

TUGAS AKHIR - RE 141599

**DESAIN DAN ANALISIS MATERIAL ANTENA PARABOLA
UNTUK *SYNTHETIC APERTURE RADAR ON-BOARD*
MICROSATELLITE PADA FREKUENSI C-BAND**

Akbar Danar Abiwardana
NRP. 07111440000179

Dosen Pembimbing
Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng. Ph.D.
Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



TUGAS AKHIR - RE 141599

**DESAIN DAN ANALISIS MATERIAL ANTENA PARABOLA
UNTUK SYNTHETIC APERTURE RADAR ON-BOARD
MICROSATELLITE PADA FREKUENSI C-BAND**

Akbar Danar Abiwardana
NRP. 07111440000179

Dosen Pembimbing
Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng. Ph.D.
Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

Pernyataan Keaslian Tugas Akhir

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “**Desain dan Analisis Material Antena Parabola untuk *Synthetic Aperture Radar onboard Microsatellite* pada Frekuensi C-Band**” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juli 2018

Akbar Danar Abiwardana
2214100179

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

**DESAIN DAN ANALISIS MATERIAL ANTENA
PARABOLA UNTUK SYNTHETIC APERTURE
RADAR ONBOARD MICROSATELLITE PADA
FREKUENSI C-BAND**

TUGAS AKHIR

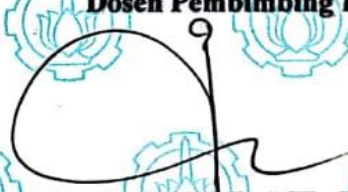
**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui:

Dosen Pembimbing I,


**Prof. Ir. Gamanthro H., M.Eng., Ph.D.
NIP. 197011111993031002**

Dosen Pembimbing II,


**Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D.
NIP. 197210012003121002**



[Halaman ini sengaja dikosongkan]

DESAIN DAN ANALISIS MATERIAL ANTENA PARABOLA UNTUK *SYNTHETIC APERTURE* RADAR ONBOARD MICROSATELLITE PADA FREKUENSI C-BAND

Nama : : Akbar Danar Abiwardana
Dosen Pembimbing 1 : Prof. Ir. Gamantyo H., M. Eng., Ph.D.
Dosen Pembimbing 2 : Eko Setijadi, S.T., M.T., Ph.D.

Abstrak

Pada tugas akhir ini dilakukan penelitian mengenai material yang akan digunakan pada antena parabola yang ditujukan untuk spesifikasi *Synthetic Aperture Radar onboard Microsatellite* pada frekuensi *C-Band*. Dalam merancang antena seperti itu, pemilihan jenis material harus dipertimbangkan agar efek ekspansi dan penyusutan dimensi antena karena variasi suhu yang drastis tidak menghasilkan perubahan kinerja yang signifikan.

Dalam penelitian ini, efek penggunaan berbagai jenis material terhadap kinerja antena dievaluasi ketika diterapkan pada desain antena dengan memasukkan perubahan dimensi yang disebabkan oleh perubahan suhu melalui simulasi. Langkah pertama melibatkan pembuatan desain antena menggunakan Solidworks, di mana desain untuk reflektor dibuat dengan berbagai jenis dan desain material. Kemudian simulasi perubahan suhu dilakukan untuk mengetahui perubahan dimensi desain antena terhadap perubahan suhu yang mendekati kondisi pengoperasian nyata di satelit. Setelah itu, medan elektromagnetik untuk desain antena sebelum dan sesudah ekspansi yang diinduksi oleh panas disimulasikan untuk mempelajari kinerja antena. Perbandingan kinerja dilakukan untuk mendapatkan jenis dan desain material terbaik.

Dari antara beberapa desain dan jenis bahan yang dipilih, hasil simulasi menunjukkan bahwa molybdenum dengan desain dilapisi emas menghasilkan kinerja terbaik.

Kata Kunci: Radar, *Microsatellite*, Antena, Material

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

DESIGN AND ANALYSIS OF PARABOLIC ANTENNA MATERIAL FOR SYNTHETIC APERTURE RADAR ONBOARD MICROSATELLITE AT C-BAND FREQUENCY

Name : Akbar Danar Abiwardana
Advisor 1 : Prof. Ir. Gamantro Hendrantoro, M.Eng., Ph.D.
Advisor 2 : Eko Setijadi, S.T., M.T., Ph.D.

Abstract

In this final project conducted a research on the material to be used on a parabolic antenna devoted to the specification of Synthetic Aperture Radar onboard Microsatellite at C-Band frequency. In designing such an antenna, the selection of material types should be considered in order to effect the expansion and shrinkage of the antenna dimensions as drastic temperature variations do not result in significant performance changes.

In this study, the effect of using different types of material on antenna performance was evaluated when applied to the antenna design by including dimensional changes caused by temperature changes through simulation. The first step involves making an antenna design using Solidworks, where the design for reflectors is made with different types and material designs. Then a simulated temperature change was made to find out the change in antenna design dimension to the temperature changes approaching the real operating conditions in the satellite. After that, the electromagnetic field for the antenna design before and after the heat induced expansion is simulated to study the antenna performance. Comparison of performance is done to get the best type and material design.

From among several designs and types of materials selected, the simulation results show that molybdenum with gold-coated design produces the best performance.

Keyword : Radar, Microsatellite, Antenna, Material

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

Kata Pengantar

Puji Syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan anugerah-NYA untuk dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir dengan judul “**Desain Dan Analisis Material Antena Parabola untuk Synthetic Aperture Radar onboard Microsatellite pada Frekuensi C-Band**” untuk memenuhi persyaratan pendidikan pada Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia, Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya yang dalam pengerjaannya terdapat berbagai kendala dan permasalahan, namun atas bantuan dari berbagai pihak, kendala dan permasalahan dapat teratasi. Karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua dan keluarga yang selalu membantu dalam berbagai hal.
2. Bapak Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng., Ph.D. dan Bapak Eko Setijadi, S.T., M.T., Ph.D. atas bimbingan yang diberikan dari awal penelitian sampai dengan ujian tugas akhir.
3. Rekan-rekan anggota Lab. 306 yang telah membantu dalam melakukan proses pengujian penelitian.
4. Rekan-rekan dari Teknik Mesin ITS, yaitu Rifai Arif dan Rovita, yang telah membantu dalam melakukan proses pengujian penelitian.
5. Rekan-rekan senior yang telah membantu memberikan saran dan petunjuk atas peneilitian tugas akhir.
6. Seluruh rekan yang telah memberikan sumbangsih dalam bentuk pemikiran maupun tenaga dalam penelitian Tugas Akhir ini.

Demikian semoga buku Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca.

Surabaya, Juli 2018

Akbar Danar Abiwardana

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

Daftar Isi

Pernyataan Keaslian Tugas Akhir.....	i
Halaman Pengesahan	Error! Bookmark not defined.
Abstrak.....	v
Abstract.....	vii
Kata Pengantar	ix
Daftar Isi.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Permasalahan.....	2
1.3. Batasan Masalah.....	2
1.4. Tujuan.....	2
1.5. Metodologi	3
1.6. Sistematika Pembahasan	4
1.7. Relevansi.....	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1. Sistem Radar.....	7
2.2. Antena Parabola.....	8
2.3. Parameter Antena.....	9
2.3.1. Impedansi Input	10
2.3.2. <i>Scattering Parameter</i>	10
2.3.3. Koefisien Refleksi.....	12
2.3.4. <i>Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)</i>	13
2.3.5. <i>Bandwidth</i>	13
2.3.6. Pola Radiasi.....	14

2.3.7. <i>Beamwidth</i>	16
2.3.8. <i>Side Lobe Level</i>	17
2.3.9. <i>Directivity</i>	17
2.3.10. <i>Gain</i>	18
BAB 3 METODE PERANCANGAN DESAIN DAN SIMULASI	21
3.1. Alir Perancangan	21
3.2. Kriteria dan Spesifikasi Antena Parabola	23
3.3. Pengaturan Simulasi Kinerja Antena	24
3.3.1. <i>Frequency Range</i>	24
3.3.2. <i>Field Monitor</i>	24
3.3.3. <i>Boundary Condition</i>	25
3.3.4. <i>Setup Solver</i>	27
3.4. Pengaturan Simulasi Suhu Antena	27
3.4.1. <i>Fixture</i>	28
3.4.2. <i>External Loads</i>	28
3.5. Perancangan <i>Feeder (Corrugated Horn)</i>	29
3.6. Perancangan Reflektor (<i>Mesh Parabolic Reflector</i>)	31
3.6.1. Perhitungan <i>Mesh Parabolic Reflector</i>	32
3.6.2. Pembuatan Desain <i>Mesh Parabolic Reflector</i>	33
BAB 4 HASIL SIMULASI DAN ANALISIS	35
4.1. <i>Corrugated Horn</i>	35
4.1.1. Hasil Desain <i>Corrugated Horn</i>	35
4.1.2. Hasil Simulasi Suhu <i>Feeder</i>	36
4.1.3. Hasil Simulasi Performa <i>Feeder</i>	38
4.2. <i>Corrugated Horn-fed Mesh Parabolic Reflector Antenna</i>	45
4.2.1. Hasil Desain <i>Corrugated Horn-fed Mesh Parabolic Reflector Antenna</i>	45
4.2.2. Hasil Simulasi Suhu Reflektor	47

4.2.3. Hasil Simulasi Performa <i>Corrugated Horn-fed Mesh</i> <i>Parabolic Reflector Antenna</i>	48
4.3. Hasil Simulasi <i>Gain vs Diameter</i>	54
BAB 5 PENUTUP	57
5.1. Kesimpulan	57
5.2. Saran	57
DAFTAR PUSTAKA	59
LAMPIRAN A	61
LAMPIRAN B	63
LAMPIRAN C	65
LAMPIRAN D	73
RIWAYAT PENULIS	75

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema Radar Sistem Radar [1].....	7
Gambar 2.2 Kiri, bentuk umum untuk nilai F/D . Kanan, sudut reflektor terhadap F/D	9
Gambar 2.3 Saluran transmisi yang tersambung dengan beban (antena) [3]	10
Gambar 2.4 Konsep S -Parameter dengan dua terminal [4]	11
Gambar 2.5 Pola radiasi antena secara umum [1]	16
Gambar 3.1 Diagram alir perancangan material antena parabola untuk <i>Synthetic Aperture Radar</i>	22
Gambar 3.2 Pengaturan pada <i>Frequency Range</i> sebelum menjalankan simulasi	24
Gambar 3.3 Pengaturan pada <i>Field Monitor</i> sebelum menjalankan simulasi	25
Gambar 3.4 Pengaturan pada <i>Boundary Condition</i> sebelum menjalankan simulasi	26
Gambar 3.5 Pengaturan pada <i>Time Domain Solver</i> sebelum menjalankan simulasi	27
Gambar 3.6 Pengaturan pada <i>Fixture</i> sebelum melakukan simulasi pemuaian terhadap suhu	28
Gambar 3.7 Pengaturan pada <i>External Loads</i> sebelum melakukan simulasi pemuaian terhadap suhu	29
Gambar 3.8 Geometri <i>feeder corrugated horn</i>	30
Gambar 3.9 Geometri <i>Reflector</i>	32
Gambar 3.10 Perhitungan pendekatan titik fokus reflektor parabola...32	
Gambar 4.1 Desain <i>feeder Corrugated Horn</i> tampak depan dan tampak belakang.	36
Gambar 4.2 Desain <i>feeder Corrugated Horn</i> tampak samping.	36
Gambar 4.3 Hasil simulasi pemuaian dimensi <i>Corrugated Horn axial</i> 37	
Gambar 4.4 Hasil simulasi pemuaian dimensi <i>Corrugated Horn radial</i>	37
Gambar 4.5 Plot hasil simulasi <i>return loss</i> dari <i>Corrugated Horn</i> material <i>pure gold</i>	39
Gambar 4.6 Plot hasil simulasi <i>return loss</i> dari <i>corrugated horn</i> material <i>pure gold</i> pada frekuensi 1 – 10 GHz	39
Gambar 4.7 Plot <i>return loss Corrugated Horn</i> $\Delta T = 600^{\circ}\text{C}$	40
Gambar 4.8 Plot <i>VSWR Corrugated Horn</i> $\Delta T = 0$	41
Gambar 4.9 Plot <i>VSWR Corrugated Horn</i> $\Delta T = 600^{\circ}\text{C}$	42

Gambar 4.10 Pola Radiasi plot Polar <i>Corrugated Horn</i> $\Delta T = 0^{\circ}\text{C}$	42
Gambar 4.11 Pola Radiasi plot Cartesian <i>Corrugated Horn</i> $\Delta T = 0^{\circ}\text{C}$	43
Gambar 4.12 Pola Radiasi plot Polar <i>Corrugated Horn</i> $\Delta T = 600^{\circ}\text{C}$	43
Gambar 4.13 Plot Pola Radiasi $\Delta T = 0^{\circ}\text{C}$ vs $\Delta T = 600^{\circ}\text{C}$	44
Gambar 4.14 Hasil desain <i>Corrugated Horn-fed Mesh Parabolic Reflector Antenna</i> dengan jenis material Alummunium	45
Gambar 4.15 Hasil desain <i>Corrugated Horn-fed Mesh Parabolic Reflector Antenna</i> dengan jenis material Molybdenum berlapis Tembaga	46
Gambar 4.16 Hasil desain <i>Corrugated Horn-fed Mesh Parabolic Reflector Antenna</i> dengan jenis material Molybdenum berlapis Emas..	46
Gambar 4.17 Hasil desain <i>Corrugated Horn-fed Mesh Parabolic Reflector Antenna</i> dengan jenis material Molybdenum berlapis Perak ..	46
Gambar 4.18 Hasil simulasi pemuai dimensi <i>Mesh Parabolic Reflector Radial</i>	47
Gambar 4.19 Hasil simulasi pemuai dimensi <i>Mesh Parabolic Reflector Axial</i>	47
Gambar 4.20 Pola Radiasi plot Polar <i>Corrugated Horn-fed Mesh Parabolic Reflector Antenna</i>	49
Gambar 4.21 Pola Radiasi plot 3 Dimensi <i>Corrugated Horn-fed Mesh Parabolic Reflector Antenna</i>	49
Gambar 4.22 Plot <i>gain Corrugated Horn-fed Mesh Parabolic Reflector</i> $\Delta T = 0^{\circ}\text{C}$	51
Gambar 4.23 Plot <i>gain Corrugated Horn-fed Mesh Parabolic Reflector Antenna</i> $\Delta T = 600^{\circ}\text{C}$	52
Gambar 4.24 Plot <i>gain Corrugated Horn-fed Mesh Parabolic Reflector</i> material Alummunium $\Delta T = 0^{\circ}\text{C}$ vs $\Delta T = 600^{\circ}\text{C}$	53
Gambar 4.25 Plot <i>gain vs diameter</i>	55
Gambar D.1 Dokumentasi Pengujian	67

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Spesifikasi untuk <i>feeder</i>	23
Tabel 3.2 Spesifikasi untuk reflektor.....	23
Tabel 3.3 Dimensi <i>feeder corrugated horn</i>	30
Tabel 3.4 Dimensi dan parameter <i>mesh reflector</i>	33
Tabel 4.1 Perubahan dimensi <i>Corrugated Horn</i>	38
Tabel 4.2 Pengaruh perubahan suhu terhadap <i>Return Loss feeder</i> <i>Corrugated Horn</i>	40
Tabel 4.3 Pengaruh perubahan suhu terhadap <i>VSWR Corrugated Horn</i>	42
Tabel 4.4 Pengaruh perubahan suhu terhadap Pola Radiasi <i>feeder</i> <i>Corrugated Horn</i>	44
Tabel 4.5 Perubahan dimensi <i>Mesh Parabolic Reflector</i> $\Delta T = 600^{\circ}\text{C}$	48
Tabel 4.6 Perbandingan parameter antar jenis material Antena Parabola	51
Tabel 4.7 Perbandingan parameter antar jenis material Antena Parabola pada kondisi $\Delta T = 600^{\circ}\text{C}$	53
Tabel 4.8 Hasil simulasi <i>gain vs diameter</i>	55

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dalam beberapa tahun terakhir, penelitian mengenai teknologi radar telah banyak dilakukan. Radar (radio detection and ranging) merupakan sebuah sistem yang berfungsi untuk mendeteksi posisi dan pergerakan dari suatu obyek melalui gelombang elektromagnetik. Radar bekerja dengan cara memancarkan gelombang elektromagnetik kemudian menangkap sinyal *echo* hasil pantulan *obey* untuk menentukan posisi obyek tersebut. Salah satu bagian penting dari radar adalah antena radar yang berfungsi untuk memancarkan dan menerima gelombang elektromagnetik. Penggunaan antena untuk radar telah banyak mengalami perkembangan, mulai dari antena berbentuk dish yang berputar secara horizontal hingga antena *phased array* yang memiliki fisik antena yang diam namun *beamwidth* yang dihasilkan mampu bergerak untuk melakukan scanning di wilayah cakupannya. Dalam rancangan tugas akhir ini akan digunakan antena horn dengan polarisasi circular polarization dan parabola sebagai reflektornya yang digunakan pada satelit A5.

Radar ini bertujuan untuk mengambil citra (mapping) permukaan bumi beserta data topografi dan cadangan air di bawah permukaan dari satelit. Radar ini dapat mengambil data cadangan air di bawah permukaan bumi juga karena menggunakan *C-Band* frekuensi 5,3 – 5,6 GHz yang sehingga gelombang radionya bisa menembus permukaan bumi. Tidak hanya permukaan bumi saja, gelombang radio ini juga bisa menembus awan sehingga radar dapat mengambil citra permukaan bumi siang dan malam dan dalam kondisi cuaca apapun. Teknologi yang sudah ada menggunakan kamera optik untuk mengambil citra permukaan bumi, tapi membutuhkan cahaya yang cukup untuk bisa mengambil citra yang bagus. Sehingga teknologi yang sudah ada ini tidak dapat mengambil citra ketika malam hari. Dan karena menggunakan kamera jadi tidak dapat mengambil citra permukaan bumi ketika terhalangi oleh awan, juga tidak bisa mengambil data cadangan air di bawah permukaan bumi.

Karena radar ini akan dipasang di *microsatellite* yang akan mengorbit di lapisan eksosfer, lapisan atmosfer bumi paling luar dan memiliki rentang suhu yang cukup lebar, sehingga diperlukan pemilihan material antena yang tepat supaya antena tidak mengalami pemuaian dan penyusutan

yang berlebihan. Karena pemuaian dan penyusutan yang berlebihan pada dimensi antena menyebabkan perubahan kinerja radar. Sehingga antena perlu didesain dengan jenis material dan model yang tepat untuk meminimalkan pemuaian dan penyusutan dimensi untuk menghasilkan performa antena dan kinerja radar yang baik dan konsisten.

1.2. Permasalahan

Permasalahan yang dibahas pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Menemukan jenis dan desain material yang memiliki kriteria:
 - a. Hambatan jenis kecil
 - b. Koefisien muai kecil
 - c. Mudah ditemukan di Indonesia
2. Sehingga ketika antena satelit tersebut beroperasi pada rentang suhu yang besar tidak merubah parameter antena:
 - a. Frekuensi kerja
 - b. Gain

1.3. Batasan Masalah

Batasan permasalahan dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Desain antena yang direncanakan adalah antena berjenis horn circular dengan polarisasi *Circular Polarization* pada frekuensi C-Band dan reflektornya yang berbentuk parabola.
2. Perancangan desain dilakukan melalui dua tahap, yaitu pembuatan desain dan simulasi menggunakan program *CST Studio 2017* dan *Solidworks 2016*.
3. Pengujian desain dilakukan pada sisi antena dan parabolanya, yaitu dengan memperhatikan parameter gain dan frekuensi kerja.

1.4. Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah menghasilkan desain material antena dan reflektor untuk *Circular Polarization Synthetic Aperture Radar onboard Microsatellite* pada frekuensi C-Band yang memiliki kinerja bagus pada rentang suhu di lapisan Eksosfer bumi.

1.5. Metodologi

1. Studi literatur

Studi literatur dilakukan dengan membaca referensi berupa buku, paper, maupun sumber lain yang berhubungan dengan topik penelitian. Selain itu studi literatur juga mencakup tentang mempelajari tools atau software yang digunakan selama proses penelitian. Secara spesifik, topik-topik yang dipelajari antara lain:

- a. Teori dan rancang bangun antenna, khususnya material antenna untuk satelit.
- b. Desain antenna satelit, yaitu sebagai bahan referensi maupun perbandingan dengan antenna yang akan didesain.
- c. Teori radar, khususnya pada bagian antenna. Mempelajari apa saja ketentuan yang harus dipenuhi dalam mendesain antenna untuk radar agar menghasilkan antenna yang memiliki performa bagus.
- d. CST Microwave Studio, yaitu software yang digunakan untuk simulasi desain antenna.

2. Perancangan dan Desain Antena Parabola

Perancangan desain antenna parabola untuk *Synthetic Aperture Radar (SAR)* mengacu pada referensi, terutama pada bagian reflector parabola [2]. Untuk pembuatan desain akan dilakukan menggunakan *Solidworks 2016* karena *software* tersebut mendukung untuk pembuatan desain 3D yang memiliki detail yang rumit. Dan bagian *feeder*, pembuatan desain akan menggunakan *Antenna Magus 2017* karena *feeder* yang menjadi kandidat menurut referensi yang dipakai merupakan desain geometri yang sederhana dan dapat menggunakan *software* tersebut.

