(-h) = \frac{1}{j^m \sin \theta} \int_{-\phi_1}^{\phi_1} E_\phi'(\theta, \phi) \cdot \exp(-jm\phi) d\phi \quad (2.26)$$

$$d_m'(-h) = \frac{1}{j^{m+1} \sin \theta} \int_{-\phi_1}^{\phi_1} E_\theta'(\theta, \phi) \cdot \exp(-jm\phi) d\phi \quad (2.27)$$

Pada persamaan-persamaan tersebut, integral pada bagian kanan dapat diselesaikan dengan menggunakan aturan integral secara numerik menggunakan integral trapesium. Pada perhitungan tersebut, nilai dari  $\theta$  akan disesuaikan dengan nilai  $\theta_m$ , oleh karena sudut elevasi antara antenna uji dengan sudut elevasi dari *probe* akan saling berhubungan. Koefisien-koefisien dari *probe* tersebut selanjutnya disubstitusikan ke Persamaan (2.6) dan (2.7) untuk digunakan sebagai faktor kompensasi dari kompensasi *probe*.

### BAB 3

## PERANCANGAN PERANGKAT LUNAK DAN PERANCANGAN PENGUKURAN MEDAN DEKAT METODE SILINDRIS

### 3.1 Perancangan Perangkat Lunak Untuk Transformasi

Pada perancangan perangkat lunak yang akan digunakan untuk transformasi medan dekat ke medan jauh, digunakan program MATLAB (*Matrix Laboratory*) dengan versi R2009B sebagai *Integrated Development Environment* (IDE). IDE ialah aplikasi perangkat lunak yang memberikan fasilitas untuk programmer computer dalam mendesain atau membangun suatu perangkat lunak. Pada program MATLAB, aplikasi yang digunakan dalam membangun suatu perangkat lunak dinamakan dengan *m-file*.

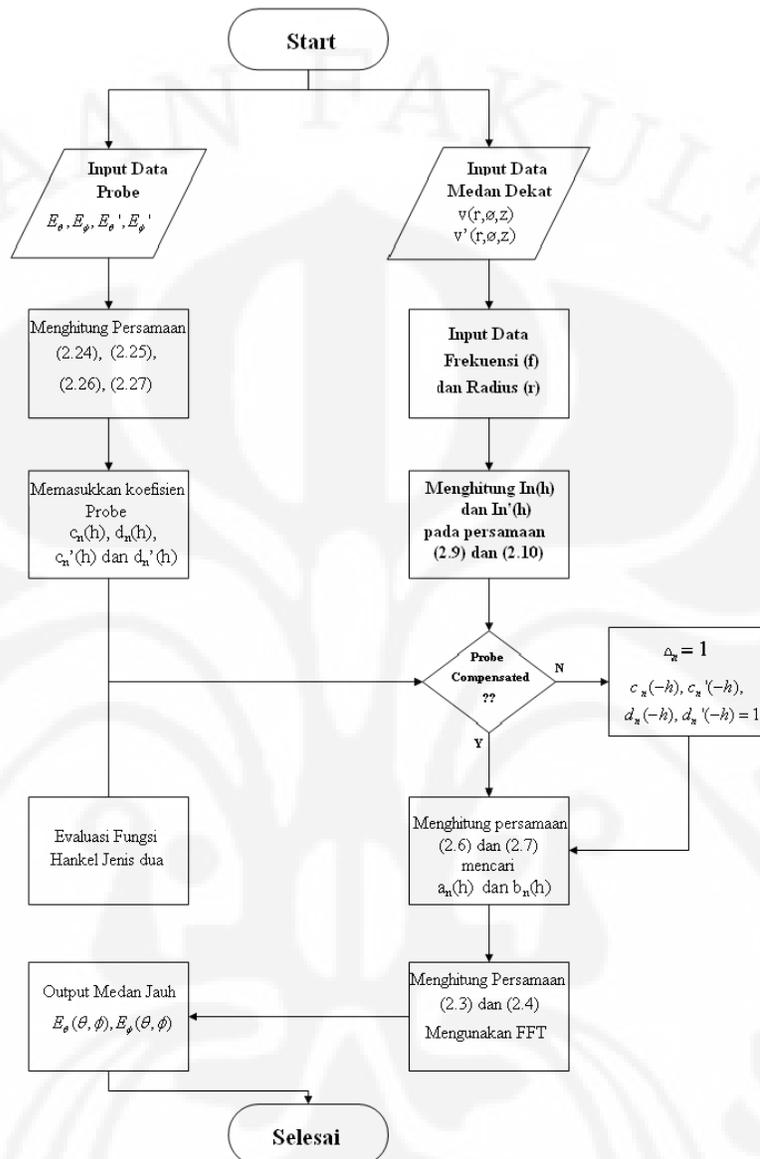
MATLAB pada dasarnya dikembangkan untuk pemrograman yang digunakan untuk penyelesaian kasus-kasus yang berhubungan dengan ilmu matematika. Pada pemrograman dengan menggunakan MATLAB, pengembangan dari suatu perangkat lunak yang berhubungan dengan perhitungan-perhitungan kompleks dibuat menjadi mudah, dikarenakan bahasa pemrograman yang digunakan sintaks sederhana yang hampir menyerupai dengan bahasa pemrograman C. Selain itu, MATLAB juga mampu untuk melakukan visualisasi dari hasil dalam 2D dan 3D. Dan kelebihan lain dari MATLAB ialah kemudahan dalam penggunaannya semakin ditunjang dengan kemudahan dari perangkat bantuannya (*help console*).

Kelebihan lain yang dimiliki oleh MATLAB ialah sudah terintegrasinya beberapa fungsi-fungsi khusus yang banyak digunakan dalam proses transformasi medan dekat ke medan jauh. Fungsi-fungsi tersebut hanya perlu dipanggil dengan sintaks-sintaks tertentu yang sudah ditentukan dalam penggunaan di MATLAB. Beberapa fungsi yang dapat langsung digunakan dalam pembuatan perancangan perangkat lunak ini ialah antara lain :

1. Penggunaan dari algoritma *Fast Fourier Transform* (FFT) yang ada pada MATLAB, yaitu dengan menggunakan sintaks **fft(x)** pada pemrogramannya.

2. Penggunaan dari fungsi Hankel jenis kedua pada MATLAB, yaitu dengan menggunakan sintaks **besselh(nu,k,z)** pada pemrogramannya. Sintaks tersebut akan menghitung fungsi Hankel  $H_v^{(k)}(z)$ , dimana nilai dari k ialah menunjukkan jenis fungsi Hankel tersebut yaitu jenis 1 atau  $k = 1$  dan jenis 2 atau  $k = 2$ . Jika nilai nu dan nilai z adalah array dengan ukuran yang sama, maka hasilnya ialah sesuai dengan array ukuran tersebut.
3. Penggunaan dari integral numerik dengan menggunakan integral trapesium pada MATLAB dengan menggunakan sintaks **trapz(Y)**. jika input dari Y adalah matriks, maka integral trapesium ini akan dilakukan per kolom dari matriks tersebut.
4. Penggunaan dari fungsi plot grafik secara kartesian pada MATLAB dengan menggunakan sintaks **plot(X,Y,Linespec)**.
5. Penggunaan dari fungsi plot grafik polar pada MATLAB dengan menggunakan sintaks **polar(theta, rho, Linespec)**.

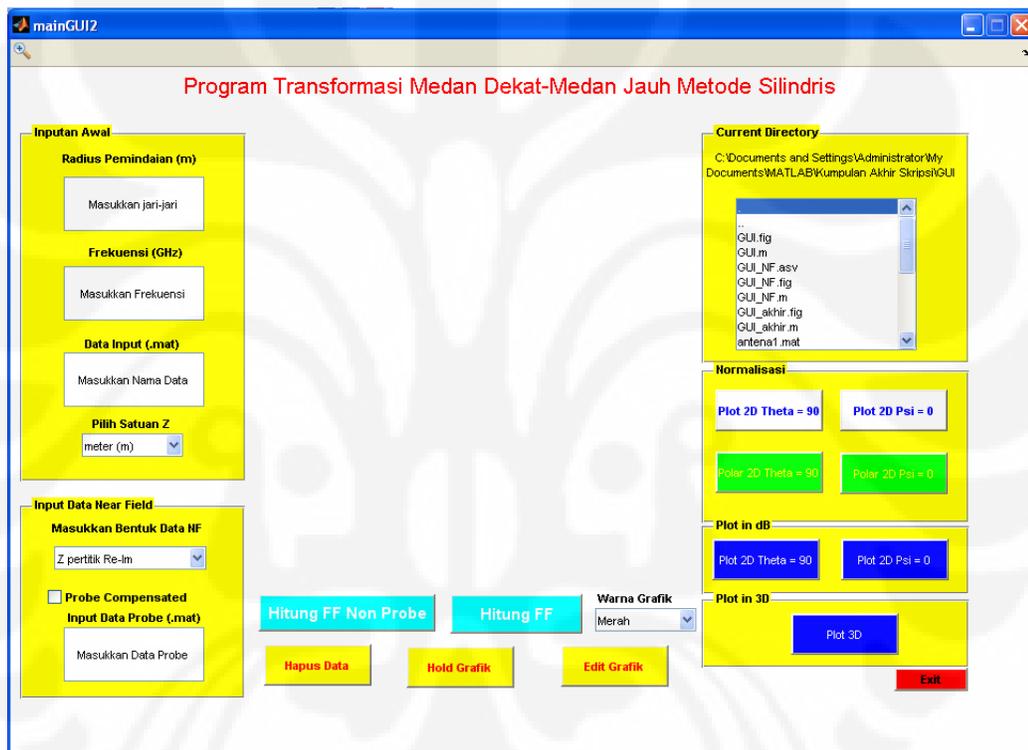
Untuk merancang suatu perangkat lunak, maka diperlukan suatu diagram alir yang menggambarkan proses-proses yang dilakukan pada perangkat lunak yang dirancang. Hal ini dilakukan untuk memudahkan dalam merancang algoritma yang akan dikerjakan ketika akan melakukan coding pada perangkat lunak yang dirancang. Berikut ini pada Gambar 3.1 berikut menggambarkan suatu diagram alir tentang proses-proses yang dilakukan dalam perangkat lunak untuk transformasi medan dekat ke medan jauh dengan menggunakan sistem koordinat silindris :



Gambar 3.1 Diagram alir perancangan perangkat lunak

Gambar 3.1 tersebut menggambarkan algoritma dasar dari perangkat lunak yang dirancang, dimana dalam proses perhitungannya, digunakan persamaan-persamaan dasar dari transformasi medan dekat ke medan jauh dengan sistem koordinat silindris yang telah dijelaskan pada Bab 2. Hasil yang diperoleh dengan menggunakan transformasi tersebut ialah medan jauh yang selanjutnya akan diplot pada grafik.

Untuk mempermudah proses implementasi dari perangkat lunak yang dirancang, maka dibuatlah suatu *Graphical User Interface* (GUI) yang menyediakan suatu fasilitas dari *menu*, *pushbutton*, *lisbox* dan *checkbox* untuk kemudahan dari penggunaan pada perangkat lunak yang dirancang serta untuk berinteraksi secara langsung dengan lebih baik antara file dan program yang digunakan. Gambar 3.2 menunjukkan GUI hasil perancangan dari perangkat lunak untuk transformasi medan dekat ke medan jauh:



Gambar 3.2 Tampilan Halaman Program dengan GUI

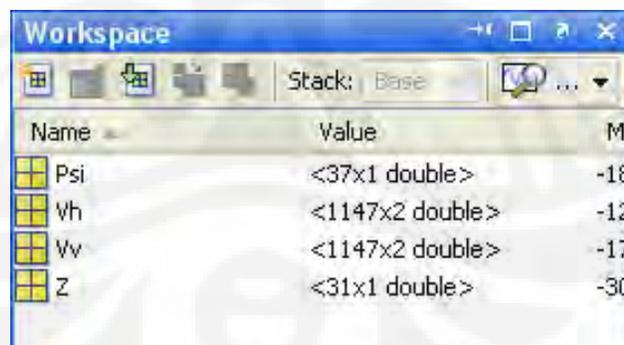
### 3.2 Alur Proses dari Kerja Perangkat Lunak

Alur proses dari kerja perangkat lunak yang dirancang selanjutnya akan dibagi menjadi tahap demi tahap dari proses perancangannya untuk mempermudah dalam perhitungan-perhitungan dari masing-masing bagian. Berikut ini adalah penjelasan dari bagian-bagian tahap perancangan dari perangkat lunak seperti yang dijelaskan pada Gambar 3.1

### 3.2.1 Penerimaan dari Inputan Data Awal Medan Dekat

Pada penerimaan inputan data awal, data-data yang diterima ialah antara lain data frekuensi kerja yang digunakan, jari-jari silinder serta data awal dari medan dekat yang digunakan. Pada program yang dirancang, nilai dari frekuensi akan masuk ke variabel  $f$  dan jari-jari silinder akan dimasukkan ke dalam variable  $r$ . Selanjutnya dari data inputan frekuensi, maka akan dicari nilai dari panjang gelombang sesuai dengan persamaan  $\lambda = \frac{c}{f}$  dimana nilai dari  $c$  ialah kecepatan cahaya yang sama dengan  $3 \times 10^8$  m/s. Selanjutnya nilai dari panjang gelombang ini akan dimasukkan pada variabel **lambda** pada program..

