

**DESAIN ANTENA MIKROSTRIP *PATCH* ARRAY 28 GHz
DENGAN *CST MICROWAVE STUDIO***

SKRIPSI

untuk memenuhi salah satu persyaratan
mencapai derajat Sarjana S1



Disusun oleh:

Ibnu Hajar

11524068

**Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia
Yogyakarta**

2018

LEMBAR PENGESAHAN

LEMBAR PENGESAHAN

**DESAIN ANTENA MIKROSTRIP PATCH ARRAY 28 GHz DENGAN CST
MICROWAVE STUDIO**

**TUGAS AKHIR
ISLAM**

**Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik
pada Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia**

Disusun oleh:

**Ibnu Hajar
11524068**

**الجامعة الإسلامية
الاستاذة الأندونيسية**

Yogyakarta, 23 Maret 2018

Menyetujui,

Pembimbing



**Tito Yuwono S.T., M.Sc.
005240102**

PERNYATAAN

PERNYATAAN

Dengan ini Saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini tidak mengandung karya yang diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan Saya juga tidak mengandung karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.
2. Informasi dan materi Skripsi yang terkait hak milik, hak intelektual, dan paten merupakan milik bersama antara tiga pihak yaitu penulis, dosen pembimbing, dan Universitas Islam Indonesia. Dalam hal penggunaan informasi dan materi Skripsi terkait paten maka akan diskusikan lebih lanjut untuk mendapatkan persetujuan dari ketiga pihak tersebut diatas.

Yogyakarta, 23 Maret 2018



Ibnu Hajar

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis haturkan kepada Allah SWT karena atas berkat dan rahmatnya penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “**DESAIN ANTENA MIKROSTRIP PATCH ARRAY 28 GHz DENGAN CST MICROWAVE STUDIO**”.

Tujuan dari penulisan skripsi ini adalah sebagai salah satu syarat dalam proses menempuh ujian sarjana teknik pada program studi Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.

Dalam penyusunan skripsi ini penulis sangat menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari yang dikatakan sempurna, segala kekurangan baik dalam metode penulisan serta pembahasan materi semua datang dari keterbatasan diri penulis. Kritik dan saran yang membangun dikemudian hari sangatlah diharapkan agar segala kekurangan dan keterbatasannya dapat diperbaiki.

Penulisan skripsi ini tentunya tidak lepas dari bantuan berbagai belah pihak yang sangat membantu atas terlaksananya segala proses penulisan skripsi ini. Penulis banyak menyampaikan terima kasih kepada :

1. Bapak Tito Yuwono S.T., M.Sc., sebagai pembimbing.
2. Bapak Hendra Setiawan S.T., M.T., Ph.D., sebagai Kepala Program Studi Teknik Elektro Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak R M Sisdarmanto Adinandra S.T., M.Sc., Ph.D., sebagai Sekretaris Program Studi Teknik Elektro Universitas Islam Indonesia.
4. Seluruh dosen, staf, dan karyawan Program Studi Teknik Elektro Universitas Islam Indonesia.
5. Kedua orang tua penulis yang telah memberikan dorongan dan doa selama proses penyelesaian skripsi ini.
6. Rekan-rekan mahasiswa Program Studi Teknik Elektro Universitas Islam Indonesia.

Akhir kata rasa terima kasih kepada seluruh pihak yang penulis tidak bisa sebutkan seluruhnya. Semoga penulisan skripsi ini dapat bermanfaat terutama bagi penulis sendiri dan kepada pembaca sekalian.

Yogyakarta, 23 Maret 2018

Ibnu Hajar

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

DESAIN ANTENA MIKROSTRIP PATCH ARRAY 28 GHz DENGAN CST MICROWAVE STUDIO



Tim Penguji,

Ketua

Tito Yuwono, S.T., M.Sc

Anggota I

Ida Nurcahyani, ST, M.Eng.

Anggota II

Dr.Eng Hendra Setiawan, ST, MT.

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Elektro
Universitas Islam Indonesia



ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

C = 3×10^8 (Kecepatan Cahaya) (m/s)

F_o = Frekuensi Inti (GHz)

ϵ_R = Permittivitas

ϵ_{eff} = Permittivitas efektif

h = Ketebalan *Substrate* (mm)

W = Lebar (mm)

L = Panjang (mm)

Ω = Satuan impedansi listrik

dB = Satuan untuk mengukur intensitas suara (*decibel*)

$^\circ$ = Derajat satuan busur/sudut

ABSTRAK

Teknologi 5G sedang dikembangkan untuk dapat mengatasi kebutuhan komunikasi yang semakin padat. Perkembangan teknologi 5G tentunya membutuhkan berbagai perangkat guna mendukung dan memfasilitasi teknologi 5G tersebut. Salah satu perangkat inti untuk sistem 5G adalah antena yang merupakan perangkat untuk memancarkan dan menerima gelombang elektromagnetik. Sistem 5G menggunakan frekuensi *milimeter wave* sebagai spektrum frekuensinya. Pada tugas akhir ini dilakukan desain antena mikrostrip *patch array* yang dapat bekerja pada frekuensi 28 Ghz untuk mendukung perkembangan sistem 5G yang sedang dilakukan. Juga sebagai referensi dalam mendesain antena *finite array* dengan *CST Microwave Studio*. Metode penelitian yang digunakan yaitu dengan melakukan simulasi menggunakan *Antenna Magus* dan *Computer Simulation Studio Software*. Dasar elemen antena menggunakan desain *rectangular inset-fed microstrip patch* sebagai elemen utama pada antena dengan total elemen secara keseluruhan berjumlah 100 elemen. Proses perancangan, desain dan pengujian dilakukan dengan menggunakan *antenna magus* dan *CST Microwave Studio*. Material dari antena yaitu *Rogers RO4003C* dengan ketebalan $350\ \mu\text{m}$ dan nilai permitivitas 3,38. Pemilihan material berdasarkan frekuensi dan *bandwidth* yang ditargetkan serta spesifikasi antena agar dapat beroperasi dengan baik pada frekuensi kerja yang diharapkan. Berdasarkan hasil yang sudah di peroleh, penelitian ini berhasil mendapatkan spesifikasi parameter dari antena yang diharapkan sesuai dengan frekuensi kerjanya yaitu *S-parameters* dengan nilai rata-rata masing-masing elemen -14 dB, *bandwidth* dengan rata-rata 450 Mhz, dan VSWR dengan rata-rata 1,48.

Kata kunci : 28 Ghz, *milimeter waves*, *array*, *finite array*.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
PERNYATAAN.....	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI.....	iv
ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN	v
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL.....	x
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Studi Literatur	4
2.2 Antena <i>Array</i>	4
2.2.1 Antena Mikrostrip <i>Patch</i>	5
2.2.2 <i>Milimeter Waves</i>	6
2.2.3 Parameter Antena.....	7
BAB 3 METODOLOGI.....	8
3.1 Alat dan Bahan.....	8
3.2 Alur Penelitian	8

3.2.1 Penjelasan Diagram Alir Penelitian	9
3.3 Perancangan Antena	10
3.3.1 Spesifikasi Antena	10
3.3.2 Perancangan Dimensi Antena	10
3.4 Cara Analisis	17
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	18
4.1 Simulasi	18
4.1.1 Desain Satu Elemen Pada CST	18
4.1.2 Pengujian Antena <i>Array</i> 100 Elemen	21
4.2 Hasil Simulasi Antena <i>Array</i> 100 elemen.....	23
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	27
5.1 Kesimpulan	27
5.2 Saran	27
DAFTAR PUSTAKA	28
LAMPIRAN	29

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Sudut kedatangan pada antena <i>Array</i>	5
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian.....	8
Gambar 3. 2 Tampilan awal <i>Antenna Magus</i>	11
Gambar 3. 3 Masukan frekuensi.....	11
Gambar 3. 4 Model antena	12
Gambar 3. 5 Material antena	12
Gambar 3. 6 Perbandingan tiga jenis material	13
Gambar 3. 7 Perintah <i>estimate performance</i> pada <i>Antena Magus</i>	14
Gambar 3. 8 Grafik performa antena pada <i>Antenna Magus</i>	14
Gambar 3. 9 Parameter <i>tweak</i> sebelum dan sesudah.....	15
Gambar 3. 10 Grafik performa setelah dilakukan <i>tweak</i>	16
Gambar 4. 1 Desain <i>Rectangular Inset-fed</i> Mikrostrip <i>Patch Antenna</i>	18
Gambar 4. 2 Tampilan <i>solver</i> pada <i>CST Studio</i>	18
Gambar 4. 3 Tampilan <i>menu time domain solver</i>	19
Gambar 4. 4 <i>Source type all port mode 1</i>	20
Gambar 4. 5 <i>VSWR</i> Satu Elemen Antena	20
Gambar 4. 6 <i>Tool array wizard</i> pada <i>CST studio</i>	21
Gambar 4. 7 Konfigurasi <i>array wizard</i>	21
Gambar 4. 8 <i>Array 100 elemen</i>	22
Gambar 4. 9 <i>S11 array 100 elemen</i>	23
Gambar 4. 10 <i>S22 array 100 elemen</i>	23
Gambar 4. 11 <i>S100100 array 100 elemen</i>	24
Gambar 4. 12 <i>S-parameters</i> seluruh elemen antena <i>array 100 elemen</i>	24
Gambar 4. 13 <i>VSWR</i> seluruh <i>port array 100 elemen</i>	25
Gambar 4. 14 <i>Farfield polar</i> mikrostrip <i>patch array</i>	25

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Spesifikasi antena.....	10
Tabel 3. 2 Dimensi awal antena <i>patch</i>	11
Tabel 3. 3 Dimensi akhir antena satu elemen setelah dioptimasi.....	166

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Perkembangan teknologi telekomunikasi telah berkembang pesat diiringi oleh kebutuhan pengguna yang semakin menuntut sistem komunikasi yang handal sebagai penunjang kelancaran aktivitas sehari-hari maupun dalam hal pekerjaan. Pada titik ini teknologi sistem telekomunikasi telah berkembang sampai pada tahap *4th generation* (4G). Perkembangan dan transisi antara satu teknologi jaringan dari satu generasi ke generasi berikutnya dimaksudkan dengan tujuan untuk menutupi kekurangan dan mengembangkan teknologi dari generasi pendahulunya, sebagai contoh transisi dari *2nd Generation* (2G) ke *3rd Generation* (3G) dimaksudkan untuk memungkinkan adanya fungsi transmisi data melalui jaringan internet pada perangkat *mobile station* (MS).

Dewasa ini beberapa dari pengguna layanan telekomunikasi sudah memiliki lebih dari satu perangkat komunikasi yang terhubung ke jaringan. Sehingga tentunya dibutuhkan suatu sistem teknologi transmisi data yang mumpuni yang sanggup menangani setiap proses komunikasi dari pengguna ke jaringan pusat tanpa ada hambatan. Berdasarkan hal ini lahirlah teknologi *5th Generation* (5G). Riset untuk teknologi 5G sudah dilakukan sejak tahun 2012 oleh *European Commission* dan diikuti oleh berbagai vendor besar seperti *Ericsson*, *Huawei*, *NSN*, dan *Samsung* yang nantinya direncanakan akan dapat digunakan sekitar tahun 2020 [1]. Generasi 5G nantinya akan menjadi sistem teknologi tercepat yang menawarkan banyak fitur kepada pengguna.

Implementasi teknologi 5G di Indonesia masih dalam tahap perancangan yang sudah dilakukan oleh berbagai kalangan ilmuwan Indonesia yang tergabung dalam *Indonesia 5G Forum*. *Indonesia 5G Forum* terbentuk untuk mendukung pemerintah Indonesia dalam menyiapkan Indonesia untuk menyambut teknologi 5G. Pemerintah Indonesia telah menyiapkan spektrum frekuensi 28 GHz untuk teknologi 5G di Indonesia dengan lebar pita sebanyak 2000 MHz [10].

Pada tugas akhir ini telah dilakukan desain antena mikrostrip *patch array* yang dapat beroperasi pada frekuensi 28 GHz menggunakan *Computer Simulation Technology* (CST) *Microwave Studio*. Frekuensi tersebut merupakan frekuensi *millimeter waves* yang digunakan untuk *KA-Bands* dan komunikasi pada 5G.

1.2 Rumusan Masalah

Pada tugas akhir ini perancangan antenna menggunakan *software* simulasi agar nantinya didapatkan spesifikasi yang diinginkan sebelum direalisasikan pada model yang sebenarnya, dari latar belakang dan proses yang dilalui dalam penyusunan tugas akhir ini disimpulkan beberapa masalah antara lain:

1. Bagaimana merumuskan dan mendesain perancangan antenna mikrostrip *patch array* 28 GHz?
2. Bagaimana langkah-langkah proses simulasi dari hasil desain antenna mikrostrip *patch array* pada *CST Microwave Studio*?
3. Bagaimana menguji dan mengevaluasi kinerja pada antenna mikrostrip *patch array*?