Feeder akan didesain untuk dapat beroperasi pada frekuensi *C-Band* yaitu 5,3 – 5,6 GHz. Dan reflektor akan didesain seperti pada referensi yaitu berbentuk jaring parabola (*mesh parabolic reflector*) dengan spesifikasi target yaitu memiliki *gain* total antenna sebesar 30 dB.

3. Simulasi Antena Parabola

Simulasi desain antenna parabola akan dilakukan melalui 3 tahap simulasi dan menggunakan 2 *software*. Tahap pertama, desain antenna parabola akan dilakukan simulasi untuk mengetahui kinerja antenna

dengan memperhatikan beberapa parameter antenna yang didapat setelah melakukan simulasi dengan menggunakan *CST Studio 2017*. Kemudian tahap 2, desain antenna akan dilakukan simulasi suhu untuk mengetahui model pemuaian dimensi desain antenna parabola, baik *feeder* maupun reflektor, terhadap perubahan suhu yang disesuaikan dengan kondisi di lapisan eksosfer. Simulasi suhu menggunakan *Solidworks 2016*. Tahap 3, desain antenna parabola akan dilakukan simulasi menggunakan *CST Studio 2017* lagi dengan memasukkan nilai perubahan dimensi desain antenna parabola untuk mengetahui efek perubahan suhu terhadap performa kinerja antenna parabola dengan memperhatikan perubahan dimensinya.

4. Pengolahan Data Hasil Simulasi

Pengolahan data hasil simulasi dilakukan berdasarkan data yang didapatkan, yang selanjutnya untuk dibandingkan dengan beberapa perhitungan yang ada dan dianalisis.

5. Analisis Data

Pada tahap ini dilakuakn analisis hasil data yang telah didapatkan dari hasil pengujian dan selanjutnya dibandingkan dengan hasil simulasi untuk dapat dianalisis untuk dilakukan penarikan kesimpulan dari dari penelitian yang dilakukan.

1.6. Sistematika Pembahasan

Pembahasan tugas akhir ini terbagi kedalam lima bab utama dengan rincian sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini mencakup latar belakang, permasalahan, batasan masalah, tujuan penelitian, metodologi penelitian, sistematika penulisan, dan relevansi dari hasil penelitian.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang tinjauan pustaka dan teori-teori yang berhubungan dengan radar, antenna parabola, dan antenna onboard satelit seperti sistem radar, parameter antenna, antenna parabola, antenna onboard satelit, dan beberapa teori penunjang mengenai desain antenna parabola onboard satelit.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini akan menjelaskan tentang langkah-langkah dalam membuat desain antena parabola *onboard microsatellite* dan analisis karakteristik antena parabola terhadap perubahan parameter yang disesuaikan dengan keadaan lingkungan di Eksosfer.

BAB IV ANALISIS DATA HASIL SIMULASI

Pada bab ini berisi tentang hasil pembuatan desain antena parabola, dan data hasil simulasi yang telah didapatkan melalui 3 tahap simulasi yang dilakukan. Kemudian akan dibandingkan dan dianalisis terkait dengan variasi data yang didapat dan juga permasalahan yang terdapat pada saat simulasi.

BAB V PENUTUP

Pada bab ini berisikan kesimpulan dan saran berdasarkan berbagai hasil data dan analisis yang telah dilakukan dalam proses pengerjaan tugas akhir ini.

1.7. Relevansi

Adapun relevansi dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan kontribusi berupa desain material antena radar parabola yang sesuai dengan kriteria spesifikasi untuk dipasang di satelit A5 yang sedang dikembangkan
2. Menjadi referensi dalam desain material antena radar parabola onboard satelit mikro yang memiliki karakteristik low profile, ringan, dan stabil pada rentang suhu di eksosfer.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

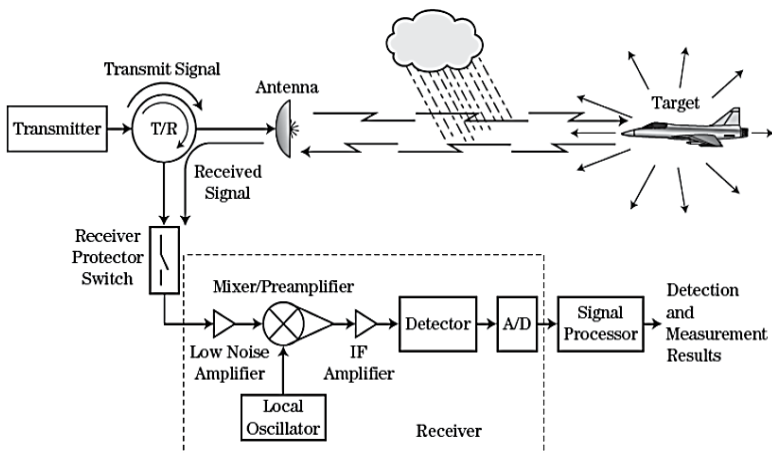
BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sistem Radar

Radar adalah sistem kelistrikan yang dapat memancarkan gelombang elektromagnetik dan menerima kembali gelombang elektromagnetik itu ketika dipantulkan oleh suatu objek serta mendeteksi keberadaan objek itu. Gambar 2.1 menunjukkan beberapa komponen utama atau subsistem yang terlibat dalam sistem radar. Sistem radar memiliki banyak jenis. Tetapi secara umum, sistem radar memiliki 4 subsistem, yaitu *transmitter*, *antenna*, *receiver*, dan *signal processor*. Prinsip kerja radar dapat ditunjukkan pada Gambar 2.1 [1].

Pada sistem radar, *transmitter* berfungsi untuk membangkitkan gelombang elektromagnetik. *Transmitter* terdiri dari *waveform generator* untuk membangkitkan sinyal, *power amplifier* untuk menguatkan sinyal yang dibangkitkan, serta *pulse modulator*. Output dari transmitter akan diteruskan ke perangkat *duplexer*. *Duplexer* berfungsi untuk memisahkan antara sinyal yang akan ditransmisikan dan sinyal yang diterima oleh antenna. Sehingga pada mode *transmit*, sinyal dari *transmitter* tidak masuk ke *receiver*. Hal ini untuk mencegah kerusakan pada perangkat *receiver* akibat sinyal dari *transmitter* yang berdaya tinggi.



Gambar 2.1 Skema Radar Sistem Radar [1]

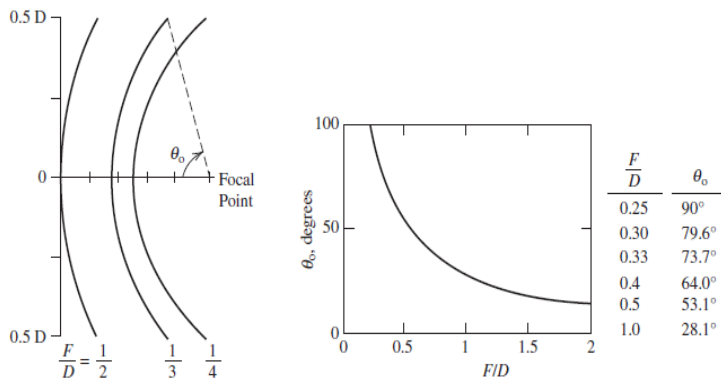
Setelah dilewatkan duplexer, sinyal diteruskan ke antenna dan dipancarkan. Sinyal yang dipancarkan oleh antenna akan mengenai objek di sekitarnya, baik itu target radar maupun obyek-obyek lain, akan dipantulkan sebagai sinyal echo menuju ke *antenna* radar untuk diterima kembali. Dari antenna, sinyal diteruskan ke subsistem *receiver*. Subsistem *receiver* terdiri dari *Low Noise Amplifier* (LNA), *Mixer* dan *Local Oscillator*, *IF Amplifier*, *Detector*, dan *Analog to Digital Converter* (ADC). Pertama, sinyal yang diterima kembali oleh antenna dikuatkan oleh LNA. Kemudian, *mixer* dan *local oscillator* akan mengubah frekuensi sinyal, dari RF (*Radio Frequency*) menjadi sinyal IF (*Intermediate Frequency*). Sinyal IF akan dikuatkan oleh IF amplifier dan diteruskan ke detector yang akan memisahkan sinyal termodulasi dari sinyal pembawa. Sinyal termodulasi yang didapat akan dikonversi ke bentuk sinyal digital oleh ADC untuk diteruskan dan diolah oleh subsistem *Signal Processor* [2].

Pengolahan sinyal bertujuan untuk membuang bagian sinyal yang tidak diinginkan, seperti noise dan clutter. Bagian ini termasuk sangat penting karena berpengaruh pada pengambilan keputusan saat mendeteksi target radar. Secara umum, pengolah sinyal berupa filter seperti *doppler filter* dan *matched filter*. Pada sistem radar modern, selain pengolah sinyal, terdapat juga pengolah data, contohnya *automatic tracker*, yang dapat menelusuri jejak target selama waktu tertentu. Data keluaran *receiver* akan ditampilkan melalui sebuah *radar display*. Untuk *Synthetic Aperture Radar*, akan digunakan *Monitor Display* yang akan menampilkan citra dari permukaan bumi.

2.2. Antena Parabola

Antena parabola merupakan antena yang terdiri dari dua bagian utama, yaitu antena pencatu atau *feeder* dan pemantul atau reflektor. Disebut antena parabola karena pada bagian reflektornya berbentuk parabola, atau biasa disebut *parabolic reflector*. Dengan reflektor yang berbentuk parabola, semua karakteristik radiasi antena (*antenna pattern*, *antenna efficiency*, *polarization discrimination*, dan lain-lain) dapat ditingkatkan. Hal ini ditunjukkan oleh sifat geometri parabola seperti fenomena optik, jika ada radiasi medan elektromagnetik sejajar datang ke arah reflektor parabola maka akan dipantulkan dan difokuskan ke satu titik yaitu titik fokus dari reflektor. Sebaliknya, jika ada sumber radiasi yang diletakkan di titik fokus reflektor maka akan dipantulkan oleh reflektor parabola lurus sejajar [1].

Reflektor parabola yang asimetris mempunyai dua parameter spesifikasi, yaitu diameter D dan titik fokus F . Atau ekuivalen, reflektor sering dinyatakan dalam D dan F/D , dimana nilai tersebut merupakan ukuran dan bentuk (tingkat kelengkungan). F/D atau rasio titik fokus F terhadap diameter D menyatakan tingkat kelengkungan reflektor parabola. Jika nilai F/D menjadi infinity maka reflektor menjadi berbentuk datar. Gambar 2.2 adalah ilustrasi dari parameter reflektor F/D . Permasalahan dalam melakukan desain reflektor terdiri dari *matching* pola antena *feeder* terhadap reflektor.



Gambar 2.2 Kiri, bentuk umum untuk nilai F/D . Kanan, sudut reflektor terhadap F/D

2.3. Parameter Antena

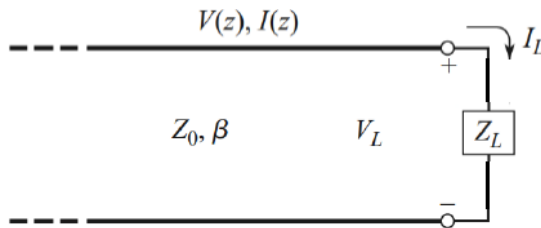
Parameter antena adalah ukuran-ukuran atau karakteristik yang dipakai untuk mengidentifikasi kinerja atau performa yang mampu dicapai oleh suatu antena. Dalam melakukan desain antena, penentuan parameter-parameter antena yang ingin dicapai sangat penting karena akan berpengaruh pada jenis, bentuk, maupun ukuran antena yang akan dihasilkan. Selain itu, parameter-parameter antena juga digunakan sebagai kriteria penilaian pada proses pengukuran antena. Beberapa parameter antena dapat saling berkaitan satu sama lain, baik memiliki hubungan sebanding lurus, maupun berbanding terbalik. Oleh karena itu, banyak pertimbangan dan *trade-off* yang harus dilakukan pada saat mendesain antena agar memenuhi kriteria spesifikasi yang telah ditentukan.

2.3.1. Impedansi Input

Impedansi input adalah nilai impedansi dari suatu antenna pada bagian terminal atau sambungan dari sumber daya menuju ke antenna. Suatu antenna memiliki impedansi *input* kompleks (Z_L) yang terdiri dari resistansi (R_L) dan reaktansi (X_L), sebagaimana ditunjukkan persamaan (2.1) berikut:

$$Z_L = R_L + jX_L \quad (2.1)$$

Jika antenna dihubungkan dengan saluran transmisi yang memiliki impedansi karakteristik $Z_0 = R_0 + jX_0$, seperti ditunjukkan pada gambar 2.2, maka transfer daya ke antenna akan maksimum ketika impedansi input antenna *match conjugate* dengan impedansi karakteristik dari saluran transmisi ($Z_L = Z_0^*$), yaitu ketika $R_L = R_0$ dan $X_L = -X_0$



Gambar 2.3 Saluran transmisi yang tersambung dengan beban (antena) [3]

Impedansi *input* dari suatu antenna merupakan fungsi terhadap frekuensi. Nilai impedansi *input* dari suatu antenna tergantung pada berbagai faktor, seperti geometri antenna, metode pencatutan, dan pengaruh obyek di sekitar antenna [1]. Karena karakteristiknya yang kompleks, hanya beberapa jenis antenna saja yang sudah berhasil dilakukan analisis impedansinya, sementara penentuan impedansi input untuk jenis antenna lain masih dilakukan secara eksperimental.

2.3.2. Scattering Parameter

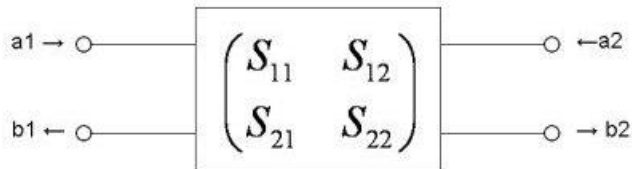
Scattering Parameter (S-Parameter) mendeskripsikan karakteristik suatu network atau perangkat yang memiliki banyak port (*multi-port network*), khususnya yang beroperasi pada frekuensi tinggi. Parameter ini

dapat dinyatakan ke dalam bentuk matriks yang disebut sebagai *scattering matrix* $[S]$. *S-Parameter* dapat digunakan untuk menyatakan karakteristik *gain*, *return loss*, koefisien transmisi, dan koefisien pantul.

Konsep *S-Parameter* dalam dua buah port dapat dilihat pada Gambar 2.1. Dengan konfigurasi dua port tersebut, dapat dirumuskan *scattering matrix* dalam bentuk yang umum sebagai [3]:

$$[V]^- = [S][V]^+ \quad (2.2)$$

$[V]^-$ merupakan tegangan yang terpantul dan $[V]^+$ merupakan tegangan yang disalurkan menuju *network* tersebut. Pengukuran *S-Parameter* dilakukan menggunakan sebuah perangkat *Vector Network Analyzer* (VNA). Pada penerapannya di antena, *S-Parameter* biasanya digunakan untuk mengukur nilai koefisien pantul atau *return loss* dan *mutual coupling* dari suatu antena.



Gambar 2.4 Konsep *S-Parameter* dengan dua terminal [4]

Adapun konsep yang lebih sederhana yang menggambarkan *S-Parameter* adalah besaran yang menggambarkan hubungan dari terminal masukan dan keluaran dari suatu transmisi yang berkaitan dengan daya sinyal yang diteruskan maupun dipantulkan [4]. Konsep *S-Parameter* dalam dua terminal dapat dilihat pada Gambar 2.3.

Keterangan:

- S_{11} : perbandingan daya yang masuk dan keluar dari terminal 1
- S_{12} : perbandingan daya yang masuk dari terminal 1 dan keluar ke terminal 2
- S_{21} : perbandingan daya yang masuk dari terminal 2 dan keluar ke terminal 1
- S_{22} : perbandingan daya yang masuk dan keluar dari terminal 2
- a_1 : daya yang masuk dari terminal 1
- a_2 : daya yang masuk dari terminal 2

- b_1 : daya yang keluar ke terminal 1
 b_2 : daya yang keluar ke terminal 2

Dari Gambar 2.3 dapat dibuat persamaan sebagai berikut:

$$S_{11} = \frac{b_1}{a_1} \quad (2.3)$$

$$S_{12} = \frac{b_1}{a_2} \quad (2.4)$$

$$S_{21} = \frac{b_2}{a_1} \quad (2.5)$$

$$S_{22} = \frac{b_2}{a_2} \quad (2.6)$$

2.3.3. Koefisien Refleksi

Koefisien refleksi atau *return loss* didapatkan dengan membandingkan daya yang dipantulkan oleh beban (antena) dengan daya yang ditransmisikan, bisa dikatakan koefisien refleksi sama dengan dengan S_{11} [5]. Nilai koefisien refleksi dapat diubah menjadi menjadi fungsi tegangan dari fungsi daya. Koefisien refleksi tegangan (Γ) adalah perbandingan antara tegangan yang dipantulkan (v^{0-}) dan tegangan yang masuk (v^{0+}) dapat diperoleh dengan persamaan (2.7).

$$\Gamma = \frac{v^{0-}}{v^{0+}} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (2.7)$$

Keterangan:

- Γ : koefisien refleksi tegangan
 v^{0-} : tegangan pantul
 v^{0+} : tegangan masuk
 Z_L : impedansi beban
 Z_0 : impedansi karakteristik

Koefisien refleksi tegangan memiliki beberapa kondisi khusus antara lain:

1. $\Gamma = -1$: refleksi negatif maksimum, saluran terhubung singkat
2. $\Gamma = 0$: tidak ada refleksi, saluran *match*
3. $\Gamma = 1$: refleksi positif maksimum, saluran dalam rangkaian terbuka.

2.3.4. Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)

Voltage Standing Wave Ratio (VSWR) merupakan perbandingan antara nilai maksimum dan nilai minimum dari gelombang berdiri (*standing wave*) atau ukuran seberapa efisien daya frekuensi radio yang ditransmisikan yang diakibatkan karena adanya impedansi yang tidak *match*. VSWR sangat berkaitan dengan koefisien refleksi atau *return loss*, dan menyatakan ketidaksesuaian (*mismatch*) impedansi antara antena dengan saluran transmisi. Untuk konfigurasi seperti pada **Gambar 2.2**, nilai VSWR dirumuskan sebagai berikut:

$$VSWR = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \quad (2.8)$$

Nilai VSWR akan berupa bilangan real antara $1 \leq VSWR \leq \infty$. Bila pada antena dan pada saluran transmisi *match*, Γ bernilai 0 (kondisi ideal), sehingga $VSWR = 1$ (kondisi ideal). Dan bila semakin besar nilai VSWR yang didapatkan, berarti semakin besar daya yang dipantulkan kembali ke saluran transmisi oleh antena. Seperti pada parameter koefisien refleksi atau *return loss*, VSWR merupakan fungsi terhadap frekuensi. Untuk mendapatkan antena dengan performa antena yang bagus, disepakati batas maksimal nilai VSWR yang diperbolehkan pada suatu antena adalah $VSWR = 2$. Jika $VSWR = 2$, sehingga dengan persamaan (2.8) didapatkan $\Gamma = 0,333$. Hal ini mengindikasikan bahwa terdapat $(0,333)^2 = 0,1109 = 11,09\%$ daya yang dipantulkan dari total daya yang disalurkan menuju ke antena [6].

2.3.5. Bandwidth

Bandwidth adalah rentang frekuensi dimana performa antena yang dihasilkan pada rentang tersebut masih memiliki karakteristik (seperti impedansi input, pola radiasi, polarisasi, *beamwidth*, *side lobe level*, *gain*, arah *beam*) yang memenuhi kriteria yang diharapkan. Kriteria tersebut biasanya mengacu pada standar tertentu atau ditetapkan sesuai dengan tujuan dan kebutuhan desain antena. *Bandwidth* mempunyai tiga titik kritis frekuensi, yaitu frekuensi tengah (f_c), frekuensi atas (f_u), dan frekuensi bawah (f_l). Frekuensi tengah (f_c) merupakan pusat frekuensi yang dijadikan sebagai acuan atau biasanya memiliki karakteristik yang paling bagus dibandingkan frekuensi lainnya. Sementara frekuensi atas (f_u) dan frekuensi bawah (f_l) berturut-turut merupakan batas atas dan batas bawah frekuensi di mana karakteristik antena yang dihasilkan masih dapat memenuhi kriteria. Misalnya pada saat menentukan *bandwidth*

berdasarkan *return loss*, frekuensi atas (f_u) dan frekuensi bawah (f_l) merupakan frekuensi di mana nilai *return loss* memiliki nilai -10 dB [1]. Secara matematis, *bandwidth* dinyatakan dengan rumus berikut:

$$BW = f_u - f_l \quad (2.9)$$

Dengan *BW* adalah *bandwidth*, f_u adalah frekuensi atas dan f_l adalah frekuensi bawah. Selain dari nilai *return loss*, besar *bandwidth* juga dapat ditentukan berdasarkan nilai impedansi dan pola radiasi suatu antena. Sebagai contoh, misalnya pada antena *dipole* linier yang memiliki panjang kurang dari $\lambda/2$, menghasilkan pola radiasi yang tidak terlalu sensitif terhadap perubahan frekuensi, namun mempunyai impedansi yang sangat berpengaruh terhadap perubahan frekuensi. Oleh sebab itu, muncul istilah *bandwidth* impedansi dan *bandwidth* pola radiasi. *Bandwidth* pola radiasi berhubungan dengan parameter-parameter yang ada dalam pola radiasi seperti *gain*, *side lobe level*, *beamwidth*, polarisasi, dan arah beam. Sedangkan parameter-parameter lain seperti impedansi *input* dan efisiensi radiasi digunakan untuk menentukan *bandwidth* impedansi [1].