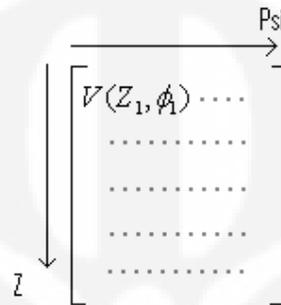
Inputan berupa data awal dari medan dekat ialah berupa inputan dari nilai tegangan kompleks respon dari *probe*, yaitu nilai  $v(r,\theta,z)$  dan  $v'(r,\theta,z)$  yang sesuai dengan posisi pada sudut  $\theta$  dan sudut elevasi ( $90^\circ-\theta$ ) yang dibentuk oleh nilai dari  $Z$ . Inputan ini selanjutnya akan masuk pada *workspace* MATLAB untuk disimpan dan persiapan untuk langkah selanjutnya. Berikut ini adalah tampilan *workspace* pada MATLAB yang menggambarkan inputan data berupa  $V_v$  yang merupakan representasi dari tegangan kompleks  $v(r,\theta,z)$ ,  $V_h$  yang merupakan representasi dari tegangan kompleks  $v'(r,\theta,z)$ ,  $\Psi$  yang merupakan representasi dari sudut  $\theta$  dan  $Z$  yang merupakan representasi dari jarak pemindaian pada sumbu  $Z$  seperti pada Gambar 3.3:



Gambar 3.3 Tampilan *workspace* pada MATLAB untuk inputan awal

Pada inputan data tersebut, nilai dari  $\Psi$  ialah berupa sudut  $\theta$  dalam satuan derajat. Sedangkan untuk nilai  $Z$  ialah jarak pemindaian dengan satuan dalam sentimeter (cm). sedangkan untuk nilai  $V_v$  dan  $V_h$  ialah nilai medan dekat kompleks dengan satuan berupa Volt (V).

Selanjutnya inputan data berupa  $V_v$  dan  $V_h$  yang berupa nilai kompleks tersebut akan diatur sedemikian rupa untuk membentuk matriks baris dan kolom, dimana matriks baris ialah matriks dengan nilai  $V$  sesuai dengan perubahan nilai  $Z$ , sedangkan matriks kolom ialah matriks dengan nilai  $V$  sesuai dengan perubahan nilai sudut  $\phi$  seperti ditunjukkan pada Gambar 3.4 :



Gambar 3.4 Tampilan urutan Matriks

Ada beberapa metode dalam memasukkan nilai kompleks ke dalam matriks, yaitu dengan menentukan bentuk dari datanya, apakah dia merupakan hasil dari pemindaian dengan nilai  $Z$  pertitik atau merupakan hasil pemindaian dengan nilai  $\Psi$  pertitik. Selain kedua hal tersebut, untuk memasukkan data ke dalam matriks, juga perlu ditentukan nilai dari  $V_v$  dan  $V_h$  yang diambil apakah berupa nilai real dan imajiner atau berupa nilai amplitudo dan fasa. Untuk nilai  $V_v$  dan  $V_h$  berupa nilai real dan imajiner, maka nilai real dan imajiner tersebut selanjutnya akan langsung dimasukkan ke dalam persamaan  $(Re + j * Imag)$ . Sedangkan untuk nilai dari  $V_v$  dan  $V_h$  berupa amplitudo dan fasa, maka nilai tersebut akan dimasukkan ke dalam persamaan  $(Mag * \exp^{j * Phase})$  [2].

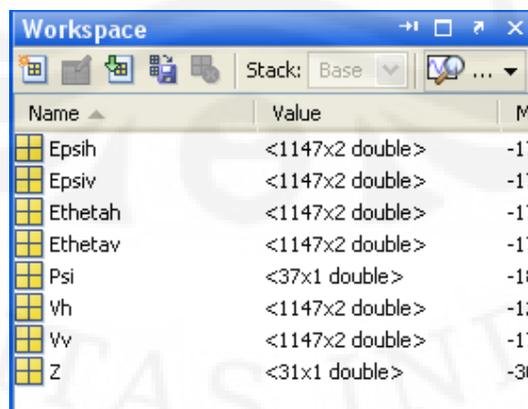
Selanjutnya jumlah dari banyaknya nilai sudut  $\phi$  akan sama dengan  $N$ , sedangkan jumlah dari banyaknya nilai  $Z$  akan sama dengan  $M$ . Maka, dengan menentukan banyak nilai dari masing-masing kolom dan baris, maka akan terbentuk matriks dengan ukuran  $M \times N$ . Nilai dari  $M$  dan  $N$  ini akan dijadikan sebagai referensi untuk melakukan iterasi dalam hal memasukkan nilai dari data kedalam bentuk *array* dari matriks. Sementara itu, untuk nilai dari  $Z$  dan sudut  $\phi$ , selanjutnya juga akan dibentuk ke dalam bentuk *array* matriks, dimana  $Z$  akan berbentuk matriks  $M \times 1$  dan sudut  $\phi$  akan berbentuk matriks  $1 \times N$ .

Setelah dibentuk dalam matriks, maka nilai dari  $Z$  akan dibentuk menjadi sudut  $\theta$  dan sudut elevasinya ( $90^\circ - \theta$ ). Pembentukan dari sudut ini dengan menggunakan hukum Pythagoras dari segitiga, yaitu dimana nilai dari  $Z$  dan nilai dari jari-jari silindris  $r$  merupakan sisi-sisi dari segitiga. Selanjutnya maka kita akan mencari nilai dari sudut elevasi yang terbentuk antara hubungan keduanya, dan setelah itu akan dapat dihitung nilai dari sudut  $\theta$ .

### 3.2.2 Penerimaan dari Inputan Data Probe

Pada penerimaan dari inputan data *probe*, data-data pada medan jauh *probe* akan dimasukkan ke dalam program untuk dihitung koefisien *probe* dan selanjutnya akan digunakan sebagai kompensasi dari *probe*. Data-data medan jauh yang diterima oleh *probe* ialah berupa medan jauh saat polarisasi vertikal  $E_\theta$  dan  $E_\phi$ . Selain itu, medan jauh dari *probe* saat dipindai dengan polarisasi horizontal juga termasuk dalam data yang diterima, yaitu  $E_\theta'$  dan  $E_\phi'$ . Nilai dari  $E_\theta$  dan  $E_\phi$  pada perangkat lunak yang dirancang akan dilambangkan dengan variabel  $E_{\theta v}$  dan  $E_{\phi v}$ . Sedangkan untuk medan  $E_\theta'$  dan  $E_\phi'$  dilambangkan dengan variabel  $E_{\theta h}$  dan  $E_{\phi h}$ . Nilai-nilai dari masing-masing variabel tersebut akan berupa suatu matriks dengan dimensi  $M \times N$ .

Nilai-nilai tersebut selanjutnya akan dimasukkan ke dalam *workspace* dari MATLAB untuk disimpan sebelum dilakukan perhitungan dari koefisien-koefisien dari *probe*. Gambar 3.5 menggambarkan inputan data medan jauh *probe* pada *workspace* dari MATLAB :



| Name    | Value           | Memory (Mi) |
|---------|-----------------|-------------|
| Epsih   | <1147x2 double> | -17         |
| Epsiv   | <1147x2 double> | -17         |
| Ethetah | <1147x2 double> | -17         |
| Ethetav | <1147x2 double> | -17         |
| Psi     | <37x1 double>   | -18         |
| Wh      | <1147x2 double> | -12         |
| Wv      | <1147x2 double> | -17         |
| Z       | <31x1 double>   | -30         |

Gambar 3.5 Tampilan *workspace* pada MATLAB untuk inputan medan jauh *probe*

### 3.2.3 Proses Perhitungan

Untuk menentukan proses perhitungan dari transformasi medan dekat ke medan jauh metode silindris ini, maka kita akan menggunakan persamaan matematis yang telah dijelaskan pada Bab 2. Sesuai dengan gambar diagram alir pada Gambar 3.1 pertama-tama akan dilakukan perhitungan terlebih dahulu dari Persamaan (2.9) dan (2.10) terhadap tegangan kompleks respon dari *probe* untuk mencari nilai dari  $\ln(h)$  dan  $\ln'(h)$ . Pada perhitungan kedua nilai tersebut, digunakan fungsi pada MATLAB berupa algoritma *Fast Fourier Transform* (FFT) dengan penyesuaian dari matriks inputannya. Selanjutnya hasil-hasil dari perhitungan tersebut akan disimpan pada variabel  $I_v$  dan  $I_h$  yang berupa *array* matriks dengan dimensi  $M \times N$ .

Untuk proses transformasi dengan menggunakan *probe compensated*, maka perlu dilakukan perhitungan dari koefisien-koefisien dari *probe*. Perhitungan dari koefisien *probe* ini dilakukan dengan menggunakan Persamaan (2.24), (2.25), (2.26) dan Persamaan (2.27). Pada perhitungan ini, nilai dari  $E_{\theta}$ ,  $E_{\theta h}$ ,  $E_{\phi}$ ,  $E_{\phi h}$  akan dimasukkan ke persamaan tersebut dan akan menghasilkan koefisien-koefisien *probe* sebagai kompensasi. Pada perhitungan tersebut, digunakan prinsip integral numerik dengan menggunakan integral trapesium. Pada MATLAB digunakan sintaks **trapz(Y)** dimana integral trapesium akan dilakukan pada matriks  $M \times N$ .

Pada proses pengintegralan ini, yang diintegrasikan dengan menggunakan sintaks tersebut ialah matriks kolom, sementara untuk kasus integral pada persamaan (2.24), (2.25), (2.26) dan Persamaan (2.27) yang akan diintegrasikan ialah matriks baris. Oleh karena itu, maka perlu dilakukan suatu proses transpose dari matriks pada variabel-variabel tersebut untuk selanjutnya baru dilakukan integral numerik dengan **trapz(Y)** dan terakhir kemudian baru dilakukan proses transpose ulang dari matriks hasil integral tersebut. Hasil dari perhitungan tersebut selanjutnya dimasukkan ke dalam variabel  $C_v$ ,  $D_v$ ,  $C_h$ , dan  $D_h$  sebagai nilai dari koefisien dari *probe* yaitu  $c_m(-h)$ ,  $d_m(-h)$ ,  $c_m'(-h)$ , dan  $d_m'(-h)$ .

Selanjutnya, dilakukan perkalian antar elemen dari hasil proses integral trapesium tersebut dengan hasil dari perhitungan fungsi Hankel jenis dua. Pada perhitungan fungsi Hankel jenis dua, digunakan fungsi dengan sintaks khusus dari

MATLAB yaitu **besselh(nu,k,z)**, dimana nilai  $k = 2$  dan nilai dari  $z$  sama dengan  $\Lambda \times r_0$  sesuai dengan fungsi Hankel yang digunakan pada Persamaan (2.3) dan (2.4). Hasil dari perkalian antar elemen tersebut selanjutnya disimpan dalam variabel *hasil* untuk perkalian Dh dengan  $H_{n+m}^{(2)}(\Lambda r_0)$ , *hasil2* untuk perkalian Dv dengan  $H_{n+m}^{(2)}(\Lambda r_0)$ , *hasil3* untuk perkalian Cv dengan  $H_{n+m}^{(2)}(\Lambda r_0)$  dan *hasil4* untuk perkalian Ch dengan  $H_{n+m}^{(2)}(\Lambda r_0)$ .

