

**TUGAS AKHIR - EE 184801**

**RANCANG BANGUN 1 TO 4 POWER DIVIDER PADA  
FREKUENSI 2,6 GHZ DENGAN KOMBINASI HALF-MODE  
SUBSTRATE INTEGRATED WAVEGUIDE (HMSIW) DAN  
QUARTER-MODE SUBSTRATE INTEGRATED  
WAVEGUIDE (QMSIW)**

Amirul Dipo Wicaksono  
NRP 0711164000098

Dosen Pembimbing  
Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D.

DEPATERMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2020

*Lembar ini sengaja dikosongkan*



**TUGAS AKHIR - EE 184801**  
**RANCANG BANGUN 1 TO 4 POWER DIVIDER PADA**  
**FREKUENSI 2,6 GHZ DENGAN KOMBINASI *HALF-MODE***  
***SUBSTRATE INTEGRATED WAVEGUIDE* (HMSIW) DAN**  
***QUARTER-MODE SUBSTRATE INTEGRATED***  
***WAVEGUIDE* (QMSIW)**

Amirul Dipo Wicaksono  
NRP 0711164000098

Dosen Pembimbing  
Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2020

*Lembar ini sengaja dikosongkan*



FINAL PROJECT - EE 184801

***DESIGN OF 1 TO 4 POWER DIVIDER IN 2,6 GHZ  
FREQUENCY WITH COMBINATION OF HALF-MODE  
SUBSTRATE INTEGRATED WAVEGUIDE (HMSIW) AND  
QUARTER-MODE SUBSTRATE INTEGRATED  
WAVEGUIDE (QMSIW)***

Amirul Dipo Wicaksono  
NRP 0711164000098

Supervisor  
Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D.

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
Faculty of Electrical Technology and Informatic Intelligent  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2020

*Lembar ini sengaja dikosongkan*

## PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “**Rancang Bangun 1 To 4 Power Divider Pada Frekuensi 2,6 GHz Dengan Kombinasi *Half-Mode Substrate Integrated Waveguide (HMSIW) Dan Quarter-Mode Substrate Integrated Waveguide (QMSIW)***” 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, 9 Juni 2020



Amirul Dipo Wicaksono  
NRP. 0711 16 4000 0098

*Lembar ini sengaja dikosongkan*

**RANCANG BANGUN 1 TO 4 POWER DIVIDER PADA  
FREKUENSI 2,6 GHZ DENGAN KOMBINASI HALF-  
MODE SUBSTRATE INTEGRATED WAVEGUIDE  
(HMSIW) DAN QUARTER-MODE SUBSTRATE  
INTEGRATED WAVEGUIDE (QMSIW)**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia  
Departemen Teknik Elektro  
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui :

Dosen Pembimbing

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

NIP. 197210012003121002

TEKNIK ELEKTRO

**SURABAYA  
JULI, 2020**

*Lembar ini sengaja dikosongkan*

**RANCANG BANGUN 1 TO 4 POWER DIVIDER PADA  
FREKUENSI 2,6 GHZ DENGAN KOMBINASI HALF-MODE  
SUBSTRATE INTEGRATED WAVEGUIDE (HMSIW) DAN  
QUARTER-MODE SUBSTRATE INTEGRATED WAVEGUIDE  
(QMSIW)**

**Nama** : Amirul Dipo Wicaksono  
**NRP** : 0711164000098  
**Pembimbing I** : Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D.

**ABSTRAK**

Teknologi 5G saat ini banyak dikembangkan untuk telekomunikasi. Teknologi 5G menggunakan antena mikrostrip *array* yang mendukung kemampuan *narrow beamforming* yang dapat mempersempit *beamwidth* sehingga *beamforming* yang dihasilkan lebih akurat. Di dalam antena mikrostrip *array* terdapat *power divider* yang berfungsi untuk menggabungkan dan membagi daya pada *port input*. Parameter yang perlu diperhatikan pada *power divider* adalah dimensi, *return loss* dan *insertion loss* yang dibuat serendah mungkin.

Dalam penelitian ini, telah dirancang *power divider* yang dapat bekerja pada frekuensi 2,6 GHz yang akan dimanfaatkan untuk teknologi 5G. *Power divider* ini akan dirancang dengan menggunakan metode HMSIW (*Half-Mode Substrate Integrated Waveguide*) dan QMSIW (*Quarter-Mode Substrate Integrated Waveguide*). *Power divider 1 to 4* dirancang untuk memiliki 1 *port input* dan 4 *port output*. Tujuan rancangan tersebut adalah untuk mengefektifkan dan mengefisiensikan pemakaian *power divider* pada sistem 5G tersebut.

Hasil akhir dari penelitian ini menghasilkan 1 to 4 *power divider* yang dapat bekerja pada frekuensi 2,6 GHz. *Power divider* ini menghasilkan nilai *return loss*  $-21,16$  dB dan nilai *insertion loss*  $-9,9 \pm 0,88$  dB untuk metode HMSIW dan menghasilkan nilai *return loss*  $-45,37$  dB dan nilai *insertion loss*  $-9,92 \pm 0,88$  dB untuk metode QMSIW.

**Kata Kunci:** 5G, *Power Divider*, HMSIW, QMSIW

*Lembar ini sengaja dikosongkan*

# **DESIGN OF 1 TO 4 POWER DIVIDER IN 2,6 GHZ FREQUENCY WITH COMBINATION OF HALF-MODE SUBSTRATE INTEGRATED WAVEGUIDE (HMSIW) AND QUARTER-MODE SUBSTRATE INTEGRATED WAVEGUIDE (QMSIW)**

**Nama** : Amirul Dipo Wicaksono  
**NRP** : 0711164000098  
**1<sup>st</sup> Supervisor** : Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D.

## **ABSTRACT**

5G technologies nowadays are widely used in the development of telecommunication. 5G technologies utilize array microstrip antenna which support the ability of narrow beamforming which can narrow the beamwidth so that the beamforming resulted more accurate. In the array microstrip antenna there is a power divider that used to combine and divide the power on the input port. Parameters that need to be considered in power divider are dimension, return loss and insertion loss which are made as low as possible.

In this research, a power divider has been designed which can works in the 2,6 GHz frequency that will be used for the 5G technologies. The power divider will be designed using the HMSIW (Half-Mode Substrate Integrated Waveguide) and QMSIW (Quarter-Mode Substrate Integrated Waveguide) methods. Power divider designed to have 1 input port and 4 output ports. The aim of the design is to make the usage of power divider more effective and efficient on the 5G system.

The result of this research is to produce a 1 to 4 power divider which could work in the frequency 2,6 GHz. The power divider produces return loss value -21,16 dB and insertion loss value  $-9,9 \pm 0,88$  dB for HMSIW method and produces return loss -45,37 dB and insertion loss value  $-9,92 \pm 0,88$  dB for QMSIW method.

**Keywords:** 5G, *Power Divider*, HMSIW, QMSIW

*Lembar ini sengaja dikosongkan*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat, rahmat, dan karunia-Nya yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul **Rancang Bangun 1 To 4 Power Divider Pada Frekuensi 2,6 GHz Dengan Kombinasi Half-Mode Substrate Integrated Waveguide (HMSIW) Dan Quarter-Mode Substrate Integrated Waveguide (QMSIW)**.

Penulis juga berterima kasih atas bantuan, bimbingan, dan kerjasama kepada:

1. Kedua orang tua, Alm. Bapak Heru Prabowo dan Ibu Erna Sri Pinaryanti, yang telah senantiasa membimbing penulis sejak kecil untuk menjadi orang yang bermanfaat.
2. Dosen pembimbing, Bapak Eko Setijadi, yang telah membimbing saya sejak awal pengagasan judul tugas akhir sampai tugas akhir ini dirampungkan.
3. Kepala Laboratorium Antena dan Propagasi, Prof. Gamantyo Hendratoro, yang telah mengawasi perkembangan dari tugas akhir penulis.
4. Dosen-dosen Departemen Teknik Elektro ITS yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat selama masa perkuliahan.
5. Rekan-rekan e56 atas segala wawasan dan dukungan yang telah diberikan.

Penyusunan buku ini masih terdapat banyak kekurangan, namun penulis berharap buku ini dapat memenuhi fungsinya sebagaimana mestinya, serta dapat bermanfaat bagi yang membutuhkan.