Selain dinyatakan dalam bentuk rentang frekuensi, bentuk rasio dan fraksional (persentase) juga dapat digunakan untuk menyatakan parameter *bandwidth*. *Bandwidth* dalam bentuk rasio dan fraksional menunjukkan rasio atau perbandingan antara frekuensi atas dengan frekuensi bawah, misalnya antena yang memiliki *bandwidth* 4:1 berarti frekuensi atasnya 4 kali lebih besar terhadap frekuensi bawahnya. *Bandwidth* dengan notasi rasio ini biasanya dipakai untuk antena yang memiliki *bandwidth* yang sangat lebar (*broadband*). Sedangkan, *bandwidth* dengan notasi dalam bentuk fraksional adalah persentase selisih frekuensi atas dengan frekuensi bawah terhadap frekuensi pusatnya [1]. *Bandwidth* dalam bentuk fraksional atau persentase dirumuskan dengan persamaan (2.10).

$$BW = \frac{f_u - f_l}{f_c} \times 100\% \quad (2.10)$$

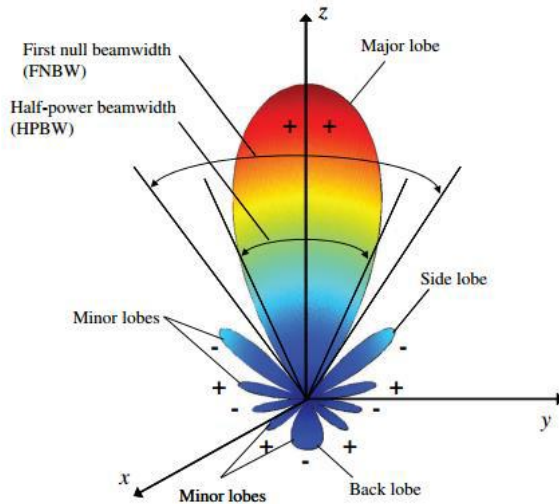
2.3.6. Pola Radiasi

Pola radiasi (*radiation pattern*) menggambarkan sifat radiasi (*far-field*) dari suatu antena kedalam bentuk gambar atau grafik, baik dua maupun tiga dimensi. Pada kasus atau parameter tertentu, pola radiasi

juga dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan matematis. Melalui parameter pola radiasi ini, dapat diketahui seberapa besar tingkat radiasi dari suatu antena ke berbagai arah di sekitarnya, sehingga pola radiasi merupakan salah satu parameter penting yang perlu diketahui dari suatu antena. Pola radiasi dapat membuat sifat radiasi ke beberapa besaran, antara lain kuat medan, kerapatan flux daya, intensitas radiasi, *directivity*, dan polarisasi. Namun biasanya, terdapat dua sifat radiasi yang sering dinyatakan kedalam bentuk pola radiasi, yaitu pola medan dan pola daya. Pola medan menunjukkan magnitudo kuat medan (medan listrik maupun medan magnet) yang diradiasikan oleh antena [1].

Sedangkan pola daya menyatakan kerapatan daya yang dihasilkan dari radiasi antena pada radius tertentu. Secara umum, suatu antena memiliki beberapa *lobe* atau *beam*. *Main lobe* adalah *lobe* yang memiliki nilai radiasi paling tinggi atau maksimum. *Lobe* selain *main lobe* dikategorikan sebagai *minor lobe*, yang umumnya memiliki radiasi lebih rendah dibanding *main lobe* dan berusaha diminimalkan. *Minor lobe* ada dua macam, *side lobe* dan *back lobe*. Pada umumnya, bentuk pola radiasi antena dapat dilihat pada Gambar 2.4. Pola radiasi biasanya diplot dalam satuan logaritmik (dB) agar bagian yang memiliki tingkat radiasi rendah, misalnya pada bagian *minor lobe*, dapat diamati dengan lebih detail [1].

Jenis dan bentuk antena akan memberikan pengaruh pola radiasi yang dihasilkan. Oleh karena itu, dalam melakukan desain antena harus mempertimbangkan jenis antena apa yang akan digunakan agar menghasilkan pola radiasi yang sesuai dengan yang diinginkan. Secara aplikasi, antena dibedakan menjadi dua jenis berdasarkan bentuk pola radiasinya, yaitu *omnidirectional antenna* dan *directional antenna*. Antena *omnidirectional* menghasilkan pola radiasi yang konstan atau hampir konstan dan merata pada salah satu bidang potong. Jenis antena seperti ini biasanya digunakan untuk perangkat komunikasi bergerak. Sedangkan antena *directional* mempunyai pola radiasi paling tinggi atau maksimum yang cenderung mengarah suatu posisi tertentu. Berdasarkan dari arah radiasinya, antena *directional* dibagi menjadi 2 jenis, *broadside* dan *endfire*. Pola radiasi *broadside*, radiasi maksimumnya mengarah normal (tegak lurus) terhadap bidang yang memuat antena. Sedangkan pola radiasi *endfire* memiliki arah radiasi maksimum searah dengan bidang yang memuat antena [1].



Gambar 2.5 Pola radiasi antenna secara umum [1]

2.3.7. *Beamwidth*

Beamwidth adalah selisih sudut antara dua titik yang memiliki nilai atau besar tertentu pada *main lobe*. Ada beberapa jenis istilah *beamwidth*, namun yang sering digunakan terutama pada perangkat lunak simulasi adalah *Half Power Beamwidth* (HPBW) dan *First Null Beamwidth* (FNBW). HPBW adalah selisih sudut antara dua titik pada *main lobe* dimana memiliki nilai setengah (-3 dB) dari nilai maksimum intensitas radiasinya. Untuk pola daya, titik ini adalah posisi dimana pola daya menjadi 0,5 kali (untuk skala linier) atau turun sebesar 3 dB (untuk bentuk logaritmik) terhadap nilai maksimum. Sedangkan untuk pola medan, titik ini berada pada pola medan yang memiliki nilai 0,707 kali (untuk skala linier) atau turun sejauh 3 dB (untuk skala decibel) terhadap nilai maksimumnya [6]. HPBW juga sering disebut dengan istilah 3 dB-*beamwidth*. Sedangkan FNBW adalah selisih sudut ketika *main lobe* mencapai nilai *null* pertama (nilai minimum) pada kedua sisi [1].

Pada sistem radar, *beamwidth* termasuk parameter yang sangat penting karena untuk menentukan resolusi bagi radar untuk dapat membedakan dua target radar yang berdekatan. Salah satu kriteria untuk penentuan resolusi pada radar menyatakan bahwa kemampuan resolusi dari suatu antenna radar dinyatakan dengan $FNBW/2 \approx HPBW$. Dengan

kata lain, antenna pada radar dapat membedakan dengan jelas dua target yang berdekatan apabila keduanya terpisah sejauh $FNBW/2 \approx HPBW$ atau lebih besar. Oleh sebab itu, diperlukan antenna yang memiliki *beamwidth* sempit agar mampu menghasilkan resolusi deteksi yang lebih baik. Salah satu cara yang dapat dilakukan agar memiliki *beamwidth* sempit adalah dengan menyusun antenna *array*. *Beamwidth* memiliki hubungan *trade-off* pada optimasi dengan nilai *side lobe level*. Dalam mendesain antenna, khususnya *array*, apabila *beamwidth* berkurang, maka *side lobe level* akan cenderung naik, begitu pula sebaliknya [6].

2.3.8. Side Lobe Level

Side lobe adalah radiasi *lobe* yang bukan dari *lobe* yang diharapkan atau *main lobe*. *Side lobe* termasuk *minor lobe* dan biasanya bernilai lebih kecil dibandingkan dengan *main lobe*. Untuk kondisi normal, *side lobe* memang diharapkan sekecil mungkin untuk efisiensi yang tinggi pada antenna *directional*. Namun pada kasus tertentu, khususnya pada antenna formasi *array*, *side lobe* yang dimiliki nilainya cukup besar bahkan mendekati *main lobe* [1].

Sebagai penentu parameter performa antenna, penggunaan istilah *side lobe* biasanya merujuk pada *minor lobe* yang memiliki nilai tertinggi. *Side Lobe Level (SLL)* adalah perbandingan antara *side lobe* tertinggi dengan nilai maksimum dari *main lobe*. *Side lobe* yang dihasilkan cenderung akan lebih tinggi ketika disusun menjadi suatu *array*, akibat adanya gabungan medan dari beberapa elemen *array*. *Side lobe* juga merupakan parameter yang penting pada system radar dan untuk menghindari kesalahan deteksi target akibat radiasi yang dihasilkan, *side lobe* harus ditekan menjadi sekecil mungkin [1].

2.3.9. Directivity

Directivity adalah rasio antara intensitas radiasi pada arah tertentu disbanding dengan rata-rata intensitas radiasi ke segala arah. Bisa dikatakan, seberapa besar intensitas radiasi ke suatu arah tertentu terhadap arah lain dinyatakan oleh *directivity*. Besar nilai *directivity* dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$D = \frac{U}{U_0} = \frac{4\pi U}{P_{rad}} \quad (2.11)$$

dengan U merupakan intensitas radiasi pada arah yang diamati, dan P_{rad} merupakan daya total yang diradiasikan oleh antenna. *Directivity* sebesar satu akan dihasilkan oleh sebuah sumber isotropic, karena daya yang diradiasikan sama besarnya ke segala arah. Pada jenis antenna praktis, nilai *directivity* akan bernilai $0 \leq D \leq D_0$ (D_0 merupakan nilai *directivity* maksimum yang bisa dicapai) karena radiasi yang dihasilkan akan cenderung lebih lemah pada titik tertentu dan lebih kuat pada arah yang lain. Tetapi dalam praktiknya, penggunaan nilai *directivity* biasanya mengacu pada nilai *directivity* pada arah dengan radiasi maksimum, sehingga nilai *directivity* akan memiliki nilai $D > 1$. *Directivity* merupakan besaran tanpa satuan, karena nilainya dihasilkan dari rasio antara dua besaran yang sejenis. Akan tetapi *directivity* juga dapat dinyatakan dalam bentuk logaritmik [1].

2.3.10. Gain

Parameter antenna yang sangat dekat kaitannya dengan parameter *directivity* adalah *gain*. *Gain* merupakan rasio antara radiasi pada arah tertentu dengan intensitas radiasi yang dihasilkan jika daya yang masuk ke antenna (daya setelah mengalami redaman atau *loss* di dalam antenna) diradiasikan secara isotropis. Dari sini terlihat adanya perbedaan antara *gain* dengan *directivity*, yaitu terletak pada faktor *loss* yang terjadi di dalam antenna. Perhitungan besar nilai *gain* menggunakan referensi dari daya yang telah mengalami redaman atau *loss* oleh berbagai rugi-rugi di dalam antenna. Faktor *loss* ini dinyatakan dengan istilah efisiensi radiasi (e_{cd}) dari suatu antenna dengan persamaan sebagai berikut:

$$e_{cd} = e_c e_d \quad (2.12)$$

dimana e_c merupakan efisiensi konduktansi dan e_d merupakan efisiensi dielektrik. Sehingga rumus matematis untuk mendapatkan nilai *gain* adalah:

$$G = e_{cd} \cdot D \quad (2.13)$$

Pengertian *gain* diatas merupakan pengertian *gain* yang mengacu pada standar yang diberikan oleh IEEE. Selain itu, terdapat juga nilai *realized gain*, yaitu *gain* yang diperoleh apabila melibatkan pengaruh *loss* akibat pantulan atau saluran transmisi yang tidak match dengan antenna. Selain pengertian *gain* diatas, sering juga ditemukan istilah *relative gain*, yaitu

rasio antara *gain* dari suatu antena referensi dengan *gain* pada arah tertentu. Untuk mengetahui gain relatif, antena yang dijadikan referensi harus sudah diketahui besar gainnya. Istilah *relative gain* sering ditemukan pada pengukuran antena [6].

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB 3

METODE PERANCANGAN DESAIN DAN SIMULASI

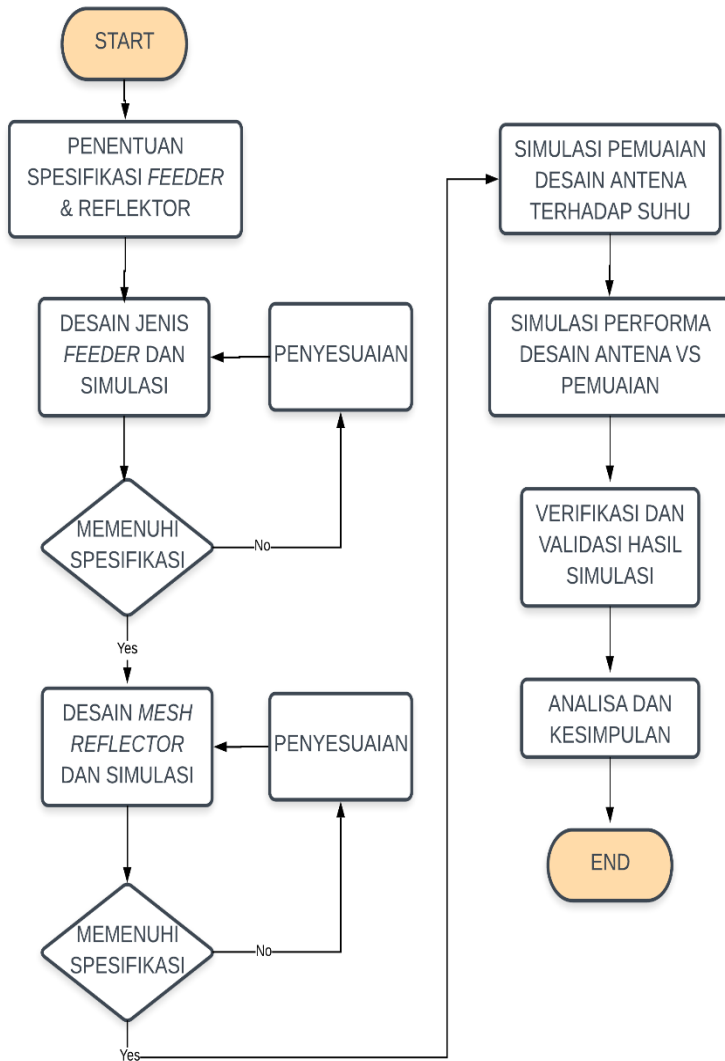
Pada Bab ini dijelaskan perancangan dan alir simulasi antenna parabola untuk *Synthetic Aperture Radar* yang terdiri dari 2 bagian, yaitu desain *feeder* antenna parabola dan *reflector* parabola. Kedua desain tersebut dilakukan simulasi kinerja antenna dan pemuaian dimensi terhadap suhu dengan bermacam-macam jenis dan desain material, kemudian dilakukan perbandingan dalam rangka untuk menganalisa karakteristik dan kinerja

3.1. Alir Perancangan

Perancangan desain antenna parabola ini memiliki beberapa tahapan, pertama menentukan spesifikasi dasar antenna dan spesifikasi total antenna parabola, *feeder* dan *reflektor*. Spesifikasi dasar antenna parabola yaitu memiliki karakteristik *beamwidth* yang lebar dan nilai *return loss* yang bagus ($S_{11} < -10$ dB) pada frekuensi C-band 5,3 – 5,6 GHz. Dan spesifikasi total adalah keseluruhan parameter yang ingin dicapai agar menghasilkan antenna dengan performa yang baik pada frekuensi C-band, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2.

Tahapan selanjutnya adalah melakukan desain dan simulasi antenna parabola, yang dibagi menjadi 2 subtahap. Subtahap pertama melakukan desain dan simulasi untuk *feeder* parabola hingga diperoleh performa yang sesuai dengan spesifikasi dasar. Subtahap kedua, membuat desain parabola/*reflektor* dengan spesifikasi yang ditunjukkan di Tabel 3.2.

Kemudian desain antenna parabola (*feeder* + *reflektor*) yang sudah sesuai dengan spesifikasi dasar, akan disimulasikan di *software CST Studio 2017* untuk mendapatkan parameter antenna. Setelah itu dilakukan variasi jenis material pada desain antenna parabola yang dilanjutkan dengan simulasi lagi. Setelah semua variasi jenis material antenna parabola disimulasikan di *CST Studio 2017*, dilakukan simulasi suhu menggunakan *software Solidworks 2016* untuk mendapat data perubahan dimensi antenna parabola untuk setiap jenis material. Kemudian desain antenna parabola disimulasikan lagi menggunakan *CST Studio 2017* dengan memasukan parameter perubahan dimensi dari hasil simulasi suhu. Setelah itu dilakukan analisis dan verifikasi terhadap jurnal dan paper. Terakhir membuat kesimpulan dan penulisan laporan penelitian ini yang kemudian dibukukan menjadi Buku Tugas Akhir. Berikut diagram alir perancangan desain dan analisa material antenna parabola untuk Tugas Akhir ini:



Gambar 3.1 Diagram alir perancangan material antenna parabola untuk *Synthetic Aperture Radar*

3.2. Kriteria dan Spesifikasi Antena Parabola

Antena parabola dirancang untuk spesifikasi *onboard microsatellite synthetic aperture radar (SAR)* pada frekuensi C-band, antena parabola ini memiliki dua bagian atau komponen utama, yaitu *feeder* antena dan reflektor parabola. Kedua bagian memiliki rincian spesifikasi seperti ditunjukkan pada tabel 3.1 dan 3.2. Penentuan spesifikasi dan jenis *feeder* berpedoman pada *Performance of Corrugated Feed Horn for Satellite Earth Station Antennas* [1]. Sedangkan penentuan frekuensi kerja dan spesifikasi reflektor berpedoman pada *Development of a Circularly Polarized L-Band SAR Deployable Mesh Reflector Antenna for MicroSatellite Earth Observation* [7].

Tabel 3.1 Spesifikasi untuk *feeder*

Parameter	Keterangan
Frekuensi Kerja	5.3 – 5.6 GHz
Jenis <i>feeder</i>	<i>Corrugated Horn</i>
Tebal	2 mm
Material	Emas

Sementara itu, spesifikasi material bahan antena, *feeder* maupun reflektor dipilih berdasarkan sifat material yang memiliki nilai hambatan jenis dan koefisien muai yang kecil.

Tabel 3.2 Spesifikasi untuk reflektor

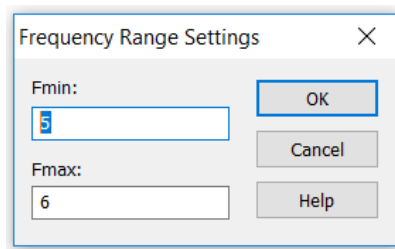
Parameter	Keterangan
Model reflektor	<i>Mesh parabolic reflector</i>
Diameter	3,6 m
Titik fokus	1,25 m
Tebal reflektor	Rangka 3mm dan 1mm total untuk lapisan
Material	1. Alumunium 3 mm 2. Molybdenum 3 mm & Emas 1 mm 3. Molybdenum 3 mm & Silver 1 mm 4. Molybdenum 3 mm & Copper 1 mm
Gain	$\approx 30 \text{ dB}$

3.3. Pengaturan Simulasi Kinerja Antena

Subbab ini menjelaskan penggunaan tools dan beberapa konfigurasi yang diperlukan selama proses desain dan simulasi pada *software CST Microwave Studio 2017* untuk simulasi antena. Sementara pengaturan-pengaturan lain berfungsi untuk menetapkan batasan-batasan bagi *software* dalam melakukan simulasi dan meningkatkan akurasi dari hasil simulasi.

3.3.1. *Frequency Range*

Frequency range berfungsi untuk memberikan batasan frekuensi di mana simulasi antena akan dilakukan. Untuk menetapkan batas bawah dan batas atas frekuensi, dapat diatur melalui salah satu menu, terdapat di tab *Simulation > Frequency*. Agar simulasi tidak terlalu membebani komputer dan hasil simulasi juga lebih akurat, *frequency range* yang diatur jangan terlalu jauh. Hal ini bertujuan untuk menghindari munculnya orde propagasi yang lebih tinggi saat simulasi dijalankan, dan juga mempercepat waktu simulasi yang dibutuhkan. Karena antena didesain untuk bekerja pada frekuensi 5,3 – 5,6 GHz, maka *frequency range* yang diatur adalah 5 GHz untuk batas bawah dan 6 GHz untuk batas atas.