Selanjutnya akan dilakukan proses perhitungan dari Persamaan (2.8) untuk mencari nilai dari determinan dari sistem. Hasil determinan ini selanjutnya akan disimpan dalam variabel *determinan*.

Dari semua perhitungan yang telah dilakukan diatas, maka selanjutnya akan dilakukan perhitungan dari nilai bobot amplitudo pada antenna uji yaitu berupa  $a_n(h)$  dan  $b_n(h)$ . Perhitungan tersebut selanjutnya akan disimpan dalam variabel dari *an* dan *bn*. Selanjutnya untuk mendapatkan pola medan jauh, maka variabel *an* dan *bn* tersebut selanjutnya disubstitusikan pada Persamaan (2.3) dan (2.4). Fungsi integral pada persamaan tersebut dapat dihitung secara efisien dengan menggunakan algoritma *Fast Fourier Transform* (FFT) [4]. Dari kedua persamaan tersebut, maka kita akan mendapatkan nilai dari  $E_\theta$  dan  $E_\phi$  pada medan jauh antenna uji. Kedua nilai tersebut akan disimpan dalam variabel *Etheta* dan *Epsi*.

### 3.2.4 Proses Plot Grafik Medan Jauh

Untuk menampilkan grafik pola medan jauh dari antenna yang diuji, maka diperlukan nilai dari medan E pada antenna uji. Pada umumnya, pola radiasi dari suatu antenna digambarkan secara tiga dimensi. Namun, oleh karena pengukuran dari pola antenna secara tiga dimensi tidak praktis, maka dilakukan pengukuran dari pola radiasi secara dua dimensi. Pengukuran dari pola secara dua dimensi ini biasanya dipilih untuk merepresentasikan dari prinsip orthogonal dari pola bidang E dan bidang H [1].

Pola dua dimensi atau diartikan sebagai *pattern cut* diperoleh dengan membuat salah satu dari sudut menjadi tetap ( $\theta$  atau  $\phi$ ) sementara itu membuat yang lain menjadi bervariasi [1]. Sebagai contoh yaitu dengan membuat nilai  $\phi$



yaitu  $\theta$  dan  $\epsilon$  akan dicari nilai dari akar kuadratnya, sehingga menjadi variabel  $E$  pada perangkat lunak yang dirancang. Selanjutnya hasil tersebut akan digunakan untuk plotting hasil dalam grafik dua dimensi dan grafik tiga dimensi.

Untuk plotting dalam dua dimensi, maka digunakan sintaks dari MATLAB yaitu **plot(X,Y,Linespec)** dimana  $X$  ialah merepresentasikan sudut yang digunakan dari masing-masing *pattern cut* yaitu sudut  $\theta$  atau sudut  $\phi$  yang dibuat bervariasi. Sedangkan untuk inputan  $Y$  ialah merepresentasikan intensitas medan  $E$ . Intensitas dari medan  $E$  dapat diplot dalam skala normalisasi atau dengan skala desibel (dB). Sedangkan untuk menggambarkan grafik dua dimensi polar, maka menggunakan sintaks **polar(theta, rho, Linespec)**.

### 3.3 Ketentuan-ketentuan dalam Penggunaan Perangkat Lunak

Untuk menggunakan perangkat lunak transformasi medan dekat ke medan jauh dengan metode silindris, maka diperlukan ketentuan-ketentuan untuk memastikan bahwa perangkat lunak tersebut dapat berjalan. Berikut ini adalah beberapa ketentuan yang diperlukan:

1. Untuk masukkan dari data medan dekat, diperlukan inputan dari *workspace* MATLAB dalam bentuk variabel  $V_v$  dan  $V_h$  untuk input data medan dekat, serta  $Z$  dan  $\Psi$  untuk input data jarak di sumbu  $Z$  dan untuk sudut  $\phi$ . Selanjutnya keempat variabel tersebut disimpan didalam suatu file dengan ekstensi *.mat* pada MATLAB.
2. Untuk masukkan dari data medan *probe* untuk kompensasi *probe*, diperlukan inputan dari *workspace* MATLAB dalam bentuk variabel  $E_{\theta v}$ ,  $E_{\theta h}$ ,  $E_{\phi v}$ ,  $E_{\phi h}$ . Selanjutnya keempat variabel tersebut juga disimpan didalam suatu file dengan ekstensi *.mat* pada MATLAB.
3. Data inputan untuk variabel  $V_v$  dan  $V_h$  harus dalam bentuk tegangan, sehingga jika data hasil pengukuran dihasilkan data dalam desibel (dB), maka perlu diubah terlebih dahulu dalam tegangan.
4. Data inputan untuk variabel  $E_{\theta v}$ ,  $E_{\theta h}$ ,  $E_{\phi v}$ ,  $E_{\phi h}$  harus dalam bentuk medan, sehingga jika data hasil pengukuran dalam desibel (dB) maka perlu diubah terlebih dahulu menjadi bentuk medan.

### 3.4 Perancangan Sistem Pengukuran Medan Dekat Silindris

Perancangan dari sistem pengukuran medan dekat akan menyediakan fleksibilitas yang signifikan kepada peningkatan dari kapabilitas dalam pengujian antena. Untuk pengukuran sistem silindris, perancangan pengukurannya dibagi menjadi lima bagian, yaitu positioner, rotator, daerah pemindaian, peralatan pengukuran, serta manajemen dan komunikasi sistem.

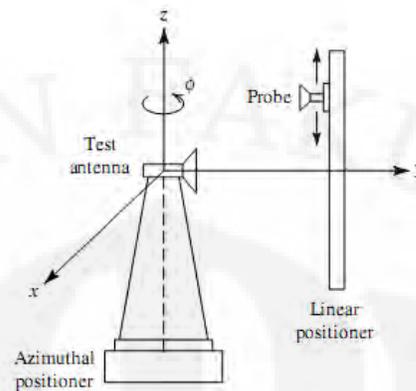
Bagian pertama, yaitu positioner dari antena *probe*. Alat ini akan menggerakkan antena *probe* naik turun pada sumbu Z untuk melakukan pemindaian pada sumbu tersebut. Positioner yang dimiliki oleh Departemen Teknik Elektro Universitas Indonesia ialah sebuah positioner dua arah yang mampu bergerak pada dua buah sumbu yang saling tegak lurus. Gambar 3.7 merupakan sketsa dari antena positioner yang berada dalam *anechoic chamber* Departemen Teknik Elektro, Universitas Indonesia :



Gambar 3.7 Antena positioner untuk pengukuran medan dekat

Peralatan pengukuran berupa antena positioner yang digunakan dalam pengukuran medan dekat di Departemen Teknik Elektro, Universitas Indonesia ialah hasil dari Hibah Strategis Nasional tahun 2009 dengan judul “Pengembangan Teknik Pengukuran Parameter Antena dengan Menggunakan Metode Pengukuran Medan Dekat”.

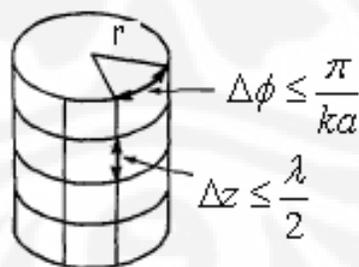
Bagian kedua ialah untuk antena uji akan digerakkan oleh suatu rotator sesuai dengan bidang azimuth untuk mendapatkan nilai variasi dari sudut  $\theta$ . Gambar 3.8 menggambarkan secara sederhana letak dan kerja dari masing-masing positioner pada masing-masing antena:



Gambar 3.8 Positioner dan rotator dalam pengukuran medan dekat silindris [1]

Kedua peralatan yang digunakan dalam pengukuran medan dekat silindris tersebut akan digerakkan oleh motor stepper yang mana dikendalikan oleh komputer.

Bagian ketiga ialah daerah pemindaian dari pengukuran medan dekat silindris. Pada bagian ini, perancangan lebih dikhususkan pada jarak sampling yang akan diambil baik pada bidang azimuth maupun pada sumbu Z. Untuk setiap pergerakan dari antena positioner yang mengatur pergerakan dari antena probe pada sumbu Z, akan diatur untuk mengikuti aturan sampling  $\Delta z \leq \lambda/2$  dan selanjutnya antena rotator yang mengatur pergerakan antena uji pada bidang azimuth diatur jaraknya untuk sesuai dengan aturan sampling, yaitu  $\Delta \phi \leq \pi/ka$ . Gambar 3.9 menunjukkan daerah pemindaian dari pengukuran medan dekat silindris.



Gambar 3.9 Daerah pemindaian pada pengukuran medan dekat silindris

Bagian keempat ialah alat pengukuran yang digunakan. Alat ukur yang digunakan pada pengukuran medan dekat ini ialah sebuah *Vector Network Analyzer (VNA)* untuk pengukuran parameter S pada rangkaian-rangkaian *microwave*. Parameter yang dapat diukur ialah parameter refleksi, yaitu  $S_{11}$  dan

$S_{22}$  serta parameter transmisi, yaitu  $S_{21}$  dan  $S_{12}$ . Gambar 3.10 merupakan gambar dari VNA yang digunakan dalam pengukuran medan dekat silindris ini:



Gambar 3.10 Vector Network Analyzer

Peralatan pengukuran yang dimiliki oleh Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Indonesia ialah sebuah VNA dengan tipe Hewlett Packard (HP) seri 8753e.

Pada bagian kelima ialah manajemen dan komunikasi sistem. Komunikasi antara komputer dengan VNA akan digunakan dalam mentransfer data hasil pengukuran medan dekat ke komputer untuk selanjutnya data pengukuran tersebut akan ditransformasi ke medan jauh. Komunikasi antara komputer dengan VNA dapat dilakukan dengan menggunakan antarmuka GPIB, yang memiliki kecepatan transfer sampai dengan 1 Mbps.

Pengukuran medan dekat ini dilakukan didalam sebuah *anechoic chamber* atau sebuah ruangan antigema. Hal ini ditujukan untuk menciptakan suatu lingkungan yang terkontrol, kapabilitas untuk semua cuaca dan keamanan serta untuk meminimalisir efek dari interferensi gelombang elektromagnetik [1]. Dengan pengukuran di dalam ruang antigema ini, pengukuran diadakan didalam suatu ruangan yang dindingnya ditutupi dengan RF *absorber* untuk mencegah terjadinya interferensi gelombang dengan dinding pada ruangan tersebut. RF *absorber* disini dapat menyerap gelombang elektromagnetik yang datang agar tidak memantul.

## BAB 4

### PENGUJIAN PERANGKAT LUNAK DAN PENGGUNAANNYA UNTUK PENGUKURAN MEDAN DEKAT ANTENA PADA RUANG ANTI GEMA

#### 4.1 Pengujian Perangkat Lunak Untuk Transformasi

Untuk melakukan pengujian terhadap perangkat lunak yang dirancang untuk melakukan transformasi medan dekat ke medan jauh pada sistem koordinat silindris, maka perlu dilakukan beberapa pengujian. Pada skripsi ini, pengujian perangkat lunak akan dilakukan dengan melakukan pengujian penggunaan fungsi-fungsi Matlab. Selanjutnya pengujian akan dilakukan dengan data inputan dari hasil pengukuran medan dekat silindris yang dilakukan di Institute Research Center for Telecommunications-transmission and Radar (IRCTR) pada Delft University of Technology Belanda. Selain itu, pengujian dari perangkat lunak juga akan dilakukan dengan data inputan dari hasil simulasi program FEKO Suite 5.5.