Surabaya, 09 Juni 2020

Penulis

*Lembar ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL

PERNYATAAN KEASLIAN

LEMBAR PENGESAHAN

ABSTRAK ..... i

ABSTRACT ..... iii

KATA PENGANTAR ..... v

DAFTAR ISI ..... vii

DAFTAR GAMBAR ..... ix

DAFTAR TABEL ..... xii

**BAB 1 PENDAHULUAN ..... 1**

1.1 Latar Belakang ..... 1

1.2 Rumusan Masalah ..... 2

1.3 Batasan Masalah ..... 3

1.4 Tujuan ..... 3

1.5 Metodologi Penelitian ..... 3

1.6 Sistematika Laporan ..... 5

1.7 Relevansi ..... 6

**BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA ..... 7**

2.1 Teknologi 5G ..... 7

2.1.1 Sistem Pemancar / Penerima 5G ..... 9

2.2 Power Divider ..... 10

2.2.1 *Power Divider Substrat Integrated Waveguide (SIW)* ..... 12

2.2.2 *Substrat Integrated Waveguide (SIW)* ..... 13

2.2.3 *Half-Mode SIW (HMSIW)* ..... 14

2.2.4 *Quarter-Mode SIW (QMSIW)* ..... 15

2.3	Antena Mikrostrip <i>Array</i> .....	17
2.3.1	Antena Mikrostrip.....	17
2.3.2	Phased Array Antenna .....	19
2.4	Prosedur Perancangan SIW.....	20
2.5	Transisi Saluran Mikrostrip-SIW.....	21
2.6	Parameter Kinerja <i>Power Divider</i> .....	23
2.7	<i>Insertion Loss</i> .....	25
2.8	<i>Return Loss</i> .....	25
2.9	Frekuensi S-band .....	25
2.10	Instrumen Perancangan dan Pengukuran .....	26
<b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN .....</b>		<b>29</b>
3.1	Diagram Alir Perancangan.....	29
3.2	Spesifikasi Rancangan .....	30
3.3	Perancangan Secara Teoritis .....	30
3.4	Perancangan <i>Power Divider 1 to 2</i> .....	34
3.5	Perancangan <i>1 to 4 power divider</i> .....	38
3.6	Fabrikasi dan Pengukuran <i>Power Divider</i> .....	41
<b>BAB 4 ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN.....</b>		<b>44</b>
4.1	Hasil dan Analisa Simulasi <i>1 to 2 Power Divider</i> .....	44
4.2	Hasil dan Analisa Simulasi <i>1 to 4 Power Divider</i> .....	52
4.3	Perbandingan Pengukuran Hasil Fabrikasi .....	56
<b>BAB 5 PENUTUP.....</b>		<b>66</b>
5.1	Kesimpulan.....	66
5.2	Saran .....	67
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>		<b>68</b>
<b>BIOGRAFI PENULIS.....</b>		<b>71</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Skema Telekomunikasi 5G.....	<b>8</b>
<b>Gambar 2.2</b> Prinsip Kerja Sistem 5G .....	<b>9</b>
<b>Gambar 2.3</b> Diagram Blok Sistem Pemancar / Penerima 5G .....	<b>10</b>
<b>Gambar 2.4</b> (a) Pembagian Daya dan (b) Kombinasi Daya [6] .....	<b>11</b>
<b>Gambar 2.5</b> (a) T-Junction dan (b) Y-Junction Power Divider SIW....	<b>12</b>
<b>Gambar 2.6</b> Struktur Dasar SIW.....	<b>13</b>
<b>Gambar 2.7</b> Distribusi Medan HMSIW dan SIW Mode Dominan .....	<b>14</b>
<b>Gambar 2.8</b> Ilustrasi Dist. Medan Listrik (a) HMSIW (b) QMSIW ....	<b>15</b>
<b>Gambar 2.9</b> Simulasi Dist. Medan Listrik (a) HMSIW (b) QMSIW...	<b>16</b>
<b>Gambar 2.10</b> Simulasi Dist. Medan Magnet (a) HMSIW (b) QMSIW	<b>16</b>
<b>Gambar 2.11</b> Prinsip Kerja Antena .....	<b>17</b>
<b>Gambar 2.12</b> Antena Mikrostrip.....	<b>17</b>
<b>Gambar 2.13</b> Bentuk Patch Antena Mikrostrip.....	<b>18</b>
<b>Gambar 2.14</b> Antena Mikrostrip Array 4 Elemen.....	<b>19</b>
<b>Gambar 2.15</b> Transisi Mikrostrip ke SIW.....	<b>22</b>
<b>Gambar 2.16</b> Tampilan Interface CST Studio Suite .....	<b>27</b>
<b>Gambar 2.17</b> RF Vector Network Analyzer Agilent N9923A Fieldfox	<b>28</b>
<b>Gambar 2.18</b> Kabel Jumper RG8.....	<b>28</b>
<b>Gambar 2.19</b> Konektor SMA Female .....	<b>28</b>
<b>Gambar 3.1</b> Diagram Alir Metode Penelitian .....	<b>29</b>
<b>Gambar 3.3</b> Struktur Perancangan Transisi Mikrostrip-SIW.....	<b>34</b>
<b>Gambar 3.4</b> Power Divider 1 to 2 dengan Bahan Rogers RO4360.....	<b>36</b>
<b>Gambar 3.5</b> Power Divider 1 to 2 dengan Bahan FR4 .....	<b>36</b>

<b>Gambar 3.6</b> Power Divider 1 to 2 dengan Metode HMSIW .....	37
<b>Gambar 3.7</b> Power Divider 1 to 2 dengan Metode QMSIW .....	37
<b>Gambar 3.8</b> Saluran Transformasi $\lambda/4$ .....	39
<b>Gambar 3.9</b> Penambahan Saluran Transformasi pada Power Divider ..	39
<b>Gambar 3.11</b> 1 to 4 Power Divider dengan metode QMSIW .....	41
<b>Gambar 3.12</b> Konfigurasi Pengukuran Power Divider dengan $V_e$ .....	43
<b>Gambar 4.1</b> Hasil Simulasi Rancangan Power Divider berdasarkan Paper Referensi (a) Respon Magnitude (b) Respon Fase.....	45
<b>Gambar 4.2</b> Hasil Simulasi Power Divider Menggunakan Bahan FR4 (a) Respon Magnitude (b) Respon Fase.....	46
<b>Gambar 4.3</b> Hasil Simulasi Power Divider dengan Metode HMSIW (a) Respon Magnitude (b) Respon Fase .....	47
<b>Gambar 4.4</b> Hasil Simulasi Power Divider dengan Metode QMSIW (a) Respon Magnitude (b) Respon Fase .....	48
<b>Gambar 4.5.</b> Hasil Simulasi Power Divider HMSIW dengan Perbesaran Dimensi (a) Respon Magnitude (b) Respon Fase .....	49
<b>Gambar 4.6</b> Hasil Simulasi Power Divider QMSIW dengan Perbesaran Dimensi (a) Respon Magnitude (b) Respon Fase .....	50
<b>Gambar 4.7</b> Hasil Simulasi 1 to 4 Power Divider dengan Metode HMSIW (a) Respon Magnitude (b) Respon Fase .....	54
<b>Gambar 4.8</b> Hasil Simulasi 1 to 4 Power Divider dengan Metode QMSIW (a) Respon Magnitude (b) Respon Fase .....	55
<b>Gambar 4.9</b> Hasil Fabrikasi 1 to 4 Power Divider (a) Tampak Depan HMSIW dan (b) Tampak Depan QMSIW .....	56
<b>Gambar 4.10</b> Pengukuran Power Divider Menggunakan VNA .....	57

<b>Gambar 4.11</b> Hasil Pengukuran Return Loss Power Divider HMSIW	58
<b>Gambar 4.12</b> Hasil Pengukuran Return Loss Power Divider QMSIW	58
<b>Gambar 4.13</b> Hasil Pengukuran Insertion Loss pada Power Divider HMSIW (a) <b>S21</b> (b) <b>S31</b> (c) <b>S41</b> (d) <b>S51</b> .....	60
<b>Gambar 4.14</b> Hasil Pengukuran Insertion Loss pada Power Divider QMSIW (a) <b>S21</b> (b) <b>S31</b> (c) <b>S41</b> (d) <b>S51</b> .....	61
<b>Gambar 4.15</b> Grafik Return Loss HMSIW.....	62
<b>Gambar 4.16</b> Grafik Return Loss QMSIW.....	62
<b>Gambar 4.17</b> Grafik Insertion Loss HMSIW.....	62
<b>Gambar 4.18</b> Grafik Insertion Loss QMSIW.....	62

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Pembagian Frekuensi Radio .....	26
<b>Tabel 3.1</b> Spesifikasi Rancangan Power Divider .....	30
<b>Tabel 3.2</b> Spesifikasi PCB FR4 .....	30
<b>Tabel 3.3</b> Perbandingan Spesifikasi Bahan Substrat .....	31
<b>Tabel 3.4</b> Dimensi Struktur SIW .....	32
<b>Tabel 3.5</b> Dimensi Struktur Transisi Mikrostrip-SIW .....	34
<b>Tabel 3.6</b> Perbandingan Struktur Awal Dimensi Power Divider dari Struktur Setelah Modifikasi Power Divider.....	38
<b>Tabel 4.1</b> Perbandingan Hasil Rancangan 1 to 2 Power Divider.....	51
<b>Tabel 4.2</b> Perbandingan Return Loss dari Hasil Simulasi dan Pengukuran HMSIW .....	59
<b>Tabel 4.3</b> Perbandingan Return Loss dari Hasil Simulasi dan Pengukuran QMSIW .....	59
<b>Tabel 4.4</b> Perbandingan Insertion Loss dari Hasil Simulasi dan Pengukuran Metode HMSIW .....	63
<b>Tabel 4.5</b> Perbandingan Insertion Loss dari Hasil Simulasi dan Pengukuran Metode QMSIW .....	63

*Lembar ini sengaja dikosongkan*



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi telekomunikasi seluler sudah memasuki era 5G. 5G Public Private Partnership (5G PPP) mendefinisikan visi dari 5G sebagai teknologi kunci untuk dunia digital dengan ultra-high band infrastructure yang akan mendukung proses transformasi ekonomi di segala sektor dan meningkatkan permintaan pasar [1]. Diskusi GSMA menyimpulkan dua sudut pandang mengenai teknologi 5G. Pertama, 5G merupakan penggabungan teknologi 2G, 3G, 4G, WiFi dan inovasi lain yang bermuara pada peningkatan cakupan dan kehandalan (coverage and always-on reliability). Sudut pandang kedua, 5G adalah teknologi yang berorientasi pada kecepatan pertukaran data dan minimalisasi end-to-end latency [2]. 5G memberikan user experience yang lebih baik dan memungkinkan konektivitas masif antar manusia, antar mesin, dan antara manusia dengan mesin. 5G mendukung transmisi low-latency seperti layanan kesehatan jarak jauh, VR / AR, selfdriving, dan layanan inovatif lainnya [3]. Teknologi 5G di Indonesia diperkirakan akan diimplementasikan pada frekuensi 2,6 GHz.