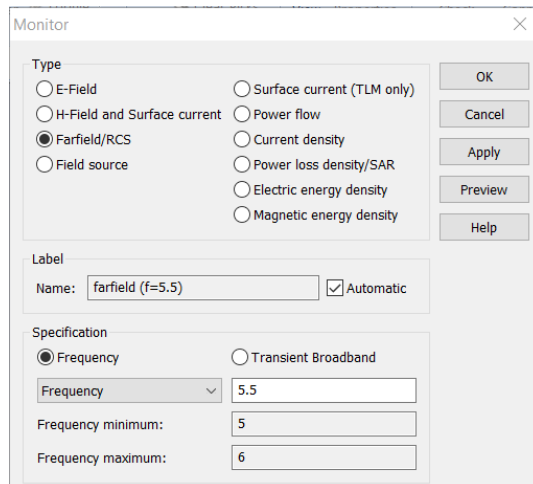
Gambar 3.2 Pengaturan pada *Frequency Range* sebelum menjalankan simulasi

3.3.2. *Field Monitor*

Untuk mendapatkan informasi karakteristik distribusi medan elektromagnetik dari antena pada frekuensi tertentu di dalam *frequency range*, maka perlu dilakukan pengaturam *field monitor* yang berfungsi sebagai penanda pada frekuensi berapa karakteristik medan akan diamati. *Field monitor* dapat diatur melalui menu *field monitor* di tab *Simulation*

> *Field Monitor*, dengan tampilan jendela *field monitor* seperti pada gambar 3.2. Terdapat beberapa tipe yang dapat diamati melalui *field monitor*, tidak hanya medan saja tapi juga dapat mengamati distribusi arus dan aliran daya. Pada bagian *Specification*, dimasukkan nilai frekuensi yang ingin diamati.

Karena antenna bekerja pada frekuensi 5,3 – 5,6 GHz, maka nilai frekuensi yang diamati 5,5 GHz saja karena berada diantara frekuensi kerja antenna. Sebenarnya pada *field monitor* bisa memonitor lebih dari 1 frekuensi, tetapi konsekuensinya adalah waktu yang diperlukan untuk menjalankan simulasi lebih lama dan spesifikasi *memory* pada komputer yang diperlukan juga lebih besar ketika frekuensi yang diamati lebih dari 1 frekuensi. Jendela pengaturan *Field Monitor* dapat dilihat pada Gambar 3.3.



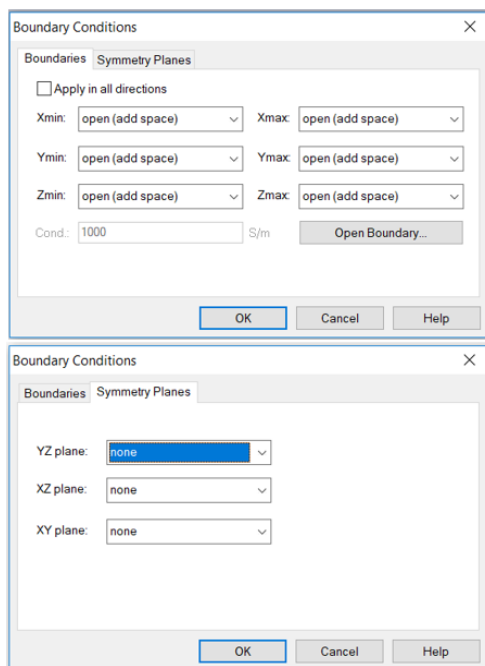
Gambar 3.3 Pengaturan pada *Field Monitor* sebelum menjalankan simulasi

3.3.3. *Boundary Condition*

Boundary condition bertujuan untuk membuat kondisi area di sekitar antenna katika disimulasikan mendekati dengan kondisi katika antenna di implementasikan. Karena antenna yang didesain akan dipasang di satelit luar angkasa, maka kondisi yang dipilih adalah *free space*, maka di dipilih *boundary open (add space)* pada semua sisi antenna. Maksud dari *add*

space adalah memberi tambahan ruang bebas di sekitar antenna sehingga lebih mendekati kondisi nyata ketika antenna di implementasikan. Untuk melakukan pengaturan *boundary condition*, di tab *Simulation > Boundaries*.

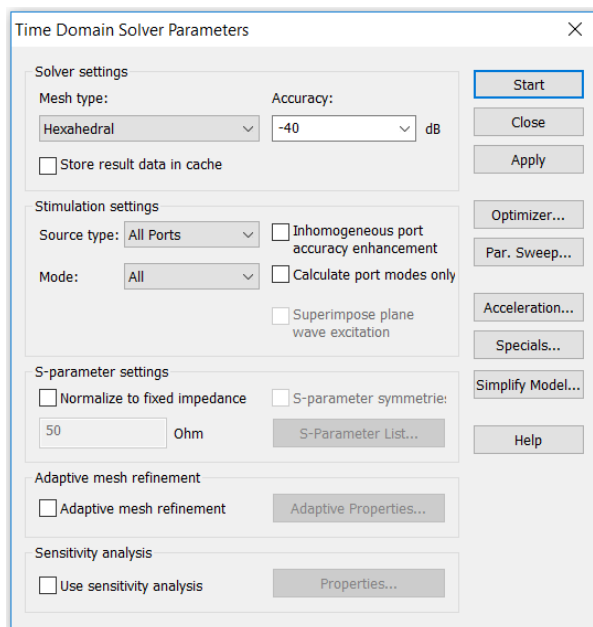
Sementara pada bagian *symmetry planes*, pada masing-masing bidang (XZ, YZ, dan XY) diisi dengan “none”. Dengan pengaturan “none”, simulasi akan berjalan untuk semua bidang secara menyeluruh, tidak dilakukan hanya pada sebagian bidang saja. Hal ini bertujuan untuk menghindari kesalahan pada saat simulasi akibat geometri yang tidak simetris. Namun konsekuensinya adalah waktu yang diperlukan untuk simulasi menjadi lebih lama dibandingkan jika menggunakan *symmetry planes*. Jendela pengaturan *Boundary Condition* ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Pengaturan pada *Boundary Condition* sebelum menjalankan simulasi

3.3.4. Setup Solver

Solver adalah paket untuk mengatur bagaimana simulasi dilakukan, disini *solver* memiliki beberapa tipe untuk dipilih. Karena desain antenna yang akan disimulasikan berukuran sangat besar, maka akan dilakukan dua kali simulasi yang menggunakan jenis *solver* berbeda. Simulasi pertama menggunakan *solver* tipe *Time Domain Solver* untuk mensimulasikan *feeder*. Kemudian hasil simulasi pertama di-export sebagai *far-field source* untuk simulasi kedua dengan menggunakan *solver* tipe *Integral Solver*.



Gambar 3.5 Pengaturan pada *Time Domain Solver* sebelum menjalankan simulasi

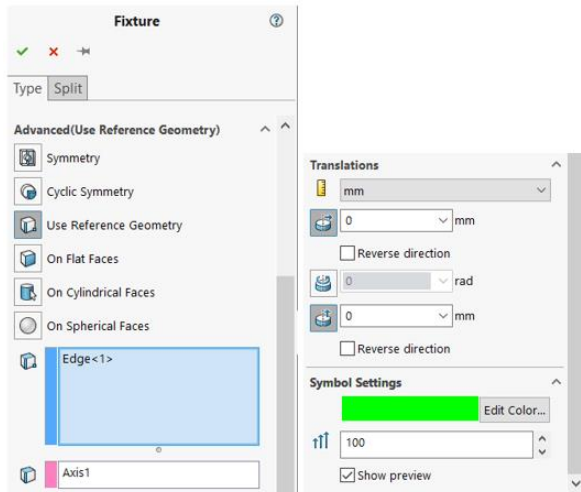
3.4. Pengaturan Simulasi Suhu Antena

Subbab ini menjelaskan penggunaan *tools* dan beberapa konfigurasi yang diperlukan selama proses desain dan simulasi pada *software Solidworks 2016* untuk melakukan simulasi suhu pada desain

antena. Simulasi bertujuan untuk mengetahui besar pemuaian dimensi desain antenna parabola terhadap perubahan suhu yang diatur sedemikian sehingga mendekati kondisi di lapisan eksosfer.

3.4.1. Fixture

Fixture bertujuan untuk menetapkan acuan deformasi material ketika melakukan simulasi suhu. Karena antenna yang didesain berbentuk parabola dan *feeder* antenna juga melingkar, sehingga deformasi yang akan dilihat ketika simulasi suhu adalah deformasi diameter dan kecekungan parabola atau panjang *feeder*. Untuk melakukan pengaturan pada *fixture* dapat diakses melalui *Simulation > Static > Fixture* (klik kanan) > *Advanced Fixture*. Pengaturan pertama yaitu menetapkan bagian geometri dari antenna dan axis tengah sebagai referensi. Kemudian pada bagian *Translation* dipilih *axial* dan *radial* untuk melihat deformasi diameter dan pandang antenna.

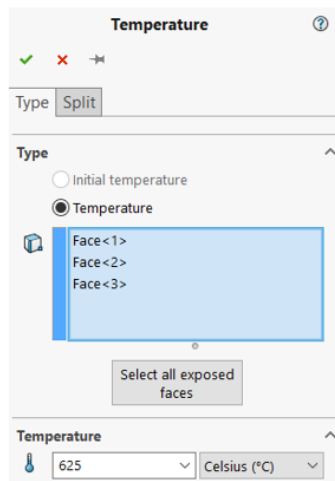


Gambar 3.6 Pengaturan pada *Fixture* sebelum melakukan simulasi pemuaian terhadap suhu

3.4.2. External Loads

External loads berfungsi untuk memberikan beberapa jenis beban kepada desain antenna, seperti *pressure*, *force*, *temperature*, *gravity*, dan

centrifugal. Karena ingin melihat pemuaiian desain antenna karena perubahan suhu, sehingga jenis *external loads* yang dipilih adalah *temperature* (simulasi suhu). Untuk melakukan pengaturan *external loads* dapat diakses di Tab *Simulations* > *Static* > *External Loads* (klik kanan) > *Temperature*. Pada bagian *Type*, dipilih seluruh permukaan antenna dimana beban *temperature* diaplikasikan. Kemudian pada bagian *Temperature*, masukan nilai perubahan suhu ditambah nilai suhu ruangan ($\Delta T + T_o$).



Gambar 3.7 Pengaturan pada *External Loads* sebelum melakukan simulasi pemuaiian terhadap suhu

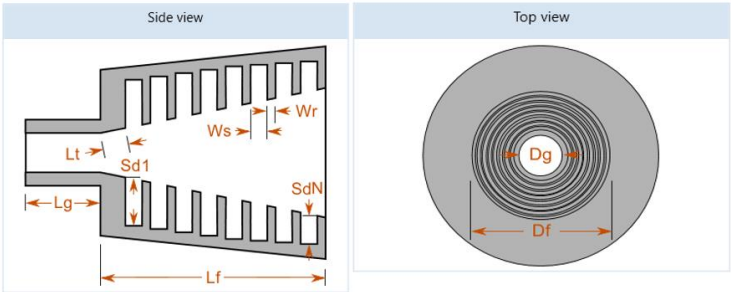
3.5. Perancangan Feeder (Corrugated Horn)

Perancangan dimensi antenna dilakukan menggunakan *software Antenna Magus 2017 Professional*. *Software* tersebut mampu menghitung keseluruhan nilai dimensi dari *feeder corrugated horn* sesuai persamaan matematis. Selain itu, *software* tersebut juga dapat membuat geometri desain *feeder corrugated horn* sesuai dengan nilai dimensi yang sudah dihitung sehingga memudahkan dalam pembuatannya.

Secara umum, antenna horn didesain untuk mendapat *gain* lebih dari 10 dB pada frekuensi kerja yang diinginkan. *Corrugation* pada antenna *Corrugated Horn* ditentukan sebesar $< \lambda/2$ (kurang dari setengah panjang

gelombang) untuk *corrugation* pertama pada frekuensi maksimum dan sebesar $\lambda/4$ (seperempat panjang gelombang) pada frekuensi minimum. Frekuensi maksimum dan minimum dihitung dengan menggunakan *bandwidth ratio* 1,5:1. Untuk menaikan nilai *gain*, *corrugated horn* didesain memiliki bentuk yang panjang pada bagian *flare*. Sedangkan untuk memiliki *beamwidth* yang lebar, didesain memiliki bentuk yang pendek pada bagian *flare* [8].

Corrugated Horn merupakan antenna *horn* yang pada dasarnya didesain untuk menghasilkan pola radiasi yang simetris. Antena *Horn* biasa tanpa *corrugation* meskipun memiliki bentuk badan yang simetris tetapi memiliki pola radiasi yang tidak simetris. Oleh sebab itu, *corrugation* pada *corrugated horn* dibuat untuk membuat pola radiasi antenna *horn* lebih simetris.



Gambar 3.8 Geometri *feeder corrugated horn*

Tabel 3.3 Dimensi *feeder corrugated horn*

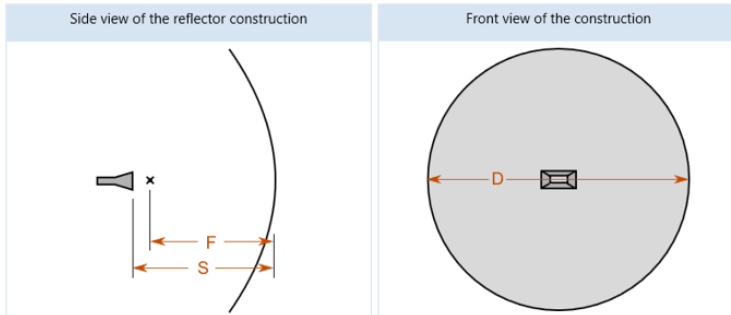
Parameter	Simbol	Nilai (mm)
Waveguide diameter	Dg	50,15
Waveguide length	Lg	68,13
Flare diameter	Df	134
Flare length	Lf	83,91
Depth of first slot	Sd1	21,8
Depth of last slot	SdN	13,63
Corrugation slot width	Ws	9,085
Corrugation ridge width	Wr	2,271
Transition length	Lt	13,63

Feeder ini didesain agar dapat bekerja pada frekuensi 5,3 – 5,6 GHz dan memiliki pola radiasi yang *circular*. Geometri dari antenna *corrugated horn* dapat dilihat pada Gambar 3.8 dan hasil perhitungan dimensi desain antenna *corrugated horn* pada *Antena Magus 2017 Professional* ditunjukkan pada Tabel 3.3. Desain antenna ini menggunakan material emas (*pure gold*) yang memiliki konduktivitas elektrik $4,561 \times 10^7 \text{ S/m}$ dan koefisien muai $1,4 \times 10^{-5} \text{ m/}^\circ\text{C}$ dengan ketebalan 2 mm. Desain bahan antenna *feeder* ini hanya menggunakan material emas murni saja karena untuk mendapat performa antenna yang baik dan konsisten. Material emas merupakan material terbaik dibandingkan dengan jenis material aluminium dan perak berdasarkan sifat konduktivitas dan nilai koefisien muai yang dimiliki. Aluminium memiliki nilai konduktivitas elektrik $3,56 \times 10^7 \text{ S/m}$ dan koefisien muai $2,5 \times 10^{-5} \text{ m/}^\circ\text{C}$, sedangkan perak memiliki nilai konduktivitas elektrik $6,3 \times 10^7 \text{ S/m}$ dan koefisien muai $2 \times 10^{-5} \text{ m/}^\circ\text{C}$. Dimana sifat kedua material tersebut tidak sebaik emas berdasarkan dari nilai konduktivitas elektrik dan koefisien muai.

Setelah melakukan perhitungan dimensi, kemudian pembuatan desain 3D (3 Dimensi) *feeder corrugated horn* sesuai dengan nilai dimensi yang sudah dihitung. Pembuatan juga menggunakan *software Antena Magus 2017 Professional* dan kemudian di-export ke *software CST Studio 2017* untuk disimulasikan. Pada Tabel 3.3 juga terdapat simbol-simbol parameter yang dapat digunakan untuk penyesuaian parameter *feeder Corrugated Horn*, sehingga memudahkan untuk menemukan parameter yang menghasilkan performa yang diinginkan.

3.6. Perancangan Reflektor (*Mesh Parabolic Reflector*)

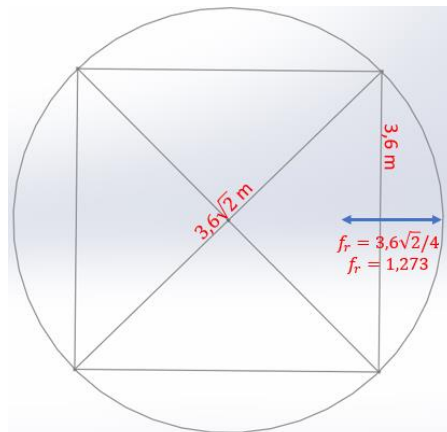
Perancangan dan pembuatan desain reflektor menggunakan *software Solidworks 2016*. Perancangan desain dan dimensi reflektor dilakukan berdasarkan perhitungan dari cara yang akan dibahas pada Subbab 3.6.1 dan disesuaikan dengan kriteria dan spesifikasi reflektor yang telah didefinisikan pada Subbab 3.2. Geometri dari *mesh reflector* dapat dilihat pada Gambar 3.9, dan nilai dimensi atau parameter yang lebih rinci dapat dilihat Tabel 3.2. Reflektor ini berbentuk jaring-jaring karena bertujuan untuk memudahkan saat proses peluncuran satelit. Selain memiliki berat yang lebih ringan, juga dapat dilipat dengan menggunakan desain jaring. Ukuran jaring dibuat $7\text{mm} \times 7\text{mm}$, dimana panjang gelombang yang dipakai berukuran $> 5 \text{ cm}$, sehingga masih bisa digunakan sebagai reflektor.



Gambar 3.9 Geometri Reflector

3.6.1. Perhitungan Mesh Parabolic Reflector

Subbab ini menjelaskan perhitungan dimensi yang hasil perhitungan sudah ditunjukkan pada subbab 3.2. Besar diameter *mesh parabolic reflector* yang digunakan pada *Synthetic Aperture Radar onboard Microsatellite* sebesar 3,6 meter dan titik fokusnya 1,3 meter [7]. Tetapi pada penelitian Tugas Akhir ini, menggunakan perhitungan pendekatan untuk menentukan nilai titik fokus *mesh parabolic reflector*.



Gambar 3.10 Perhitungan pendekatan titik fokus reflektor parabola

Diasumsikan bentuk reflektor parabola diambil dari potongan seperempat dari satu lingkaran penuh. Kemudian dengan menggunakan

nilai dimensi diameter reflektor sebesar 3,6 meter, dapat dihitung nilai titik fokus dari reflektor parabola tersebut dengan penjelasan gambar seperti pada Gambar 3.10. Dari perhitungan pendekatan tersebut, didapat nilai titik fokus sebesar 1,273 meter yang kemudian dibulatkan kebawah menjadi 1,250 meter.

Tabel 3.4 Dimensi dan parameter *mesh reflector*

Parameter	Simbol	Nilai (mm)
Titik fokus	d_{fr}	1250
Diameter	D	3600
Luas lubang jaring	-	7×7
Tebal rangka	-	3
Total tebal lapisan	-	1

Hasil perhitungan titik fokus *mesh parabolic* memiliki selisih 5 cm terhadap titik fokus dari referensi setelah dibulatkan [7]. Dengan cara perhitungan ini, agar antenna parabola memiliki performa yang maksimal, *beamwidth* pada *feeder* jangan lebih besar dari 90° . Spesifikasi detail dari *mesh parabolic reflector* dapat dilihat pada Tabel 3.4.

3.6.2. Pembuatan Desain Mesh Parabolic Reflector

Pada saat pembuatan desain *mesh reflector* terdapat masalah yang dihadapi, yaitu spesifikasi *tools* perangkat keras yang digunakan (komputer laboratorium dan laptop pribadi) tidak mencukupi. Hal ini dikarenakan desain *mesh reflector* memiliki keseluruhan dimensi yang besar dan detail kecil yang sangat banyak sehingga membutuhkan spesifikasi komputer yang lebih tinggi lagi.

Untuk mengatasi masalah pembuatan desain *mesh reflector* tersebut, nilai dimensi diameter (D) reflektor diperkecil hingga nilai terbesar yang mampu dibuat oleh komputer. Didapat nilai diameter reflektor yang dapat dibuat adalah sebesar 500 mm. Setelah pembuatan desain *mesh reflector* selesai, hasil desain di-export ke *software CST Studio 2017* untuk simulasi.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB 4

HASIL SIMULASI DAN ANALISIS

Pada bab ini akan dibahas mengenai hasil simulasi desain antena parabola *Synthetic Aperture Radar onboard Microsatellite (Corrugated Horn-fed Mesh Parabolic Reflector Antenna)*. Simulasi dilakukan untuk mengetahui kinerja antena parabola yang mendekati kondisi sebenarnya, maka diperlukan 3 tahap simulasi sebagaimana telah ditunjukkan pada Bab 3. Parameter yang disimulasikan yaitu *S-Parameter*, *bandwidth*, *VSWR*, pola radiasi, pemuaian dimensi terhadap suhu, dan perubahan 4 parameter awal terhadap perubahan suhu karena terjadi pemuaian. Data hasil simulasi diplot pada Matlab dan digunakan untuk melakukan analisis perbedaan kinerja antena parabola tiap macam jenis material yang digunakan, analisis perbedaan kinerja antena parabola sebelum dan sesudah mengalami pemuaian dimensi, dan analisis perbedaan kinerja antena parabola tiap macam jenis material sesudah mengalami pemuaian dimensi.