1.3 Batasan Masalah

Untuk membantu penelitian agar lebih terfokus dan menghindari pembahasan yang lebih luas maka penulis membatasi perumusan masalah. Adapun batasan masalah dalam penelitian ini antara lain:

1. Penelitian berupa perancangan dan desain yang menggunakan *software* mikrostrip *patch antenna calculator*, *CST Microwave Studio* dan *Antenna Magus*.
2. Jenis antenna yang didesain berupa antenna mikrostrip *patch array*.
3. Hasil rancangan dapat diaplikasikan pada frekuensi 28 GHz.
4. Parameter yang dianalisa yaitu *S-parameters*, *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR), pola radiasi, dan *bandwidth* antenna.
5. Total elemen antenna *array* 100 elemen *patch*.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan utama tugas akhir ini adalah untuk mendapatkan hasil desain antenna mikrostrip *patch array* yang dapat beroperasi pada frekuensi 28 GHz yang diperuntukkan untuk *KA-bands* dan komunikasi 5G. Berikut penjabaran tujuan dari tugas akhir ini:

1. Untuk mendesain antenna mikrostrip *patch array* yang bekerja pada frekuensi 28 GHz.
2. Untuk mengetahui langkah-langkah dalam merancang antenna mikrostrip *patch array* pada *CST Microwave Studio*.

3. Untuk menguji antena mikrostrip *patch array* hasil rancangan terhadap kinerjanya.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penyusunan tugas akhir ini antara lain:

1. Sebagai referensi untuk desain antena mikrostrip *patch array* yang bekerja pada frekuensi 28 GHz.
2. Sebagai referensi langkah-langkah dalam mendesain antena mikrostrip *patch array* dengan *CST Microwave Studio*.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Studi Literatur

Antena mikrostrip merupakan jenis antena yang cukup mudah untuk di produksi. Penggunaan antena mikrostrip banyak digunakan untuk sistem komunikasi nirkabel dan seluler [2]. Dari namanya antena mikrostrip memiliki desain yang kecil dan berupa lempengan logam yang terdiri dari beberapa bagian yaitu *patch*, *substrate*, dan *ground plane*. Sedangkan antena *array* adalah sekumpulan dari beberapa elemen antena yang mana elemen tersebut berupa antena mikrostrip *patch* yang menjadi dasar elemen *array*. Untuk mendapatkan desain yang baik maka perlu adanya optimasi yang baik pada mikrostrip *patch* sebagai elemen *array* agar didapatkan antena *array* yang sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan. Beberapa literatur yang dijadikan acuan dalam pembuatan tugas akhir ini antara lain yaitu penelitian oleh Duvvuri, dan kawan-kawan [3], dimana pada penelitian tersebut dilakukan desain antena mikrostrip *patch* sebagai elemen *array* untuk kemudian dibandingkan perubahan *bandwidth* dan performanya jika di aplikasikan pada *array* dengan total maksimal elemen yaitu 36 elemen.

Penelitian yang kedua oleh Bakkali, dan kawan-kawan [4], dimana pada penelitian tersebut dilakukan desain *antena rectangular patch* 28 GHz untuk aplikasi pada komunikasi satelit. Penelitian tersebut membandingkan efek *parasitic elements* setiap *patch* terhadap pengaruhnya bagi performa antena.

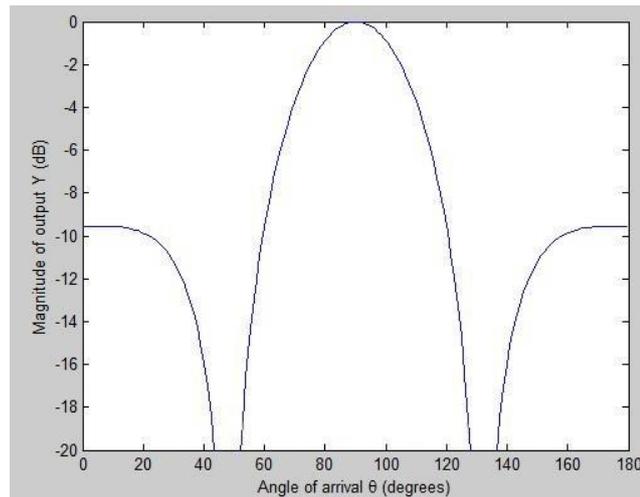
Penelitian selanjutnya yang dijadikan referensi yaitu penelitian oleh Nuramirah, dan kawan-kawan [5], yang mana pada penelitian tersebut dilakukan desain *single element* dan *planar array* untuk sitem komunikasi 5G. Proses penelitian dilakukan dengan melakukan tiga konfigurasi pada *planar array* untuk mendapatkan *bandwidth* dan *gain* yang maksimal.

Dari ketiga penelitian tersebut di atas merupakan berbagai referensi yang penulis jadikan acuan dalam proses pengerjaan tugas akhir ini yaitu mendesain antena mikrostrip *patch array* 28 GHz dengan *CST Microwave Studio*.

2.2 Antena Array

Antena adalah perangkat logam yang digunakan untuk mengirim atau menerima gelombang radio [6]. Ada banyak jenis tipe antena beberapa diantaranya yaitu antena *wire*, antena *aperture*, antena mikrostrip, antena *array*, antena *horn*, antena *reflector*, dan antena lensa. Antena *array*

merupakan satu set antenna yang terdiri dari kumpulan N antenna, dimana $N \geq 2$. Performa dari antenna *array* dapat dilihat dari semakin banyaknya jumlah elemen yang terdapat pada antenna *array*.



Gambar 2.1 Sudut kedatangan pada antenna *Array* [6].

Pada gambar 2.1 di atas menunjukkan bahwa antenna *array* memproses sinyal lebih baik pada sudut tertentu jika dibandingkan dengan jenis antenna lain. Jika melihat pada grafik tersebut pada sudut 90° antenna *array* bekerja sangat maksimal, akan tetapi pada sudut 45° dan sudut 135° antenna tidak dapat merefleksikan sinyal atau *zero output power*. Hal ini merupakan kelemahan sekaligus sebagai kelebihan yang ada pada antenna *array*, dengan memanfaatkan kondisi tersebut melalui pengaturan geometri antenna secara tepat maka didapatkan desain antenna yang dapat mengabaikan energi yang datang pada sudut yang tidak diinginkan dan memaksimalkan energi pada sudut yang dikehendaki.

2.2.1 Antena Mikrostrip *Patch*

Antena mikrostrip *patch* yaitu antenna yang terdiri dari tiga bagian utama yaitu *patch*, *substrate*, dan *ground plane* [2]. Bagian *patch* merupakan bagian yang berfungsi untuk memancarkan gelombang radio terletak dibagian terluar atas antenna. Bahan utama dari *patch* berupa konduktor yaitu tembaga. Bentuk *patch* sendiri ada bermacam-macam yaitu *rectangular*, *circular ring*, dan *u-slot*. Sedangkan *substrate* merupakan bagian yang berfungsi menyalurkan gelombang elektromagnetik dari catuan. Karakteristik dari *substrate* sangat berpengaruh pada performa antenna, sedangkan ketebalan dari *substrate* mempengaruhi *bandwidth* pada antenna. Bagian terakhir yaitu *ground plane* merupakan *ground* dari antenna. Untuk melakukan desain pada antenna mikrostrip *patch* terdapat beberapa persamaan dasar yang digunakan. Persamaan yang digunakan untuk mencari panjang dan lebar dimensi pada elemen *patch* yaitu [9] :

$$W = \frac{c}{2f_o \sqrt{\frac{\epsilon R^{+1}}{2}}} \quad (2.1)$$

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_{r+1}}{2} + \frac{\epsilon_{r-1}}{2} \left[\frac{1}{\sqrt{1 + 12 \left(\frac{h}{w}\right)}} \right] \quad (2.2)$$

$$L = \frac{c}{2f_o \sqrt{\epsilon_{eff}}} 0.824h \left(\frac{(\epsilon_{eff} + 0.3) \left(\frac{w}{h} + 0.264\right)}{(\epsilon_{eff} - 0.258) \left(\frac{w}{h} + 0.8\right)} \right) \quad (2.3)$$

Dimana :

C = 3×10^8 m/s (Kecepatan Cahaya) (m/s)

F_o = Frekuensi Inti (GHz)

ϵ_R = Permittivitas

ϵ_{eff} = Permittivitas efektif

h = Ketebalan *Substrate* (mm)

W = Lebar (mm)

L = Panjang (mm)

Sedangkan untuk *ground plane* dianjurkan memiliki ukuran enam kali lebih besar dari ketebalan *substrate* [6]. Sehingga didapatkan persamaan untuk *plane ground* sebagai berikut:

$$L_g = 6h + L \quad (2.4)$$

$$W_g = 6h + W \quad (2.5)$$

2.2.2 Milimeter Wave

Milimeter Wave (*mmWave*) adalah *wavelength* yang spektrumnya antara 30 GHz dan 300 GHz [7]. *MmWave* juga dinamakan *extremely high frequency* (EHF) atau *very high frequency* (VHF) oleh *International Telecommunications Union* (ITU). Panjang gelombangnya berkisar dari 10 mm sampai dengan 1 mm. *MmWave* menjanjikan kapasitas data yang jauh lebih besar dibandingkan dengan teknologi yang kita gunakan sekarang. Penelitian yang banyak dilakukan pada rentang frekuensi *milimeter wave* yaitu pada frekuensi 28 GHz.

2.2.3 Parameter Antena

Parameter-parameter penting dari antena yang dijadikan acuan dalam pengujian antara lain:

1. *Scattering parameters*

Disingkat *S-parameters* merupakan relasi antara *input* dan *output* antara masing-masing *port* atau *terminals* pada sistem elektrik. *S-parameters* direpresentasikan pada umumnya sebagai *S11* untuk antena yang memiliki *single port*. *S11* mengindikasikan seberapa banyak antena merefleksikan *power* dari antena itu sendiri, sehingga *S11* dapat juga di sebut sebagai *reflection coefficient* atau *return loss*. Nilai minimum *S11* yang harus diraih agar antena dapat bekerja dengan baik yakni dibawah -10 dB sebagaimana persamaan dibawah ini.

$$\text{return loss} = 10 \log (\text{power reflected}/\text{power in}) = \text{dB} \quad (2.6)$$

Dari persamaan 2.6 diatas dapat dilihat bahwa jika 10 watt power ditransfer dan ada 1 watt power yang di refleksikan oleh antena maka nilai *return loss* adalah -10 dB. Sehingga nilai -10 dB merupakan nilai minimum yang harus dicapai antena agar refleksinya tidak melebihi 10% power yang ditransfer [8].

2. *Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)*

VSWR masih memiliki keterkaitan antara *reflection coefficient*. VSWR merupakan fungsi dari *reflection coefficient*. Nilai VSWR selalu *real* dan positif. Semakin kecil nilai VSWR yang dihasilkan oleh antena maka semakin baik pula performa dari antena tersebut. Nilai minimum dari VSWR adalah 1 dimana pada kondisi tersebut tidak ada *power* yang direfleksikan sama sekali dari antena. Korelasi antara VSWR dan *S-parameters* dapat dilihat pada tabel VSWR yang tersedia pada lampiran penelitian ini [8].

3. *Bandwidth*

Parameter penting lainnya yaitu *bandwidth*. *Bandwidth* pada antena yaitu rentang frekuensi dimana antena dapat beroperasi dengan memancarkan atau menerima energi dengan baik. *Bandwidth* juga memiliki keterkaitan dengan VSWR. *Bandwidth* dapat juga disebut sebagai *fractional bandwidth (FBW)* yaitu rasio dari rentang frekuensi yang dibagi berdasarkan frekuensi *center* pada antena [8].