##### 4.1.1 Pengujian Perangkat Lunak dalam Penggunaan Fungsi-Fungsi Matlab

Pada pengujian pertama ini, kita akan melakukan pengujian dari fungsi-fungsi Matlab yang menjadi *routine* untuk digunakan dalam perhitungan oleh perangkat lunak ini. Pengujian pertama ialah dengan melakukan evaluasi dari fungsi Hankel jenis dua yang merupakan fungsi untuk menyatakan propagasi gelombang silindris bagian dalam. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, bahwa fungsi Hankel jenis dua ini memiliki persamaan seperti ditunjukkan oleh Persamaan (2.15). Jika kita ingin melakukan pengujian dari fungsi Hankel jenis dua ( $H_{\alpha}^{(2)}(x)$ ) dengan nilai  $\alpha = 1$  dan nilai dari  $x$  yang berubah-ubah dari 1 sampai dengan 5, maka nilai dari fungsi Bessel jenis satu  $J_{\alpha}(x)$  hasil yang diperoleh ditunjukkan oleh Tabel 4.1 :

Tabel 4.1 Perbandingan Fungsi Bessel Jenis Satu Hasil Hitung Matlab dengan Tabel Bessel

| x | Perhitungan Matlab | Tabel Bessel |
|---|--------------------|--------------|
| 1 | 0.4401             | 0.4401       |
| 2 | 0.5767             | 0.5767       |
| 3 | 0.3391             | 0.3391       |
| 4 | -0.0660            | -0.066       |

|   |         |         |
|---|---------|---------|
| 5 | -0.3272 | -0.3276 |
|---|---------|---------|

Sedangkan untuk fungsi Bessel jenis dua, hasil yang diperoleh ditunjukkan oleh Tabel 4.2 :

Tabel 4.2 Perbandingan Fungsi Bessel Jenis Dua Hasil Hitung Matlab dengan Tabel Bessel

| x | Perhitungan Matlab | Tabel Bessel |
|---|--------------------|--------------|
| 1 | -0.7812            | -0.781       |
| 2 | -0.1070            | -0.107       |
| 3 | 0.3247             | 0.325        |
| 4 | 0.3979             | 0.398        |
| 5 | 0.1479             | 0.148        |

Sehingga fungsi Hankel jenis dua jika diperbandingkan antara perhitungan Matlab dengan tabel Bessel ditunjukkan oleh Tabel 4.3 :

Tabel 4.3 Perbandingan Fungsi Hankel Jenis Dua Hasil Hitung Matlab dengan Tabel Bessel

| x | Perhitungan Matlab | Tabel Bessel     |
|---|--------------------|------------------|
| 1 | 0.4401 + 0.7812i   | 0.4401 + 0.781i  |
| 2 | 0.5767 + 0.1070i   | 0.5767 + 0.107i  |
| 3 | 0.3391 - 0.3247i   | 0.3391 - 0.325i  |
| 4 | -0.0660 - 0.3979i  | -0.0660 - 0.398i |
| 5 | -0.3276 - 0.1479i  | -0.3276 - 0.148i |

Dari perbandingan tersebut, terlihat bahwa fungsi Hankel jenis dua hasil perhitungan Matlab memiliki akurasi yang tinggi jika dibandingkan dengan penggunaan dari Tabel Bessel.

Pengujian terakhir ialah penggunaan dari algoritma *Fast Fourier Transform* untuk penyelesaian dari integral Fourier. Pengujian ini telah dilakukan pada [8] dengan menggunakan integral Fourier. Berikut ini adalah integral Fourier yang digunakan untuk perhitungan :

$$F(\omega) = \int_{-2}^2 x^2 e^{j\omega x} dx \quad (4.1)$$

Dimana berlaku aturan-aturan sebagai berikut :

$$x = -2 + n\Delta x$$

$$n = 0, 1, 2, \dots, N - 1$$

$$m = 0, 1, 2, \dots, M - 1$$

$$\Delta x = \frac{\alpha - \beta}{M} = 0.05$$

Selanjutnya untuk menggunakan algoritma FFT, maka digunakan kalkulasi dari domain dari batas sebanyak 80 titik dan dilakukan sebuah evaluasi dari FFT sebanyak 256 titik. Selanjutnya, hasil dari perhitungan dengan menggunakan algoritma *Fast Fourier Transform* (FFT) akan dibandingkan dengan hasil dari perhitungan manual oleh [8]. Tabel 4.4 menunjukkan perbandingan antara hitung manual dengan hasil perhitungan dengan menggunakan algoritma FFT :

Tabel 4.4 Perbandingan Perhitungan Integral Fourier Hasil Perhitungan pada [8] dengan menggunakan algoritma FFT

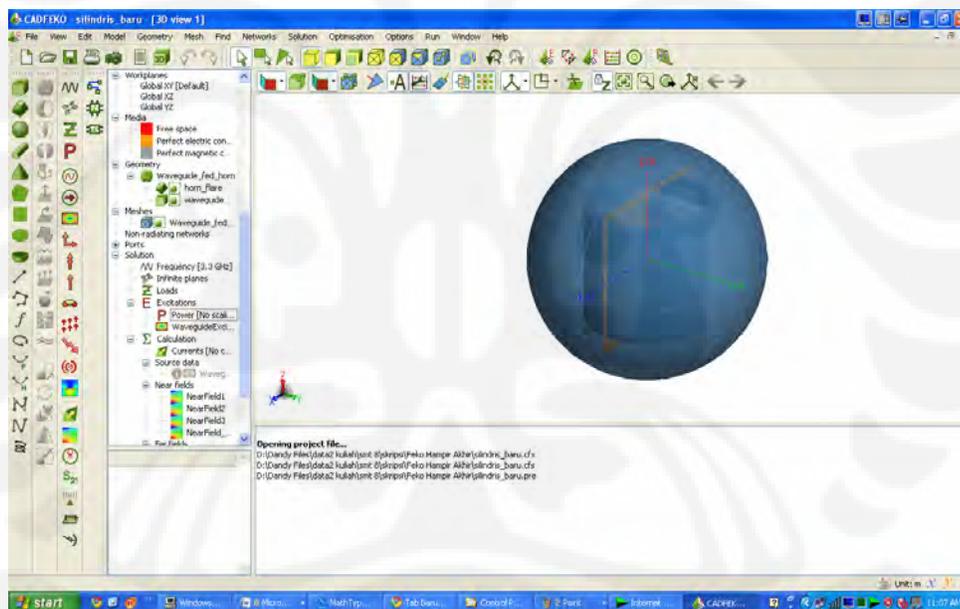
| m   | Hasil Perhitungan |     | Hasil FFT |        |
|-----|-------------------|-----|-----------|--------|
|     | Mag (dB)          | Arg | Mag (dB)  | Arg    |
| 0   | 0                 | 90  | 0         | 90     |
| 10  | -15.28            | -90 | -15.28    | -87.75 |
| 20  | -18.52            | 90  | -18.45    | 91.24  |
| 30  | -20.3             | -90 | -20.12    | -89.47 |
| 40  | -22.34            | 90  | -22       | 89.97  |
| 50  | -25.11            | -90 | -24.55    | -90.63 |
| 60  | -29.17            | 90  | -28.32    | 88.51  |
| 70  | -36.17            | -90 | -34.9     | -93.66 |
| 80  | -60.23            | -90 | -57.36    | -33.75 |
| 90  | -37.26            | 90  | -35.61    | 93.34  |
| 100 | -33.13            | -90 | -30.93    | -88.59 |
| 110 | -31.74            | 90  | -28.98    | 90.58  |
| 120 | -31.87            | -90 | -28.48    | -90    |
| 130 | -33.31            | 90  | -29.2     | 89.41  |
| 140 | -36.35            | -90 | -31.4     | -91.42 |
| 150 | -42.44            | 90  | -36.39    | 86.61  |
| 160 | -72.27            | 90  | -59.19    | -157.5 |
| 170 | -42.99            | -90 | -35.94    | -86.41 |
| 180 | -38.31            | 90  | -29.79    | 91.47  |
| 190 | -36.51            | -90 | -26.5     | -89.38 |
| 200 | -36.31            | 90  | -24.57    | 90.02  |
| 210 | -37.46            | -90 | -23.64    | -90.56 |
| 220 | -40.23            | 90  | -23.71    | 88.67  |
| 230 | -46.06            | -90 | -25.35    | -92.88 |

|     |        |     |        |        |
|-----|--------|-----|--------|--------|
| 240 | -79.32 | -90 | -32.17 | 78.75  |
| 250 | -46.42 | 90  | -31.27 | 117.45 |

Dari hasil perbandingan yang ditunjukkan oleh Tabel 4.4, terlihat bahwa untuk perhitungan dari integral Fourier dapat dilakukan pendekatan dengan perhitungan menggunakan algoritma FFT.

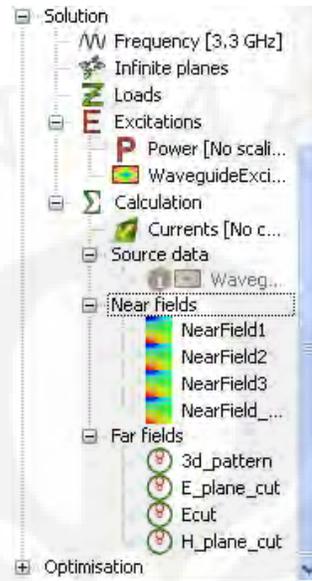
#### 4.1.2 Pengujian Perangkat Lunak Menggunakan Data Simulasi Medan Dekat dari Software FEKO Suite 5.5

Pengujian pertama dilakukan dengan menggunakan simulasi dari *software* FEKO Suite 5.5. Pada *software* simulasi ini, akan dihasilkan data berupa medan dekat dengan metode silindris. Gambar 4.1 menunjukkan tampilan *software* FEKO:



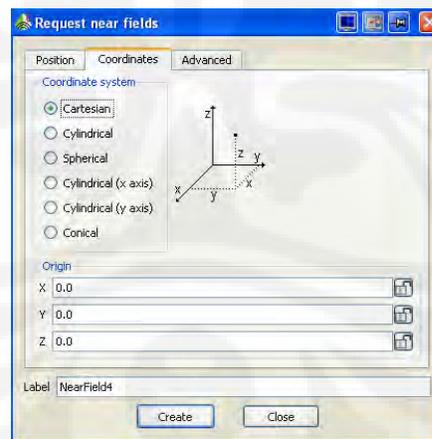
Gambar 4.1 Tampilan *Software* FEKO Suite 5.5

untuk mendapatkan data medan dekat yang diinginkan pada *software* ini, maka kita akan menambahkan pada tab *solution* untuk *near field*. Gambar 4.2 menunjukkan tab *solution* untuk mendapatkan data medan dekat (*near field*):



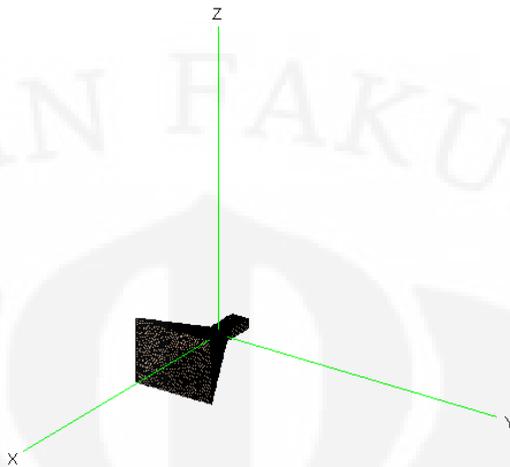
Gambar 4.2 Tampilan tab *solution* untuk mendapatkan data hasil

Selain untuk mendapatkan data medan dekat, kita juga dapat memperoleh data medan jauh dari *software* ini. Data medan dekat yang dapat diperoleh pada *software* ini dapat berupa berbagai macam geometri dari daerah pemindaian. Gambar 4.3 menunjukkan daerah pindai yang dapat dilakukan oleh *software* FEKO Suite 5.5 ini:



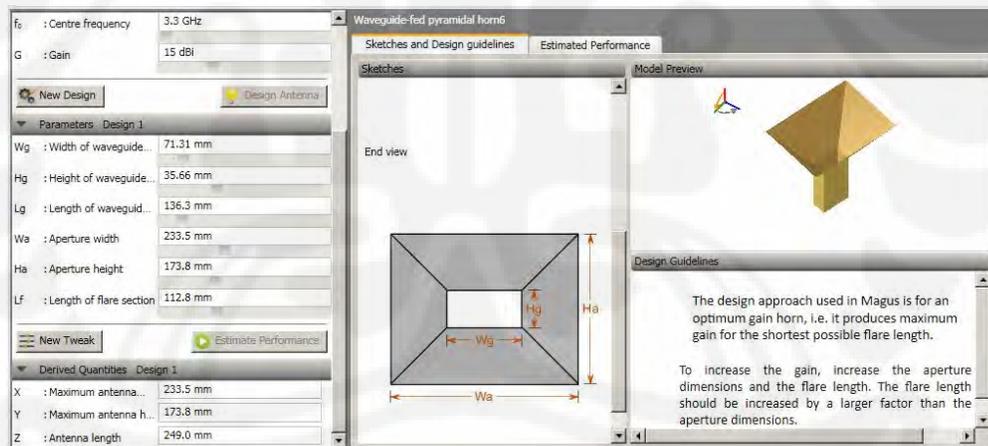
Gambar 4.3 Tampilan pilihan sistem koordinat pada simulasi pengukuran medan dekat