Dengan penambahan material untuk melapisi reflektor diharapkan dapat meningkatkan kekuatan dan daya tahan reflektor terhadap perbedaan suhu yang tinggi ketika beroperasi diluar angkasa. Dengan menggunakan desain reflektor yang didesain menggunakan material lapisan, bisa digunakan material yang kuat dan memiliki koefisien muai yang rendah meskipun memiliki konduktivitas yang buruk sebagai rangkanya dan menggunakan material yang baik konduktivitasnya meskipun koefisien muainya besar sebagai material pelapis.

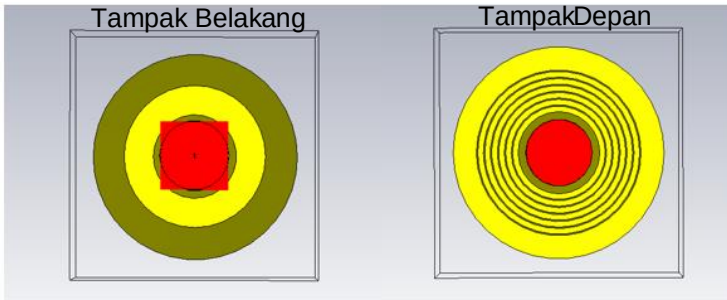
4.1. Corrugated Horn

Pada Subbab ini akan dijelaskan hasil desain *feeder corrugated horn*, hasil simulasi pemuaian dimensi terhadap suhu, dan analisis kinerja *corrugated horn* sebelum dan sesudah mengalami pemuaian dimensi terhadap suhu. *Corrugated horn* yang didesain menggunakan 1 jenis material yaitu Emas.

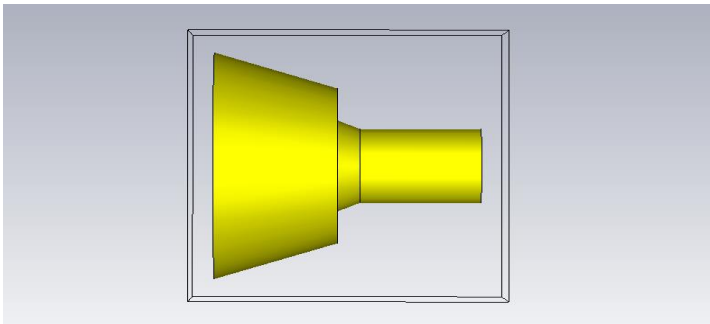
4.1.1. Hasil Desain Corrugated Horn

Hasil desain *feeder corrugated horn* ditunjukkan pada Gambar 4.1 dan 4.2. Apabila dilihat pada kedua gambar tersebut yang keduanya menunjukkan desain dari *feeder Corrugated Horn*, terdapat kotak merah yang menunjukkan peletakan *waveguide port* pada *Corrugated Horn*.

Pada Gambar 4.1 tampak depan, terlihat banyak lingkaran yang urut dari ukuran diameter besar ke kecil, geometri tersebut adalah bentuk dari *corrugation* tampak depan yang berfungsi untuk mengurangi redaman *cross-polarization* dan meningkatkan *aperture efficiency*. Bentuk permukaan dalam *Corrugated Horn* yang efektif biasanya memerlukan 10 atau lebih slot (*corrugation*) per *wavelength*.



Gambar 4.1 Desain *feeder Corrugated Horn* tampak depan dan tampak belakang.

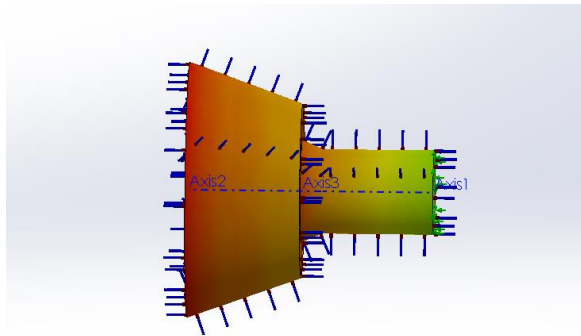


Gambar 4.2 Desain *feeder Corrugated Horn* tampak samping.

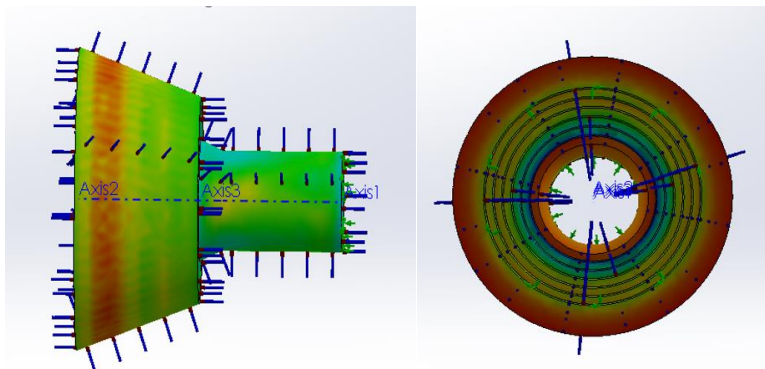
4.1.2. Hasil Simulasi Suhu *Feeder*

Pada simulasi suhu *feeder Corrugated Horn* diberi sumber panas pada seluruh permukaan *feeder* sebesar 625°C dengan suhu awal sebesar 25°C, dimana suhu pada lingkungan *Synthetic Aperture Radar onboard Microsatellite* saat beroperasi pada ketinggian 700 km memiliki suhu

rata-rata 738°C. Hasil simulasi yang menggunakan *Solidworks 2016* dapat mengetahui perubahan dimensi desain antena secara *radial* dan *axial*. Untuk mengetahui perubahan dimensi pada diameter *Corrugated Horn* maka yang dilihat adalah perubahan dimensi *radial*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.4. Dan untuk mengetahui perubahan dimensi pada panjang *Corrugated Horn* maka yang perlu dilihat adalah perubahan dimensi *axial*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Hasil simulasi pemuatan dimensi *Corrugated Horn axial*



Gambar 4.4 Hasil simulasi pemuatan dimensi *Corrugated Horn radial*

Dapat dilihat juga pada Gambar 4.3 dan 4.4 terdapat perbedaan warna. Warna tersebut menunjukkan besar perubahan dimensi *Corrugated Horn*, dimana perubahan dimensi terkecil diindikasikan dengan warna biru dan

perubahan dimensi terbesar diindikasikan dengan warna merah. Hasil simulasi berupa gambar seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.3 dan Gambar 4.4 dengan keterangan yang ditunjukkan pada legenda. Besar nilai perubahan dimensi *Corrugated Horn* dapat dilihat pada Tabel 4.1, dengan penjelasan simbol parameter yang ditunjukkan pada Gambar 3.8.

Tabel 4.1 Perubahan dimensi *Corrugated Horn*

Parameter	Simbol	Nilai (mm)
Waveguide diameter	Dg	$50,15 + 0,148 = 50,298$
Waveguide length	Lg	$68,13 + 0,182 = 68,312$
Flare diameter	Df	$134 + 0,388 = 134,388$
Flare length	Lf	$83,91 + 0,093 = 84,003$
Depth of first slot	Sd1	21,8
Depth of last slot	SdN	13,63
Corrugation slot width	Ws	9,085
Corrugation ridge width	Wr	2,271
Transition length	Lt	$13,63 + 0,094 = 13,724$

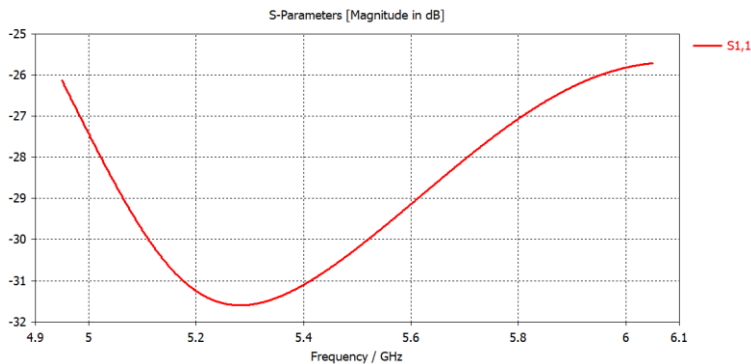
4.1.3. Hasil Simulasi Performa Feeder

Terdapat dua hasil simulasi *feeder Corrugated Horn* yang menggunakan *CST Studio 2017*. Hasil simulasi pertama menunjukkan kinerja *feeder* hasil pembuatan desain menggunakan *Antenna Magus 2017* dimana desain *feeder* ini belum mengalami perubahan dimensi. Hasil simulasi kedua menunjukkan kinerja *feeder* setelah mengalami perubahan dimensi terhadap perubahan suhu. Kemudian kedua hasil simulasi dibandingkan untuk mengetahui efek dari perubahan suhu terhadap kinerja *Corrugated Horn*.

4.1.3.1. S-Parameter (Return Loss)

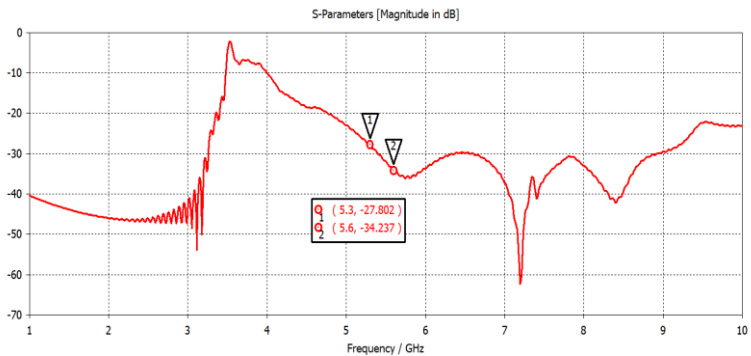
Simulasi *S-Parameter* dilakukan untuk mengetahui frekuensi kerja dan besar *bandwidth* desain *feeder* yang dibuat. Setelah dilakukan simulasi, diperoleh hasil simulasi S11 atau *return loss* seperti pada Gambar 4.5. Hasil simulasi menunjukan *feeder* memiliki nilai *return loss* dibawah -25dB pada semua rentang frekuensi 5 – 6 GHz yang dimana pada rentang frekuensi tersebut *frequency range* ditetapkan, sehingga masih belum diketahui *bandwidth* yang dimiliki *feeder* tersebut. Rendahnya nilai *return loss* menunjukkan bahwa sangat sedikit daya yang

dipantulkan kembali dibandingkan dengan daya yang ditransmisikan menuju beban *feeder Corrugated Horn*, sehingga desain *feeder* yang dibuat memiliki performa yang baik.



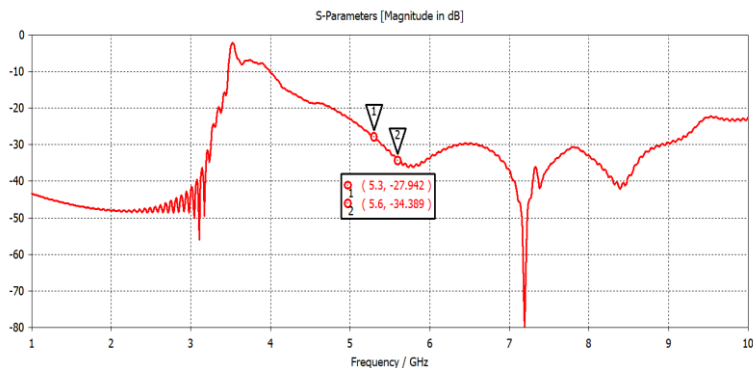
Gambar 4.5 Plot hasil simulasi *return loss* dari *Corrugated Horn* material *pure gold*

Untuk mengetahui *bandwidth* pada *feeder*, perlu dilakukan simulasi lagi dengan pengaturan *frequency range* yang lebih besar, yaitu 1 – 10 GHz. Dari hasil simulasi kedua masih belum didapatkan besar *bandwidth* untuk *feeder* ini, tetapi batas bawah *bandwidth* sudah diketahui yaitu 4 GHz. Demikian *feeder* ini memiliki karakteristik *high pass* dengan frekuensi *cut off* 4 GHz.



Gambar 4.6 Plot hasil simulasi *return loss* dari *corrugated horn* material *pure gold* pada frekuensi 1 – 10 GHz

Gambar 4.6 adalah plot *return loss* (S_{11}) ketika kondisi $\Delta T = 0^{\circ}\text{C}$, dimana belum terjadi pemuaiian dimensi *feeder Corrugated Horn*. Dapat dilihat pada Gambar 4.7, yang merupakan plot *return loss* (S_{11}) ketika kondisi $\Delta T = 600^{\circ}\text{C}$, terdapat perubahan nilai *return loss* pada antenna *feeder* tetapi sangat kecil pada frekuensi kerja antenna yang sudah ditentukan (5,3 – 5,6 GHz). Perubahan yang sangat kecil tersebut tidak menyebabkan pergeseran frekuensi kerja atau penurunan performa antenna *feeder*, karena nilai *return loss* pada frekuensi 5,3 – 5,6 GHz masih jauh dibawah -10 dB. Perubahan nilai terbesar terdapat pada frekuensi sekitar 7,2 GHz, dimana frekuensi tersebut bukan frekuensi kerja yang diinginkan. Perubahan nilai *return loss* yang sangat kecil disebabkan karena perubahan dimensi *Corrugated Horn* yang sangat kecil dan material bahan *feeder* yang dipakai memiliki koefisien muai yang paling kecil diantara alummunium, tembaga, dan perak.



Gambar 4.7 Plot *return loss* *Corrugated Horn* $\Delta T = 600^{\circ}\text{C}$

Tabel 4.2 Pengaruh perubahan suhu terhadap *Return Loss* *feeder Corrugated Horn*

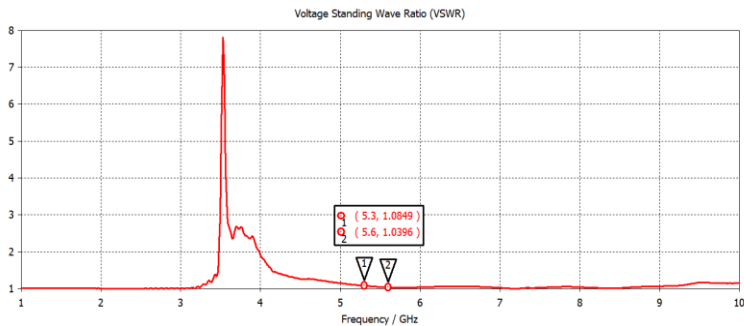
Frekuensi (GHz)	Return Loss (dB)	
	$\Delta T = 0^{\circ}\text{C}$	$\Delta T = 600^{\circ}\text{C}$
5,3	-27,802	-27,942
5,6	-34,237	-34,389

Pengaruh perubahan suhu terhadap performa *return loss* *feeder Corrugated Horn* justru berdampak positif meskipun sangat kecil. Dari

Tabel 4.2, menunjukkan terjadi penurunan nilai *return loss* ketika terjadi perubahan suhu $\Delta T = 600^\circ\text{C}$. Sehingga perubahan suhu sebesar $\Delta T = 600^\circ\text{C}$ tidak perlu dikhawatirkan untuk pembuatan desain *feeder Corrugated Horn*.

4.1.3.2. VSWR

Gambar 4.8 menunjukkan nilai VSWR dari desain *feeder Corrugated Horn*. Nilai VSWR dari hasil simulasi adalah sebesar 1,0849 dari frekuensi 5,3 GHz dan turun hingga 1,0396 di frekuensi 5,6 GHz. Hal ini menunjukkan bahwa desain feeder yang dibuat dapat digunakan dan memiliki performa yang baik jika dilihat dari hasil VSWR *feeder*, karena nilai VSWR yang diinginkan adalah < 2 .

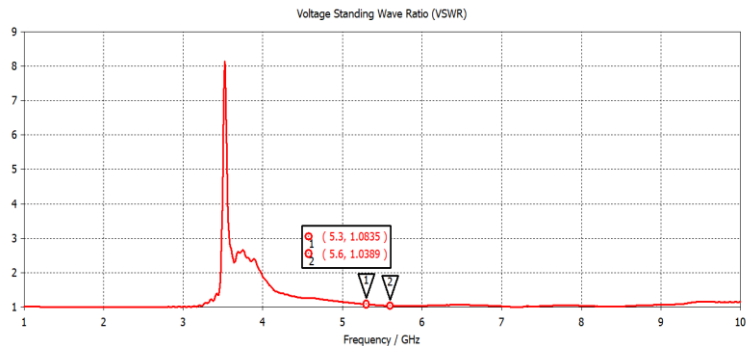


Gambar 4.8 Plot VSWR *Corrugated Horn* $\Delta T = 0$

Pengaruh suhu terhadap nilai VSWR dapat dilihat dengan membandingkan hasil VSWR ketika $\Delta T = 0^\circ\text{C}$ pada Gambar 4.10 dan hasil VSWR ketika $\Delta T = 600^\circ\text{C}$ pada Gambar 4.9. Atau dapat dilihat pada Tabel 4.3. Hasil simulasi menunjukkan pengaruh perubahan suhu sebesar $\Delta T = 600^\circ\text{C}$ terhadap nilai VSWR *Corrugated Horn* justru membuat nilai VSWR semakin kecil. Atau bisa dikatakan performa *Corrugated Horn* semakin baik, meskipun sangat sedikit perubahannya. Perubahan terbesar pada frekuensi 3,5 GHz, dimana pada frekuensi tersebut tidak digunakan pada *Synthetic Aperture Radar onboard Microsatellite*.

Pemuaian dimensi pada *feeder Corrugated Horn* memberikan efek perubahan pada nilai VSWR dengan $\Delta T = 600^\circ\text{C}$ meskipun sangat kecil, hal tersebut terjadi karena dengan $\Delta T = 600^\circ\text{C}$ pemuaian pada *waveguide Corrugated Horn* mengalami perubahan dimensi yang sangat

kecil jika dibandingkan dengan panjang gelombang dan dimensi awal *waveguide Corrugated Horn* sebelum mengalami pemuaiian.

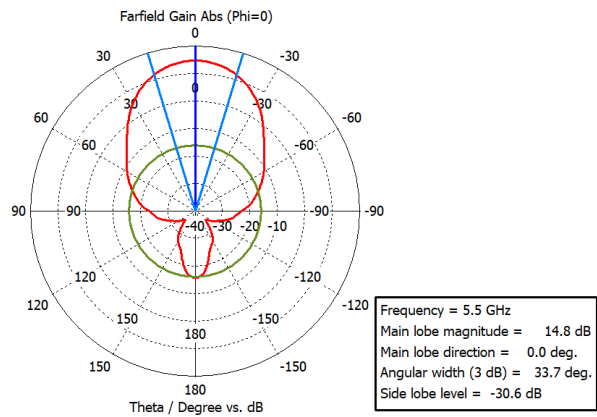


Gambar 4.9 Plot *VSWR Corrugated Horn* $\Delta T = 600^{\circ}\text{C}$

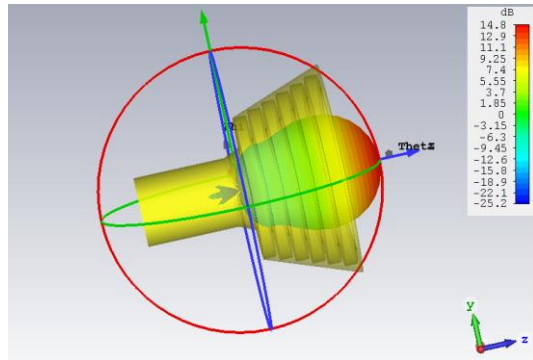
Tabel 4.3 Pengaruh perubahan suhu terhadap *VSWR Corrugated Horn*

Frekuensi (GHz)	VSWR	
	$\Delta T = 0^{\circ}\text{C}$	$\Delta T = 600^{\circ}\text{C}$
5,3	1,0849	1,0835
5,6	1,0396	1,0389

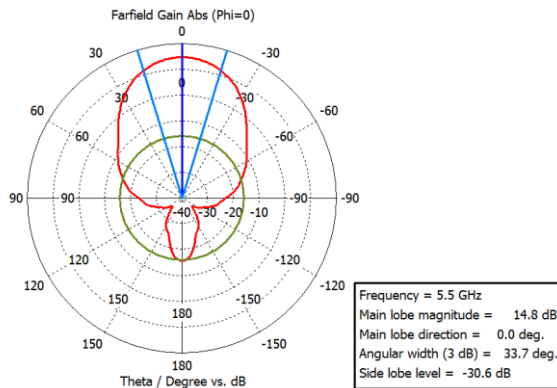
4.1.3.3. Pola Radiasi



Gambar 4.10 Pola Radiasi plot Polar *Corrugated Horn* $\Delta T = 0^{\circ}\text{C}$



Gambar 4.11 Pola Radiasi plot Cartesian *Corrugated Horn* $\Delta T = 0^{\circ}\text{C}$

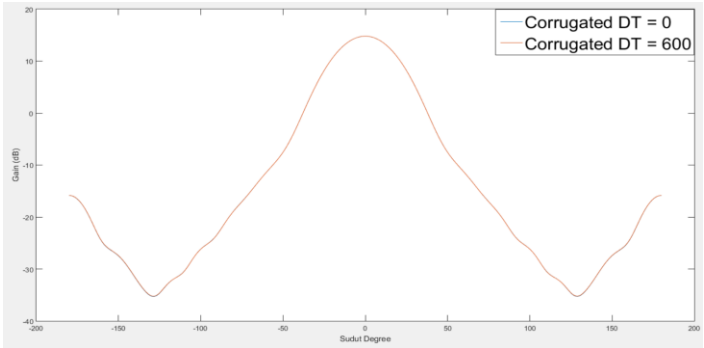


Gambar 4.12 Pola Radiasi plot Polar *Corrugated Horn* $\Delta T = 600^{\circ}\text{C}$

Pola radiasi pada simulasi dihitung pada medan jauh atau *farfield feeder* dengan *gain* terbesar ditandai dengan warna merah dan *gain* terkecil ditandai dengan warna biru. Dengan plot Polar dan 3 Dimensi untuk kondisi $\Delta T = 0^{\circ}\text{C}$ yang ditunjukkan pada Gambar 4.10 dan 4.11, dapat diketahui besar dan arah *gain* terbesar (*main lobe*) dari desain *feeder*.