BAB 3

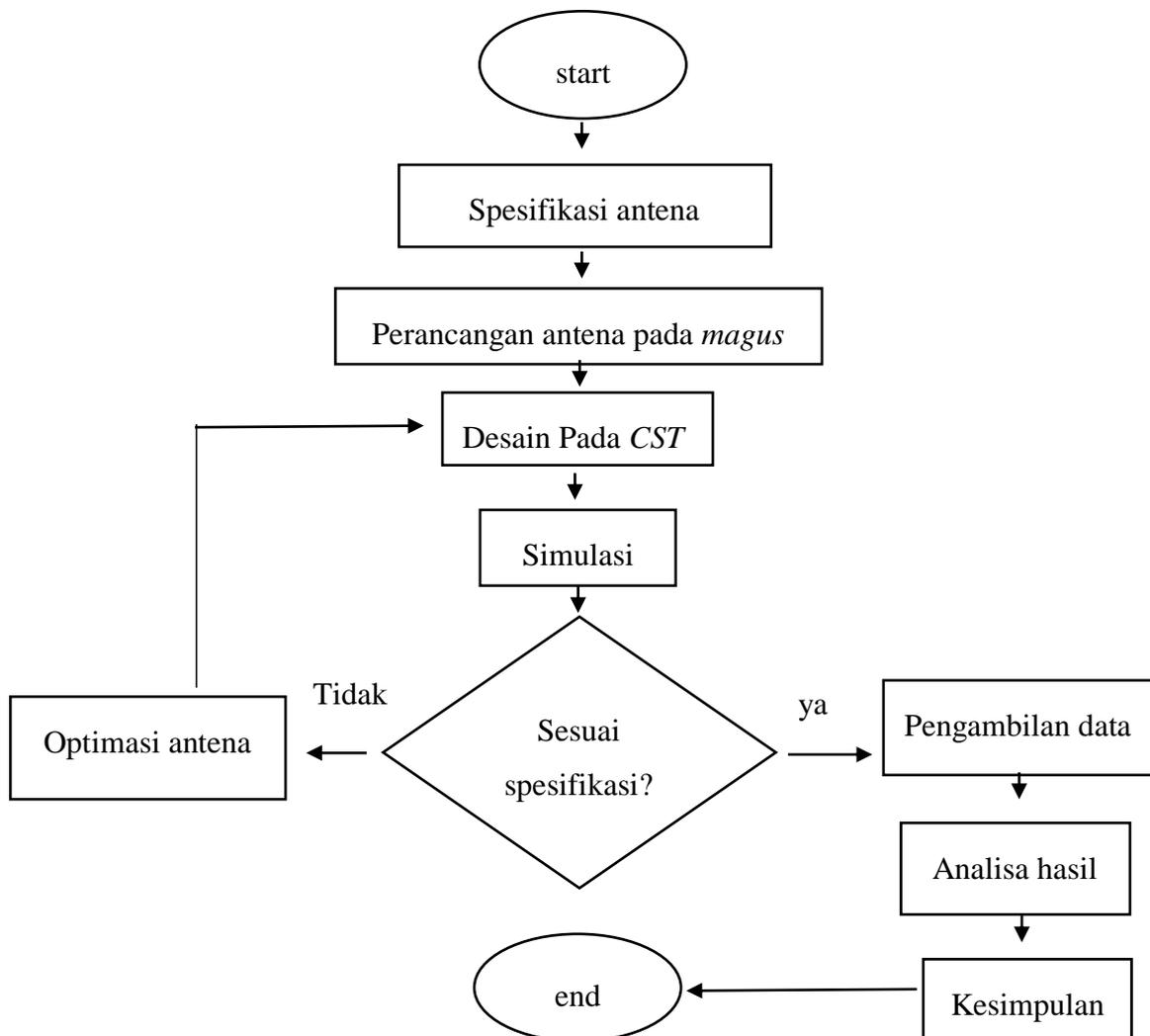
METODOLOGI

3.1 Alat dan Bahan

Penelitian ini bersifat simulasi, alat dan bahan yang dibutuhkan berupa perangkat komputer dengan spesifikasi multimedia yang mumpuni sebagai alat simulasi untuk membantu proses simulasi dilakukan dengan cepat dan akurat dan perangkat lunak yaitu *Antenna Magus* dan *Computer Simulation Technology Studio (CST)* untuk desain dan kalkulasi pada antenna.

3.2 Alur Penelitian

Alur penelitian disajikan pada gambar 3.1 dibawah ini.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2.1 Penjelasan Diagram Alir Penelitian

1. Spesifikasi Antena

Spesifikasi antena pada penelitian ini yaitu mengumpulkan referensi penelitian sebelumnya yang terkait dengan penelitian yang sedang dilakukan untuk menentukan spesifikasi antena berdasarkan tujuan penggunaannya.

2. Perancangan Antena Pada *Antenna Magus*

Perancangan antena berdasarkan analisa dari informasi dan referensi yang telah didapat dengan menyesuaikan tujuan dari antena yang dibuat dengan menggunakan *Antenna Magus*.

3. Desain Pada *CST*

Dari hasil spesifikasi yang sudah ditentukan, selanjutnya implementasi desain pada *Antenna Magus* dan *CST*, dimulai dengan dengan pemilihan tipe antena sebagai elemen dasar pada antena mikrostrip *patch array*.

4. Simulasi

Proses selanjutnya yaitu melakukan simulasi untuk kalkulasi performa antena yang sudah dibuat pada *CST Studio*. Dari hasil simulasi didapat parameter yang selanjutnya dijadikan acuan untuk analisa awal bagaimana antena bekerja nantinya.

5. Optimasi

Optimasi dilakukan jika antena hasil desain belum memenuhi spesifikasi kerja yang diharapkan, proses optimasi dilakukan dengan merubah komponen maupun dimensi antena sehingga diperoleh hasil yang sesuai harapan.

6. Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan setelah hasil simulasi sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan sebelumnya. Pengambilan data berupa *S-parameters*, *VSWR*, *bandwidth*, *gain*, polarisasi dan parameter lainnya pada antena.

7. Analisa Hasil

Dari data yang didapat selanjutnya analisa terhadap antena dapat dilakukan, apakah antena sudah bisa bekerja sesuai harapan, apakah antena memenuhi spesifikasi yang diharapkan, dan bagaimana antena bekerja.

8. Kesimpulan

Kesimpulan dari semua proses langkah perancangan antenna mikrostrip *patch array*, poin penting apa saja yang perlu diperhatikan, serta evaluasi bagaimana proses perancangan ke depannya. kesimpulan juga berisi tentang saran terkait penelitian ini.

3.3 Perancangan Antena

3.3.1 Spesifikasi Antena

Tabel 3.1 Spesifikasi antenna

No	Parameter	Keterangan
1	Frekuensi	28 GHz
2	Dielektrik konstan	3,38
3	Ketebalan <i>Substrate</i> (h)	0,243 mm
4	VSWR	≤ 2
5	<i>Bandwidth</i>	± 500 MHz

Pada tabel 3.1 di atas frekuensi operasi yang diinginkan adalah 28 GHz dengan bahan *substrate* yaitu *Rogers RO4003C* yang nilai dielektrik konstantnya/permitivitas adalah 3,38, dengan tebal 0,243 mm, dan nilai VSWR ditargetkan kurang dari 2 berdasarkan tabel VSWR dimana jika nilai dari VSWR lebih dari 2 maka total dari *power reflection* pada antenna sebesar 11,1 % *power* yang dipantulkan dari antenna. Sehingga hanya 78,9 % *power* yang direfleksikan kembali oleh antenna atau ditransfer kembali dan juga nilai VSWR 2 sama dengan nilai *S-Parameters* 9.54 dB atau pembulatan -10 dB jika dikaitkan dengan nilai *S-Parameters*.

3.3.2 Perancangan Dimensi Antena

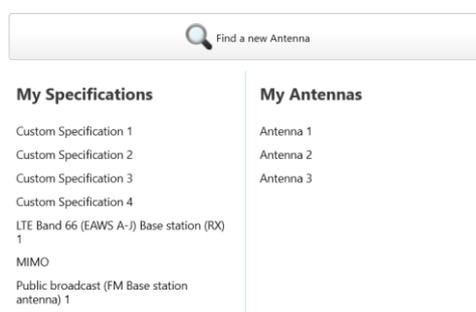
Hal pertama yang dilakukan yaitu melakukan perhitungan dimensi dari elemen patch antenna berupa panjang dan lebar elemennya menggunakan persamaan 2.1, 2.2, dan 2.3 dan diperoleh hasil panjang patch dengan nilai 2,913 mm dan lebar 3,620 mm. selanjutnya dilakukan perhitungan dimensi ground plane pada elemen patch tersebut menggunakan persamaan 2.4, dan 2.5 dan diperoleh hasil dengan nilai panjang ground 2,915 mm serta lebar ground 3,622 mm. hasil dari perhitungan dengan persamaan dimensi awal antenna ditampilkan pada tabel 3.2 di bawah.

Tabel 3.2 Dimensi awal antenna *patch*

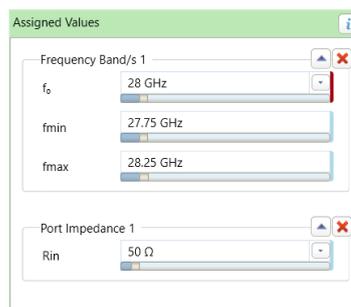
No	Parameter	Keterangan
1	<i>Patch length (L)</i>	2,913 mm
2	<i>Patch Width (W)</i>	3,620 mm
3	<i>Ground Patch length (L)</i>	2,915 mm
4	<i>Ground Patch Width (W)</i>	3,622 mm

Dari hasil perhitungan persamaan yang telah dilakukan didapatkan nilai dimensi panjang dan lebar dari elemen patch serta *ground plane* elemen antenna yang akan disimulasikan, selanjutnya dilakukan proses desain dimensi antenna secara keseluruhan pada *antenna magus*.

Antena magus merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk proses awal dalam mendesain antenna. Setelah didapatkan dimensi elemen antenna melalui persamaan 2.1-2.5 selanjutnya pada *antenna magus* langkah awal dalam mendesain antenna mikrostrip *patch array* yaitu menentukan frekuensi antenna yang digunakan pada *antenna magus* yaitu pada frekuensi 28 GHz dengan f_{min} 27,75 GHz dan f_{max} 28,25 GHz. Pada tampilan awal *antenna magus* dilakukan masukan spesifikasi dengan seleksi pada “*my specification*” dengan berbagai pilihan, penulis menggunakan MIMO, seperti tampak pada gambar 3.2 dan 3.3 di bawah ini.

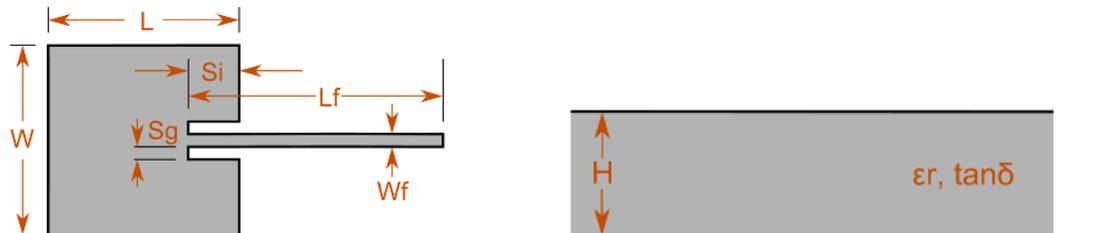


Gambar 3.2 Tampilan awal *Antenna Magus*



Gambar 3.3 Masukan frekuensi

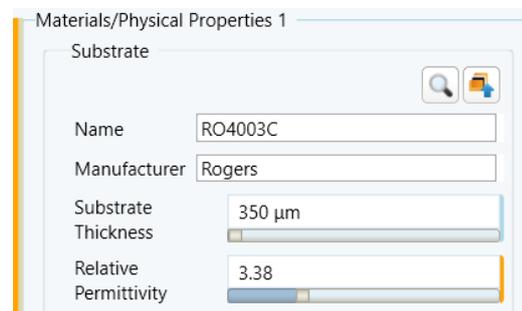
Pada gambar 3.3 f_0 adalah *centre frequency* dengan nilai 28 GHz, f_{min} 27,75 GHz, f_{max} 28,25 GHz, dan R_{in} sebagai *port impedance* 50 ohm. Setelah berhasil melakukan masukan frekuensi, dilanjutkan dengan pemilihan model antenna. Pada *antenna magus* telah tersedia berbagai macam tipe antenna yang dapat diambil sebagai referensi desain dasar antenna mikrostrip *patch array*. Jenis antenna yang paling sesuai berdasarkan spesifikasi yang ditargetkan yaitu *rectangular inset-fed microstrip patch antenna* seperti tampak pada gambar 3.4 di bawah.



Gambar 3.4 Model antenna

Pemilihan jenis antenna *rectangular inset-fed microstrip patch* dikarenakan frekuensi kerja yang dibutuhkan merupakan frekuensi tinggi sehingga jenis antenna mikrostrip merupakan antenna yang paling tepat untuk desainnya, dan juga antenna mikrostrip cukup mudah untuk produksinya yang tidak memakan biaya banyak dan proses yang kompleks dalam pembuatannya.

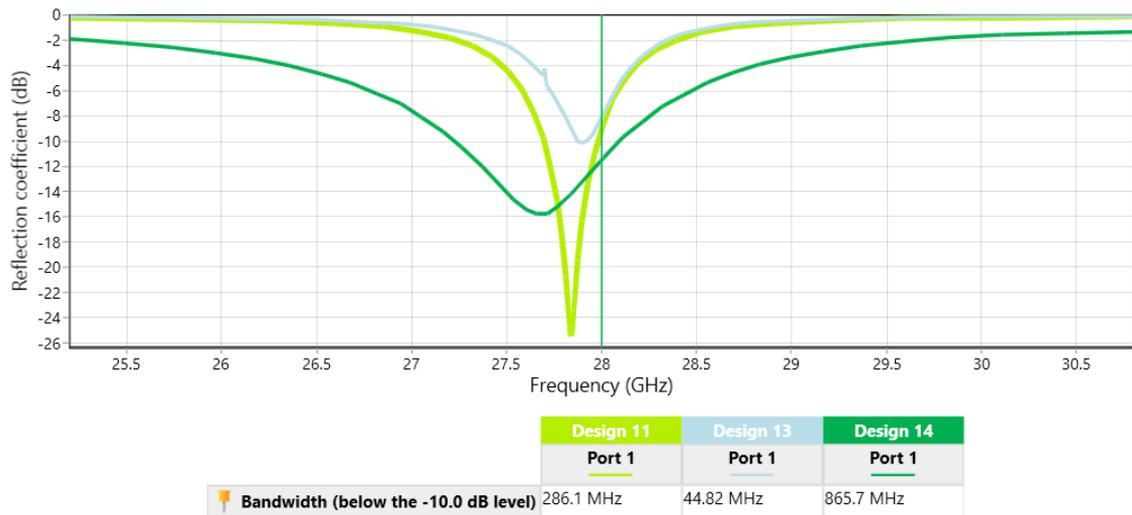
Selanjutnya yaitu pemilihan material yang merupakan hal yang sangat berpengaruh dalam mencapai performa antenna yang diinginkan. Material nantinya akan menjadi bahan utama antenna dan merupakan bagian dari *substrate* antenna yang memiliki pengaruh besar terhadap nilai *bandwidth* dan mempengaruhi resonansi frekuensi.