Prinsip kerjanya, antenna 5G memancarkan sekumpulan *narrow beamwidth* dengan direktivitas yang bervariasi melalui proses *beamforming*. Proses *beamforming* membuat antenna 5G dapat memancarkan gelombang elektromagnetik di radio frequency ke arah target *User Equipment* yang diinginkan dengan presisi yang tinggi. Cakupan area 5G tergantung pada proses *beamforming* untuk memastikan level amplitudo dan fase beam yang konsisten pada antenna *array*.

Dalam sistem 5G, diperlukan antenna yang memiliki *main lobe* yang jauh, yang berarti memiliki gain/direktivitas tinggi dan *beam* harus mencakup jangkauan area *User Equipment*. Pemanfaatan antenna dengan menggunakan teknik *array* dapat digunakan sebagai solusi untuk mempersempit *beamwidth* sehingga target *User Equipment* yang dituju lebih akurat. Antenna yang digunakan dalam sistem 5G tersebut harus memiliki dimensi yang kecil dan mudah dikonfigurasi terhadap suatu bidang biasanya menggunakan antenna mikrostrip. Pada antenna mikrostrip *array* terdapat *power divider* yang berguna untuk membagi daya pada *port input* menjadi beberapa *port output*. *Power divider* menyalurkan sinyal dari saluran transmisi menuju saluran transmisi lainnya. Sinyal

yang keluar dari power divider ini akan masuk ke *phase shifter* yang akan mengatur fasa sinyal ke arah *User Equipment* yang diinginkan. *Power divider* berperan pada sistem pengiriman dan penerimaan sinyal pada antenna dalam sistem 5G untuk mendapatkan gain yang tinggi serta *beamwidth* yang sempit.

Oleh karena itu, diperlukan penelitian untuk *menghasilkan power divider* yang bekerja dengan baik terutama dari segi dimensi, *return loss* dan *insertion loss* yang dibuat serendah mungkin. Dari penelitian tersebut, diharapkan dapat membuat rancang bangun *1 to 4 power divider* yang memiliki *1 port input* dan *4 port output*. Karena harga power divider mahal di pasaran [4], maka desain tersebut bertujuan untuk mengefektifkan dan mengefisiensikan pemakaian power divider pada sistem 5G tersebut.

Pada penelitian ini akan dibuat sebuah rancang bangun *1 to 4 power divider* yang dirancang dengan magnitudo daya *output port* yang sama dengan menggunakan bahan *printed circuit board (PCB)* jenis FR4 yang memiliki dielektrik konstan tinggi sehingga memiliki dimensi kecil. Metode yang digunakan untuk merancang *power divider* adalah HMSIW (*Half-Mode Substrate Integrated Waveguide*) dan QMSIW (*Quarter-Mode Substrate Integrated Waveguide*). Kedua metode ini dipilih karena memiliki kelebihan dari segi *loss*, harga dan mudah untuk dikonfigurasi pada suatu bidang. Spesifikasi yang harus dipenuhi adalah frekuensi kerja 2,6 GHz, dengan *return loss*  $\leq -10$  dB dan *insertion loss*  $\geq -10$  dB dengan toleransi  $\leq 1$  dB pada tiap *port output*. *Power divider* ini terbuat dengan *full ground plane* dan *patch* dari tembaga. Harapannya, *power divider* ini dapat diaplikasikan pada proyek *deployment 5G nasional*.

## 1.2 Rumusan Masalah

Beberapa permasalahan yang mendasari tugas akhir ini:

1. Bagaimana desain *1 to 2 power divider* dengan metode HMSIW dan QMSIW dengan spesifikasi target yang diinginkan sebagai referensi untuk pengembangan desain *1 to 4 power divider*.
2. Bagaimana desain *1 to 4 power divider* dengan metode HMSIW dan QMSIW dengan spesifikasi target yang diinginkan.
3. Bagaimana kinerja *1 to 4 power divider* melalui simulasi *software* dan pengujian hasil fabrikasi.

### 1.3 Batasan Masalah

Batasan dari permasalahan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Desain *power divider* akan digunakan pada antena *array* yang berbentuk mikrostrip.
2. Frekuensi kerja *power divider* yang dapat bekerja pada frekuensi 2,6 GHz sehingga dapat diaplikasikan pada antena *array* mikrostrip dalam sistem 5G.
3. Proses perancangan dan simulasi *power divider* menggunakan *software CST Studio Suite*.
4. Metode yang digunakan pada *1 to 4 power divider* adalah HMSIW dan QMSIW.
5. Pengujian kinerja *power divider* hasil fabrikasi dilakukan di Laboratorium Antena dan Propagasi Teknik Elektro ITS.
6. Bahan yang digunakan dalam pembuatan *power divider* yaitu substrat FR4 (permitivitas bahan 4,3 dan ketebalan 1,6 mm), *patch* tembaga (ketebalan 0,035 mm) dan *ground* tembaga (ketebalan 0,035 mm).

### 1.4 Tujuan

Tujuan penelitian yang diharapkan dapat terpenuhi dari implementasi tugas akhir ini adalah :

1. Membuat desain *1 to 2 power divider* dengan metode HMSIW dan QMSIW dengan spesifikasi target yang diinginkan sebagai referensi untuk pengembangan desain *1 to 4 power divider*.
2. Membuat desain *1 to 4 power divider* dengan metode HMSIW dan QMSIW dari hasil pengembangan desain *power divider 1 to 2* dengan spesifikasi target yang diinginkan.
3. Melakukan pengukuran dan analisis kinerja *1 to 4 power divider* dengan metode HMSIW dan QMSIW melalui simulasi *software* dan pengujian hasil fabrikasi.

### 1.5 Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian yang digunakan pada tugas akhir ini dibagi menjadi sepuluh tahapan yaitu sebagai berikut:

#### 1. Studi Literatur

Melakukan kajian literatur tugas akhir melalui *paper* referensi sebagai acuan dalam pembuatan rancang bangun *power divider* serta mempelajari cara menggunakan *software* CST untuk simulasi.

2. **Simulasi Rancangan Sesuai *Paper* Referensi**

Melakukan simulasi awal rancangan *power divider* yang ada pada *paper* referensi [21] dengan tepat. Setiap parameter yang disimulasikan sengaja dibuat sama dengan *paper* referensi agar mendapatkan hasil yang sesuai. Hal tersebut bertujuan untuk memahami konsep dasar rancangan *power divider* yang didesain menggunakan *software*.
3. **Analisis Hasil Simulasi Sesuai *Paper* Referensi**

Menganalisis nilai *return loss*, *insertion loss*, dan *scattering parameter* yang didapat dari hasil simulasi desain *power divider* pada *paper* referensi [20] dan [21]. Hasil yang didapat pada simulasi yang sesuai dengan *paper* referensi selanjutnya dikembangkan dan diperbaiki agar mendapat hasil yang lebih baik. Oleh karena itu, diperlukan beberapa uji coba untuk mendapatkan parameter dimensi yang sesuai atau mendekati rancangan tersebut.
4. **Modifikasi Rancangan**

Proses modifikasi dilakukan dengan cara mengganti substrat yang semula menggunakan bahan RO4360 menjadi FR4, menambahkan *full ground plane* pada bagian belakang *power divider*, memperkecil dimensi *power divider* dengan menggunakan metode HMSIW, memperkecil lagi dimensi *power divider* dengan menggunakan metode lainnya yaitu QMSIW, menambahkan *via* optimasi, menambahkan *quarter-wave impedance transformer* pada dua *port output*, menduplikasi desain *power divider* menjadi empat *port output power divider*.
5. **Simulasi Hasil Modifikasi**

Melakukan simulasi terhadap hasil modifikasi rancang bangun *power divider* menggunakan *software* CST.
6. **Analisis Hasil Simulasi Modifikasi**

Menganalisis *return loss*, *insertion loss*, dan *s-parameter* yang didapat dari hasil simulasi modifikasi rancangan *power divider*. Hasil yang diperoleh tersebut disesuaikan dengan spesifikasi target yang diinginkan, seperti kinerja pada frekuensi kerja 2,6 GHz apakah memenuhi nilai *return loss*  $\leq -10$  dB dan nilai *insertion loss*  $\geq -10$  dB dengan toleransi  $\leq 1$  dB pada tiap *port output*.