Pada hasil plot Polar, dapat diketahui *gain* yang dihasilkan pada simulasi *feeder corrugated horn* pada frekuensi 5,5 GHz (nilai tengah dari frekuensi kerja) adalah sebesar 14.8 dB. Sedangkan besar *beamwidth* dari desain *feeder* ini adalah 33,7°, lebih kecil dari yang diharapkan (60 °). Hasil ini dimungkinkan karena jenis *feeder* yang dipakai memang berbeda dari kandidat jenis *feeder* yang ada di referensi [2].

Pada kondisi ketika desain *Corrugated Horn* sudah mengalami pemuaian dimensi dengan perubahan suhu sebesar $\Delta T = 600^{\circ}\text{C}$, hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 4.12 plot Polar. Pada keterangan hasil simulasi menunjukkan bahwa tidak ada perubahan sama sekali.



Gambar 4.13 Plot Pola Radiasi $\Delta T = 0^{\circ}\text{C}$ vs $\Delta T = 600^{\circ}\text{C}$

Gambar 4.13 dan Tabel 4.4 juga menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan *gain* pada semua sudut *Corrugated Horn*. Hal ini menunjukkan perubahan dimensi akibat pemuaian terhadap perubahan suhu sebesar 600°C tidak membuat kinerja dari *Corrugated Horn* mengalami penurunan performa, dengan catatan material yang dipakai adalah Emas.

Tabel 4.4 Pengaruh perubahan suhu terhadap Pola Radiasi *feeder Corrugated Horn*

Parameter	Nilai	
	$\Delta T = 0^{\circ}\text{C}$	$\Delta T = 600^{\circ}\text{C}$
<i>Gain</i>	14,7 dB	14,7 dB
<i>Directivity</i>	14,8 dBi	14,8 dBi
<i>Beamwidth</i>	33,7 deg	33,7 deg
<i>Side Lobe</i>	-30,6 dB	-30,6 dB

4.1.3.4. Rangkuman Hasil Simulasi Desain *feeder Corrugated Horn*

Dari hasil simulasi beberapa parameter *feeder Corrugated Horn*, dapat dibuat rangkuman apakah parameter kerja *feeder* tersebut sudah sesuai dengan spesifikasi yang ditargetkan dan memiliki performa kerja

yang baik atau tidak, baik saat kondisi $\Delta T = 0^{\circ}\text{C}$ maupun $\Delta T = 600^{\circ}\text{C}$. Dari Tabel 4.2, 4.3, dan 4.4, menunjukkan bahwa seluruh parameter *feeder* sudah sesuai dengan spesifikasi *feeder* yang diinginkan, yaitu memiliki performa kinerja yang baik dan konsisten pada kondisi $\Delta T = 600^{\circ}\text{C}$.

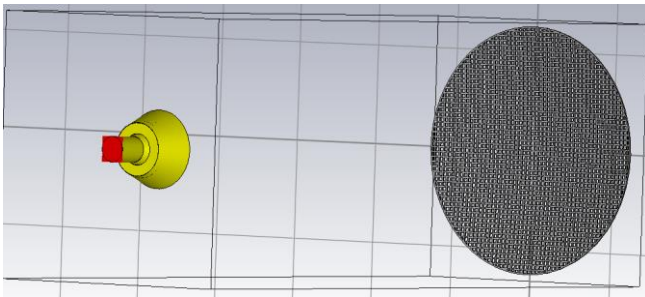
4.2. Corrugated Horn-fed Mesh Parabolic Reflector Antenna

Pada Subbab ini akan dijelaskan hasil desain antenna parabola yaitu *Corrugated Horn-fed Mesh Parabolic Reflector Antenna* beserta hasil simulasi pemuaian dimensi terhadap suhu dan analisis kinerja desain antenna ini sebelum dan sesudah mengalami pemuaian dimensi terhadap suhu.

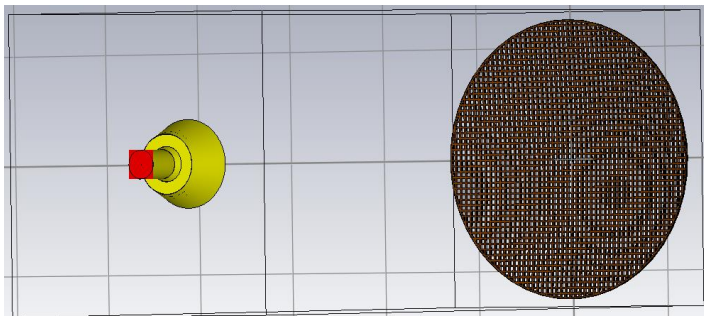
4.2.1. Hasil Desain Corrugated Horn-fed Mesh Parabolic Reflector Antenna

Hasil desain *Corrugated Horn-fed Mesh Parabolic Reflector Antenna* merupakan gabungan antara desain *feeder Corrugated Horn* dan reflektor *Mesh Parabolic*. Kedua desain tersebut disusun di *software CST Studio 2017* untuk siap dilakukan simulasi performa antenna. Dan juga, bagian reflektor *Mesh Parabolic* saja akan dilakukan simulasi pemuaian dimensi terhadap suhu sama seperti yang dilakukan pada *feeder Corrugated Horn*.

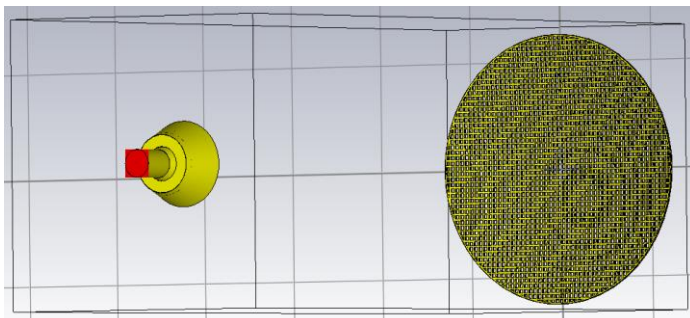
Hasil desain antenna dapat dilihat pada Gambar 4.14, 4.15, 4.16, dan 4.17. Terdapat 4 jenis dan desain material reflektor yang dibuat untuk dilakukan simulasi seperti yang sudah disebutkan pada Subbab 3.2. Untuk *feeder* tetap menggunakan satu jenis material yaitu Emas.



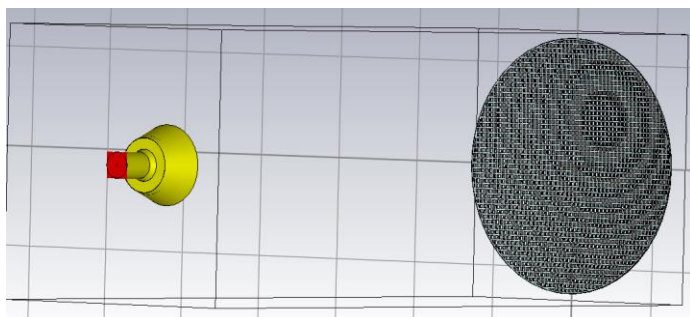
Gambar 4.14 Hasil desain *Corrugated Horn-fed Mesh Parabolic Reflector Antenna* dengan jenis material Alummunium



Gambar 4.15 Hasil desain *Corrugated Horn-fed Mesh Parabolic Reflector Antenna* dengan jenis material Molybdenum berlapis Tembaga



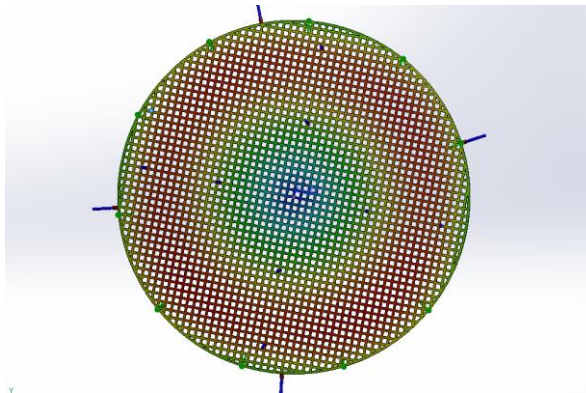
Gambar 4.16 Hasil desain *Corrugated Horn-fed Mesh Parabolic Reflector Antenna* dengan jenis material Molybdenum berlapis Emas



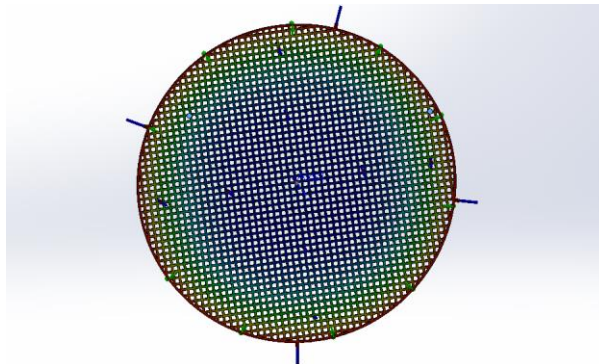
Gambar 4.17 Hasil desain *Corrugated Horn-fed Mesh Parabolic Reflector Antenna* dengan jenis material Molybdenum berlapis Perak

4.2.2. Hasil Simulasi Suhu Reflektor

Pada simulasi suhu *Mesh Parabolic Reflector* diberi sumber panas pada seluruh permukaannya sebesar 625°C dengan suhu awal sebesar 25°C . Simulasi menggunakan *Solidworks 2016* dapat mengetahui perubahan dimensi desain antenna secara *radial* dan *axial*. Untuk mengetahui perubahan dimensi pada diameter *Mesh Parabolic Reflector* maka yang dilihat adalah perubahan dimensi *radial*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.18.



Gambar 4.18 Hasil simulasi pemuatan dimensi *Mesh Parabolic Reflector Radial*



Gambar 4.19 Hasil simulasi pemuatan dimensi *Mesh Parabolic Reflector Axial*

Dan untuk mengetahui perubahan dimensi kecekungan atau titik fokus pada *Mesh Parabolic Reflector* maka yang perlu dilihat adalah perubahan dimensi *axial*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.19.

Dapat dilihat juga pada Gambar 4.18 dan Gambar 4.19 terdapat perbedaan warna. Warna tersebut menunjukkan besar perubahan dimensi *Mesh Parabolic Reflector*, dimana perubahan dimensi terkecil diindikasikan dengan warna biru dan perubahan dimensi terbesar diindikasikan dengan warna merah. Hasil simulasi berupa gambar seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.18 dan Gambar 4.19 dengan keterangan legenda. Besar nilai perubahan dimensi *Mesh Parabolic Reflector* dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.5 Perubahan dimensi *Mesh Parabolic Reflector* $\Delta T = 600^{\circ}\text{C}$

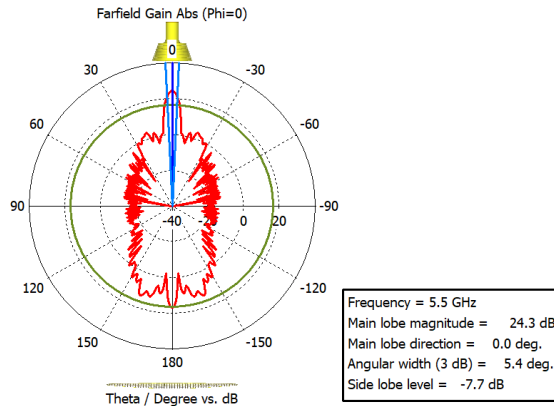
Material	Besar Pemuaian (mm)	
	Radial	Axial
Alumunium	0,591	-9,04
Gold Coated	0,022	-0,247
Silver Coated	0,028	-0,311
Copper Coated	0,0462	-0,557

Hasil simulasi suhu menunjukkan bahwa penggunaan material Alummunium pada desain *Mesh Parabolic Reflector* memiliki pemuaian dimensi paling besar dari segi diameter maupun titik fokus, sedangkan penggunaan material Molybdenum berlapis Emas memiliki pemuaian dimensi reflektor paling kecil.

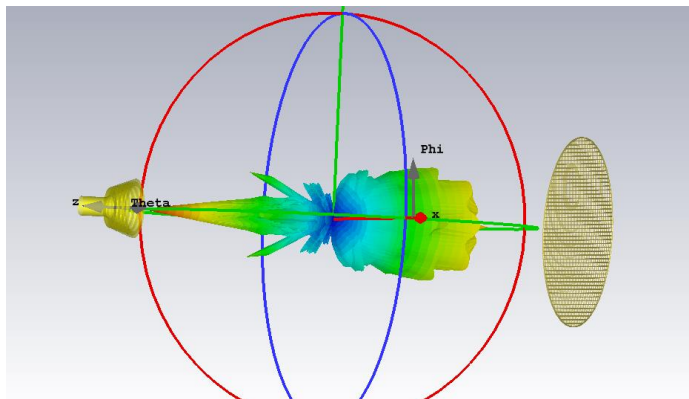
4.2.3. Hasil Simulasi Performa *Corrugated Horn-fed Mesh Parabolic Reflector Antenna*

Terdapat 2 hasil simulasi performa *Corrugated Horn-fed Mesh Parabolic Reflector Antenna* yang menggunakan *CST Studio 2017*. Hasil simulasi pertama menunjukkan kinerja antenna, dimana desain Antena ini belum mengalami pemuaian dimensi. Hasil simulasi kedua menunjukkan kinerja antenna setelah mengalami pemuaian dimensi terhadap perubahan suhu. Kemudian kedua hasil simulasi dibandingkan untuk mengetahui efek dari perubahan suhu terhadap kinerja *Corrugated Horn-fed Mesh Parabolic Reflector Antenna*.

Pola radiasi pada simulasi dihitung pada medan jauh atau *farfield* *Corrugated Horn-fed Mesh Parabolic Reflector Antenna* dengan *gain* terbesar ditandai dengan warna merah dan *gain* terkecil ditandai dengan warna biru. Dengan plot Polar dan 3 Dimensi ketika kondisi $\Delta T = 0^\circ\text{C}$ yang ditunjukkan pada Gambar 4.20 dan 4.21, dapat diketahui besar dan arah *gain* terbesar (*main lobe*) dari desain antenna parabola ini.



Gambar 4.20 Pola Radiasi plot Polar *Corrugated Horn-fed Mesh Parabolic Reflector Antenna*



Gambar 4.21 Pola Radiasi plot 3 Dimensi *Corrugated Horn-fed Mesh Parabolic Reflector Antenna*

Dari kedua Gambar tersebut dapat dilihat desain *Corrugated Horn-fed Mesh Parabolic Reflector Antenna* memiliki *gain* sebesar 24,3 dB, dimana pada semua jenis dan desain material yang dibuat memiliki besar *gain* yang sama. Hal ini menunjukkan perbedaan 4 jenis material yang di buat untuk desain reflektor ini tidak berpengaruh pada radiasi pantulan reflektor. Dapat dilihat pada Gambar 4.22 dan Tabel 4.6, perbandingan nilai *gain* desain antena parabola untuk semua jenis dan desain material yang digunakan, menunjukkan bahwa terdapat perbedaan nilai *gain* pada sudut-sudut *sidelobe*. Tetapi pada arah *mainlobe*, memiliki nilai *gain* sama. Hal tersebut menunjukkan bahwa perbedaan jenis material reflektor termasuk karakteristik (seperti konduktivitas elektrik dan hambatan jenis) tidak mempengaruhi pola radiasi dari suatu antena parabola.

Untuk aplikasi antena parabola yang digunakan pada kondisi suhu yang stabil, bisa menggunakan jenis material yang murah dan mudah didapatkan seperti Alummunium. Dan jika dilihat hasil simulasi pada Tabel 4.6 juga, terdapat perbedaan pada nilai *Angular Width* meskipun perbedaannya sangat kecil, dimana pada jenis material Molybdenum berlapis Emas memiliki besar *Angular Width* 5,4° dimana dengan desain jenis material lain memiliki nilai *Angular Width* sebesar 5°.

Untuk aplikasi *Synthetic Aperture Radar onboard Microsatellite*, perbedaan 0,4° pada *beamwidth* cukup berpengaruh pada luas cakupan radar. Perhitungan luas cakupan radar dengan persamaan berikut:

$$A = 2\pi R_e^2(1 - \cos\varphi) \quad (4.1)$$

$$\varphi = \left[\cos^{-1} \left(\frac{R_e}{R_e+h} \cos(\varepsilon) \right) \right] - \varepsilon \quad (4.2)$$

$$\varepsilon = \cos^{-1} \left(\frac{R_e+h}{R_e} \sin(\theta) \right) \quad (4.3)$$

Dimana:

$R_e = 6371 \text{ km}$ dan $h = 700 \text{ km}$

$\theta = \frac{1}{2} \text{Beamwidth}$

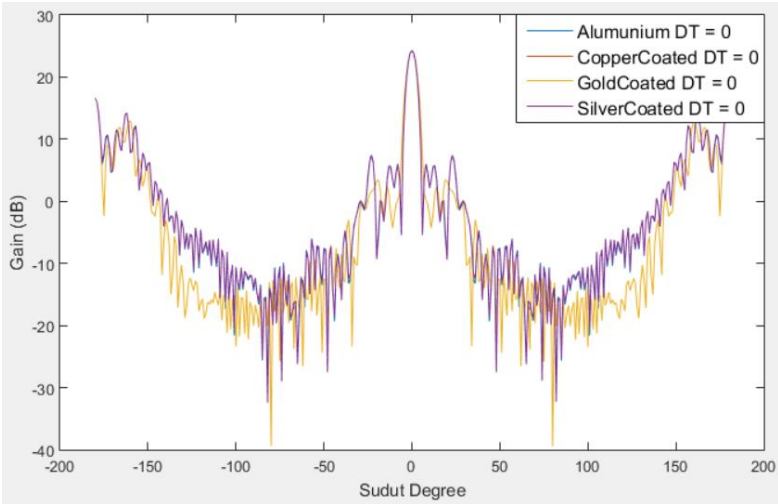
$A = \text{Luas Cakupan}$

Sehingga,

$$A_{\theta=5^\circ} \approx 11.750 \text{ km}^2$$

$$A_{\theta=5,4^\circ} \approx 13.983 \text{ km}^2$$

Dari hasil perhitungan luas cakupan antenna radar *onboard Microsatellite* yang memiliki ketinggian 700km dapat diketahui bahwa dengan perbedaan *beamwidth* sebesar $0,4^{\circ}$ akan menghasilkan selisih luas cakupan yang cukup besar, yaitu sebesar 2.233 km^2 .



Gambar 4.22 Plot gain Corrugated Horn-fed Mesh Parabolic Reflector $\Delta T = 0^{\circ}\text{C}$

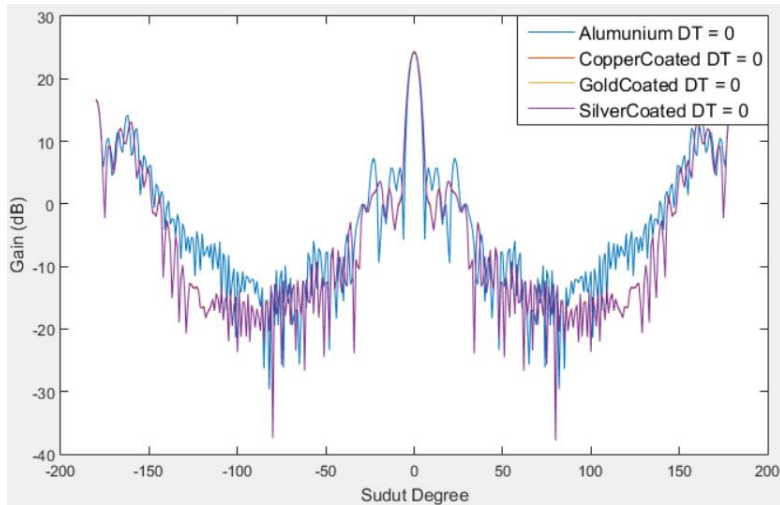
Tabel 4.6 Perbandingan parameter antar jenis material Antena Parabola

Material	Parameter			
	Gain	Directivity	Beamwidth	Side Lobe
Alummunium	24,3 dB	24,4 dBi	5	-7,7
Molybdenum Copper Coated	24,3 dB	24,4 dBi	5	-7,7
Molybdenum Gold Coated	24,3 dB	24,4 dBi	5,4	-7,7
Molybdenum Silver Coated	24,3 dB	24,4 dBi	5	-7,7

Secara teori, nilai *gain* dan *beamwidth* merupakan parameter yang memiliki hubungan berbanding terbalik. Ketika nilai *beamwidth* semakin

besar maka seharusnya nilai *gain* akan semakin kecil. Tetapi pada hasil simulasi menunjukkan pada desain material Molybdenum berlapis Emas memiliki nilai *beamwidth* yang lebih dari pada tiga desain material lainnya tidak menyebabkan nilai *gain* menjadi lebih kecil. Sehingga, dari hasil simulasi *Corrugated Horn-fed Mesh Parabolic Reflector Antenna* pada kondisi $\Delta T = 0^\circ\text{C}$ didapatkan bahwa desain dan jenis material Molybdenum berlapis Emas merupakan desain dan jenis yang lebih baik.