Gambar 3.5 Material antenna

Pada gambar 3.5 pemilihan material dapat diterapkan melalui *antenna magus* dengan membuat desain baru sebagai perbandingan dari berbagai material, tampak pada gambar 3.5 di atas terdapat nama dari jenis material beserta manufaktur pembuatnya, ketebalan *substrate*, beserta nilai permitivitasnya. Tebal *substrate* dan nilai permitivitas mempengaruhi nilai *bandwidth* yang diperoleh antenna beserta pengaruhnya terhadap resonansi frekuensi yang dihasilkan oleh antenna.

Frekuensi kerja antenna berpengaruh juga terhadap nilai permitivitas bahan dan ketebalan *substrate*. Pada penelitian ini dibandingkan antara 3 jenis material terhadap performanya.

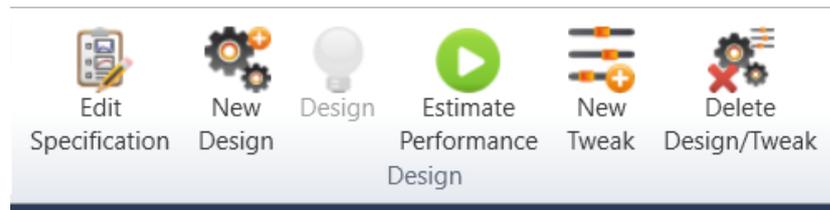


Gambar 3.6 Perbandingan tiga jenis material

Pada gambar 3.6 desain 11 dengan warna grafik hijau muda, kemudian desain 13 dengan warna grafik biru muda dan desain 14 dengan warna grafik hijau. Ketiganya menunjukkan hasil yang berbeda yang dipengaruhi oleh jenis material yang digunakan, desain 11 menggunakan jenis material *acetal* dengan ketebalan $127 \mu\text{m}$ dan nilai permitivitasnya 3,8. Kemudian desain 13 menggunakan jenis material *teflon* dengan ketebalan $127 \mu\text{m}$ dan nilai permitivitasnya 2,08. Sedangkan pada desain 14 menggunakan jenis material *rogers RO4003C* dengan ketebalan $350 \mu\text{m}$ dan nilai permitivitasnya 3,38.

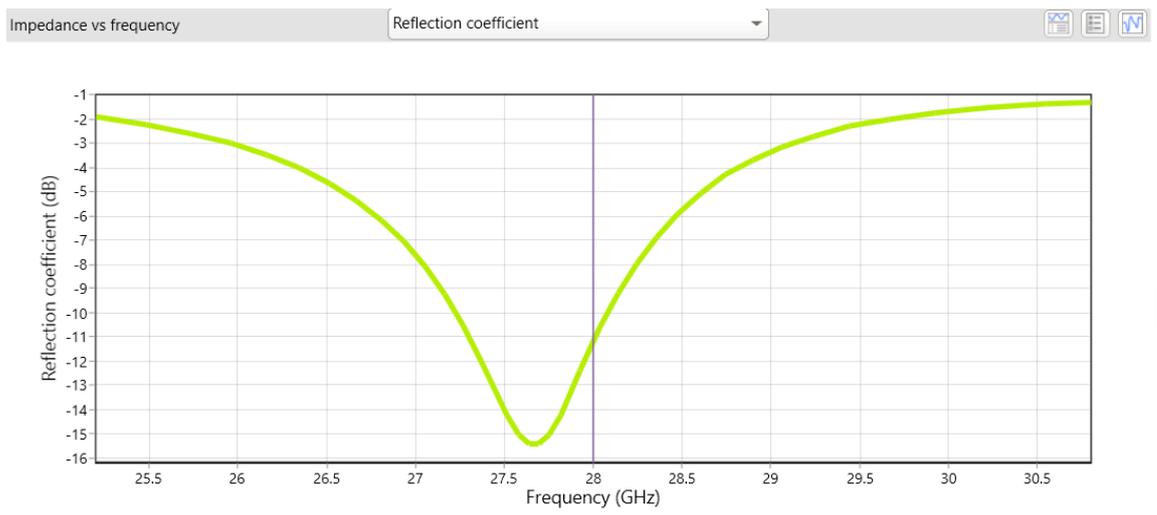
Dari ketiga jenis material yang telah diuji, penelitian ini diputuskan untuk menggunakan jenis material *Rogers RO4003C* dengan ketebalan $350 \mu\text{m}$ dan nilai permitivitas 3,38. Pemilihan jenis material tersebut berdasarkan hasil dari grafik resonansi frekuensi yang memiliki *bandwidth* paling besar sehingga untuk menyesuaikan frekuensi kerja yang diharapkan, nantinya *bandwidth* tidak berkurang jauh dari harapan yang ditargetkan, selain itu jenis material dari manufaktur *Rogers* dapat dikostumisasi ketebalannya berdasarkan keinginan pengguna.

Setelah pemilihan material selesai langkah selanjutnya yaitu menguji performa dimensi antenna tersebut pada *antena magus* sekali lagi untuk melihat spesifikasinya apakah sesuai dengan yang diharapkan sebelum dilakukan simulasi pada *CST*. Pada *antena magus* dapat dilakukan dengan menjalankan perintah *estimate performance* terlihat pada gambar 3.7 di bawah ini berupa tampilan menu *antenna magus*.



Gambar 3.7 Perintah *estimate performance* pada *antena magus*

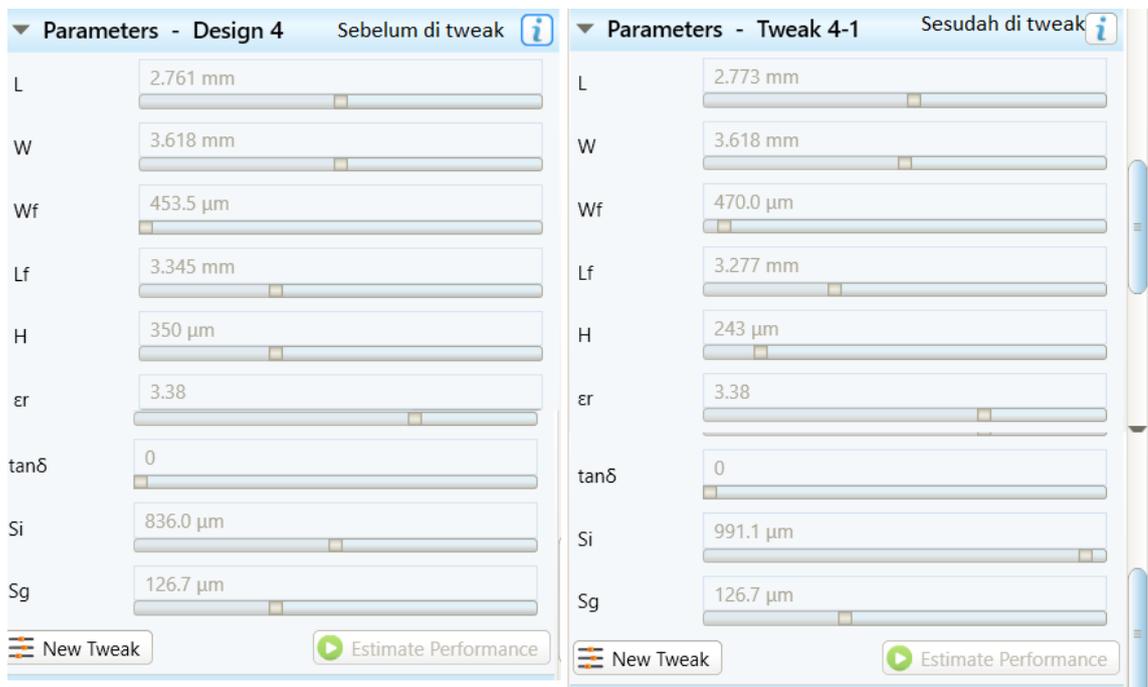
Setelah perintah dieksekusi maka didapatkan hasil berupa grafik dari desain tersebut yaitu antara lain grafik *reflection coefficient* dan *VSWR* yang dapat dijadikan acuan untuk menentukan desain telah sesuai dengan harapan spesifikasi yang diinginkan atau belum.



Gambar 3.8 Grafik performa antenna pada *Antenna Magus*

Dari gambar 3.8 di atas dapat dilihat bahwa desain antenna masih kurang memenuhi spesifikasi yang diharapkan. Frekuensi kerja antenna berada pada 27,67 GHz dengan *S-parameters* -15,46 dB, dan *bandwidth* sebesar 858,9 MHz, yang mana belum memenuhi spesifikasi kerja yang diharapkan. Untuk itu perlu dilakukan modifikasi atau *tweak* pada dimensi antenna.

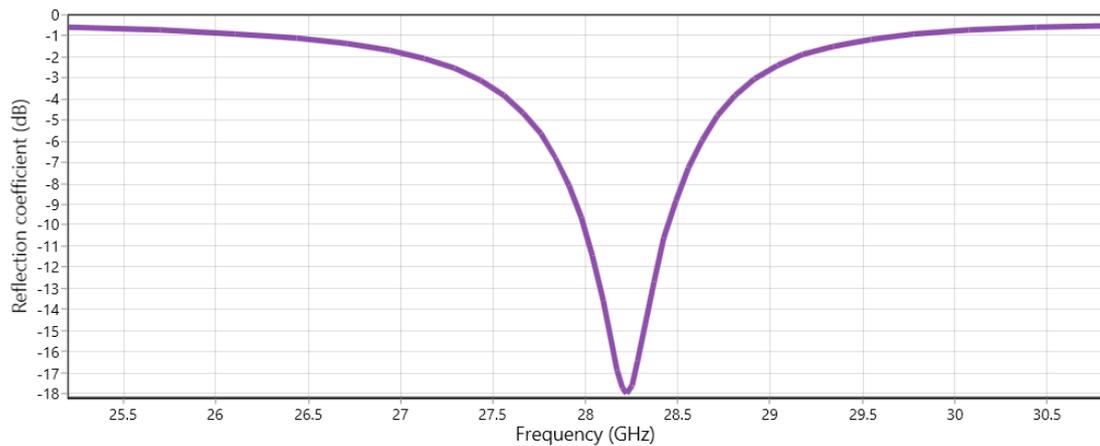
Fungsi *tweak* pada *antenna magus* secara otomatis menyesuaikan dimensi yang diubah sesuai dengan rumus yang berlaku pada antenna *patch* sehingga perubahan yang dilakukan tidak menyebabkan terjadinya kesalahan desain yang menyebabkan desain antenna menyimpang terlalu jauh dari frekuensi desain yang ditargetkan. *Tweak* yaitu melakukan perubahan ukuran pada parameter dimensi antenna yang setiap perubahan parameternya berpengaruh pada performa antenna baik itu berupa *bandwidth*, *S-parameters*, maupun resonansi frekuensinya. Perbandingan parameter *tweak* sebelum dan setelah diubah ditampilkan pada gambar 3.9 di bawah ini.



Gambar 3.9 Parameter *tweak* sebelum dan sesudah

Pada gambar 3.9 di atas parameter yang diubah antara lain *patch length* (L), *feed line width* (W_f), dan *feed line length* (L_f) yang ketiga bagian ini mempengaruhi resonansi frekuensi dengan perubahan dimensi pada ketiga parameter tersebut frekuensi kerja dapat optimasi, kemudian *Substrate height* (H) dan *feed inset from edge of patch* (S_i) dilakukan perubahan dimensi yang mana bagian ini mempengaruhi *bandwidth*.