Percobaan pertama dengan simulasi ini akan dilakukan dengan menggunakan antenna Horn frekuensi 3.3 GHz. Antena Horn ini disimulasikan saat bukaan (*aperture*) antenanya berada pada sumbu-X. Gambar 4.4 ialah gambaran dimana arah dari antenna Horn yang disimulasikan:



Gambar 4.4 Tampilan Antena Horn 3.3 GHz pada sumbu-X

Untuk membuat antena yang akan disimulasikan pada FEKO Suite 5.5, maka digunakan *Antenna Design Kit* untuk *software* FEKO Suite 5.5, yaitu menggunakan *software* Antena Magus. Gambar 4.5 menunjukkan tampilan dari *software* Antena Magus dalam membuat Antena Horn 3.3 GHz :



Gambar 4.5 Antena Magus untuk merancang Antena Horn 3.3 GHz

Oleh karena lebar dari bukaan (*aperture*) antena Horn yang dirancang untuk frekuensi 3.3 GHz ialah sebesar 233.5 mm, maka radius maksimum untuk pemindaian untuk pengukuran medan dekatnya ialah:

$$r_{\min} = \sqrt[3]{\frac{D}{2\lambda}} \cdot \frac{D}{2} + \lambda = 0.212 \text{ m}$$

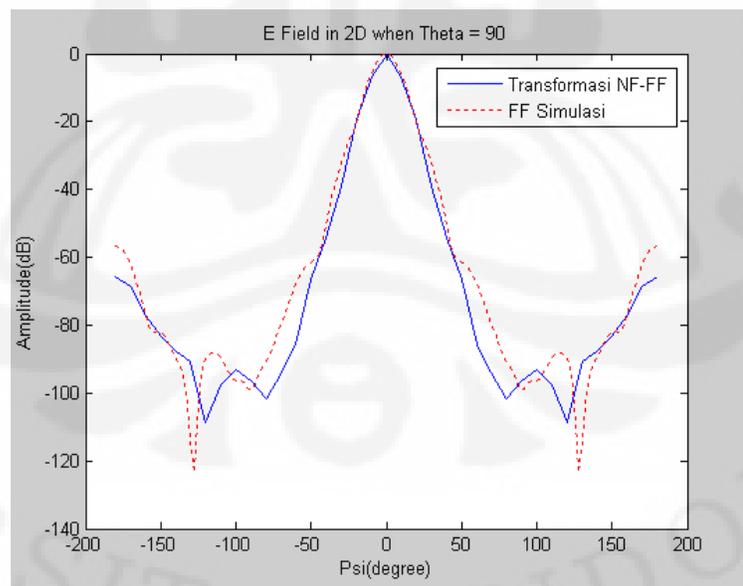
$$r_{maks} = \frac{2D^2}{\lambda} + \lambda = \frac{2 \cdot (0.2335)}{\lambda} + \lambda = 1.307m$$

Maka pada simulasi ini, jarak yang akan diambil untuk radius pemindaian dari silindris ialah sebesar 1 meter. Selanjutnya kita akan melakukan pemindaian dengan properti dari pengukuran ditunjukkan oleh Tabel 4.4:

Tabel 4.5 Properti yang digunakan dalam simulasi pengukuran medan dekat

| Antena Uji      | Antena Horn                         |
|-----------------|-------------------------------------|
| Frekuensi       | 3.3 GHz                             |
| radius ( r )    | 1 m                                 |
| $\Delta Z$      | 10 cm (dari -1 m sampai dengan 1 m) |
| $\Delta \theta$ | 10° (dari -180° sampai dengan 180°) |

Total data pengukuran yang akan dibuat adalah sebanyak 37 x 21 data. Pada pengujian perangkat lunak ini, kompensasi *probe* diabaikan nilainya, yaitu dengan memberikan nilai 1 pada koefisien *probe* dan  $\Delta_n$ . Polarisasi dari antenna uji ialah ketika polarisasi horizontal. Maka, tampilan dari grafik medan jauh kartesian hasil transformasi secara normalisasi untuk variasi nilai azimuth dan saat nilai  $\theta = 90^\circ$  dibandingkan dengan hasil simulasi medan jauh dalam skala desibel (dB) ialah ditunjukkan oleh Gambar 4.6 :



Gambar 4.6 Grafik kartesian pola radiasi dalam (dB) perbandingan medan jauh hasil simulasi dengan hasil transformasi oleh perangkat lunak saat  $\theta = 90^\circ$

Pada Gambar 4.6 tersebut, terlihat ada sedikit penyimpangan pada sisi *mainlobe*, yaitu antara *mainlobe*  $-50^\circ$  sampai  $-80^\circ$  dan *mainlobe*  $50^\circ$  sampai  $80^\circ$ . Hal tersebut dikarenakan adanya sedikit kekurangakuratan data yang dihasilkan oleh penggunaan FFT sebagai penyelesaian dari DFT.

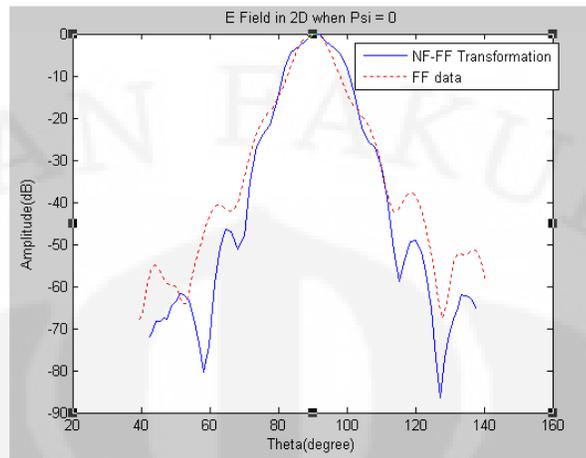
#### 4.1.3 Pengujian Perangkat Lunak Menggunakan Data Hasil Pengukuran IRCTR

Pengujian kedua dilakukan dengan menggunakan data hasil pengukuran dari Institute Research Centre for Telecommunications-transmission and Radar (IRCTR), Delft University of Technology, Belanda. Banyak data yang diambil ialah sebanyak  $61 \times 61$  data medan dekat, dimana titik Z diambil antara  $-60$  cm sampai dengan  $60$  cm dengan  $\Delta Z$  sebesar  $2$  cm. Sedangkan untuk titik-titik  $\theta$  diambil antara  $-455^\circ$  sampai dengan  $455^\circ$  dengan  $\Delta\theta$  sebesar  $15^\circ$ . Pengujian perangkat lunak ini, dilakukan dengan tidak memasukkan kompensasi pada *probe*, sehingga nilai-nilai koefisien *probe* dan  $\Delta_n$  dianggap sama dengan  $1$ . Selanjutnya, proses pemindaian yang dilakukan ialah sesuai dengan properti pada Tabel 4.5:

Tabel 4.6 Properti Pengukuran Medan Dekat pada IRCTR

|                     |   |
|---------------------|---|
| <b>Antena Probe</b> | <i>Dielectric filled open ended waveguide</i>             |
| <b>Antena Uji</b>   | Antena Horn   |
| <b>Frekuensi</b>    | 9.73 GHz [7]  |
| <b>radius ( r )</b> | 0.555 m [7]   |
| $\Delta Z$          | 2 cm (dari $-60$ cm sampai dengan $60$ cm)                |
| $\Delta\theta$      | $15^\circ$ (dari $-455^\circ$ sampai dengan $455^\circ$ ) |

Polarisasi dari antenna uji ialah ketika polarisasi Horizontal. Maka, tampilan dari grafik medan jauh kartesian hasil transformasi secara normalisasi untuk variasi nilai elevasi dan saat nilai  $\theta = 0^\circ$  dibandingkan dengan hasil pengukuran medan jauh ialah ditunjukkan oleh Gambar 4.7 :



Gambar 4.7 Grafik kartesian dan polar dua dimensi untuk perbandingan medan jauh hasil pengukuran dengan hasil transformasi oleh perangkat lunak dalam desibel (dB) saat  $\theta = 0^\circ$

Pada Gambar 4.7 terlihat sedikit perbedaan dari kedua grafik sedikit pada sisi *mainlobe* dan sedikit pada *sidelobe*. Untuk sedikit perbedaan pada *mainlobe* tersebut dikarenakan terjadinya sedikit kekurangakuratan dari penggunaan FFT untuk perhitungan DFT. Selain itu, perbedaan pada sisi *sidelobe* dapat terjadi dikarenakan tidak diperhitungkannya faktor kompensasi dari *probe* yang digunakan pada pengukuran di IRCTR ini [7], sehingga transformasi yang dilakukan menjadi kurang akurat dalam menentukan *sidelobe*.

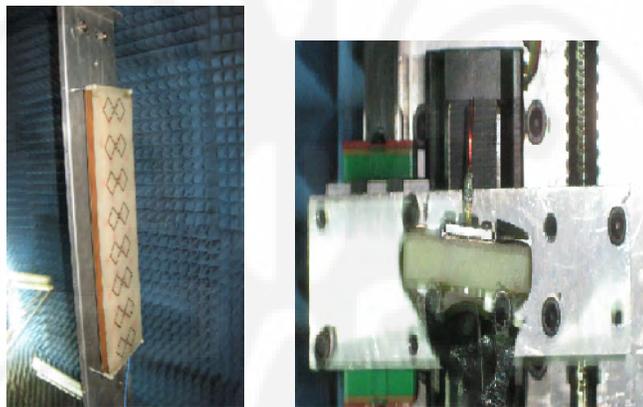
#### 4.2 Penggunaan Perangkat Lunak dalam Pengukuran Medan Dekat

Percobaan selanjutnya ialah dengan melakukan pengukuran medan dekat secara langsung pada ruang antigema Departemen Teknik Elektro, Universitas Indonesia. Pada skripsi ini, pengukuran medan dekat dilakukan menggunakan antena *microstrip fixed position* pada frekuensi 3.35 GHz. Berikut ini adalah penjelasan dari masing-masing percobaan yang dilakukan :

#### 4.2.1 Penggunaan Perangkat Lunak untuk Pengukuran Medan Dekat Menggunakan Antena Microstrip *Fixed Position* pada Pita Frekuensi 3.35 GHz

Pada percobaan ini, dilakukan pengukuran dengan menggunakan antenna uji array 8 elemen yang bekerja pada pita frekuensi 3.35 GHz. Pada percobaan ini, contoh data yang diambil ialah sebanyak 9 x 37 buah data. Pada titik-titik Z, diambil data pada -12 cm sampai dengan 12 cm dengan  $\Delta Z$  sebesar 4 cm. Nilai  $\Delta Z$  tersebut ditentukan oleh aturan sampling  $\Delta z \leq \lambda/2$ , dimana nilai  $\lambda$  untuk frekuensi 3.35 GHz adalah 0.089 m. Sehingga nilai dari  $\Delta z \leq 0.0447$  m.

Sedangkan untuk titik-titik pada sudut  $\theta$ , diambil data pada  $-180^\circ$  sampai dengan  $180^\circ$  dengan  $\Delta \theta$  sebesar  $10^\circ$ . Sementara itu, pada pengukuran ini digunakan antenna *probe* berupa antenna *monopole* yang bekerja pada pita frekuensi 3.35 GHz. Gambar 4.8 menggambarkan bentuk dari kedua antenna yang digunakan dalam percobaan :



Gambar 4.8 Antena microstrip Array 8 elemen sebagai AUT dan antenna *monopole* sebagai *probe*

Antena yang diujikan bekerja pada frekuensi 3.35 GHz dengan diameter dari antenna sebesar  $D = 0.12$  m. Maka, radius maksimum dan minimum yang diperbolehkan untuk pengukuran medan dekatnya ialah :

$$r_{\min} = \sqrt[3]{\frac{D}{2\lambda}} \cdot \frac{D}{2} + \lambda = 0.142 \text{ m}$$

$$r_{\max} = \frac{2D^2}{\lambda} + \lambda = \frac{2 \cdot (0.12)^2}{\lambda} + \lambda = 0.411 \text{ m}$$

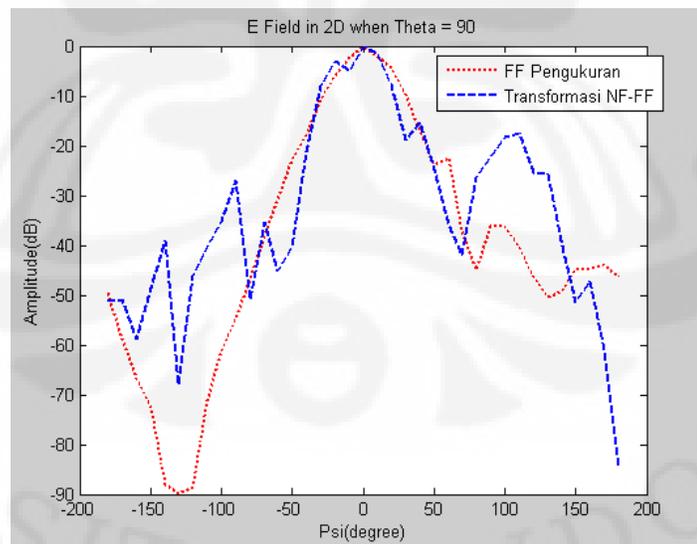
Dari kedua batasan diatas, maka radius yang diambil pada percobaan pengukuran ini ialah 0.3 m.