7. **Fabrikasi Rancangan**  
Melakukan fabrikasi terhadap rancangan *power divider* 1 to 4 dengan menggunakan substrat FR4 dan *full ground plane* dengan bahan tembaga.
8. **Pengukuran Hasil Fabrikasi**  
Pengukuran hasil fabrikasi dilakukan dengan menggunakan perangkat *vector network analyzer* (VNA). Parameter yang diukur adalah nilai *scattering parameter* dan *fractional bandwidth*.
9. **Analisis Hasil Fabrikasi**  
Menganalisis hasil pengukuran setelah fabrikasi dan dibandingkan dengan hasil simulasi pada *software* CST. Dari hasil analisis tersebut dapat ditarik kesimpulan dan juga saran perbaikan untuk penelitian berikutnya.
10. **Penulisan Laporan Tugas Akhir**  
Melakukan penulisan dan penyusunan buku laporan tugas akhir melalui proses pengolahan dan pengumpulan data hasil simulasi dan hasil pengukuran.

## 1.6 Sistematika Laporan

Dalam laporan penelitian tugas akhir ini, pembahasan akan dibagi menjadi lima bab dengan sistematika sebagai berikut :

### **BAB I      PENDAHULUAN**

Pada bab ini akan diuraikan mengenai latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, metodologi penelitian, sistematika penulisan dan relevansi.

### **BAB II     TINJAUAN PUSTAKA**

Pada bab ini akan dijelaskan tentang tinjauan pustaka yang akan membahas tentang Teknologi 5G, Sistem Pemancar / Penerima 5G, Antena Mikrostrip *Array*, Frekuensi S band, *Power Divider*, SIW, Parameter Pengukuran *Power Divider* serta Instrumen Perancangan dan Pengukuran *Power Divider*.

### **BAB III DESAIN DAN PERANCANGAN ALAT**

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai proses pembuatan rancangan *power divider* melalui simulasi desain menggunakan *software* hingga alat siap untuk dilakukan fabrikasi.

### **BAB IV PENGUKURAN KINERJA DAN ANALISIS DATA**

Pada bab ini akan dilakukan pengukuran *power divider* baik dari simulasi maupun dari hasil fabrikasi dan selanjutnya dilakukan analisis terhadap data yang diperoleh.

### **BAB V PENUTUP**

Pada bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran untuk laporan tugas akhir.

#### **1.7 Relevansi**

Hasil dari tugas akhir ini diharapkan dapat memberi manfaat sebagai berikut :

1. Dapat memberikan informasi mengenai proses pembuatan rancang bangun 1 to 4 *power divider* dengan metode HMSIW dan QMSIW sehingga dapat dipakai untuk pengembangan pada metode penelitian selanjutnya.
2. Desain *power divider* ini dapat diaplikasikan pada sistem komunikasi 5G pada kisaran frekuensi 2,6 GHz.

## BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Teknologi 5G

5G tidak hanya akan menjadi evolusi jaringan broadband seluler. Teknologi ini akan membawa perubahan jaringan dan kemampuan layanan. Akan terjadi kesinambungan *user experience* dalam situasi seperti mobilitas tinggi, daerah yang sangat padat atau berpenduduk jarang, dan kondisi perjalanan yang dicakup oleh teknologi jaringan heterogen. 5G akan menjadi pendukung utama *Internet of Things*. Infrastruktur 5G akan memiliki keandalan yang tinggi, cakupan global, dan latensi yang sangat rendah [1].

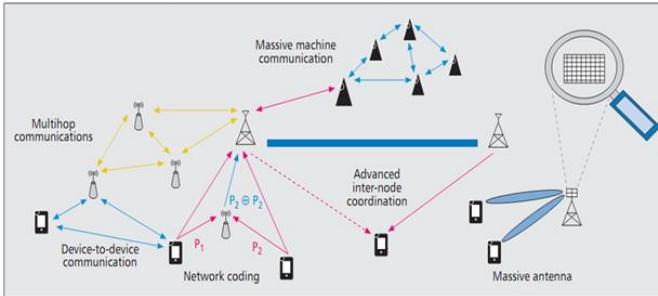
Sejak teknologi 5G telah dikemukakan konsepnya, banyak pihak yang telah melakukan kajian terkait dengan kandidat frekuensi yang akan digunakan dalam teknologi 5G. Kajian yang dilakukan oleh Wonil Roh, dkk menunjukkan bahwa pita mm wave mungkin memang menjadi kandidat yang layak untuk generasi sistem seluler selanjutnya (5G). Hasil pengukuran dilakukan di Amerika Serikat dan Korea diringkas bersama dengan pengukuran propagasi ruang aktual di ruang *anechoic*, menggunakan skema *hybrid beamforming* baru dengan hasil tes indoor dan *outdoor* untuk menegaskan kelayakan *milimeter wave* (mm-wave) *band* untuk penggunaan seluler [5].

Sampai dengan saat ini teknologi generasi kelima dalam bidang telekomunikasi masih belum ditetapkan standar yang berlaku di dunia, meskipun begitu para pelaku telekomunikasi di berbagai belahan dunia telah berlomba-lomba untuk mencari teknologi yang dapat memenuhi persyaratan minimal dimana teknologi tersebut dapat dikatakan sebagai teknologi 5G. Target teknologi 5G secara umum sebagai berikut yaitu data rates yang tinggi (1-10 Gbps), memiliki latensi dibawah 1 ms, biaya dan energi yang efisien (*cost & energy efficiency*), 1000x *bandwidth*, cakupan yang luas dengan menggunakan jaringan heterogen, serta konektivitas yang stabil [2].

Pada sistem komunikasi seluler, desain komunikasi utamanya yaitu berbasis *multihop communication* dimana sinyal dari pemancar perlu melewati beberapa sub-sistem jaringan untuk dapat mencapai tujuan akhir. Seiring dikembangkannya teknologi 5G untuk seluler, maka pada sistem ini mengacu pada penggunaan *heterogeneous network* (jaringan heterogen) yakni penyediaan jaringan seluler melalui kombinasi dari

berbagai jenis sel (misalnya makro, piko atau sel femto) dan teknologi akses yang berbeda (yaitu 2G, 3G, 4G, Wi-fi) [2].

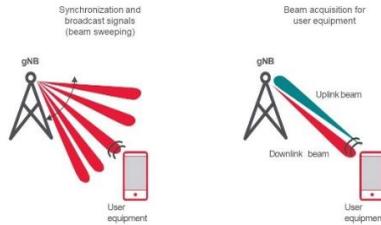
Teknologi 5G juga mendukung integrasi antar perangkat membentuk Massive Machine-Type Communication (mMTC). mMTC adalah sebuah sistem komunikasi dimana divais atau perangkat mampu terintegrasi satu sama lain ke internet atau secara langsung berkomunikasi dengan jumlah perangkat yang banyak [3].



**Gambar 2.1** Skema Telekomunikasi 5G

Salah satu teknologi yang digunakan dalam 5G adalah *Massive MIMO*. MIMO (*multi-input-multi-output*) sendiri sudah dipakai dalam teknologi 4G, dimana dalam tiap stasiun pemancar/penerima menggunakan antenna lebih dari satu. Pada LTE, konfigurasi MIMO dapat digunakan 4 hingga 8 antenna. Untuk memenuhi kinerja *Massive MIMO* yang mampu bekerja pada kecepatan tinggi, latensi rendah, dan *user experience* yang andal maka pemancar RF (*Radio Frequency*) 5G pada prinsipnya didesain untuk memancarkan sekumpulan *beam* dengan pita sempit (*narrow beamwidth*) melalui proses *beamforming* yang bertujuan untuk memusatkan sekaligus mengarahkan sinyal [3].

Dalam teknologi *Massive MIMO*, proses *beamforming* dengan perbedaan fasa pada tiap antenna *sub-array* dapat menghasilkan pengarahannya *beam* yang berbeda – beda. Pemancaran sinyal yang dibuat untuk dipusatkan pada satu titik ini bertujuan untuk dapat menghasilkan presisi yang tinggi. Pada pemancar diperlukan antenna yang memiliki *main lobe* yang jauh sehingga diperlukan antenna *sub-array* yang memiliki gain/direktivitas tinggi sehingga *beam* dapat menjangkau area *User Equipment*.