Dari berbagai *tweak* yang sudah dilakukan didapatkan hasil optimal yang nantinya diharapkan bekerja sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan ketika dijalankan simulasi pada *CST Studio*. Dimensi akhir satu elemen antena yang sudah dioptimasi terlampir pada pada tabel 3.3. Setelah dilakukan optimasi maka dilanjutkan dengan perintah *estimate performance* sekali lagi untuk melihat perubahan performa antena setelah dilakukan *tweak*. *Tweak* dilakukan dengan panduan dasar desain yang diambil dari teori dasar antena *patch*, diantaranya yaitu untuk menambah resonansi frekuensi maka dilakukan *tweak* dengan mengurangi panjang *patch* begitu juga sebaliknya, sedangkan untuk menambah *bandwidth* dapat dilakukan *tweak* dengan menambah ketebalan *substrate* atau mengurangi nilai permitivitas pada *substrate* dan sebaliknya. Untuk panduan dasar dalam desain dan *tweak*, *antenna magus* menyajikan beberapa informasi yang dapat diakses dari menu *information* pada *antenna magus*.



Gambar 3.10 Grafik performa setelah dilakukan *tweak*.

Pada gambar 3.10 di atas adalah grafik performa antenna setelah dilakukan optimasi dengan frekuensi kerja 28,23 Ghz, *S-parameters* -17,99 dB, dan *bandwidth* sebesar 455,3 MHz merupakan hasil yang cukup untuk selanjutnya dilakukan proses simulasi pada *CST*.

Tabel 3.3 Dimensi akhir antenna satu elemen setelah dioptimasi

No	Parameter Desain	Dimensi
1	<i>Patch length (L)</i>	2,77325846199 mm
2	<i>W (Patch Width (W))</i>	3,61751731487246 mm
3	<i>Feed line width (Wf)</i>	0,470048812753309 mm
4	<i>Feed line length (Wf)</i>	3,27711322550016 mm
5	<i>Substrate height (H)</i>	0,243 mm
6	<i>Relative permittivity (ϵ_r)</i>	3,38
7	<i>Loss tangent of the substrate medium ($\tan\delta$)</i>	0
8	<i>Feed inset from edge of patch (Si)</i>	0,991065001276978 mm
9	<i>Spacing between feed line and patch (Sg)</i>	0,126727325110592 mm

Desain yang sudah memenuhi spesifikasi tersebut selanjutnya dilakukan proses *export* ke *CST* agar dapat dijalankan simulasi pada *CST microwave* dengan melakukan fungsi *export* pada *antenna magus* melalui menu *export mode*. Setelah *file* berhasil di*export*, *file* tersebut dapat langsung diproses dengan menggunakan *CST Studio*.

3.4 Cara Analisis

Pada tugas akhir ini analisa dilakukan dalam beberapa skenario simulasi untuk membandingkan seberapa besar pengaruh jumlah elemen pada array terhadap performanya. Analisa dilakukan dengan membandingkan parameter yang sudah ditentukan sebelumnya yaitu *S-parameters*, *gain* dan VSWR.

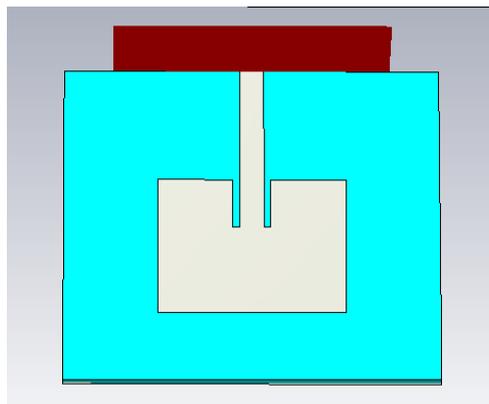
BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Simulasi

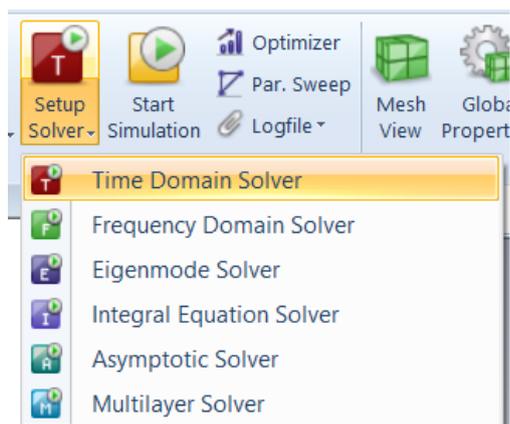
4.1.1 Desain Satu Elemen Pada CST

Hasil desain dari *antenna magus* dapat diproses langsung pada *CST Studio* seperti tampak pada gambar 4.1 di bawah ini.



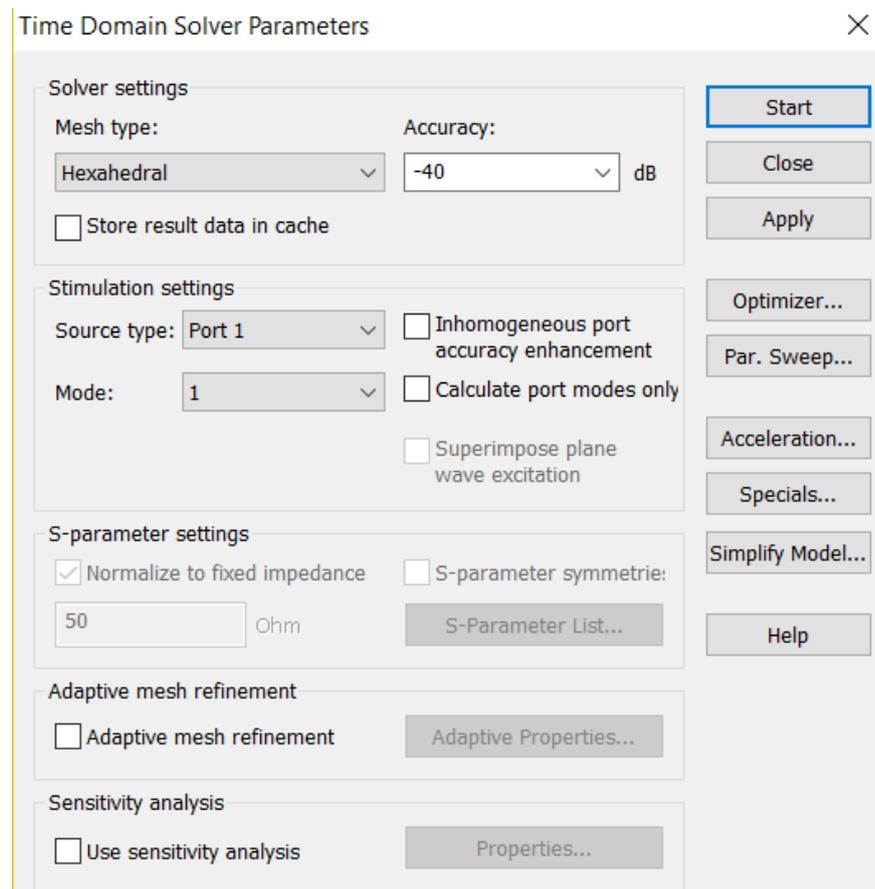
Gambar 4.1 Desain *Rectangular Inset-fed* mikrostrip *Patch Antenna*

Pada gambar 4.1 desain berupa satu elemen antenna yang nantinya diubah menjadi antenna mikrostrip *patch array* 100 elemen, sebelum melangkah menuju proses tersebut perlu dipastikan bahwa performa dari antenna sudah sesuai dengan simulasi yang sebelumnya sudah dijalankan pada *antenna magus* jika dilakukan simulasinya pada *CST*, apakah hasilnya tetap sama atau jauh berbeda. Proses simulasi pada *CST* lebih rumit dan terdapat berbagai macam *solver*. Pada simulasi ini digunakan *time domain solver* agar kalkulasi yang dilakukan lebih cepat dan tetap akurat. Tampak pada gambar 4.2 di bawah tampilan menu *solver* pada *CST Studio*.



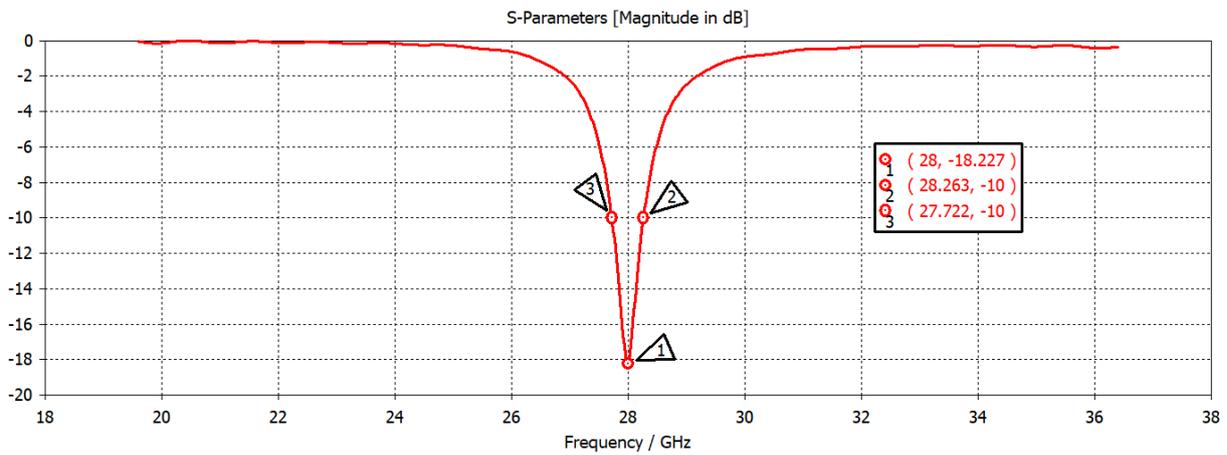
Gambar 4.2 Tampilan *solver* pada *CST Studio*

Berikutnya dilakukan eksekusi pada *setup solver*, maka muncul jendela baru yang berfungsi untuk melakukan konfirmasi dan konfigurasi berbagai parameter simulasi seperti tampak pada gambar 4.3 di bawah ini.



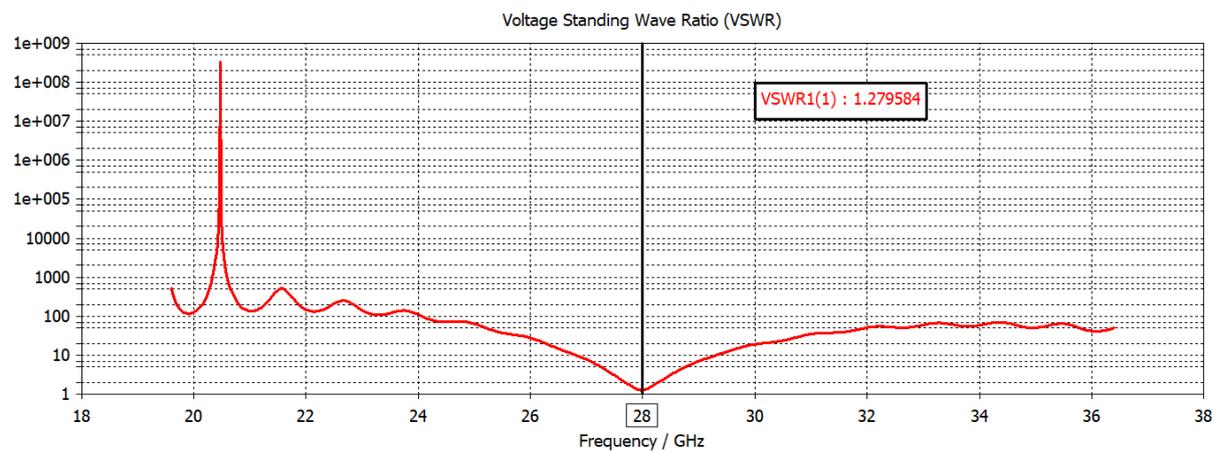
Gambar 4.3 Tampilan *menu time domain solver*

Tampak pada gambar 4.3 di atas *source type* diseleksi pada *port 1* dan mode 1 dikarenakan antenna *patch* yang didesain hanya memiliki 1 *port*, pada pemilihan *source type* dapat juga dilakukan mode *selection* yaitu fungsi untuk menjalankan simulasi pada mode *excitation signal* dengan melakukan seleksi pada *port mode 1* atau *port mode 2*. Pada *port mode 1* simulasi dijalankan dengan menggunakan *waveguide port* yang sudah ada pada desain antenna, sedangkan mode *excitation* dijalankan untuk melihat bagaimana pengaruh antenna untuk mendapatkan nilai maksimal *Signal to Noise Ratio (SNR)* jika diberikan suplai *power* yang cukup besar. Hasil simulasi dari antenna satu elemen dapat dilihat pada gambar 4.4 di bawah ini.



Gambar 4.4 Source type all port mode 1

Pada gambar 4.4 hasil simulasi pada satu elemen antenna menunjukkan nilai *S-parameters* sudah memenuhi target yaitu di bawah -10 dB dengan nilai *S-parameters* -18,227 dB dan *bandwidth* dari antenna yaitu 541 MHz. Selanjutnya yaitu memastikan nilai VSWR dari satu elemen antenna di atas ditampilkan pada gambar 4.5 di bawah ini.