Pada percobaan ini, pengukuran dilakukan pada saat polarisasi antenna uji secara vertikal. Data diambil ketika antenna *probe* bersifat *co-polarization* dan *cross-polarization* dengan antenna uji. Pada percobaan ini, antenna uji diletakkan pada port 2 dari *Network Analyzer*, sedangkan antenna *probe* diletakkan pada port 1 dari *Network Analyzer*. Hasil dari parameter yang diambil ialah berupa parameter S untuk transfer, yaitu  $S_{21}$  dan  $S_{12}$ . Berikut ini adalah beberapa properti dari pengukuran yang ditunjukkan oleh Tabel 4.6 :

Tabel 4.7 Properti pengukuran medan dekat antenna mikrostrip *array fixed position*

|                     |   |
|---------------------|---|
| <b>Antena Probe</b> | Antena Monopole   |
| <b>Antena Uji</b>   | Antena Array 8 Element                                    |
| <b>Frekuensi</b>    | 3.35 GHz  |
| <b>radius ( r )</b> | 0.3 m   |
| $\Delta Z$          | 4 cm (dari -0.12 m sampai dengan 0.12 m)                  |
| $\Delta \theta$     | $10^\circ$ (dari $-180^\circ$ sampai dengan $180^\circ$ ) |

Pertama-tama digunakan metode tanpa *probe compensated*. Hasil transformasi medan dekat ke medan jauh oleh perangkat lunak yang dirancang tanpa menggunakan faktor kompensasi dari antenna *probe* ditunjukkan oleh grafik kartesian medan jauh antenna uji yang dibandingkan dengan pengukuran medan jauh secara langsung yaitu seperti ditunjukkan oleh Gambar 4.9 :

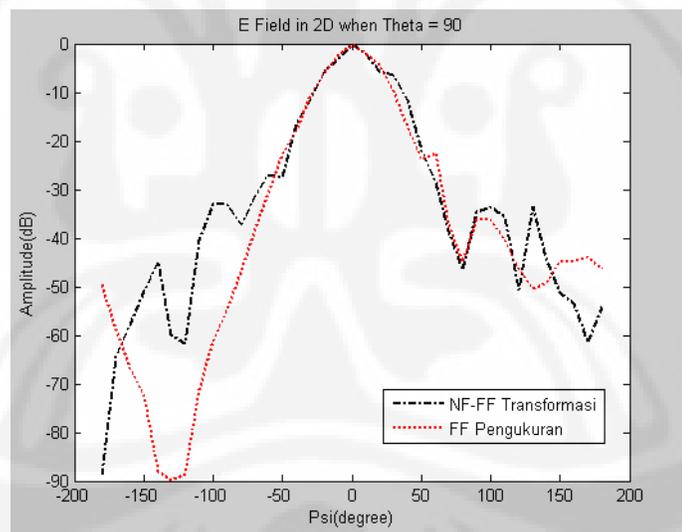


Gambar 4.9 Grafik dua dimensi untuk perbandingan medan jauh hasil pengukuran dengan hasil transformasi tanpa menggunakan faktor kompensasi *probe* dalam desibel (dB) saat  $\theta = 90^\circ$

Pada percobaan pertama ini, sisi *mainlobe* pada hasil transformasi sudah hampir menyerupai dari bentuk pada hasil pengukuran medan jauh secara langsung. Sudah hampir sedikit sekali pergeseran yang terjadi, terutama pada sisi *mainlobe* oleh karena digunakan antenna yang posisinya lebih stabil ketika diputar pada bidang azimuthnya.

Selain itu, ripple-ripple pada sisi *sidelobe* pola radiasi hasil transformasi tersebut dirasa kurang smooth jika dibandingkan dengan pengukuran medan jauh secara langsung, namun bentuknya secara umum sudah hampir menyerupai. Hal ini dapat dilihat pada *sidelobe* sisi sebelah kanan antara  $70^\circ$  sampai dengan  $150^\circ$ . Pada sisi *sidelobe* sebelah kiri, ripple-ripple yang terjadi bentuknya sudah hampir menyerupai dengan hasil ukur medan jauhnya.

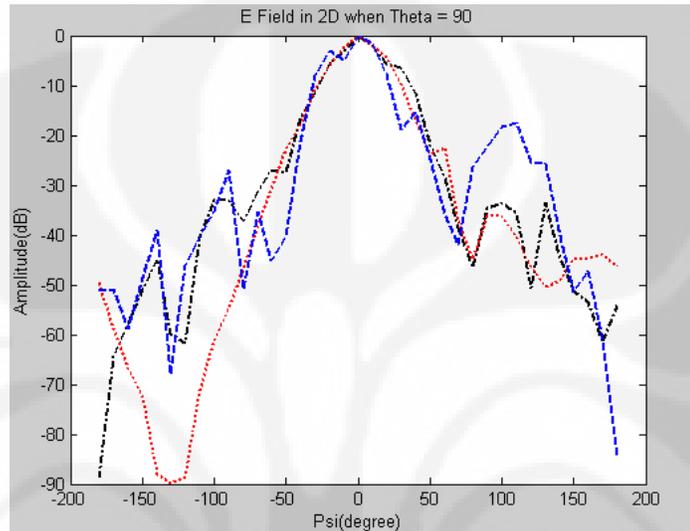
Yang kedua ialah diimplementasikan faktor kompensasi dari *probe* pada perangkat lunak yang dirancang. Hasil transformasi medan dekat ke medan jauh dengan menggunakan faktor kompensasi *probe* dapat ditunjukkan oleh Gambar 4.10:



Gambar 4.10 Grafik kartesian dua dimensi untuk perbandingan medan jauh hasil pengukuran dengan hasil transformasi menggunakan faktor kompensasi probe dalam desibel (dB) saat  $\theta = 90^\circ$

Pada hasil dari transformasi menggunakan *probe compensated* tersebut, hasil yang didapatkan ialah mengkompensasi pada bagian sisi *sidelobe* dari pola radiasinya. Hal ini dapat dilihat pada sisi kanan dari grafik tersebut, dimana pola yang terbentuk semakin mendekati ke grafik pola radiasi dari medan jauh hasil pengukuran langsung.

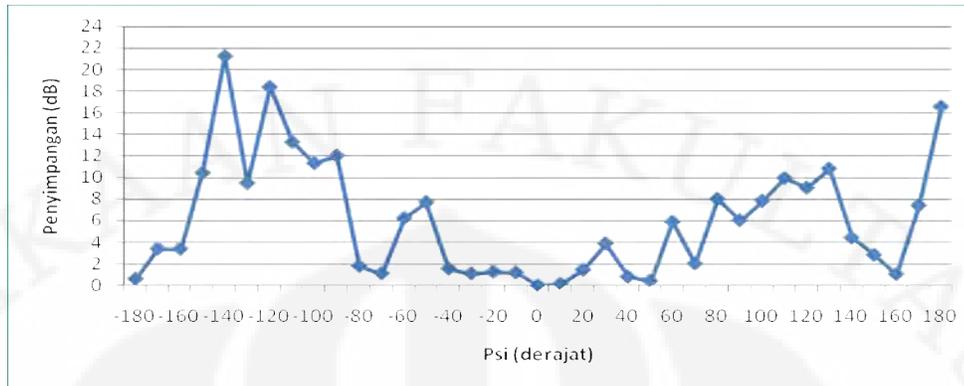
Untuk bagian *mainlobe* pada hasil transformasi medan dekat dengan menggunakan faktor kompensasi dari *probe* ini, bentuknya menjadi kurang baik dibandingkan dengan hasil transformasi tanpa menggunakan faktor kompensasi dari *probe*.. Perbandingan antara hasil transformasi keseluruhan dengan hasil ukur medan jauh dalam skala desibel (dB) dapat dilihat pada Gambar 4.11:



Gambar 4.11 Grafik kartesian dua dimensi perbandingan medan jauh hasil pengukuran secara langsung serta dengan medan jauh hasil transformasi dalam desibel (dB) saat  $\theta = 90^\circ$

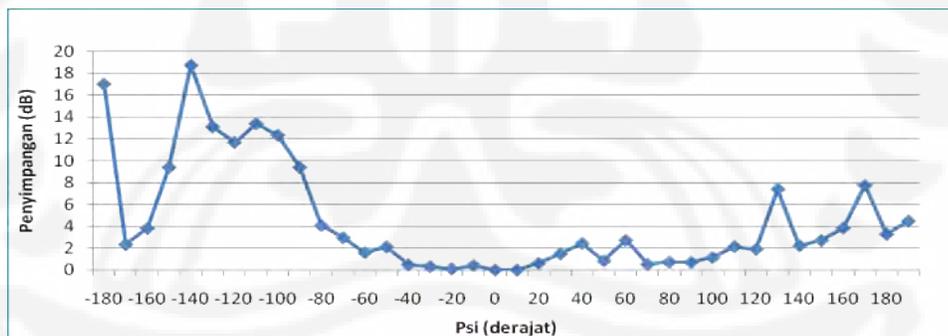
Dari Gambar 4.23 hasil perbandingan ketiga parameter tersebut, maka dapat dilihat bahwa pada data hasil transformasi dengan menggunakan faktor kompensasi *probe* lebih mendekati dengan hasil pengukuran medan jauh secara langsung. Hal ini dapat terlihat pada sisi *sidelobe* yang telah terkompensasi.

Dari hasil penggambaran grafik dalam desibel (dB), maka selanjutnya kita akan mencari selisih nilai penyimpangan dari amplitudo pada masing-masing bagian dari hasil transformasi terhadap pengukuran medan jauh secara langsung. Gambar 4.12 menunjukkan penyimpangan yang terjadi dari setiap titik pada sudut  $\theta$  pada percobaan tanpa menggunakan faktor kompensasi dari *probe* :



Gambar 4.12 Grafik penyimpangan pada hasil transformasi tanpa menggunakan faktor kompensasi *probe* terhadap medan jauh ukur langsung saat  $\theta = 90^\circ$

Pada grafik penyimpangan yang ditunjukkan oleh Gambar 4.12 menunjukkan bahwa penyimpangan utama terjadi pada sisi *sidelobe* oleh karena adanya ripple-ripple pada *sidelobe* yang kurang menyerupai dengan hasil ukur medan jauh. penyimpangan terbesar terutama terjadi pada sisi *sidelobe* di sebelah kanan. Rata-rata penyimpangan terhadap medan jauh hasil ukur langsung pertitik dari sudutnya ialah sebesar 6.079 dB. Sedangkan untuk grafik penyimpangan yang terjadi pada setiap titik pada sudut  $\theta$  pada percobaan dengan menggunakan faktor kompensasi dari *probe* ditunjukkan oleh Gambar 4.13:



Gambar 4.13 Grafik penyimpangan pada hasil transformasi menggunakan faktor kompensasi *probe* terhadap medan jauh ukur langsung saat  $\theta = 90^\circ$

Pada grafik penyimpangan yang ditunjukkan oleh Gambar 4.13 menunjukkan bahwa penyimpangan utama terjadi pada sisi *sidelobe* oleh karena adanya ripple-ripple pada *sidelobe* yang kurang menyerupai dengan hasil ukur medan jauh. penyimpangan terbesar terutama terjadi pada sisi *sidelobe* di sebelah kanan. Rata-rata penyimpangan terhadap medan jauh hasil ukur langsung pertitik dari

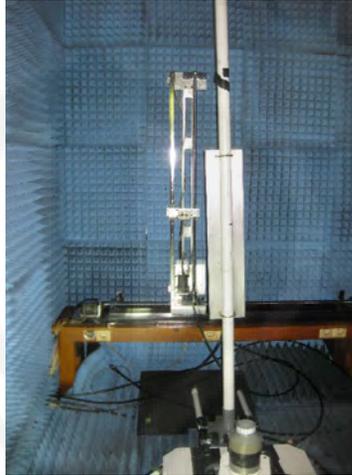
sudutnya ialah sebesar 4.469 dB. Pada grafik penyimpangan yang ditunjukkan diatas, terlihat bahwa hasil penyimpangan terjadi pada sisi *sidelobe* yang dikarenakan oleh beberapa hal yang selanjutnya akan diterangkan pada analisis grafik.