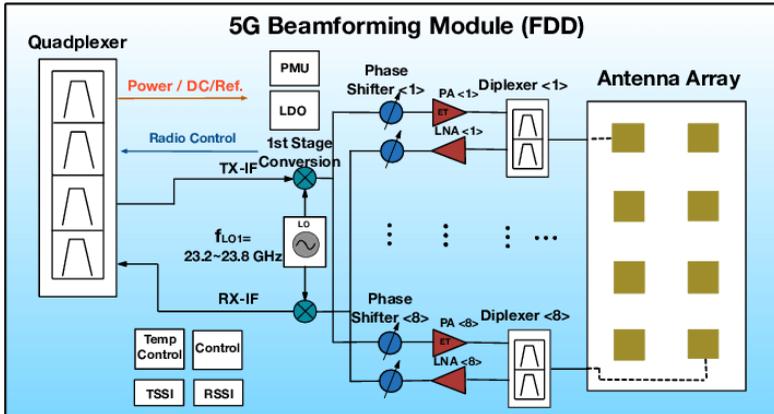
**Gambar 2.2 Prinsip Kerja Sistem 5G**

Untuk dapat memberikan suplai daya yang sesuai ke beberapa antenna *sub-array* yang berbeda amplitudo dan fasa, maka dalam implementasinya dapat digunakan *power divider* sebagai perangkat pembagi daya.

### 2.1.1 Sistem Pemancar / Penerima 5G

Karena panjang gelombang mmWave yang sangat kecil, maka akan dimanfaatkan polarisasi dan teknik pengolahan spasial berbeda yaitu berupa *beamforming* adaptif dan *massive MIMO*. *Beamforming* adaptif diperlukan untuk mengatasi tantangan propagasi pada sistem akses dimana *beamforming* akan beradaptasi dengan pengguna dan lingkungan untuk memberikan *payload* kepada pengguna. Terlihat pada Gambar 2.3, sinyal dikonversi naik dan dibagi menjadi jalur RF masing-masing untuk mencatu setiap antenna. Dalam setiap jalur RF, sinyal diproses untuk mengatur *gain* dan fase untuk membentuk beam di luar antenna. desain diagram blok yang lebih sederhana dengan kompleksitas trade-off sistem dan algoritma adaptif berkehandalan tinggi yang akan dipilih.

Desain *transceiver* dengan kompleksitas rendah yang memanfaatkan derajat kebebasan spasial *massive MIMO* dan teknik lapisan fisik dengan hardware berkompleksitas rendah, dengan mengurangi rantai RF. *Beamforming MIMO* memungkinkan untuk mengurangi daya pancar dengan masih diperoleh karakteristik kanal yang lebih baik. Tapi *beamforming* membutuhkan peningkatan kapasitas pengolahan *baseband* untuk melakukan aritmatika matriks yang digunakan untuk menghitung beda fase antar elemen antenna. Ukuran antenna secara fisik kecil dan karenanya sejumlah besar antenna dikemas dalam ukuran kecil. Hal ini memungkinkan penggunaan *massive MIMO* di eNode B / Access Point untuk meningkatkan kapasitas.



**Gambar 2.3** Diagram Blok Sistem Pemancar / Penerima 5G

## 2.2 Power Divider

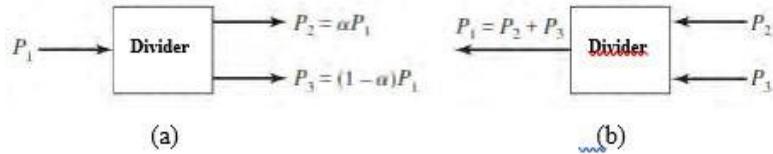
*Power divider* merupakan komponen pasif *microwave* yang digunakan sebagai pembagi daya dan juga dapat digunakan sebagai penggabung daya [6]. Dalam pembagian daya, sinyal input dibagi menjadi beberapa sinyal output dengan daya yang lebih rendah.

*Power divider* 1 to 4 dapat digunakan pada sistem pemancar / penerima 5G karena daya *output* yang dihasilkan mampu digunakan untuk menyuplai daya untuk 4 *sub-array* antenna *Multi User MIMO* karena mendukung konfigurasi 4T4R (4 Transmitter 4 Receiver) sebagai syarat minimum untuk dapat dilakukan *beamforming*.

Dalam sebuah pemancar sistem komunikasi 5G, perangkat *power divider* ini biasanya ditempatkan setelah perangkat *multiplex* dan perangkat pembangkit modulasi agar sinyal hasil modulasi dapat digunakan untuk menyuplai daya ke beberapa antenna pada bagian pemancar sesuai dengan amplitudo daya yang disesuaikan oleh perangkat dan selanjutnya disesuaikan fasanya pada bagian *phase shifter*.

Karakteristik dari *power divider* yang digunakan dalam sistem komunikasi 5G adalah memiliki amplitudo daya *output* yang sesuai untuk tiap antenna, isolasi yang tinggi antar *port output*, serta mampu bekerja pada frekuensi kerja antenna 5G (untuk 4 *sub-array* antenna bekerja pada kisaran frekuensi 3 GHz) [3].

*Power divider* biasanya menghasilkan sinyal output yang bersifat *in-phase* dengan rasio pembagian daya yang sama (3 dB) namun bisa juga menghasilkan rasio yang berbeda. Prinsip kerja *power divider* bisa dilihat pada gambar berikut :



**Gambar 2.4** (a) Pembagian Daya dan (b) Kombinasi Daya [6]

Tipe *power divider* sederhana adalah T-junction yang memiliki tiga *port network*. *Scattering matrix* dari tiga *port network* memiliki 9 elemen independen:

$$[S] = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

Jika komponen *power divider* bersifat pasif dan mengandung material anisotropis, maka *power divider* bersifat *reciprocal* dan *scattering matrix* menjadi simetris ( $S_{ij} = S_{ji}$ ). Biasanya untuk menghindari hilangnya daya, maka *power divider* harus memiliki sambungan yang *lossless* dan *match* pada tiap *port*.

Jika tiap *port matched*, maka  $S_{ii} = 0$ , dan jika *network* bersifat *reciprocal* maka *scattering matrix* akan menjadi

$$[S] = \begin{bmatrix} 0 & S_{12} & S_{13} \\ S_{21} & 0 & S_{23} \\ S_{31} & S_{32} & 0 \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

Pada kondisi *lossless* untuk mendapatkan persamaan yang benar, maka matriks pada persamaan (2.2) harus memenuhi persyaratan berikut:

$$[S_{12}]^2 + [S_{13}]^2 = 1 \quad (2.3a)$$

$$[S_{12}]^2 + [S_{23}]^2 = 1 \quad (2.3b)$$

$$[S_{13}]^2 + [S_{23}]^2 = 1 \quad (2.3c)$$

$$S_{13}^* S_{23} = 0 \quad (2.3d)$$

$$S_{23}^* S_{12} = 0 \quad (2.3e)$$

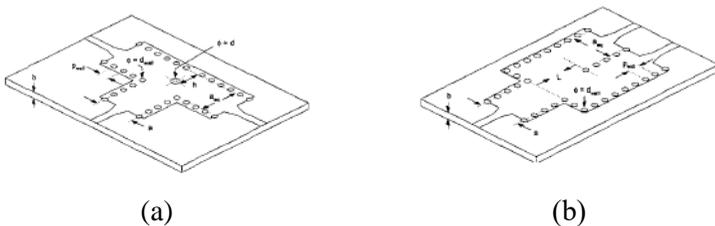
$$S_{12}^* S_{13} = 0 \quad (2.3f)$$

Dalam memenuhi persamaan (2.3d)-(2.3f), setidaknya dua dari tiga parameter ( $S_{12}, S_{13}, S_{23}$ ) harus bernilai nol. Namun dengan kondisi tersebut akan menyebabkan salah satu persamaan (2.3a)-(2.3c) tidak dapat terpenuhi, hal ini mengakibatkan *three port network power divider* tidak dapat bersifat *lossless*, *reciprocal* dan *match* secara bersamaan. Akan tetapi jika salah satu dari tiga kondisi tersebut dipenuhi, *power divider* tetap dapat direalisasikan.

### 2.2.1 Power Divider Substrat Integrated Waveguide (SIW)

*Power divider* telah banyak digunakan pada aplikasi gelombang milimeter dan juga gelombang mikro. *Power divider* konvensional yang berbentuk *waveguide* memiliki *loss* yang rendah akan tetapi memiliki ukuran yang besar, berat dan sulit diintegrasikan pada rangkaian. Selain itu, teknologi saluran transmisi planar berbentuk mikrostrip dikembangkan sebagai *power divider* yang memiliki dimensi yang kecil, murah, mudah difabrikasi dan dapat diintegrasikan pada rangkaian. Akan tetapi, kebanyakan mikrostrip memiliki kelemahan dari segi *losses* [9]. Sebuah teknologi bernama SIW dikembangkan untuk meminimalisir *loss* yang dihasilkan pada teknologi mikrostrip.