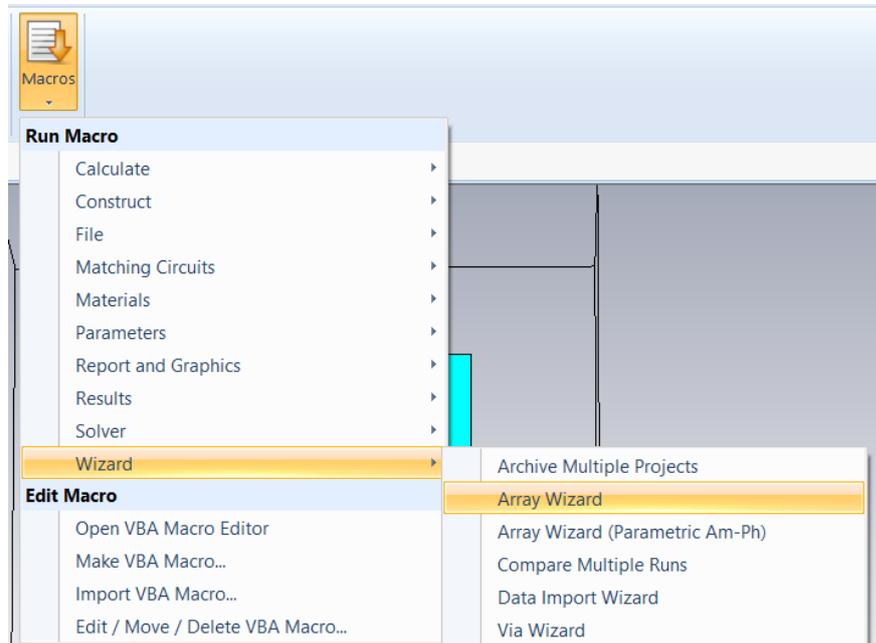
Gambar 4.5 VSWR Satu Elemen Antena

VSWR pada antenna diperoleh nilai 1,279584 terlihat pada gambar 4.5 yang juga menunjukkan bahwa resonansi frekuensi beroperasi pada frekuensi kerja 28 GHz, yang mana sudah memenuhi target yaitu dengan nilai kurang dari 2.

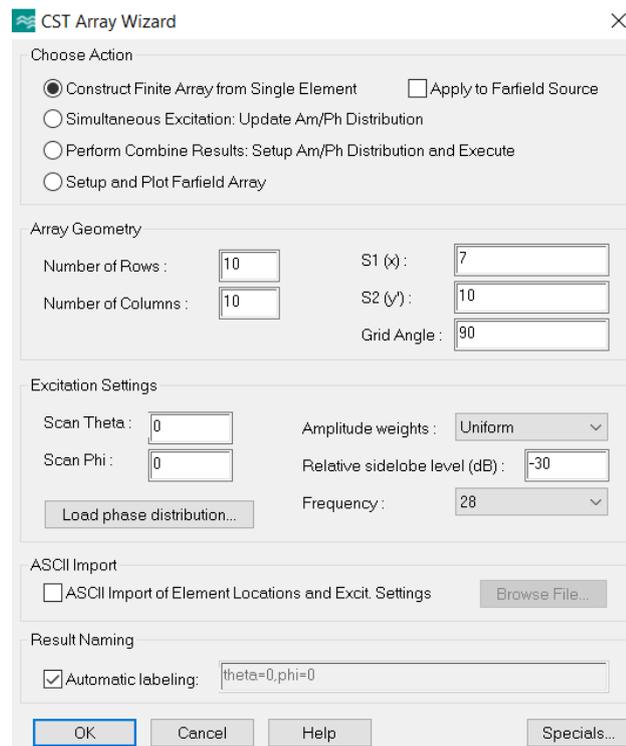
Dari proses simulasi yang sudah dilalui diperoleh nilai *S-parameters* dan VSWR yang telah memenuhi syarat dari spesifikasi yang ditentukan sebelumnya pada satu elemen antenna yang sudah dibuat. Optimasi pada elemen dasar antenna mikrostrip *patch array* dilakukan agar saat dikonversi menjadi antenna *array* 100 elemen maka proses optimasi tidak begitu sulit dan memakan waktu lama mengingat banyaknya elemen antenna sehingga diperlukan proses kalkulasi dan waktu simulasi yang sangat panjang, dengan mengoptimalkan elemen dasarnya, maka proses optimasi menjadi lebih mudah saat sudah dikonversi menjadi antenna *array*.

4.1.2 Pengujian Antena Array 100 Elemen

Langkah selanjutnya dilanjutkan dengan mengubah satu elemen antenna tersebut menjadi antenna array 100 elemen. *CST Studio* menyediakan fitur *array wizard* yang dapat mengubah satu elemen antenna menjadi antenna jenis *finite array* yang terdapat pada *menu macros* pada *menu CST*. Fungsi tersebut dapat dilihat pada gambar 4.6 di bawah ini.

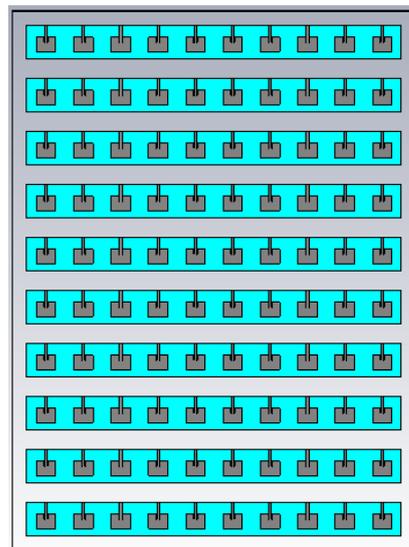


Gambar 4.6 *Tool array wizard* pada *CST studio*



Gambar 4.7 Konfigurasi *array wizard*

Pada gambar 4.7 adalah *menu* konfigurasi *array wizard*. Pada bagian *choose action* dilakukan seleksi pada *construct finite array from single element*, selanjutnya pada kolom *geometry rows* diisi nilai 10 dan *columns* juga nilai 10 untuk antenna dengan total 100 elemen sedangkan $S1(x)$ diberi nilai 7 yang artinya jarak sumbu x antara masing masing elemen berjarak 7 mm dan sumbu y yaitu $S2(y)$ dengan nilai 10 dengan jarak 10 mm pada sumbu y . Nilai $S1(x) = 7$ dan $S2(y) = 10$ ditetapkan setelah dilakukan optimasi terhadap *array* sebelumnya mengingat terjadinya *coupling* antar elemen mempengaruhi performa masing-masing dari setiap elemen antenna. *Amplitude weight* dibiarkan default yaitu *uniform* dan frekuensi kerja pada 28 GHz. Selanjutnya eksekusi dengan klik *ok*. Beberapa saat kemudian satu elemen antenna berubah menjadi antenna *array* dengan jumlah total elemen sebanyak 100 elemen sebagaimana tampak pada gambar 4.8 di bawah.



Gambar 4.8 *Array* 100 elemen

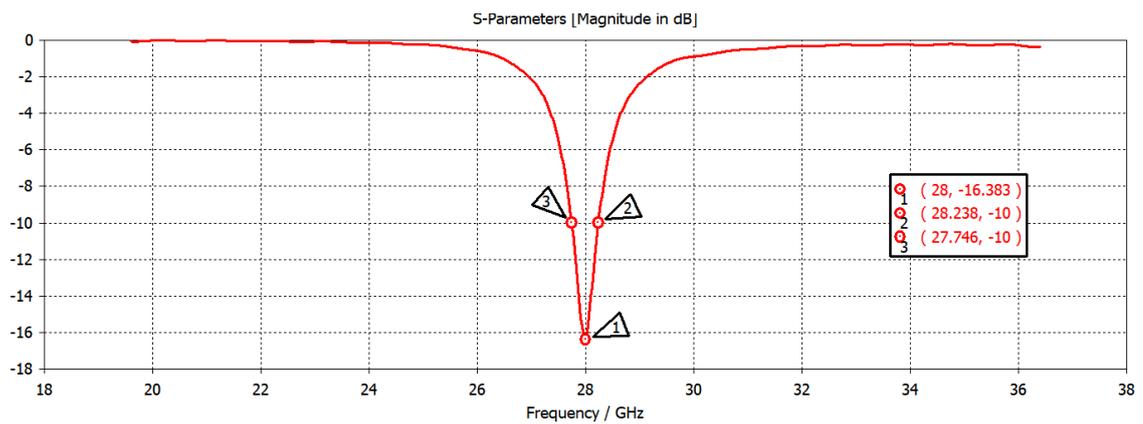
Berdasarkan konfigurasi geometri yang dilakukan sebelumnya yaitu jarak pada sumbu $x = 7$ dan $y = 10$ tampak pada gambar 4.8 masing-masing elemen pada sumbu x terlihat menyatu dan pada sumbu y terdapat jarak cukup jauh untuk menghindari *mutual coupling* antara *port* antenna dengan elemen patch antenna yang lainnya.

Langkah selanjutnya yaitu menguji antenna tersebut dengan menjalankan simulasi seperti sebelumnya, pada *source type* kali ini terdapat jumlah port sebanyak 100 *port* pada masing-masing antenna. Pengujian dilakukan dengan menggunakan keseluruhan *port* dengan *mode* 1. Proses simulasi pada mode *array* memakan waktu yang jauh lebih lama dikarenakan kalkulasi untuk setiap elemen dan kalkulasi antara elemen satu dengan yang lainnya diterapkan di sini. Total waktu simulasi adalah 145.169 detik = 40 jam, 19 menit, 29 detik. Durasi simulasi sangat bergantung pada spesifikasi komputer yang digunakan untuk menjalankan software simulasi.

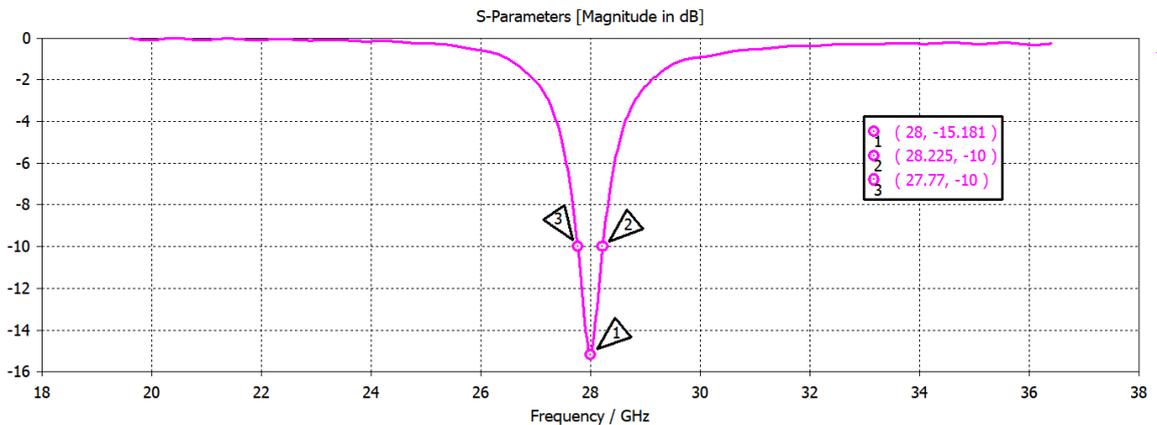
4.2 Hasil Simulasi Antena Array 100 elemen

Hasil dari simulasi *array* 100 elemen ditampilkan sebagian pada bab ini, berdasarkan spesifikasi yang telah ditentukan sebelumnya yaitu dengan target *S11* dibawah -10 dB, yang mana parameter ini mengindikasikan seberapa banyak *power* yang sampai pada antenna dapat dipantulkan kembali pada *input port*, artinya jika $S11 = -10$ dB maka dapat dikatakan 90% *power* berhasil diterima oleh antenna sedangkan 10% sisanya mengalami *loss*.

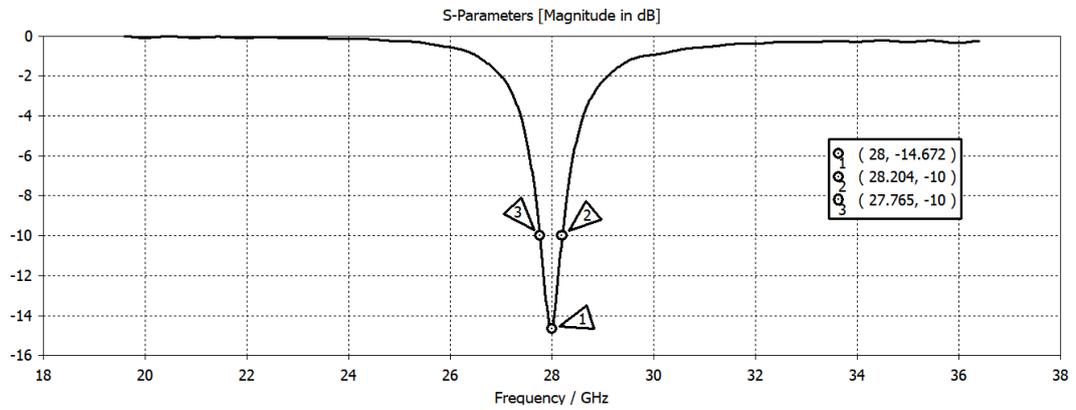
Mengingat total hasil simulasi dari seluruh *port* sangat banyak. Berikut beberapa hasil simulasi dari beberapa *port* berupa *S-parameters* masing-masing *array* ditampilkan pada gambar 4.9 – 4.11 di bawah.