Kemudian untuk hasil simulasi *Corrugated Horn-fed Mesh Parabolic Reflector Antenna* pada kondisi $\Delta T = 600^\circ\text{C}$ dimana desain dengan semua jenis material mengalami pemuatan dimensi ditunjukkan pada Gambar 4.23 dan Tabel 4.7.

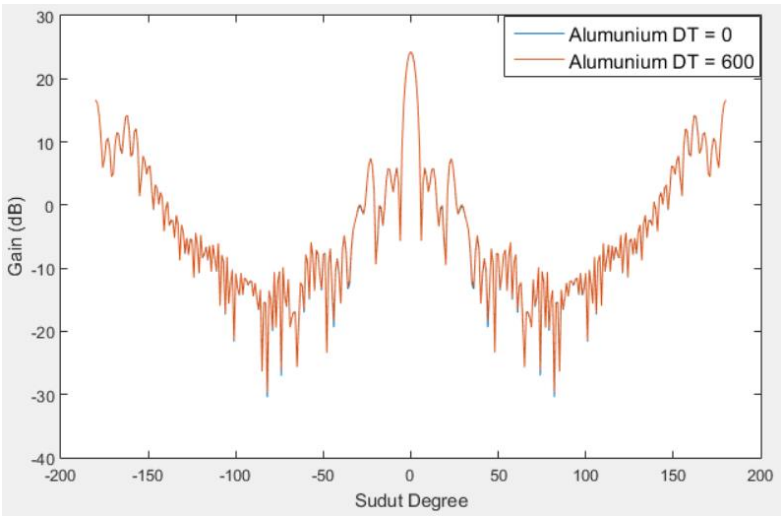


Gambar 4.23 Plot *gain Corrugated Horn-fed Mesh Parabolic Reflector Antenna* $\Delta T = 600^\circ\text{C}$

Dari hasil simulasi dapat diketahui bahwa tidak ada perbedaan performa antena sama sekali dibanding dengan kondisi ketika $\Delta T = 0^\circ\text{C}$. Bahkan untuk desain material Alummunium yang memiliki pemuatan paling besar diantara material yang lain yang digunakan pada penelitian Tugas Akhir ini juga tidak terdapat perbedaan performa dengan performa ketika $\Delta T = 0^\circ\text{C}$ dan $\Delta T = 600^\circ\text{C}$, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.24.

Tabel 4.7 Perbandingan parameter antar jenis material Antena Parabola pada kondisi $\Delta T = 600^{\circ}\text{C}$

Material	Parameter			
	Gain	Directivity	Beamwidth	Side Lobe
Alummunium	24,3 dB	24,4 dBi	5	-7,7
Molybdenum Copper Coated	24,3 dB	24,4 dBi	5	-7,7
Molybdenum Gold Coated	24,3 dB	24,4 dBi	5,4	-7,7
Molybdenum Silver Coated	24,3 dB	24,4 dBi	5	-7,7



Gambar 4.24 Plot *gain Corrugated Horn-fed Mesh Parabolic Reflector* material Alummunium $\Delta T = 0^{\circ}\text{C}$ vs $\Delta T = 600^{\circ}\text{C}$

Hasil simulasi menunjukkan semua jenis material desain antena pada kondisi $\Delta T = 0^{\circ}\text{C}$ maupun $\Delta T = 600^{\circ}\text{C}$ memiliki nilai *gain* yang sama, yaitu sebesar 24,3 dB dimana besar *gain* tersebut tidak memenuhi spesifikasi target seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.2. Jika dibandingkan dengan perhitungan menggunakan persamaan (4.4).

$$G = \frac{4\pi A}{\lambda^2} e_A = \frac{\pi D^2}{\lambda^2} e_A \quad (4.4)$$

Dimisalkan nilai *Aperture Efficiency* $e_A = 1$, maka didapat nilai *gain*:

$$G = 10 \log \left(\frac{\pi^2 \cdot 0,5^2}{0,057^2} \times 1 \right) = 28,8 \text{ dB}$$

Dari hasil perhitungan dengan mengasumsikan nilai *efficiency aperture* antenna sebesar 1, menunjukkan bahwa dengan kondisi ideal sekalipun antenna parabola memiliki besar *gain* < 30 dB.

Sehingga didapatkan rasio *gain* hasil simulasi terhadap perhitungan (e_A) sebesar:

$$e_A = \frac{24,3}{28,8} = 0,84$$

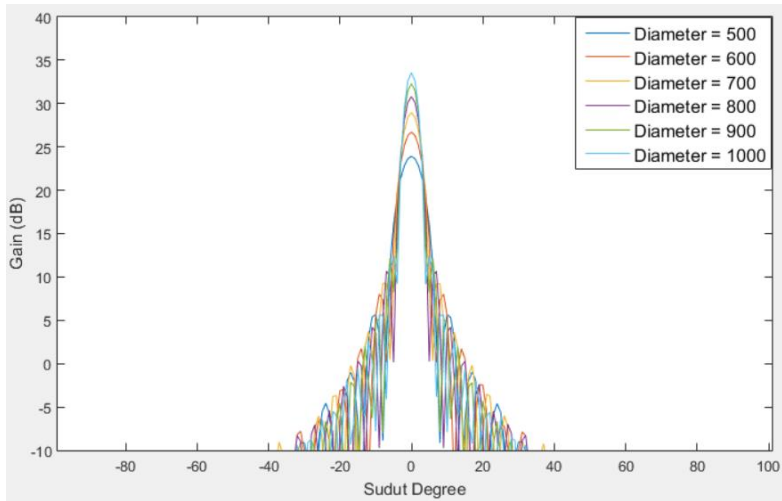
Dan ketika parabola mengalami pemuaian, maka *gain* yang dihasilkan menurut perhitungan pada reflektor yang mengalami pemuaian terbesar adalah:

$$G = 10 \log \left(\frac{\pi^2 \cdot 0,50182^2}{0,057^2} \times 0,84 \right) = 28,8 \text{ dB}$$

Dari hasil perhitungan nilai *gain* dengan memasukkan perubahan dimen reflector dapat diketahui bahwa perubahan nilai *gain* juga sangat kecil sekali. Sehingga menunjukkan hasil perhitungan dan hasil simulasi pada nilai *gain* sesuai.

4.3. Hasil Simulasi *Gain* vs *Diameter*

Simulasi ini untuk mengetahui apakah dengan kondisi nyata (Diameter 3,6 meter) desain reflektor ini memiliki *gain* sesuai dengan spesifikasi target atau tidak. Besar *gain* yang ditargetkan adalah sebesar lebih dari 30 dB. Karena alat atau komputer yang digunakan untuk melakukan pembuatan desain dan simulasi mengalami masalah karena spesifikasi komputer yang dibutuhkan sangat besar, maka dilakukan pembuatan desain dan simulasi dengan diameter reflektor yang berbeda-beda.



Gambar 4.25 Plot *gain* vs *diameter*

Hal tersebut dilakukan untuk mengetahui pola kenaikan besar *gain*. Besar diameter reflektor yang dibuat yaitu 50, 60, 70, 80, 90 dan 100 centimeter. Hasil simulasi ditunjukkan pada **Gambar 4.25** dan **Tabel 4.8**. **Tabel 4.8** Hasil simulasi *gain* vs *diameter*

Diameter (cm)	Gain (Db)	Kenaikan Gain (dB)
50	24,3	0
60	26,7	2,4
70	29	2,3
80	30,8	1,8
90	32,3	1,5
100	33,6	1,2

Dari hasil simulasi *gain* vs *diameter* dapat diketahui bahwa pada besar diameter reflektor 80 cm, besar *gain* 30,8 dB. Dimana besar *gain* tersebut sudah melebihi besar *gain* yang ditargetkan. Dan pada besar diameter 100 cm, didapatkan besar *gain* sebesar 33,6 dB. Nilai tersebut lebih besar lagi dari pada besar *gain* yang didapatkan ketika besar diameter reflektor 80 cm. Secara keseluruhan simulasi *gain* vs *diameter*, dapat dilihat kenaikan *gain* menurun. Hal tersebut mungkin dipengaruhi oleh *Angular Width* pada Pola Radiasi *feeder* tidak sampai 90°.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB 5

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan pada penelitian tugas akhir ini dapat ditarik beberapa kesimpulan kedalam beberapa poin:

1. Perbedaan desain dan jenis material berpengaruh pada performa *Beamwidth* Antena Parabola.
2. Desain Antena Parabola dengan jenis material Molybdenum berlapis Emas memiliki *Beamwidth* paling baik karena lebih lebar dibanding jenis material yang lain.
3. Desain Antena Parabola dengan jenis material Alumunium memiliki pemuatan paling besar, sedangkan jenis material Molybdenum berlapis Emas memiliki pemuatan dimensi paling kecil.
4. Pemuatan dimensi pada desain Antena Parabola berpengaruh pada performa Antena Parabola tetapi sangat kecil sehingga performa Antena Parabola masih sangat baik, dengan kondisi $\Delta T = 600^{\circ}\text{C}$.
5. Dari hasil simulasi suhu dan simulasi performa Antena Parabola, dapat disimpulkan bahwa desain dan jenis material terbaik untuk antena Synthetic Aperture Radar onboard Microsatellite adalah material Molybdenum berlapis Emas.

5.2. Saran

Sebagai hasil penelitian Tugas Akhir yang dilakukan, berikut merupakan beberapa saran yang untuk dilakukan penelitian lanjutan mengenai topik yang serupa:

1. Ketika melakukan pembuatan dan simulasi desain Antena Parabola dengan geometri yang sangat, gunakan pengaturan *Setup Solver: Integral Solver*. Meskipun hasil simulasinya tidak seteliti *Time Domain Solver*, tetapi pada Antena Parabola sudah cukup.
2. Ketika ingin melakukan simulasi suhu, usahakan memiliki komputer dengan spesifikasi yang cukup tinggi untuk desain Antena Parabola dengan detail yang sangat tinggi.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Balanis, C. A., "Antenna Theory: Analysis and Design" 4th Edition, Wiley, New Jersey, 2016.
- [2] Skolnik, M. I., "Introduction to Radar Systems", McGraw-Hill, Singapore, 2001.
- [3] Pozar, D. M., "Microwave Engineering" 4th Edition, Wiley, New Jersey, 2012.
- [4] Bretcho P., Ludwig, R., "RF Circuit Design Theory and Applications", Prentice Hall, New Jersey, Ch. 2, 2000.
- [5] Wibowo, S.H., "Desain Antena Microstrip Patch Segitiga Fractal Planar pada Pita L untuk Sistem Komunikasi Satelit", Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Ch. 2, 2015.
- [6] Usman H., "Desain, Analisis, dan Fabrikasi Antena Microstrip Slot Array Untuk Spesifikasi Surveillance Radar Pada Frekuensi S-Band", Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2017.
- [7] J.T. Sri Sumantyo, K. N. Urata, N. Imura, K. Ito, dan S. Gao, "Development of a Circularly Polarized L-Band SAR Deployable Mesh Reflector Antenna for MicroSatellite Earth Observation", IEEE International Symposium on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting, 2017.
- [8] Aykut Demicri, Nurhan Turker Tokan, "Performance of Corrugated Feed Horn for Satellite Earth Station Antennas", 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), 2018.
- [9] Ike Augustine R., "Evaluasi Mutual Coupling Pada Antena Array Linier Rectangular Patch Dengan Cavity Backed Slot Pada Frekuensi S-Band", Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2017.
- [10] X. Wang, J. J. Berthelier, J. P. Lbreton, "Ionosphere Variations at 700 km Altitude Observed by the DEMETER Satellite During the 29 March 2006 Solar Eclipse", Journal Of Geophysical Research, VOL. 115, A11312, 2010.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

LAMPIRAN A

PENGESAHAN PROPOSAL TUGAS AKHIR

Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Elektro – ITS

TE 141599 TUGAS AKHIR – 4 SKS

Nama Mahasiswa : Akbar Danar Abiwardana
Nomor Pokok : 07111440000179
Bidang Studi : Telekomunikasi Multimedia
Tugas Diberikan : Semester Genap 2017/2018
Dosen Pembimbing : 1. Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng., Ph.D
2. Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D

09 FEB 2018

Judul Tugas Akhir : **Desain dan Analisis Material Antena Parabola untuk Synthetic Aperture Radar Onboard Microsatellite pada Frekuensi C-Band**
(*Design and Analysis Material of Parabolic Antenna for Synthetic Aperture Radar Onboard Microsatellite at C-Band Frequency*)

Uraian Tugas Akhir :

Synthetic Aperture Radar (SAR) adalah radar yang dapat digunakan untuk mapping topografi permukaan bumi di segala keadaan cuaca dan waktu siang maupun malam. Dalam aplikasinya, radar ini akan dipasang di *microsatellite* yang mengorbit di lapisan terluar atmosfer bumi (Eksosfer). Dilapisi Eksosfer, terdapat rentang perubahan suhu yang besar, bisa sangat panas dan sangat dingin. Perubahan suhu yang besar ini dapat menyebabkan material komponen satelit dan radar SAR mengalami pemuaian dan penyusutan.

Pemuaian dan penyusutan ini dapat mengganggu performa komponen. Contohnya komponen antena, ketika mengalami perubahan dimensi, akan mengalami perubahan parameter antena seperti *Gain*, Pola Radiasi, dan lain-lain. Sehingga antena radar memerlukan desain material yang tahan terhadap perubahan suhu yang besar. Dengan mensimulasikan perubahan dengan berbagai jenis material dan mensimulasikan antena dengan berbagai jenis perubahan dimensi yang didapat dari simulasi perubahan suhu, diharapkan dapat menemukan jenis material yang cocok untuk radar SAR *onboard microsatellite*.

Dosen Pembimbing I,

Dosen Pembimbing II,

Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng., Ph.D
NIP. 19701111199031002

Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D
NIP. 197210012003121002

Mengetahui,
Ketua Program Studi S1

Menyetujui,
Kepala Laboratorium Antena dan Propagasi



Didet C. Riawan, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP. 197311192000031001

Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng., Ph.D
NIP. 19701111199031002

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

LAMPIRAN B

MATHSCRIPT SIMULASI DAN PENGAOLAHAN PADA PERANGKAT LUNAK MATLAB

A. Script Plot Simulasi *Corrugated Horn-fed Mesh Parabolic Reflektor Antenna* $\Delta T = 0^{\circ}\text{C}$

```
plot(Alumunium(:,2),Alumunium(:,3))

hold on

plot(CopperCoated(:,2),CopperCoated(:,3))

hold on

plot(GoldCoated(:,2),GoldCoated(:,3))

hold on

plot(SilverCoated(:,2),SilverCoated(:,3))

legend('Alumunium DT = 0','CopperCoated DT = 0','GoldCoated DT = 0','SilverCoated DT = 0')

xlabel('Sudut Degree')

ylabel('Gain (dB)')
```

B. Script Plot Simulasi *Corrugated Horn-fed Mesh Parabolic Reflektor Antenna* $\Delta T = 600^{\circ}\text{C}$

```
plot(AlumuniumT600(:,2),AlumuniumT600(:,3))

hold on

plot(CopperCoatedT600(:,2),CopperCoatedT600(:,3))
```

```

hold on

plot(GoldCoatedT600(:,2),GoldCoatedT600(:,
3))

hold on

plot(SilverCoatedT600(:,2),SilverCoatedT60
0(:,3))

legend('Alumunium DT = 600','CopperCoated
DT = 600','GoldCoated DT =
600','SilverCoated DT = 600')

xlabel('Sudut Degree')

ylabel('Gain (dB)')

```

LAMPIRAN C **DATA HASIL SIMULASI PADA TOOL PERANGKAT** **LUNAK CST STUDIO**

Data Simulasi Alummunium

No	Sudut (Deg.)	Nilai	No	Sudut (Deg.)	Nilai	No	Sudut (Deg.)	Nilai
130	-50	-7,865608516	165	-15	-0,354476408	200	20	-8,959729762
131	-49	-7,619039659	166	-14	3,874336807	201	21	2,443143663
132	-48	-22,93878747	167	-13	5,771661009	202	22	6,32079499
133	-47	-9,403451248	168	-12	5,554000669	203	23	7,352718409
134	-46	-7,033016751	169	-11	3,478832221	204	24	6,366389624
135	-45	-13,37147523	170	-10	2,111801224	205	25	3,702116451
136	-44	-19,34443011	171	-9	4,502062136	206	26	0,222608764
137	-43	-10,47485143	172	-8	5,921973841	207	27	-1,472789318
138	-42	-8,445087228	173	-7	3,566261701	208	28	-0,794350642
139	-41	-10,80842389	174	-6	-5,464921982	209	29	-0,125387309
140	-40	-15,59736283	175	-5	9,250243941	210	30	-0,501838251
141	-39	-7,050522192	176	-4	16,03152789	211	31	-1,690745824
142	-38	-4,957916881	177	-3	20,00944852	212	32	-2,733562396
143	-37	-7,395928986	178	-2	22,46154573	213	33	-4,076535936
144	-36	-13,25854056	179	-1	23,81907011	214	34	-7,236168817
145	-35	-12,57220016	180	0	24,25549692	215	35	-12,57643467
146	-34	-7,232449404	181	1	23,81929445	216	36	-13,25932158
147	-33	-4,07685176	182	2	22,46208259	217	37	-7,395219298
148	-32	-2,738256662	183	3	20,01055745	218	38	-4,954381985
149	-31	-1,699107102	184	4	16,03398259	219	39	-7,043256505
150	-30	-0,511533738	185	5	9,25732683	220	40	-15,57381739
151	-29	-0,134337722	186	6	-5,434723721	221	41	-10,79848641
152	-28	-0,800102829	187	7	3,552368863	222	42	-8,43531111
153	-27	-1,475002973	188	8	5,912051706	223	43	-10,46839298
154	-26	0,220969207	189	9	4,499163621	224	44	-19,3512321
155	-25	3,703585181	190	10	2,136301997	225	45	-13,35759203
156	-24	6,372136063	191	11	3,511232113	226	46	-7,02895004
157	-23	7,362951613	192	12	5,573122268	227	47	-9,403465148
158	-22	6,337050697	193	13	5,781150079	228	48	-22,91210978
159	-21	2,4717231	194	14	3,873030372	229	49	-7,613901919
160	-20	-8,856110924	195	15	-0,386460741	230	50	-7,863415769
161	-19	-5,731621857	196	16	-3,381493539	231	51	-13,50369664
162	-18	-0,325074433	197	17	-0,653274817	232	52	-11,06691671
163	-17	-0,627662466	198	18	-0,325348956	233	53	-7,869517049
164	-16	-3,305039166	199	19	-5,702138081	234	54	-7,241142209