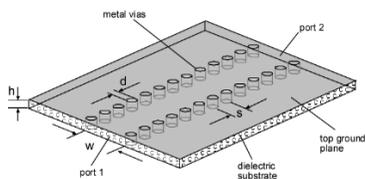
Dalam pemanfaatannya teknologi SIW digunakan untuk berbagai tujuan seperti sebagai pembagi daya pada antena vivaldi untuk mengurangi *return loss* [10], *T-junction* dan *Y-junction power divider* [11], memperkecil dimensi digunakan metode *half mode SIW (HMSIW)* [12]-[14], meningkatkan penolakan *bandwidth* dengan menggunakan *slot* [15] dan memperlebar *bandwidth* dengan metode *ridge SIW (RSIW)* [16]. *Power divider* yang telah disebutkan sebelumnya bekerja pada frekuensi tinggi untuk aplikasi teknologi 5G.



**Gambar 2.5** (a) *T-Junction* dan (b) *Y-Junction Power Divider* Menggunakan SIW [11]

### 2.2.2 Substrat Integrated Waveguide (SIW)

*Substrate Integrated Waveguide* (SIW) merupakan saluran transmisi yang mampu menghantarkan sinyal frekuensi tinggi dengan *loss* yang kecil dan memiliki kemampuan mengintegrasikan banyak komponen [17]. Untuk melewati sinyal dari saluran planar ke SIW diperlukan struktur transisi yang memiliki faktor refleksi yang kecil. Bahan dasar dari SIW adalah sebuah substrat dielektrik yang memiliki ketebalan  $h$  dan konstanta dielektrik  $\epsilon_r$ . Bagian atas dan bawah dari substrat biasanya menggunakan lapisan metal seperti tembaga dengan ketebalan yang diabaikan. Pada struktur SIW ditambahkan dua baris silinder metal (*via*) yang menghubungkan lapisan metal atas dan lapisan metal bawah (*ground*) seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini :



**Gambar 2.6** Struktur Dasar SIW

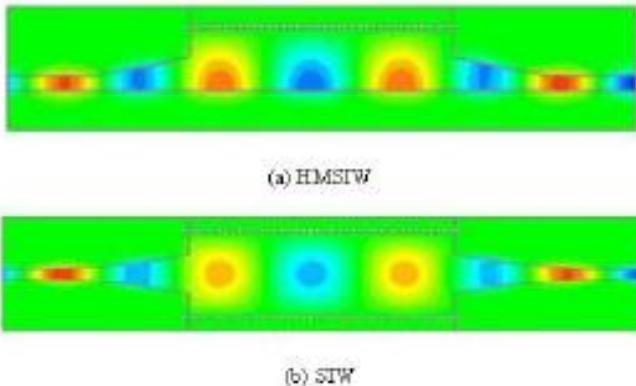
SIW dapat dianggap sebagai model dari sebuah *waveguide* dikarenakan peran dari *via* yang menutup sisi samping saluran transmisi. Mode gelombang yang merambat di dalam SIW hanya mode transversal elektrik (TE), sedangkan mode transversal magnetik (TM) tidak dikarenakan adanya celah di antara *via* yang mencegah arus permukaan mengalir pada sisi samping *waveguide*. SIW juga memiliki nilai frekuensi *cut-off* untuk mode gelombang yang merambat di dalamnya yang nilainya tergantung dari lebar SIW  $W_{SIW}$  dan juga besaran *via*.

Keberadaan dua baris *via* ini menyebabkan sinyal yang berfrekuensi lebih rendah dari frekuensi *cut-off* tidak bisa merambat di dalam SIW. Kedua baris *via* juga merupakan penutup sisi samping *waveguide* yang tidak ideal, karena masih adanya gelombang yang bocor keluar. Selain itu diameter *via*  $d$  dan jarak antar *via*  $s$  bertanggungjawab terhadap gelombang yang menyelinap keluar (*leakage*) yang mengakibatkan adanya *losses*. Maka dari itu, ketiga parameter tersebut (lebar dari SIW, diameter *via* dan jarak antar *via*) harus diperhatikan dalam perancangan SIW untuk mendapatkan hasil yang optimal.

### 2.2.3 Half-Mode Substrat Integrated Waveguide (HMSIW)

Teknologi saluran transmisi SIW sudah dapat diintegrasikan pada berbagai sistem gelombang mikro dan gelombang milimeter, akan tetapi dalam penerapannya pada beberapa perangkat terdapat kendala yaitu dalam hal ukuran SIW. Maka dari itu dikembangkan metode baru untuk mengatasi kendala tersebut yang bernama *Half Mode Substrate Integrated Waveguide* (HMSIW) yang menghasilkan karakteristik kinerja yang hampir sama dengan metode SIW, tetapi memiliki ukuran yang mendekati setengah dari SIW [12]. Sehingga dengan metode tersebut dapat diterapkan sekaligus memperkecil ukuran rangkaian gelombang mikro dan juga gelombang milimeter.

Sama seperti *waveguide* konvensional berbentuk persegi, mode  $TE_{m0}$  merambat pada struktur SIW. Distribusi medan pada mode dominan  $TE_{10}$  dapat dilihat pada gambar 2.12. Pada saat SIW bekerja pada mode dominan, medan listrik akan bernilai maksimum pada bagian tengah bidang vertikal sesuai dengan arah perambatan. Bagian tengah pada bidang tersebut dapat dianggap sebagai dinding magnetik yang ekuivalen. Struktur SIW dapat dibagi menjadi dua dengan adanya dinding magnetis tersebut dan membuat setengah bagian SIW menjadi struktur HMSIW. Metode HMSIW dapat menjaga distribusi medan awal SIW menjadi distribusi medan milik HMSIW dan memiliki semua kelebihan dari SIW dengan ukuran yang mendekati setengahnya SIW.



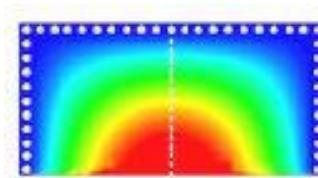
**Gambar 2.7** Distribusi Medan HMSIW dan SIW pada Mode Dominan

### 2.2.4 *Quarter-Mode Substrat Integrated Waveguide (QMSIW)*

Ukuran komponen SIW yang besar dapat mengakibatkan masalah jika diaplikasikan untuk frekuensi rendah sehingga dibutuhkan teknik lain. Teknik lain yang sering digunakan adalah *Half- Mode SIW* (HMSIW) dan *Quarter- Mode SIW* (QMSIW). Teknik ini biasa di implementasikan pada filter karena mampu mereduksi lebar struktur SIW menjadi setengah kalinya untuk HMSIW dan menjadi seperempat kalinya untuk QMSIW.

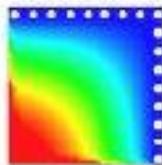
HMSIW adalah teknik untuk meminimalkan dimensi struktur substrat dengan cara membagi pada dua struktur port output sehingga HMSIW dapat menjaga setengah dari distribusi medan magnetik tanpa berubah dari struktur awalnya.

QMSIW adalah teknik untuk meminimalkan dimensi struktur substrat dengan cara membagi pada dua struktur HMSIW menjadi dua bagian lagi sehingga QMSIW dapat menjaga seperempat dari distribusi medan magnetik tanpa berubah dari struktur awalnya. Distribusi medan magnetik QMSIW dan HMSIW dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



*HMSIW*

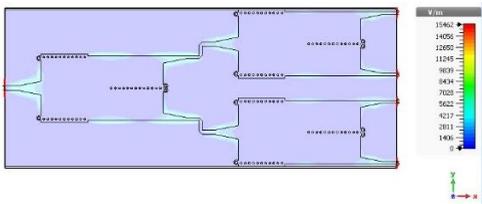
(a)



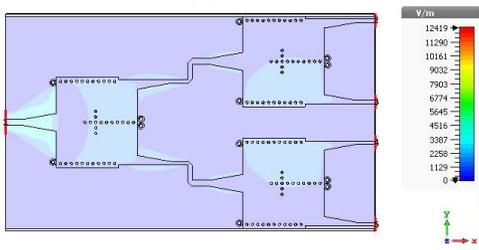
*QMSIW*

(b)

**Gambar 2.8** Ilustrasi distribusi medan listrik (a) HMSIW (b) QMSIW

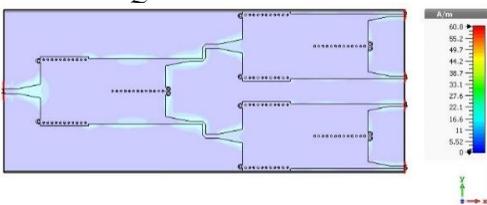


(a)

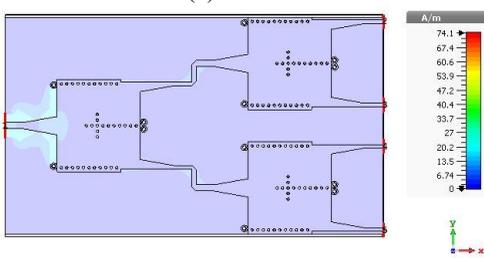


(b)

**Gambar 2.9** Gambar Simulasi Distribusi Medan Listrik (a) HMSIW (b) QMSIW



(a)