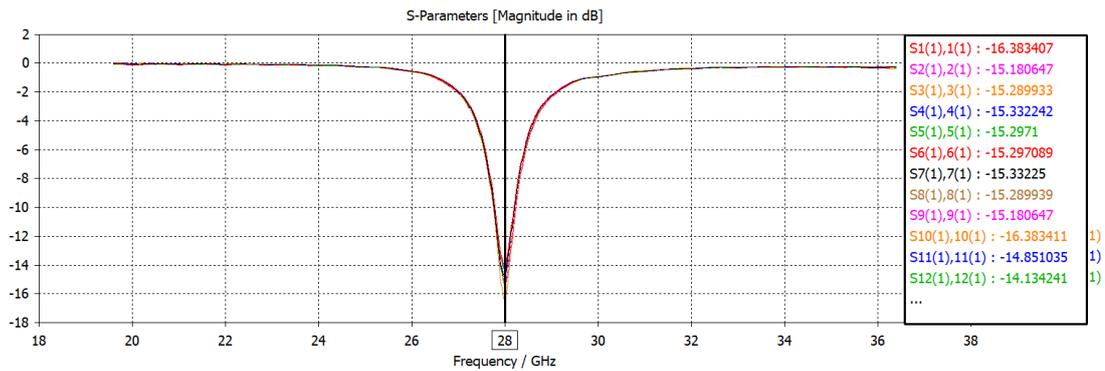
Gambar 4.9 *S11* array 100 elemen



Gambar 4.10 *S22* array 100 elemen



Gambar 4.11 S_{100100} array 100 elemen



Gambar 4.12 S -parameters seluruh elemen antenna array 100 elemen

Pada gambar 4.9 sampai dengan 4.11 di atas adalah hasil dari simulasi yang menampilkan S -parameters elemen antenna ke 1,2 dan 100 tampak dari ketiga hasil sudah memenuhi spesifikasi S -parameters yang diinginkan begitu juga dengan *bandwidth* setiap elemennya. S_{11} yaitu hasil simulasi elemen antenna ke-1 dengan S -parameters -16,383 dB dan perolehan *bandwidth* sebesar 492 MHz, lalu S_{22} yaitu elemen antenna ke-2 dengan nilai S -parameters -15,180 dB dengan *bandwidth* sebesar 455 MHz. dan S_{100100} yaitu elemen antenna ke-100, S -parameters dengan nilai -14,67 dB dengan *bandwidth* sebesar 439 MHz.

Tampak dari semua elemen tersebut memiliki hasil yang sedikit berbeda dilihat dari nilai S -parameters dan *bandwidth*-nya, hal ini dikarenakan masih adanya efek *mutual coupling* dan saling mempengaruhi antara antenna satu dan yang lainnya. Pengaruh ini tidak menjadi masalah selama masing-masing antenna dapat bekerja dengan spesifikasi yang diharapkan dan perbedaan antara antenna satu dengan yang lainnya masih dalam batas memenuhi spesifikasi yang dirancang.

Sedangkan pada gambar 4.12 adalah hasil dari S -parameters seluruh elemen antenna pada antenna array 100 elemen. Seluruh elemen antenna ke-1 sampai elemen antenna ke-100 pada array 100 elemen diperoleh S -parameters yang sesuai harapan dan tidak ada gangguan yang berarti antara antenna satu dengan yang lainnya akibat adanya *coupling* antar elemen. Efek *coupling* antar

elemen dapat diatasi dengan mengatur jarak sumbu x dan y antar elemen pada desain *array* kali ini.

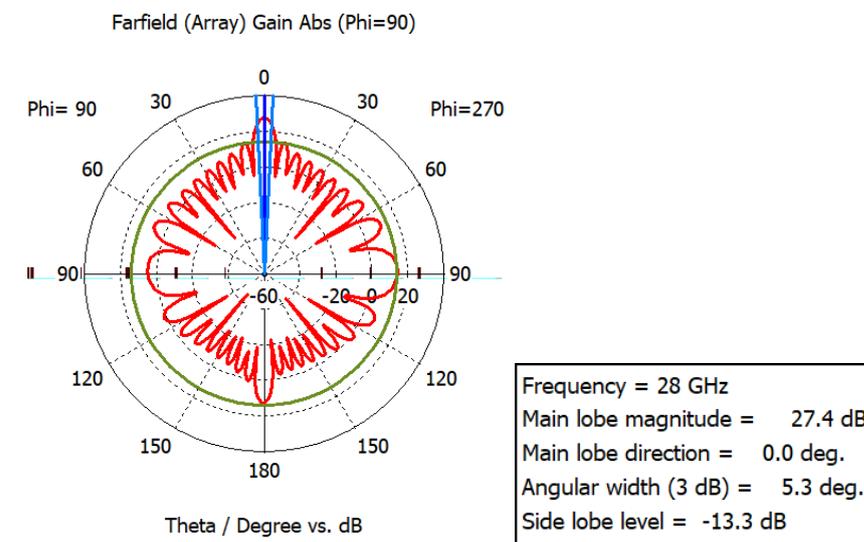


Gambar 4.13 VSWR seluruh *port array* 100 elemen

Pada gambar 4.13 di atas merupakan grafik VSWR antenna *array* 100 elemen dengan nilai rata-rata seluruh elemennya adalah 1,48. Berdasarkan grafik VSWR pada gambar 4.13 terlihat bahwa frekuensi setiap elemen beresonansi pada operasi frekuensi yang diharapkan yaitu 28 GHz.

Hubungan VSWR, pantulan energi antenna dalam persen (%), dan *S-parameters*, berdasarkan tabel VSWR dengan mengambil rata-rata dari seluruh elemen antenna pada *array* 100 elemen yaitu 1,48 maka dapat dikatakan bahwa *power reflection* pada antenna sebesar 3,75 % dan *power* transfernya sebesar 96,25 %. Tabel VSWR pada penelitian ini terlampir pada lampiran.

Untuk nilai dari seluruh hasil simulasi yang terkait dengan *S-parameters*, dan VSWR ditampilkan pada lampiran laporan penelitian ini mengingat total elemen antenna yang berjumlah 100 elemen.



Gambar 4.14 *Farfield polar* mikrostip *patch array*

Gambar 4.14 merupakan tampilan hasil dari *gain* antena *array* elemen 1, diperoleh *gain* sebesar 27,4 dB, *beamwidth*-nya yaitu 5,3 derajat dan pola radiasi *unidirectional* sebagaimana yang tertampil pada gambar 4.14.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Perancangan antenna mikrostrip *patch array* 100 elemen yang bekerja pada frekuensi 28 GHz telah selesai dan berhasil dilakukan. Antena dapat bekerja dengan baik pada frekuensi 28 GHz berdasarkan hasil dari simulasi yang sudah dilakukan. Penyusunan antenna secara geometrinya disusun berdasarkan letak sumbu x berjarak 7 mm dan $y = 10$ mm. Dari proses perancangan antenna mikrostrip *patch array* dan simulasi yang telah dilakukan didapatkan beberapa poin yang dapat dijadikan kesimpulan dalam desain antenna mikrostrip *patch array* diantaranya :

1. Untuk merumuskan dan mendesain rancangan elemen *patch* antenna dilakukan dengan menggunakan persamaan *patch* yang selanjutnya diterapkan pada proses desain awal antenna menggunakan *antenna magus*.
2. Langkah-langkah dalam mendesain antenna mikrostrip *patch array* pada *CST Microwave* yaitu dengan membuat dan mengoptimasikan desain satu elemen *patch* terlebih dahulu pada *CST* selanjutnya dilakukan konversi menjadi antenna *array* dengan menggunakan *CST array wizard* dan menentukan berapa elemen yang diinginkan.
3. Pengujian hasil simulasi dilakukan dengan menggunakan *CST solver* yaitu *time domain solver* untuk mendapatkan nilai *S-parameters*, *VSWR*, *bandwidth* dan *gain* yang dihasilkan oleh antenna.
4. Nilai *S-parameters* dari setiap antenna rata-rata berada di bawah -14 dB dengan *gain* masing-masing berkisar di 28 dB dan masing-masing *beamwidth* pada sudut 5.3 derajat dan *bandwidth* dari masing-masing antenna kurang lebih 450 MHz.
5. *VSWR* rata-rata dari seluruh elemen antenna yaitu 1,48 maka dapat dikatakan bahwa *power reflection* pada antenna sebesar 3,75 % dan *power transfer*nya sebesar 96,25 %.

5.2 Saran

Saran dari hasil penelitian ini dan untuk penelitian selanjutnya antara lain:

1. Perlunya penelitian lanjut untuk mengembangkan antenna dari antenna *array* ke antenna *massive MIMO*
2. Pengembangan penelitian ini dapat berupa modifikasi dengan menambahkan elemen ataupun mengubah konsep antenna *array* menjadi antenna *massive MIMO*

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Warren and C. Dewar, "Understanding 5G: Perspectives on future technological advancements in mobile," *GSMA intelligence*, pp. 17–20, Dec. 2014
- [2] I. Singh and V.S. Tripathi, "ISSN:2229-6093," *Microstrip Patch Antenna and its Applications: a Survey*, vol. 2, no. 5.
- [3] "Design and analysis of microstrip slot array antenna ..." [Online]. Available: http://www.bing.com/cr?IG=077B151DBD4D4284A4588B1E4254E41B&CID=328CC45D202767623BF1CF8F216866C1&rd=1&h=_UthMAQCOybmGE37RF9EiP3AFXkAF6cd1R19v3NAU4I&v=1&r=http://193.226.7.140/lejpt/A25/072_083.pdf&p=DevEx,5059.1. [Accessed: 15-Apr-2018].
- [4] M. E. Bakkali, Y. E. Gholb, I. Tabakh, A. Mounsef, and N. E. A. E. Idrissi, "A 28 GHz Rectangular Patch Antenna with Parasitic Element for Small Satellite Applications," *Proceedings of the 2nd International Conference on Computing and Wireless Communication Systems - ICCWCS17*, 2017.
- [5] N. M. Nor, M. H. Jamaluddin, M. R. Kamarudin, and S. Z. N. Z. Ambia, "Design of Planar Dielectric Resonator Antenna Array at 28 GHz," *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 5, no. 3, p. 622, Jan. 2017.
- [6] P. Bevelacqua, "Antenna Arrays (Phased Arrays)," *Antenna Arrays*. [Online]. Available: <http://www.antenna-theory.com/arrays/main.php#arrays>. [Accessed: 31-Jan-2018].
- [7] L. Frenzel, "Millimeter Waves Will Expand The Wireless Future," *Electronic Design*, 30-May2017.[Online].Available:<http://www.electronicdesign.com/communications/millimeter-waves-will-expand-wireless-future>. [Accessed: 15-Apr-2018].
- [8] P. Bevelacqua, "Welcome to Antenna-Theory.com!," *The Antenna Theory Website*. [Online]. Available: <http://www.antenna-theory.com/>. [Accessed: 07-Mar-2018].
- [9] "Microstrip Patch Antenna Calculator," *Microstrip Patch Antenna Calculator - everything RF*. [Online]. Available: <https://www.everythingrf.com/rf-calculators/microstrip-patch-antenna-calculator>. [Accessed: 15-Apr-2018].
- [10] B. Agung, "Menerka Implementasi 5G di Indonesia," *CNN Indonesia*. [Online]. Available: <https://www.cnnindonesia.com/teknologi/20170404091017-213-204769/menerka-implementasi-5g-di-indonesia>. [Accessed: 07-Mar-2018].

LAMPIRAN

LAMPIRAN 1

Tabel Nilai *S-Parameters* dan VSWR masing-masing elemen.