#### **4.2.2 Analisis Grafik Pola Radiasi Hasil Transformasi Medan Dekat ke Medan Jauh Menggunakan Antena *Mikrostrip Fixed Position* pada Pita Frekuensi 3.35 GHz**

Pada hasil dari pola medan jauh hasil transformasi yang didapatkan pada percobaan kedua tersebut, selanjutnya kita akan melakukan analisis dari hasil yang diperoleh pada Gambar 4.9 sampai dengan Gambar 4.11. Beberapa hal yang menyebabkan terjadinya perbedaan antara grafik medan jauh hasil transformasi dengan hasil dari pengukuran medan jauh secara langsung, yaitu antara lain :

1. Kekurangakuratan dari perhitungan FFT sebagai penyelesaian dari DFT untuk jumlah data yang digunakan pada percobaan ini. Hal ini menyebabkan ada sebagian sisi pada *mainlobe* yang sedikit tidak menyerupai dengan sisi *mainlobe* pada pengukuran medan jauh.
2. Refleksi dari gelombang pada sisi *probe* oleh karena adanya positioner yang terbuat dari bahan logam.
3. Terjadinya refleksi gelombang pada permukaan belakang dari antena *fixed* yang digunakan dalam percobaan ini. Bagian belakang dari antena *fixed* yang digunakan ini ialah berupa lempengan besi untuk membuat pegangan dari antena tersebut sehingga lebih stabil ketika akan diputar. Oleh karena menggunakan logam, maka dimungkinkan ketika antena uji bertindak sebagai penerima, pancaran gelombang yang dikirim dari antena *probe* menjadi terhamburkan oleh karena pantulan dari logam tersebut.
4. Penempatan dari antena uji yang harus dimajukan sampai jarak 0.3 m dari antena *probe*. Letak rotator pada pengukuran medan dekat ini agar supaya antena uji tidak bergerak ialah lebih dari 0.5 m. Pada pengukuran ini, oleh karena harus dimajukan kedepan, maka letak dan posisi dari antena uji menjadi kurang stabil, dikarenakan harus membuat dudukan diatas dari RF *absorber*. Oleh karena ketidakstabilan dari letak antena uji, maka dapat

mengganggu hasil transformasi medan dekat ke medan jauh yang berupa pola radiasi yang diinginkan. Perhatikan Gambar 4.14 yang menunjukkan keadaan ketika dilakukan pengukuran:



Gambar 4.14 Posisi antenna uji ketika pengukuran medan dekat

Terbukti bahwa refleksi dari gelombang akibat logam ini mengakibatkan ketidakakuratan pada pengukuran medan dekat seperti pada pengukuran yang dilakukan oleh [4].

#### 4.3 Pengaruh Faktor Kompensasi *Probe* dalam Pengukuran Medan Dekat Silindris

Dari percobaan yang telah dilakukan dengan membandingkan antara pengukuran medan dekat menggunakan kompensasi *probe* dengan tidak menggunakan faktor kompensasi dari *probe*. Dari hasil yang didapat terlihat bahwa kompensasi dari *probe* mengkompensasi hasil pola radiasi pada bagian sisi *sidelobe*. Sedangkan untuk bagian *mainlobe*, faktor kompensasi dari *probe* kurang mempengaruhi dari hasil yang didapatkan. Ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh [4] bahwa faktor kompensasi dari *probe* hanya berpengaruh untuk sisi sekitar *sidelobe* dan *minorlobe*.

#### 4.4 Antena *Probe* dalam Pengukuran Medan Dekat

Pemilihan dari antena *probe* yang tepat dapat meningkatkan akurasi dari data medan dekat dan selanjutnya menempatkan *probe* untuk bekerja sebagai

spatial filter pada fasa medan dekat seperti mereka bekerja sebagai filter angular pada medan jauh [16].

Menurut [16], *probe* dengan gain yang tinggi direkomendasikan ketika respon medan jauh akan dikomputasi dalam sudut yang kecil, yaitu sekitar  $5^\circ$  atau kurang. Kasus seperti ini sangat umum digunakan dalam pengukuran antenna untuk pesawat ruang angkasa. *Probe* dengan gain yang tinggi akan memberikan beberapa keuntungan secara signifikan, yaitu antara lain :

1. *Probe* dengan gain tinggi akan menurunkan *mismatch* rasio dari luas bukaan. Hal tersebut akan menghasilkan sebuah kenaikan nilai dari rasio sinyal terhadap noise (SNR) [16].
2. Keuntungan kedua yaitu untuk prefilter pada pengukuran untuk memungkinkan dilakukannya densitas sampling yang kecil. Dengan menggunakan *probe* gain rendah, sampling harus dilakukan dengan ketentuan kurang dari  $\lambda/2$  untuk menyesuaikan dengan kriteria dari Nyquist. Namun dengan menggunakan gain yang lebih tinggi, maka densitas sampling sampai 0.2 sampel per panjang gelombang atau lebih rendah lagi akan dapat diperoleh.
3. Keuntungan ketiga ialah mengurangi efek dari *off axis multi path energy* dengan melakukan teknik spasial filter.

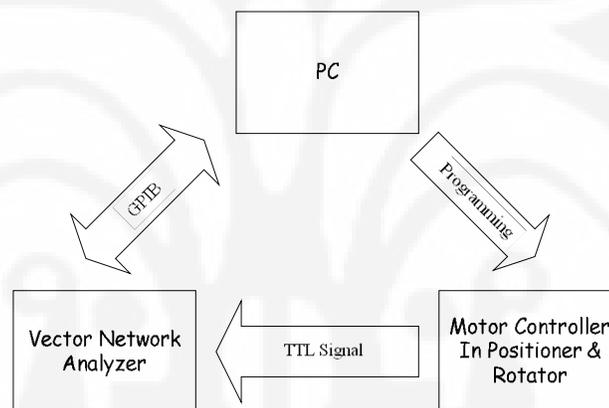
*Probe* dengan gain tinggi ini biasanya memiliki gain antara 15-25 dB. Contoh dari *probe* ini antara lain ialah sebuah horn skalar, yang memberikan penekanan yang sangat baik pada *sidelobe*.

Penggunaan dari *probe* yang lain, yaitu *probe* dengan gain rendah (gain = 6 dB) akan diperlukan jika pola medan jauh yang diinginkan akan dihitung pada sudut yang luas. *Probe* dengan gain rendah tidak secara signifikan melakukan filter spasial pada data. Contoh dari tipe *probe* ini adalah sebuah *Open Ended Waveguide* (OEWG) [16]. *Probe Open Ended Waveguide* ini banyak digunakan dalam aplikasi pengukuran medan dekat silindris, karena memberikan hasil pengukuran yang cukup baik dan dapat digunakan pada sudut yang luas dari bidang azimuth.

#### 4.5 Pengembangan Kedepan dalam Pengukuran Antena Medan Dekat Silindris

Pengukuran antena medan dekat pada Departemen Teknik Elektro, Universitas Indonesia saat ini tengah dikembangkan, terutama dengan adanya antena positioner dan rotator. Namun kerja dari semua peralatannya masih sendiri-sendiri dan belum terintegrasi secara otomatis. Hal ini menyebabkan untuk melakukan suatu pengukuran maka akan memakan waktu yang lama dan kurang praktis.

Untuk mengintegrasikan peralatan-peralatan secara otomatis, perlu dilakukan komunikasi antar sistemnya, yaitu dapat dilakukan dengan memperhatikan skema sistem pada Gambar 4.15 berikut [2]:



Gambar 4.15 Sistem Komunikasi antar peralatan dalam Pengukuran Medan Dekat [2]

Sesuai dengan sistem pada Gambar 4.15, pertama-tama perlu dilakukan pemrograman oleh PC untuk memprogram controller dari motor *stepper* untuk dapat bergerak sesuai dengan fungsinya masing-masing. Untuk *positioner*, pemrograman dilakukan untuk membuat *positioner* dapat bergerak naik dan turun pada sumbu-z untuk antena *probe*. Sedangkan untuk rotator dari antena uji, perlu dilakukan pemrograman untuk pergerakannya pada bidang azimuth sesuai dengan sudut yang diinginkan. Selain itu, controller juga diprogram untuk memberikan nilai TTL digit 1 dan 0 kepada VNA sebagai trigger untuk melakukan pengambilan data.

Sementara itu, PC juga dapat melakukan pengaturan dari VNA secara *remote* dengan menggunakan konektor General Purpose Interface Bus (GPIB),

sehingga dapat diatur data apa yang diambil dan dalam bentuk apa data yang diambil. Selanjutnya data yang diambil tersebut dicatat dan dikirimkan ke komputer melalui konektor GPIB. Data yang akan diambil ialah parameter  $s$  untuk transfer, yaitu  $S_{12}$  dan  $S_{21}$  dalam bentuk amplitudo dan fasa.

Data yang diterima di PC selanjutnya akan dimasukkan ke MATLAB untuk dihitung dengan program yang dibuat pada skripsi ini untuk ditransformasikan ke medan jauh untuk mendapatkan pola radiasi dari antena uji.

Selain pengembangan dari sistem, untuk pengembangan kedepan sebaiknya dilakukan penelitian mengenai pengaruh dari penggunaan *probe* yang bervariasi terhadap hasil dari pola radiasi yang terbentuk.

## BAB 5

### KESIMPULAN

Berdasarkan dari pembahasan yang telah dilakukan pada bagian-bagian sebelumnya pada skripsi ini, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Perancangan perangkat lunak untuk transformasi medan dekat ke medan jauh dengan pemindaian silindris dapat dilakukan dengan merujuk pada persamaan yang digunakan untuk mencari nilai bobot amplitudo suatu antena uji.
2. Penggunaan algoritma *Fast Fourier Transform* (FFT) membuat perhitungan transformasi oleh perangkat lunak yang dirancang menjadi lebih efisien dan lebih cepat.
3. Pengujian perangkat lunak untuk transformasi medan dekat ke medan jauh dengan menggunakan data simulasi medan dekat yang dilakukan pada *software* FEKO Suite 5.5 memiliki kecenderungan sama dengan medan jauh hasil simulasi.
4. Pengujian perangkat lunak untuk transformasi medan dekat ke medan jauh dengan menggunakan data dari IRCTR menunjukkan hasil pola medan jauh yang memiliki kecenderungan sama dengan pola medan jauh hasil ukur secara langsung.
5. Penggunaan perangkat lunak untuk pengukuran secara langsung di *anechoic chamber* menunjukkan hasil yang hampir mirip dengan hasil pengukuran medan jauh secara langsung, namun masih terdapat kesalahan (*error*) dari beberapa faktor yang mengganggu pola radiasi dari hasil transformasi medan dekat ke medan jauh yang terbentuk.
6. Dari hasil pengukuran, perbandingan antara transformasi medan dekat ke medan jauh dengan pengukuran medan jauh memiliki rata-rata penyimpangan sebesar 6.078 dB untuk hasil transformasi dengan tidak menggunakan faktor kompensasi *probe*. Sedangkan untuk hasil transformasi dengan menggunakan faktor kompensasi *probe*, memiliki nilai penyimpangan rata-rata sebesar 4.469 dB.
7. Pengaruh dari faktor kompensasi *probe* terhadap hasil transformasi medan dekat ke medan jauh ialah sedikit memperbaiki pola radiasi pada bagian sisi *sidelobe* dan hampir pada semua bagian *minorlobe* dari pola radiasi yang terbentuk.