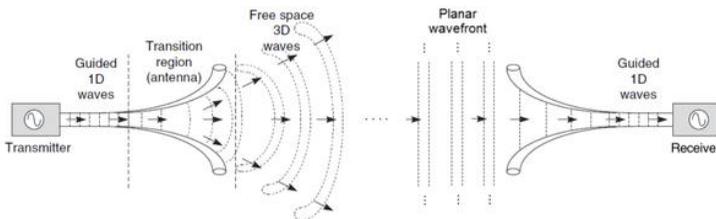


(b)

**Gambar 2.10** Gambar simulasi distribusi medan magnet (a) HMSIW (b) QMSIW

### 2.3 Antena Mikrostrip Array

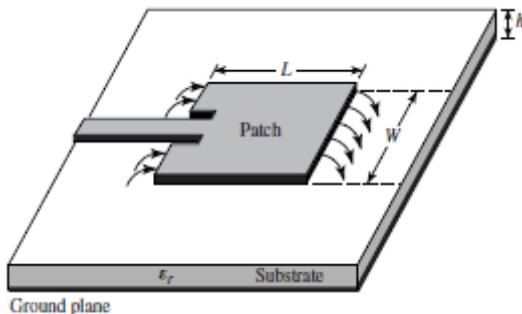
Antena didefinisikan sebagai suatu perangkat dari logam yang mampu memancarkan atau menerima gelombang radio. Dengan kata lain, antena merupakan perangkat penghubung antara ruang bebas dengan saluran transmisi. Saluran transmisi bisa berupa kabel *coaxial* atau pipa berongga (*waveguide*) yang berfungsi untuk mengirimkan gelombang elektromagnetik dari pemancar menuju antena, ataupun dari antena menuju penerima [7].



*Gambar 2.11 Prinsip Kerja Antena*

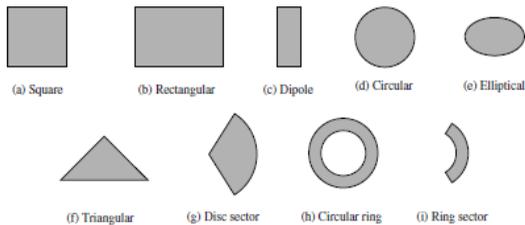
#### 2.3.1 Antena Mikrostrip

Antena mikrostrip merupakan antena yang populer seiring dengan berkembangnya teknologi dikarenakan memiliki dimensi yang ringan, kecil dan mudah dikonfigurasi pada suatu bidang. Antena mikrostrip adalah antena yang terdiri dari tiga elemen utama yaitu *conducting patch*, *dielectric substrate* dan *ground plane*. Masing-masing elemen tersebut memiliki fungsi yang berbeda.



*Gambar 2.12 Antena Mikrostrip [7]*

*Conducting patch* terletak pada bagian paling atas dari antena mikrostrip yang berfungsi untuk meradiasikan gelombang elektromagnetik ke udara. Pada umumnya *patch* terbuat dari bahan konduktor tipis yang akan beresonansi sesuai dengan frekuensi kerjanya. Pada bagian *patch* terdapat saluran pencatu yang berfungsi untuk menghubungkan *patch* dengan perangkat pengirim atau penerima radio. Bentuk dari *patch* sangat bervariasi dapat berupa persegi, segitiga, lingkaran ataupun *circular ring*.



**Gambar 2.13** Bentuk Patch Antena Mikrostrip [7]

*Dielectric substrate* merupakan bahan dielektrik yang memisahkan *patch* dan *ground* serta berfungsi sebagai media penyalur gelombang elektromagnetik dari catuan. Elemen substrat memiliki jenis yang bervariasi dan dapat digolongkan berdasarkan nilai konstanta dielektrik dan ketebalannya. Kedua parameter tersebut dapat mempengaruhi frekuensi kerja, *bandwidth* dan juga efisiensi antena yang akan dibuat. Semakin tinggi konstanta dielektrik akan didapatkan dimensi antena yang kecil, akan tetapi memiliki faktor disipasi yang lebih tinggi yang menyebabkan efisiensi menjadi rendah dan *bandwidth* yang kecil. Sedangkan semakin tebal substrat akan didapatkan antena dengan *bandwidth* yang lebar dan efisiensi yang tinggi, namun dimensi antena akan menjadi besar dan meningkatkan kemungkinan munculnya gelombang permukaan. Maka dari itu, diperlukan optimasi dalam perancangan antena mikrostrip untuk mendapatkan spesifikasi yang diinginkan.

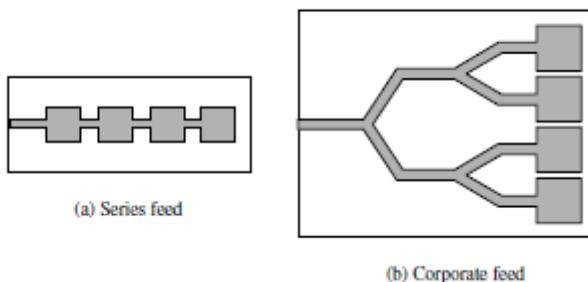
*Ground plane* terletak pada bagian paling bawah dari antena mikrostrip yang berfungsi sebagai reflektor dari gelombang elektromagnetik. *Ground plane* bisa terbuat dari bahan konduktor dan memiliki ukuran yang mengikuti panjang dan lebar dari substrat.

### 2.3.2 Phased Array Antenna

Antena dengan elemen tunggal biasanya memiliki pola radiasi yang lebar dan memiliki *gain* yang rendah. Pada beberapa aplikasi seperti pada sistem radar diperlukan antena dengan keterarahan yang baik serta *gain* yang tinggi. Dengan menggunakan antena mikrostrip pada sistem radar tersebut terdapat kelemahan mendasar yaitu *bandwidth* yang sempit dan *gain* yang rendah. Namun hal ini dapat diatasi dengan menambahkan *patch* secara *array*.

Antena *array* adalah susunan dari beberapa antena yang identik [7]. Dengan menggunakan teknik *array* akan didapatkan *gain* yang lebih tinggi dan juga *beamwidth* yang lebih sempit. Dalam antena mikrostrip, yang disusun menjadi *array* adalah bagian *patch*. Medan total dari antena *array* ditentukan oleh penjumlahan vektor dari medan yang diradiasikan oleh elemen tunggal. Untuk mendapatkan pola dengan arah yang diinginkan, diperlukan medan dari setiap elemen *array* yang berinterferensi secara konstruktif pada arah yang diinginkan dan berinterferensi secara destruktif pada arah yang lain.

Sistem antena *array* dapat membedakan sinyal yang diinginkan dan kanal interferensi yang berdekatan secara normal. Antena *array* terdiri dari susunan dua atau N buah antena dengan jarak spasi sama, bersama-sama bekerja untuk mencapai pola radiasi yang spesifik. Pola radiasi ini akan menentukan pengarahannya dan penguatan antena yang dihasilkan. Sistem antena *array* memiliki kemampuan untuk mengubah pola radiasi guna memberikan reaksi terhadap perubahan lingkungan sehingga dapat meningkatkan kapasitas dan S/N sistem *wireless*.



**Gambar 2.14** Antena Mikrostrip Array 4 Elemen [7]

Antena *phased array* terdiri dari banyak elemen antena dengan menggunakan *phase shifter*. *Beam* terbentuk dari hasil pergeseran fase

dari tiap sinyal pada elemen antenna untuk menghasilkan interferensi pada arah yang diinginkan. *Phase shifter* berperan sebagai pengubah fase sinyal pada saluran transmisi dengan cara mempengaruhi *delay* fasa antara  $0^\circ$  sampai dengan  $360^\circ$ . Maka dari itu, *beam* antenna dapat terfokus pada arah tertentu dengan adanya peran *phase shifter*. Pada setiap kondisi fase seharusnya nilai dari amplitudo sinyal yang melewati *phase shifter* adalah sama. Sebelum fase sinyal digeser, sinyal tersebut akan masuk melalui *power divider*. *Power divider* berperan untuk memecah sinyal yang datang dari *port input* menjadi beberapa keluaran sebelum memasuki *phase shifter* sehingga dapat bekerja pada antenna penerima radar.

## 2.4 Prosedur Perancangan SIW

SIW bersifat seperti *waveguide* yang berisi bahan dielektrik dengan lebar  $W_{SIW}$  yang terbentuk dari *via* dengan diameter  $d$  dan jarak antar *via*  $s$ . SIW terletak pada lapisan dielektrik dengan ketebalan  $h$ , konstanta dielektrik  $\epsilon_r$  dan *loss tangent*  $\tan \gamma$ . Jika SIW dirancang dengan baik, SIW akan memiliki karakteristik yang sama dengan *waveguide* konvensional berbentuk persegi.