No	Port	S-Parameters (dB)	VSWR
1	S1(1),1(1)	-16.383407	1.3575052
2	S2(1),2(1)	-15.180647	1.4217992
3	S3(1),3(1)	-15.289933	1.4154299
4	S4(1),4(1)	-15.332242	1.4129944
5	S5(1),5(1)	-15.2971	1.4150162
6	S6(1),6(1)	-15.297089	1.4150168
7	S7(1),7(1)	-15.33225	1.412994
8	S8(1),8(1)	-15.289939	1.4154296
9	S9(1),9(1)	-15.180647	1.4217992
10	S10(1),10(1)	-16.383411	1.3575049
11	S11(1),11(1)	-14.851035	1.4417164
12	S12(1),12(1)	-14.134241	1.4890056
13	S13(1),13(1)	-14.209492	1.483767
14	S14(1),14(1)	-14.212129	1.4835847
15	S15(1),15(1)	-14.223626	1.4827906
16	S16(1),16(1)	-14.223612	1.4827915
17	S17(1),17(1)	-14.21214	1.4835839
18	S18(1),18(1)	-14.209477	1.4837681
19	S19(1),19(1)	-14.134251	1.4890049
20	S20(1),20(1)	-14.851046	1.4417156
21	S21(1),21(1)	-14.68566	1.4521264
22	S22(1),22(1)	-14.009329	1.497852
23	S23(1),23(1)	-14.050616	1.494907
24	S24(1),24(1)	-14.089691	1.4921389
25	S25(1),25(1)	-14.069711	1.493552
26	S26(1),26(1)	-14.0697	1.4935527
27	S27(1),27(1)	-14.08968	1.4921397

28	S28(1),28(1)	-14.050608	1.4949075
29	S29(1),29(1)	-14.009318	1.4978528
30	S30(1),30(1)	-14.685646	1.4521273
31	S31(1),31(1)	-14.612477	1.4568257
32	S32(1),32(1)	-13.980594	1.4999141
33	S33(1),33(1)	-14.026299	1.496639
34	S34(1),34(1)	-14.062772	1.4940438
35	S35(1),35(1)	-14.04136	1.4955654
36	S36(1),36(1)	-14.041352	1.4955659
37	S37(1),37(1)	-14.06276	1.4940447
38	S38(1),38(1)	-14.026286	1.4966399
39	S39(1),39(1)	-13.980605	1.4999133
40	S40(1),40(1)	-14.612477	1.4568257
41	S41(1),41(1)	-14.60602	1.4572431
42	S42(1),42(1)	-13.940739	1.5027912
43	S43(1),43(1)	-14.020838	1.497029
44	S44(1),44(1)	-14.056966	1.4944559
45	S45(1),45(1)	-14.035699	1.4959686
46	S46(1),46(1)	-14.035693	1.495969
47	S47(1),47(1)	-14.056975	1.4944552
48	S48(1),48(1)	-14.020859	1.4970275
49	S49(1),49(1)	-13.940734	1.5027916
50	S50(1),50(1)	-14.606014	1.4572434
51	S51(1),51(1)	-14.605112	1.4573018
52	S52(1),52(1)	-13.939356	1.5028914
53	S53(1),53(1)	-14.019454	1.4971278
54	S54(1),54(1)	-14.054839	1.4946069
55	S55(1),55(1)	-14.034471	1.4960561
56	S56(1),56(1)	-14.034445	1.4960579
57	S57(1),57(1)	-14.054839	1.4946069
58	S58(1),58(1)	-14.019468	1.4971268
59	S59(1),59(1)	-13.939356	1.5028914

60	S60(1),60(1)	-14.605121	1.4573012
61	S61(1),61(1)	-14.605695	1.4572641
62	S62(1),62(1)	-13.93866	1.5029418
63	S63(1),63(1)	-14.018946	1.4971641
64	S64(1),64(1)	-14.054896	1.4946028
65	S65(1),65(1)	-14.034545	1.4960508
66	S66(1),66(1)	-14.034534	1.4960516
67	S67(1),67(1)	-14.054897	1.4946028
68	S68(1),68(1)	-14.018945	1.4971642
69	S69(1),69(1)	-13.938646	1.5029428
70	S70(1),70(1)	-14.605685	1.4572647
71	S71(1),71(1)	-14.611449	1.4568921
72	S72(1),72(1)	-13.936692	1.5030845
73	S73(1),73(1)	-14.017533	1.4972652
74	S74(1),74(1)	-14.053338	1.4947135
75	S75(1),75(1)	-14.032614	1.4961885
76	S76(1),76(1)	-14.032627	1.4961876
77	S77(1),77(1)	-14.053327	1.4947143
78	S78(1),78(1)	-14.017544	1.4972644
79	S79(1),79(1)	-13.936698	1.503084
80	S80(1),80(1)	-14.611457	1.4568916
81	S81(1),81(1)	-14.616286	1.4565797
82	S82(1),82(1)	-13.965304	1.5010155
83	S83(1),83(1)	-14.014107	1.4975101
84	S84(1),84(1)	-14.047803	1.495107
85	S85(1),85(1)	-14.032141	1.4962222
86	S86(1),86(1)	-14.032141	1.4962222
87	S87(1),87(1)	-14.047786	1.4951081
88	S88(1),88(1)	-14.014101	1.4975105
89	S89(1),89(1)	-13.965303	1.5010156
90	S90(1),90(1)	-14.616268	1.4565808
91	S91(1),91(1)	-14.672501	1.4529671

92	S92(1),92(1)	-13.947681	1.5022886
93	S93(1),93(1)	-14.006264	1.4980715
94	S94(1),94(1)	-13.983457	1.4997082
95	S95(1),95(1)	-13.977176	1.5001601
96	S96(1),96(1)	-13.977187	1.5001593
97	S97(1),97(1)	-13.983448	1.4997088
98	S98(1),98(1)	-14.006267	1.4980713
99	S99(1),99(1)	-13.947682	1.5022886
100	S100(1),100(1)	-14.672484	1.4529682

Tabel VSWR

VSWR, Return Loss, Trans. Loss, E Refl. Coeff., Transmitted/Reflected Power													
VSWR	VSWR [dB]	RETURN LOSS [dB]	TRANS. LOSS [dB]	VOLT. REFL. COEFF.	POWER TRANS. [%]	POWER REFL. [%]	VSWR	VSWR [dB]	RETURN LOSS [dB]	TRANS. LOSS [dB]	VOLT. REFL. COEFF.	POWER TRANS. [%]	POWER REFL. [%]
1,00	0,00	∞	0,000	0,000	100,000	0,000	1,84	5,30	10,58	0,398	0,296	91,3	8,7
1,01	0,09	46,06	0,000	0,005	99,998	0,002	1,86	5,39	10,44	0,412	0,301	91,0	9,0
1,02	0,17	40,09	0,000	0,010	99,990	0,010	1,88	5,48	10,30	0,426	0,306	90,7	9,3
1,03	0,26	36,61	0,001	0,015	99,978	0,022	1,90	5,58	10,16	0,440	0,310	90,4	9,6
1,04	0,34	34,15	0,002	0,020	99,962	0,038	1,92	5,67	10,03	0,454	0,315	90,1	9,9
1,05	0,42	32,26	0,003	0,024	99,941	0,059	1,94	5,76	9,90	0,468	0,320	89,8	10,2
1,06	0,51	30,71	0,004	0,029	99,915	0,085	1,96	5,85	9,78	0,483	0,324	89,5	10,5
1,07	0,59	29,42	0,005	0,034	99,886	0,114	1,98	5,93	9,66	0,497	0,329	89,2	10,8
1,08	0,67	28,30	0,006	0,038	99,852	0,148	2,0	6,02	9,54	0,512	0,333	88,9	11,1
1,09	0,75	27,32	0,008	0,043	99,815	0,185	2,1	6,44	9,00	0,584	0,355	87,4	12,6
1,10	0,83	26,44	0,010	0,048	99,773	0,227	2,2	6,85	8,52	0,658	0,375	85,9	14,1
1,11	0,91	25,66	0,012	0,052	99,728	0,272	2,3	7,23	8,09	0,732	0,394	84,5	15,5
1,12	0,98	24,94	0,014	0,057	99,680	0,320	2,4	7,60	7,71	0,807	0,412	83,0	17,0
1,13	1,06	24,29	0,016	0,061	99,627	0,373	2,5	7,96	7,36	0,881	0,429	81,6	18,4
1,14	1,14	23,69	0,019	0,065	99,572	0,428	2,6	8,30	7,04	0,956	0,444	80,2	19,8
1,15	1,21	23,13	0,021	0,070	99,513	0,487	2,7	8,63	6,76	1,03	0,459	78,9	21,1
1,16	1,29	22,61	0,024	0,074	99,451	0,549	2,8	8,94	6,49	1,10	0,474	77,6	22,4
1,17	1,36	22,12	0,027	0,078	99,386	0,614	2,9	9,25	6,25	1,18	0,487	76,3	23,7
1,18	1,44	21,66	0,030	0,083	99,318	0,682	3,0	9,54	6,02	1,25	0,500	75,0	25,0
1,19	1,51	21,23	0,033	0,087	99,247	0,753	3,2	10,1	5,62	1,39	0,524	72,6	27,4
1,20	1,58	20,83	0,036	0,091	99,174	0,826	3,4	10,6	5,26	1,53	0,545	70,2	29,8
1,21	1,66	20,44	0,039	0,095	99,097	0,903	3,6	11,1	4,96	1,67	0,565	68,1	31,9
1,22	1,73	20,08	0,043	0,099	99,018	0,982	3,8	11,6	4,68	1,81	0,583	66,0	34,0
1,23	1,80	19,73	0,046	0,103	98,94	1,06	4,0	12,0	4,44	1,94	0,600	64,0	36,0
1,24	1,87	19,40	0,050	0,107	98,85	1,15	4,2	12,5	4,22	2,07	0,615	62,1	37,9
1,25	1,94	19,08	0,054	0,111	98,77	1,23	4,4	12,9	4,02	2,19	0,630	60,4	39,6
1,26	2,01	18,78	0,058	0,115	98,68	1,32	4,6	13,3	3,84	2,32	0,643	58,7	41,3
1,27	2,08	18,49	0,062	0,119	98,59	1,41	4,8	13,6	3,67	2,44	0,655	57,1	42,9
1,28	2,14	18,22	0,066	0,123	98,49	1,51	5,0	14,0	3,52	2,55	0,667	55,6	44,4
1,29	2,21	17,95	0,070	0,127	98,40	1,60	5,5	14,8	3,19	2,83	0,692	52,1	47,9
1,30	2,28	17,69	0,075	0,130	98,30	1,70	6,0	15,6	2,92	3,10	0,714	49,0	51,0
1,32	2,41	17,21	0,083	0,138	98,10	1,90	6,5	16,3	2,69	3,35	0,733	46,2	53,8
1,34	2,54	16,75	0,093	0,145	97,89	2,11	7,0	16,9	2,50	3,59	0,750	43,8	56,3
1,36	2,67	16,33	0,102	0,153	97,67	2,33	7,5	17,5	2,33	3,82	0,765	41,5	58,5
1,38	2,80	15,94	0,112	0,160	97,45	2,55	8,0	18,1	2,18	4,03	0,778	39,5	60,5
1,40	2,92	15,56	0,122	0,167	97,22	2,78	8,5	18,6	2,05	4,24	0,789	37,7	62,3
1,42	3,05	15,21	0,133	0,174	96,99	3,01	9,0	19,1	1,94	4,44	0,800	36,0	64,0
1,44	3,17	14,88	0,144	0,180	96,75	3,25	9,5	19,6	1,84	4,63	0,810	34,5	65,5
1,46	3,29	14,56	0,155	0,187	96,50	3,50	10	20,0	1,74	4,81	0,818	33,1	66,9
1,48	3,41	14,26	0,166	0,194	96,25	3,75	11	20,8	1,58	5,15	0,833	30,6	69,4
1,50	3,52	13,98	0,177	0,200	96,00	4,00	12	21,6	1,45	5,47	0,846	28,4	71,6
1,52	3,64	13,71	0,189	0,206	95,74	4,26	13	22,3	1,34	5,76	0,857	26,5	73,5
1,54	3,75	13,45	0,201	0,213	95,48	4,52	14	22,9	1,24	6,04	0,867	24,9	75,1
1,56	3,86	13,20	0,213	0,219	95,21	4,79	15	23,5	1,16	6,30	0,875	23,4	76,6
1,58	3,97	12,96	0,225	0,225	94,95	5,05	16	24,1	1,09	6,55	0,882	22,1	77,9
1,60	4,08	12,74	0,238	0,231	94,67	5,33	17	24,6	1,02	6,78	0,889	21,0	79,0
1,62	4,19	12,52	0,250	0,237	94,40	5,60	18	25,1	0,97	7,00	0,895	19,9	80,1
1,64	4,30	12,31	0,263	0,242	94,12	5,88	19	25,6	0,92	7,21	0,900	19,0	81,0
1,66	4,40	12,11	0,276	0,248	93,84	6,16	20	26,0	0,87	7,41	0,905	18,1	81,9
1,68	4,51	11,91	0,289	0,254	93,56	6,44	22	26,8	0,79	7,79	0,913	16,6	83,4
1,70	4,61	11,73	0,302	0,259	93,28	6,72	24	27,6	0,72	8,14	0,920	15,4	84,6
1,72	4,71	11,54	0,315	0,265	92,99	7,01	26	28,3	0,67	8,46	0,926	14,3	85,7
1,74	4,81	11,37	0,329	0,270	92,71	7,29	28	28,9	0,62	8,76	0,931	13,3	86,7
1,76	4,91	11,20	0,342	0,275	92,42	7,58	30	29,5	0,58	9,04	0,935	12,5	87,5
1,78	5,01	11,04	0,356	0,281	92,13	7,87	35	30,9	0,50	9,66	0,944	10,8	89,2
1,80	5,11	10,88	0,370	0,286	91,84	8,16	40	32,0	0,43	10,21	0,951	9,5	90,5
1,82	5,20	10,73	0,384	0,291	91,54	8,46	50	34,0	0,35	11,14	0,961	7,7	92,3

Mates © 2004