Data Simulasi Alummunium $\Delta T = 600^{\circ}\text{C}$

No	Sudut (Deg.)	Nilai	No	Sudut (Deg.)	Nilai	No	Sudut (Deg.)	Nilai
130	-50	-7,8090410154	165	-15	-0,4912176767	200	20	-9,5004481921
131	-49	-7,6539200469	166	-14	3,8256567298	201	21	2,3277355918
132	-48	-23,3960405966	167	-13	5,7793527944	202	22	6,2714289373
133	-47	-9,2389588160	168	-12	5,5990272515	203	23	7,3301243014
134	-46	-6,9072097938	169	-11	3,5298530964	204	24	6,3650839968
135	-45	-13,3527912834	170	-10	2,0377243605	205	25	3,7270037123
136	-44	-18,3430989023	171	-9	4,3874188190	206	26	0,2711878216
137	-43	-10,1980647070	172	-8	5,8449224505	207	27	-1,3829756313
138	-42	-8,5029835751	173	-7	3,5030508103	208	28	-0,6175855173
139	-41	-11,0238862408	174	-6	-5,7147647667	209	29	0,0771275470
140	-40	-15,5912971188	175	-5	9,2485005689	210	30	-0,3527447309
141	-39	-6,9426607049	176	-4	16,0444774164	211	31	-1,6393309113
142	-38	-4,8092236607	177	-3	20,0297906382	212	32	-2,7427082695
143	-37	-7,1950280559	178	-2	22,4866088890	213	33	-4,0434259012
144	-36	-12,9111874100	179	-1	23,8467947454	214	34	-7,0162231580
145	-35	-11,9651599359	180	0	24,2840913156	215	35	-11,9721063172
146	-34	-7,0127593431	181	1	23,8470344221	216	36	-12,9137025190
147	-33	-4,0435094769	182	2	22,4871890295	217	37	-7,1994319354
148	-32	-2,7460604419	183	3	20,0310098758	218	38	-4,8138931297
149	-31	-1,6455815155	184	4	16,0472321628	219	39	-6,9463829653
150	-30	-0,3598894679	185	5	9,2566090953	220	40	-15,5954722087
151	-29	0,0705975840	186	6	-5,6797634077	221	41	-11,0310528102
152	-28	-0,6219347991	187	7	3,4857517532	222	42	-8,5027105501
153	-27	-1,3849024716	188	8	5,8322551843	223	43	-10,1882926008
154	-26	0,2694314407	189	9	4,3827527450	224	44	-18,3214713237
155	-25	3,7278829035	190	10	2,0659102870	225	45	-13,3392854944
156	-24	6,3700661982	191	11	3,5676074689	226	46	-6,8988635957
157	-23	7,3397745236	192	12	5,6217897262	227	47	-9,2335215601
158	-22	6,2875854524	193	13	5,7911882664	228	48	-23,3613321435
159	-21	2,3573319611	194	14	3,8251353979	229	49	-7,6449781160
160	-20	-9,3847123125	195	15	-0,5284618603	230	50	-7,8059863550
161	-19	-5,2682883178	196	16	-3,3540473159	231	51	-13,2431298692
162	-18	-0,0670418616	197	17	-0,4417522965	232	52	-11,2037451455
163	-17	-0,4115350556	198	18	-0,0692135002	233	53	-7,8012266348
164	-16	-3,2645412062	199	19	-5,2401547838	234	54	-7,0947015886

Data Simulasi Molybdenum berlapis Tembaga

No	Sudut (Deg.)	Nilai	No	Sudut (Deg.)	Nilai	No	Sudut (Deg.)	Nilai
130	-50	-7,516975128	165	-15	-0,721999042	200	20	-9,405177493
131	-49	-8,110424027	166	-14	3,640678953	201	21	2,376976081
132	-48	-27,51584439	167	-13	5,624154229	202	22	6,354309313
133	-47	-9,223293656	168	-12	5,461169428	203	23	7,437210226
134	-46	-7,31343519	169	-11	3,454972732	204	24	6,497235226
135	-45	-14,30621324	170	-10	2,200171562	205	25	3,885333719
136	-44	-18,44716049	171	-9	4,602447915	206	26	0,432778618
137	-43	-10,56746562	172	-8	6,023168716	207	27	-1,275494939
138	-42	-8,728766503	173	-7	3,71965623	208	28	-0,547701947
139	-41	-11,05905669	174	-6	-5,277266	209	29	0,130933356
140	-40	-15,92639972	175	-5	9,235214317	210	30	-0,308732556
141	-39	-6,960537056	176	-4	16,04875786	211	31	-1,619403104
142	-38	-4,696797123	177	-3	20,0412989	212	32	-2,77399665
143	-37	-6,962756272	178	-2	22,50131474	213	33	-4,078516547
144	-36	-12,51027221	179	-1	23,86299047	214	34	-6,945505147
145	-35	-11,66643554	180	0	24,30078109	215	35	-11,66928732
146	-34	-6,945685562	181	1	23,86341033	216	36	-12,50720487
147	-33	-4,083275964	182	2	22,5022634	217	37	-6,96155897
148	-32	-2,782185182	183	3	20,04309017	218	38	-4,694434968
149	-31	-1,629740763	184	4	16,05230966	219	39	-6,956548752
150	-30	-0,318274699	185	5	9,244448498	220	40	-15,90360236
151	-29	0,124790581	186	6	-5,235298024	221	41	-11,03558148
152	-28	-0,54825258	187	7	3,707650598	222	42	-8,721543002
153	-27	-1,271701448	188	8	6,014957846	223	43	-10,58946565
154	-26	0,435594311	189	9	4,60037716	224	44	-18,51900841
155	-25	3,889120612	190	10	2,219360025	225	45	-14,31855632
156	-24	6,503594013	191	11	3,479962059	226	46	-7,331145996
157	-23	7,446652173	192	12	5,475777241	227	47	-9,241807267
158	-22	6,368363659	193	13	5,631371121	228	48	-27,51871228
159	-21	2,401370008	194	14	3,639794918	229	49	-8,121791004
160	-20	-9,313403527	195	15	-0,745956189	230	50	-7,52671459
161	-19	-4,846709193	196	16	-3,2575785	231	51	-12,89133485
162	-18	0,168211131	197	17	-0,217004387	232	52	-11,85601488
163	-17	-0,203396972	198	18	0,171321975	233	53	-7,279621516
164	-16	-3,208016878	199	19	-4,822234357	234	54	-7,174912757

Data Simulasi Molybdenum berlapis Tembaga $\Delta T = 600^{\circ}\text{C}$

No	Sudut (Deg.)	Nilai	No	Sudut (Deg.)	Nilai	No	Sudut (Deg.)	Nilai
130	-50	-12,54054742	165	-15	1,3521802	200	20	3,486155582
131	-49	-12,48693042	166	-14	2,530613322	201	21	2,59592015
132	-48	-21,65080239	167	-13	1,223770215	202	22	1,998091662
133	-47	-8,407762612	168	-12	-2,026325203	203	23	1,777864195
134	-46	-6,930022529	169	-11	-4,137343634	204	24	1,325755158
135	-45	-13,80751278	170	-10	-2,114294509	205	25	0,18373823
136	-44	-11,97418851	171	-9	-0,090876076	206	26	-1,228038055
137	-43	-7,365129294	172	-8	0,478871528	207	27	-1,20075565
138	-42	-11,69733626	173	-7	1,535871264	208	28	-0,122384966
139	-41	-14,12620028	174	-6	7,281933656	209	29	-0,196871943
140	-40	-8,370612522	175	-5	13,22786344	210	30	-2,938979399
141	-39	-12,42494544	176	-4	17,63896204	211	31	-10,32463668
142	-38	-13,18696184	177	-3	20,75729481	212	32	-9,895561773
143	-37	-4,317348225	178	-2	22,83819209	213	33	-8,823690641
144	-36	-2,885335108	179	-1	24,034507	214	34	-23,93488974
145	-35	-7,066074359	180	0	24,42531424	215	35	-7,053903955
146	-34	-23,89579843	181	1	24,03517154	216	36	-2,880114112
147	-33	-8,813883295	182	2	22,83966434	217	37	-4,315990061
148	-32	-9,894791381	183	3	20,75995136	218	38	-13,1919799
149	-31	-10,34538166	184	4	17,64370256	219	39	-12,40247685
150	-30	-2,947068255	185	5	13,23700955	220	40	-8,360096965
151	-29	-0,203336201	186	6	7,301472607	221	41	-14,13639337
152	-28	-0,12965516	187	7	1,561772879	222	42	-11,69941968
153	-27	-1,210457827	188	8	0,476732523	223	43	-7,352704255
154	-26	-1,239957847	189	9	-0,107472351	224	44	-11,94769175
155	-25	0,172828295	190	10	-2,130425905	225	45	-13,80750073
156	-24	1,315973252	191	11	-4,104759174	226	46	-6,924429972
157	-23	1,766440373	192	12	-1,954449577	227	47	-8,395024208
158	-22	1,980930716	193	13	1,280354051	228	48	-21,6028415
159	-21	2,572523548	194	14	2,578213323	229	49	-12,48956589
160	-20	3,461459405	195	15	1,403321694	230	50	-12,52977274
161	-19	3,633674789	196	16	-2,222221138	231	51	-24,13375589
162	-18	2,020113842	197	17	-1,836935379	232	52	-11,67303161
163	-17	-1,887185348	198	18	2,045957044	233	53	-14,2759597
164	-16	-2,297261608	199	19	3,657157982	234	54	-18,04900574

Data Simulasi Molybdenum berlapis Emas

No	Sudut (Deg.)	Nilai	No	Sudut (Deg.)	Nilai	No	Sudut (Deg.)	Nilai
130	-50	-12,52035147	165	-15	1,196008063	200	20	3,256605463
131	-49	-12,59714609	166	-14	2,377364459	201	21	2,340855772
132	-48	-21,3914134	167	-13	1,075969352	202	22	1,776312674
133	-47	-8,455072612	168	-12	-2,170009015	203	23	1,623422032
134	-46	-7,033167508	169	-11	-4,3094071	204	24	1,231615399
135	-45	-13,97726466	170	-10	-2,366313787	205	25	0,132639587
136	-44	-12,09362452	171	-9	-0,411338279	206	26	-1,266805326
137	-43	-7,537561672	172	-8	0,115587669	207	27	-1,269197305
138	-42	-11,92545645	173	-7	1,309833812	208	28	-0,208013159
139	-41	-13,99871415	174	-6	7,200014423	209	29	-0,273256698
140	-40	-8,459138332	175	-5	13,13768627	210	30	-2,985626651
141	-39	-12,63561785	176	-4	17,53286321	211	31	-10,34279006
142	-38	-12,98551633	177	-3	20,64158661	212	32	-10,07163593
143	-37	-4,333008648	178	-2	22,71726288	213	33	-8,888198328
144	-36	-2,96361615	179	-1	23,91089925	214	34	-23,33117569
145	-35	-7,204583858	180	0	24,30073236	215	35	-7,224257838
146	-34	-23,39023208	181	1	23,9110305	216	36	-2,971240671
147	-33	-8,900588199	182	2	22,71753779	217	37	-4,334458652
148	-32	-10,06687526	183	3	20,64203619	218	38	-12,98517478
149	-31	-10,32684272	184	4	17,53355965	219	39	-12,66279189
150	-30	-2,984045391	185	5	13,13883335	220	40	-8,468330745
151	-29	-0,273011662	186	6	7,202387827	221	41	-14,00417611
152	-28	-0,207769003	187	7	1,31539613	222	42	-11,90559294
153	-27	-1,268175033	188	8	0,121484488	223	43	-7,525632288
154	-26	-1,265070342	189	9	-0,405532255	224	44	-12,0834531
155	-25	0,133489429	190	10	-2,359257487	225	45	-13,96900079
156	-24	1,231760061	191	11	-4,304928074	226	46	-7,025472584
157	-23	1,6245735	192	12	-2,175096913	227	47	-8,449857638
158	-22	1,78094896	193	13	1,06868331	228	48	-21,38750324
159	-21	2,349598959	194	14	2,369528385	229	49	-12,59968548
160	-20	3,266859179	195	15	1,185932991	230	50	-12,52669156
161	-19	3,486357968	196	16	-2,421468112	231	51	-24,39474464
162	-18	1,92692902	197	17	-1,92668885	232	52	-11,94527268
163	-17	-1,907444824	198	18	1,91539429	233	53	-14,47289601
164	-16	-2,402082517	199	19	3,476134704	234	54	-18,37636496

Data Simulasi Molybdenum berlapis Emas $\Delta T = 600^{\circ}\text{C}$

No	Sudut (Deg.)	Nilai	No	Sudut (Deg.)	Nilai	No	Sudut (Deg.)	Nilai
130	-50	-12,61161009	165	-15	1,206480174	200	20	3,37234933
131	-49	-12,5533649	166	-14	2,395647381	201	21	2,459364905
132	-48	-21,63417797	167	-13	1,105592906	202	22	1,859659909
133	-47	-8,514582872	168	-12	-2,126860964	203	23	1,652924576
134	-46	-7,029746544	169	-11	-4,263500835	204	24	1,213957069
135	-45	-13,87270801	170	-10	-2,306827645	205	25	0,085281492
136	-44	-12,11923258	171	-9	-0,331098253	206	26	-1,299549321
137	-43	-7,504411988	172	-8	0,195772085	207	27	-1,254381949
138	-42	-11,8454067	173	-7	1,302469161	208	28	-0,192770996
139	-41	-14,20336964	174	-6	7,153395762	209	29	-0,285203964
140	-40	-8,476393246	175	-5	13,10991563	210	30	-3,037039142
141	-39	-12,52357344	176	-4	17,5174811	211	31	-10,45560472
142	-38	-13,21580135	177	-3	20,63275231	212	32	-10,06521018
143	-37	-4,410197727	178	-2	22,71182245	213	33	-8,967898375
144	-36	-2,981766703	179	-1	23,90715089	214	34	-23,91829984
145	-35	-7,147597035	180	0	24,29751611	215	35	-7,147093082
146	-34	-23,88974143	181	1	23,9073505	216	36	-2,982150052
147	-33	-8,965674126	182	2	22,71225723	217	37	-4,412632247
148	-32	-10,05876579	183	3	20,63351192	218	38	-13,22587672
149	-31	-10,45002238	184	4	17,51876375	219	39	-12,51100801
150	-30	-3,039157955	185	5	13,11216407	220	40	-8,472082811
151	-29	-0,288396578	186	6	7,157363784	221	41	-14,21181858
152	-28	-0,196531877	187	7	1,304908856	222	42	-11,84304025
153	-27	-1,258085313	188	8	0,191132774	223	43	-7,498825041
154	-26	-1,301832894	189	9	-0,338019952	224	44	-12,11152255
155	-25	0,084097954	190	10	-2,314663334	225	45	-13,86134786
156	-24	1,212968862	191	11	-4,268020244	226	46	-7,022953736
157	-23	1,651694659	192	12	-2,125239765	227	47	-8,507619858
158	-22	1,857927	193	13	1,107546805	228	48	-21,60218779
159	-21	2,457277133	194	14	2,397034457	229	49	-12,5395281
160	-20	3,370337826	195	15	1,207405465	230	50	-12,59649055
161	-19	3,574218394	196	16	-2,378517615	231	51	-24,53485341
162	-18	2,007941904	197	17	-1,823576927	232	52	-11,81063493
163	-17	-1,825375809	198	18	2,009751399	233	53	-14,3862543
164	-16	-2,379315105	199	19	3,576052941	234	54	-18,19145123

Data Simulasi Molybdenum berlapis Perak

No	Sudut (Deg.)	Nilai	No	Sudut (Deg.)	Nilai	No	Sudut (Deg.)	Nilai
130	-50	-7,51697235	165	-15	-0,722000894	200	20	-9,405187122
131	-49	-8,110463889	166	-14	3,640687537	201	21	2,37698524
132	-48	-27,51606033	167	-13	5,624167616	202	22	6,354321299
133	-47	-9,223310839	168	-12	5,461187111	203	23	7,437222946
134	-46	-7,313460222	169	-11	3,454998199	204	24	6,497248223
135	-45	-14,30624702	170	-10	2,200202959	205	25	3,8853469
136	-44	-18,44723719	171	-9	4,602470036	206	26	0,432791535
137	-43	-10,5674867	172	-8	6,023186219	207	27	-1,275481053
138	-42	-8,728746987	173	-7	3,719672781	208	28	-0,547684509
139	-41	-11,05900701	174	-6	-5,277226012	209	29	0,130951853
140	-40	-15,9263533	175	-5	9,23523278	210	30	-0,308716691
141	-39	-6,960506898	176	-4	16,04877483	211	31	-1,619393436
142	-38	-4,696762829	177	-3	20,04131552	212	32	-2,773993798
143	-37	-6,962720834	178	-2	22,50133124	213	33	-4,078515918
144	-36	-12,51023443	179	-1	23,86300692	214	34	-6,945497442
145	-35	-11,66640496	180	0	24,30079752	215	35	-11,66925399
146	-34	-6,945679495	181	1	23,86342676	216	36	-12,50716671
147	-33	-4,08327613	182	2	22,50227985	217	37	-6,961520949
148	-32	-2,782182289	183	3	20,04310671	218	38	-4,694396406
149	-31	-1,629731357	184	4	16,05232646	219	39	-6,956513601
150	-30	-0,318260203	185	5	9,244466535	220	40	-15,90354782
151	-29	0,124807542	186	6	-5,235258917	221	41	-11,03552123
152	-28	-0,54823571	187	7	3,707668049	222	42	-8,72151769
153	-27	-1,271686829	188	8	6,014976026	223	43	-10,5894905
154	-26	0,435608418	189	9	4,600399737	224	44	-18,51910199
155	-25	3,889135071	190	10	2,219390478	225	45	-14,31859233
156	-24	6,503608222	191	11	3,479985717	226	46	-7,331174285
157	-23	7,446665825	192	12	5,475793688	227	47	-9,241826258
158	-22	6,36837605	193	13	5,631383745	228	48	-27,51894123
159	-21	2,401378581	194	14	3,639803139	229	49	-8,121833206
160	-20	-9,313417646	195	15	-0,745957425	230	50	-7,52671198
161	-19	-4,846668663	196	16	-3,257571561	231	51	-12,8912326
162	-18	0,168239305	197	17	-0,216980763	232	52	-11,85609209
163	-17	-0,203374365	198	18	0,171349702	233	53	-7,27958399
164	-16	-3,208012681	199	19	-4,822196581	234	54	-7,174857529

Data Simulasi Molybdenum berlapis Perak $\Delta T = 600^{\circ}\text{C}$

No	Sudut (Deg.)	Nilai	No	Sudut (Deg.)	Nilai	No	Sudut (Deg.)	Nilai
130	-50	-12,61097902	165	-15	1,203182702	200	20	3,369343004
131	-49	-12,54814415	166	-14	2,392626942	201	21	2,45762672
132	-48	-21,6394364	167	-13	1,102580593	202	22	1,86055397
133	-47	-8,514211734	168	-12	-2,128604109	203	23	1,655898367
134	-46	-7,026152629	169	-11	-4,258127271	204	24	1,218119279
135	-45	-13,86283536	170	-10	-2,299027064	205	25	0,08976521
136	-44	-12,12194471	171	-9	-0,324809667	206	26	-1,297470891
137	-43	-7,50239978	172	-8	0,200525268	207	27	-1,256880221
138	-42	-11,8366503	173	-7	1,304658841	208	28	-0,196420564
139	-41	-14,20830583	174	-6	7,154199785	209	29	-0,288567591
140	-40	-8,478375049	175	-5	13,11068429	210	30	-3,041132732
141	-39	-12,52357807	176	-4	17,51823678	211	31	-10,46101075
142	-38	-13,21656239	177	-3	20,63345779	212	32	-10,05321538
143	-37	-4,408061356	178	-2	22,71245732	213	33	-8,956007467
144	-36	-2,977953766	179	-1	23,90769935	214	34	-23,86978593
145	-35	-7,140126081	180	0	24,29795944	215	35	-7,151727845
146	-34	-23,87751326	181	1	23,90766191	216	36	-2,983789658
147	-33	-8,964636878	182	2	22,71239498	217	37	-4,414113342
148	-32	-10,04715362	183	3	20,63340556	218	38	-13,23403037
149	-31	-10,4416734	184	4	17,51828227	219	39	-12,51456608
150	-30	-3,040917017	185	5	13,11104759	220	40	-8,474497013
151	-29	-0,290556764	186	6	7,155296584	221	41	-14,22325823
152	-28	-0,198460079	187	7	1,304644745	222	42	-11,84076776
153	-27	-1,258450228	188	8	0,195796863	223	43	-7,494504387
154	-26	-1,299298321	189	9	-0,33163314	224	44	-12,10341289
155	-25	0,087462916	190	10	-2,305775722	225	45	-13,87563715
156	-24	1,216126565	191	11	-4,253787591	226	46	-7,029670779
157	-23	1,654773808	192	12	-2,113236254	227	47	-8,514427583
158	-22	1,860528309	193	13	1,115019981	228	48	-21,64850852
159	-21	2,458192049	194	14	2,402474844	229	49	-12,55324285
160	-20	3,369379932	195	15	1,212443039	230	50	-12,61643846
161	-19	3,572298494	196	16	-2,372309288	231	51	-24,48381075
162	-18	2,005614445	197	17	-1,822078728	232	52	-11,79711643
163	-17	-1,828615487	198	18	2,008167285	233	53	-14,38018701
164	-16	-2,383584029	199	19	3,573371434	234	54	-18,17207485

LAMPIRAN D

DOKUMENTASI PENGUJIAN



Gambar D.1 Dokumentasi Pengujian

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

RIWAYAT PENULIS



Akbar Danar Abiwardana, lahir di Bandung pada tanggal 4 Juli 1996. Anak pertama dari dua bersaudara, merupakan anak dari pasangan Suharto yang berprofesi sebagai pegawai negeri sipil dan Esty Rokhyani seorang pegawai negeri sipil juga. Menempuh pendidikan formal dari SD Negeri Ganungkidul 1 Nganjuk, lalu SMP Negeri 1 Nganjuk, dilanjutkan pada SMA Negeri 2 Kediri. Dan saat ini sedang menyelesaikan pendidikan S1 Teknik Elektro, pada bidang studi Telekomunikasi dan Multimedia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.

Selama proses pendidikan sarjana, penulis aktif pada berbagai kegiatan dalam bidang akademik dan non-akademik.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]