## DAFTAR ACUAN

- [1] Balanis, C.A. *Antena Theory; Analysis and Design*, John Willey and Sons, USA, 1997.
- [2] 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, 1997.
- [3] A. D. Yaghjian, "An Overview of Near-Field Antenna Measurements", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, Vol. AP-34, no. 1, pp. 30-45, January 1986.
- [4] W. M. Leach, Jr., & D. T. Paris, "Probe-compensated near-field measurements on a Cylinder", *IEEE Trans. Antennas Propagation.* vol. AP21, pp.435-445, July 1973.
- [5] D. T. Paris, W. M. Leach, & 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
- [6] O. M. Bucci, C Gennarelli, "Use of Sampling Expansions in NF-FF Transformation: The Cylindrical case", *IEEE Transaction on AP.*, Vol. 36, NO. 6, pp 830-835, June 1988.
- [7] M. Hajian, L.P. Lighthart "Cylindrical near field measurement facilities at IRCTR", *Institute Research Centre for Telecommunications- transmission and Radar (IRCTR), Delft University of Technology, Department of Electrical Engineering*. Tanpa tahun.
- [8] M. S. Narasimhan, "Evaluation of Fourier Transform Integrals Using FFT with Improved Accuracy and its Applications", *IEEE Transaction on AP.*, Vol. 32, NO. 4, April 1984
- [9] M. Pozar, David. *Microwave Engineering 2<sup>nd</sup> Ed.* John Willey & Sons Inc. Canada. 1998.
- [10] Kreyzig, Erwin. *Advanced Engineering Mathematics Ed. 9.* John Wiley & Sons Inc.
- [11] Gregson, Stuart. *Principles of Planar Near-Field Antenna Measurements*, Institution of Engineering and Technology. London, UK. 2007

- [12] “Hankel Function.” *Mathworld Research Online 2010*  
<<http://mathworld.wolfram.com/HankelFunction.html>> (diakses tanggal 2 Juni 2010).
- [13] “Integral Numeric” *Hofstra University Online 2010*  
<[http://people.hofstra.edu/stefan\\_waner/realworld/integral/numint.html](http://people.hofstra.edu/stefan_waner/realworld/integral/numint.html)>  
(diakses tanggal 2 Juni 2010).
- [14] Z. A. Hussein, Y. Rahmat, “Probe Compensation Characterization In Cylindrical Near-Field Scanning”, *IEEE Trans Antenna and Propagt.*, Vol. 3, pp 1808-1811 , 1993.
- [15] M. S. Castaner, S. B. Martinez, F. M. Jimenez, “Error analysis and simulator in cylindrical near field antenna measurement systems”, *IEEE Proceedings Antenna and Propagt.*, 2007
- [16] D. Slater, “Near Field Test Facility Design”, *Antenna Measurement Techniques Association Conference*, 1985
- [17] E. B. Joy, W. M. Leach, D. T. Paris & G. P. Rodriguez, “Application of Probe-Compensated Near-Field Measurement“ *IEEE Trans. Antennas Propagation*. vol. AP-26, No. 3, May 1978.
- [18] Allen C. Newell, “Near field antenna measurement theory, planar, cylindrical, and spherical” *NSI Online*  
<<http://www.nearfield.com/TechPapers.htm>> (diakses pada tanggal 30 Mei 2010)
- [19] Apriono, Catur, “Pengukuran Antena dengan Metode Medan Dekat pada Permukaan Pengukuran *Planar*”, Skripsi Departemen Teknik Elektro Universitas Indonesia. 2009.
- [20] Nandhi. P, Ayudha, “Perancangan dan Pengujian Perangkat Lunak Pengukuran Medan Dekat dengan Metode Pemindaian Silindris”, Skripsi Departemen Teknik Elektro Universitas Indonesia. 2009.

### 1. Listing Program *Probe Compensated*

```

load cobaprobe3 Z;
load cobaprobe3 Psi;
load cobaprobe3 Vv;
load cobaprobe3 Vh;
load cobaprobe3 Epsiv;
load cobaprobe3 Ethetav;
load cobaprobe3 Epsih;
load cobaprobe3 Ethetah;

%Inputan Data Medan Dekat

%Input Dimensi Antena (dalam satuan meter)
D = 0.12

% Input Jari-jari pengukuran antenna (dalam meter)
r =0.3;

m = length (Z);
n = length (Psi);

%input frekuensi antena
lambda = (3*10^8)/(3.35*10^9);

%konstanta Propagasi
k = 2*pi/lambda;

% dimensi silinder terkecil
dim = (((D/(2*lambda))^(1/3))*(D/2)+ lambda);

%inputan Data Near Field
for x = 1:m
    z(x,1) = Z(x,1)/100;
end

for y = 1:n
    psi(1,y) = pi/180 * (Psi(y,1));
end

for x = 1:m
    for y = 1:n
        %vv(x,y) = Vv((y-1)*m+x,1);
        %vv(x,y) = Vv((y-1)*m+x,1)+Vv((y-1)*m+x,2)*j;
        %vv(x,y) = Vv((y-1)*m+x,1)*exp(j*Vv((y-1)*m+x,2)); %for
        measurement
        vv(x,y) = Vv((x-1)*n+y,1)*exp(j*Vv((x-1)*n+y,2));
    end
end

```

```

for y = 1:n
    for x = 1:m
        %vh(x,y) = Vh((y-1)*m+x,1);
        %vh(x,y) = Vh((y-1)*m+x,1)+Vh((y-1)*m+x,2)*j;
        %vh(x,y) = Vh((y-1)*m+x,1)*exp(j*Vh((y-1)*m+x,2)); %for
    measurement
        vh(x,y) = Vh((x-1)*n+y,1)*exp(j*Vh((x-1)*n+y,2)); %for
    Feko
    end
end

%Inputan Data Medan Jauh Probe
for y = 1:n
    for x = 1:m
        epsiv(x,y) = Epsiv((x-1)*n+y,1)*exp(j*Vh((x-1)*n+y,2));
        epsih(x,y) = Epsih((x-1)*n+y,1)*exp(j*Vh((x-1)*n+y,2));
        ethetav(x,y) = Ethetav((x-1)*n+y,1)*exp(j*Vh((x-
1)*n+y,2));
        ethetah(x,y) = Ethetah((x-1)*n+y,1)*exp(j*Vh((x-
1)*n+y,2));
    end
end

%for y = 1:n
%   for x = 1:m
%       epsiv(x,y) = Epsiv((y-1)*m+x,1)*exp(j*Vh((y-
1)*m+x,2));
%       epsih(x,y) = Epsih((y-1)*m+x,1)*exp(j*Vh((y-
1)*m+x,2));
%       ethetav(x,y) = Ethetav((y-1)*m+x,1)*exp(j*Vh((y-
1)*m+x,2));
%       ethetah(x,y) = Ethetah((y-1)*m+x,1)*exp(j*Vh((y-
1)*m+x,2));
%   end
%end

for x = 1:m
    for y = 1:n
        deg(x,1) = atan(z(x,1)/r);
        sudut_elevasi(x,1) = (180/pi)*deg(x,1);
    end
end

for x = 1:m
    for y = 1:n
        theta(x,y) = (pi/180)*(90-sudut_elevasi(x,1));
    end
end

```

```

%menghitung nilai dari Iv dan Ih

for x = 1:m
    for y = 1:n
        h(x,y) = k * cos(theta(x,y));
    end
end

for x = 1:m
    for y = 1:n
        iv(x,y)=(vv(x,y)*exp(j*h(x,y)*z(x,1)));
        ih(x,y)=(vh(x,y)*exp(j*h(x,y)*z(x,1)));
    end
end

Iv= fft(iv.').';
Ih = fft(ih.').';

%mencari koefisien probe

for p =round(-k*dim):round(k*dim)
    for x = 1:m
        for y = 1:n
            Epsiv_haha(x,y) = exp(-j*p*psi(1,y)) * epsiv(x,y);
            Ethetav_haha(x,y) = exp(-j*p*psi(1,y)) *
            ethetav(x,y);
            Epsih_haha(x,y) = exp(-j*p*psi(1,y)) * epsih(x,y);
            Ethetah_haha(x,y) = exp(-j*p*psi(1,y)) *
            ethetah(x,y);
        end
    end
    end
    Cv_haha = trapz(Epsiv_haha.').';
    Ch_haha = trapz(Epsih_haha.').';
    Dv_haha = trapz(Epsiv_haha.').';
    Dh_haha = trapz(Epsih_haha.').';

for x =1:m
    for y = 1:n
        Cv(x,1) = Cv_haha(x,1) / (2*j^m * sin(theta(x,1)));
        Ch(x,1) = Ch_haha(x,1) / (2*j^m * sin(theta(x,1)));
        Dv(x,1) = Dv_haha(x,1) / (2*j^m+1 * sin(theta(x,1)));
        Dh(x,1) = Dh_haha(x,1) / (2*j^m+1 * sin(theta(x,1)));
    end
end

%mencari koefisien antena

for x = 1:m

```

```

for y= 1:n
    %apa(x,y) = sqrt(k^2-h(x,y)^2)*r;
    apa(x,y) = k*r*sin(theta(x,1));
    H(x,y) = besselh(x,2,apa(x,y));
    determinan(x,y) = ((Cv(x,1)*H(x,y)) *
(Dh(x,1)*H(x,y)))-((Ch(x,1)*H(x,y)) * (Dv(x,1)*H(x,y)));
end
end

for x = 1:m
    for y = 1:n
        hasil(x,y) = Dh(x,1) * H(x,y);
        hasil2(x,y) = Dv(x,1) * H(x,y);
        hasil3(x,y) = Cv(x,1) * H(x,y);
        hasil4(x,y) = Ch(x,1) * H(x,y);
    end
end

for x = 1:m
    for y = 1:n
        Theta(x,y) = theta(x,1);
        a(x,y) = sin(Theta(x,y));
        ans11(x,y) = 1/(a(x,y)^2.*determinan(x,y));
    end
end

an = ans11.* (Iv.*hasil - Ih.*hasil2);
bn = ans11.* (Ih.*hasil3 - Iv.*hasil4);

for x = 1:m
    for y = 1:n
        An(x,y) =(an(x,y) *j^n );
        Bn(x,y) =(bn(x,y)*j^n );
    end
end

%hasil FFT pada koefisien antena

AnFFT = (fft(An'))';
BnFFT = (fft(Bn'))';

%mencari medan Etheta dan Epsi Far Field

for x = 1:m
    for y = 1:n
        Etheta(x,y) = j * BnFFT(x,y) * (sin(theta(x,y)));
        Epsi(x,y) = AnFFT(x,y) * (sin(theta(x,y)));
    end
end

```

```

%men cetak hasil ke grafik 3D

E1 = Etheta;
E2 = Epsi;

amp = sqrt(abs (E1).^2 + abs (E2).^2);

max_aml = max(amp(:, :));
max_amp = max(max_aml(1, :));

for x = 1:m
    for y = 1:n
        E_hasil(x,y) = amp(x,y);
    end
end

E = E_hasil/max_amp;

%surf (E)

%men cetak hasil ke grafik polar

%saat theta = 0

clear cetak
clear max_E
for y = 1:n
    cetak(1,y) = abs(E1(ceil(m/2),y));
end
max_E = max(cetak(1, :));

polar(psi(1, :), cetak/max_E, 'r');

%saat psi = 0

clear cetak
clear max_E
for x = 1:m
    cetak(x,1) = E(x, round(n/2));
end
max_E = max(cetak(:, 1));

%polar(pi/2 - sudut_elevasi(:, 1)*pi/180, cetak/max_E, 'b');

%men cetak hasil ke grafik kartesian

%saat theta = 0

clear cetak
clear max_E
for y = 1:n
    cetak(1,y) = E(ceil(m/2),y);
end

```

```
max_E = max(cetak(1,:));

plot(psi(1,:)*(180/pi),20*log(cetak/max_E),'k');
xlabel ('Psi(degree)');
ylabel ('Amplitude');
title ('E Field in 2D when Theta = 90');

%saat psi = 0

clear cetak
clear max_E
for x = 1:m
    cetak(x,1) = (E(x,round(n/2)));
end
max_E = max(cetak(:,1));

%plot(90-sudut_elevasi(:,1),20*log(cetak/max_E),'b');
```

PERPUSTAKAAN FAKULTAS TEKNIK  
**e-Skripsi**  
UNIVERSITAS INDONESIA