Berikut adalah beberapa parameter yang perlu diperhatikan dalam perancangan SIW [18] :

a) Frekuensi Cut-off

Pada model struktur SIW, frekuensi *cut-off* pada mode  $TE_{mn}$  dapat diperoleh dari :

$$f_{cmn} = \frac{c}{2\pi\sqrt{\epsilon_r}} \sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2} \quad (2.4)$$

Sehingga untuk mode dominan ( $TE_{10}$ ) didapatkan lebar  $a$

$$a = \frac{c}{2f_{c10}\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.5)$$

*Via* pada SIW mencegah adanya arus permukaan mode propagasi TM dan  $TE_{mn}$  dimana  $n \neq 0$ . Maka dari itu hanya  $TE_{m0}$  yang muncul.

b) *Single Mode Bandwidth*

Untuk mendapatkan *single mode bandwidth* dapat diperoleh dari

$$BW_{SIW} = 2f_{c10} = \frac{c}{a\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.6)$$

Dengan  $f_{c10}$  merupakan frekuensi *cut-off* pada mode dominan  $TE_{10}$ .

c) Rugi Tembaga dan Dielektrik

Faktor kualitas dari SIW lebih kecil dari *waveguide* berbentuk persegi dikarenakan bahan dielektrik dan reduksi ukuran. Dengan

menggunakan  $\epsilon_r$  yang lebih kecil dapat mengurangi *loss* dielektrik.

d) Rugi radiasi

Jika jarak antar via  $s$  terlalu besar, *loss* dari radiasi dapat terjadi karena kebocoran medan elektromagnetik pada SIW. Diameter via  $d$  juga mempengaruhi *return loss* dari SIW. Oleh karena itu, kriteria  $s$  dan  $d$  dibatasi pada  $s \leq 2d$  dan  $d \leq \lambda_g/5$ , dimana  $\lambda_g$  adalah panjang gelombang terbimbing yang pada mode dominan dapat diperoleh dari

$$\lambda_{g10} = \frac{2\pi}{\sqrt{\left(\frac{\epsilon_r \omega^2}{c^2}\right) - \left(\frac{\pi}{a}\right)^2}} \quad (2.7)$$

Jika mode propagasi orde tinggi pertama adalah  $TE_{m0}$ , maka batas atas dari diameter *via* ditentukan oleh

$$d \leq \frac{2a}{5\sqrt{m^2-1}} \quad (2.8)$$

Diasumsikan 100% *fractional bandwidth* ( $m = 3$ ) maka batas atas diameter *via* adalah  $d \leq 0,1414a$ .

e) Lebar Fisik SIW

Perkiraan lebar  $W$  dapat diperoleh dari lebar efektif  $a$

$$a = W - 1,08 \frac{d^2}{s} + 0,1 \frac{d^2}{W} \quad (2.9)$$

Dengan mensubstitusikan batas atas  $s = 2d$  pada persamaan (2.16) didapatkan lebar  $W$

$$W = 0,5 \left[ a + \sqrt{(a + 0,54d)^2 - 0,4d^2} \right] + 0,27d \quad (2.10)$$

Dimana nilai  $d$  dapat dipilih berdasarkan *bandwidth* yang diinginkan.

## 2.5 Transisi Saluran Mikrostrip-SIW

Transisi adalah struktur yang digunakan untuk mendapatkan *network* yang *match* antara saluran transmisi dan SIW. Saluran transmisi mikrostrip merupakan saluran transmisi yang paling sering digunakan. Untuk keperluan perancangan saluran mikrostrip digunakan persamaan nilai perbandingan antara lebar  $W$  dengan ketebalan  $h$  saluran mikrostrip berdasarkan pada impedansi saluran  $50\Omega$  dan konstanta dielektrik  $\epsilon_r$  dari substrat. Untuk  $W/h \leq 2$

$$\frac{W}{h} = \frac{8e^A}{e^{2A}-2} \quad (2.11)$$

Dimana faktor A diperoleh dari

$$A = 2\pi \frac{Z_0}{Z_f} \sqrt{\frac{\epsilon_r+1}{2}} + \frac{\epsilon_r-1}{\epsilon_r+1} \left( 0,23 + \frac{0,11}{\epsilon_r} \right) \quad (2.12)$$

Untuk  $W/h \geq 2$  diperoleh dari

$$\frac{W}{h} = \frac{2}{\pi} \left( B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r-1}{2\epsilon_r} \left( \ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r} \right) \right) \quad (2.13)$$

Dimana faktor B diperoleh dari

$$B = \frac{Z_f \pi}{2Z_0 \sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.14)$$

$Z_f$  adalah impedansi udara yang bernilai 376,8  $\Omega$ . Persamaan di atas digunakan untuk menentukan lebar saluran mikrostrip agar *match* dengan impedansi transmisi 50  $\Omega$ .

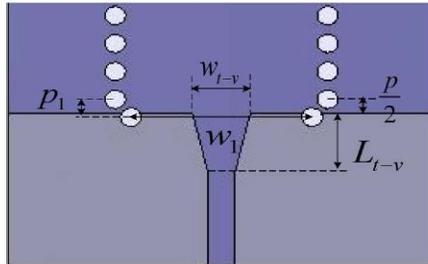
Ketika struktur mikrostrip akan disambungkan pada SIW, bentuk meruncing (*tapered*) merupakan bentuk yang paling sering digunakan. Bentuk transisi dari mikrostrip ke SIW ini biasanya memberikan kondisi *match* pada *band* yang lebar. Transisi dari mikrostrip ke SIW dapat dilihat pada gambar 2.13.

Panjang transisi tergantung dari panjang gelombang pada frekuensi kerja dari struktur, nilai  $\lambda/4$  biasanya digunakan pada panjang transisi untuk mendapatkan hasil yang *match*. Nilai  $\lambda$  diperoleh dari

$$\lambda = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_{reff}} \times f} \quad (2.15)$$

Dengan nilai  $\epsilon_{reff}$  diperoleh dari

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r+1}{2} + \frac{\epsilon_r-1}{2\sqrt{1+12\frac{h}{W}}} \quad (2.16)$$



**Gambar 2.15** Transisi Mikrostrip ke SIW

## 2.6 Parameter Kinerja Power Divider

Terdapat beberapa parameter yang perlu diperhatikan dan dianalisis untuk mengetahui apakah *power divider* bekerja dengan baik atau tidak. Salah satu parameter yang diperhatikan untuk menganalisis kinerja perangkat adalah dengan melihat nilai *scattering parameter*.

*Scattering Parameter* adalah karakteristik dari suatu network dengan kondisi *port* yang match sehingga perubahan terminasi atau eksitasi tidak akan mengubah nilai  $[S]$  tetapi yang berubah adalah koefisien refleksi dan koefisien transmisinya [6]. *Scattering Parameter* berhubungan dengan tegangan gelombang datang dari suatu *port* dengan gelombang yang terpantulkan dari suatu *port*. *Scattering Parameter*  $[S]$  dapat didefinisikan menjadi persamaan relasi antara tegangan gelombang datang dan tegangan gelombang pantul untuk N-*port network* sebagai berikut

$$\begin{bmatrix} V_1^- \\ V_2^- \\ \vdots \\ V_N^- \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & \cdots & S_{1N} \\ S_{21} & & & \vdots \\ \vdots & \cdots & & \\ S_{N1} & & & S_{NN} \\ \vdots & & & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1^+ \\ V_2^+ \\ \vdots \\ V_N^+ \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

Karakteristik dasar dari *power divider* adalah kemampuannya yang bersifat *reciprocal*. Perangkat *reciprocal* adalah salah satu daya yang ditransmisikan antara dua *port* di dalam perangkat adalah sama. Berdasarkan pada hubungan antara elemen  $[S]$  dari perangkat *reciprocal*, perangkat *reciprocal* memiliki  $[S]$  yang simetris atau sama dengan matriks transposenya itu sendiri  $[S]^t$ .

Sifat lainnya adalah seberapa banyak *loss* yang dapat ditunjukkan ke perangkat itu sendiri. Idealnya, sebuah *power divider* yang akan digunakan dalam sistem adalah yang bersifat *lossless*, akan tetapi hanya *low loss power divider* yang dapat direalisasikan. Jika *network* bersifat *lossless* maka *scattering parameter* tersebut akan ditunjukkan pada persamaan (2.18) pada N-*port network* ( $N = 1,2,3, \dots$ ) untuk  $i = j$ .

$$\sum_{k=1}^N S_{ki} S_{kj}^* = 1 \quad (2.18a)$$

Dan untuk  $i \neq j$

$$\sum_{k=1}^N S_{ki} S_{kj}^* = 0 \quad (2.18b)$$

Pada *port output* yang diterminasi oleh beban yang *match*, koefisien refleksi pada *port input*  $\Gamma_{in}$  bernilai sama dengan  $S_{11}$ . Sehingga nilai *return loss* dapat diperoleh dari

$$RL (dB) = 20\log|S_{11}| \quad (2.19)$$

Tiap koefisien refleksi yang dilihat dari *port n* tidak sama dengan  $S_{nn}$  kecuali seluruh *port output* dalam kondisi yang *match*. Hal ini juga berlaku pada koefisien transmisi  $T$ . Pada saat mentransmisikan daya dari *port 1* ke *port 2* akan menghasilkan *loss* yang disebut dengan *insertion loss* yang dapat diperoleh dari

$$IL (dB) = 20\log|S_{21}| \quad (2.20)$$

Nilai *insertion loss* digunakan untuk menentukan jumlah daya output yang dihasilkan oleh *power divider* apakah menjadi setengah atau seperempatnya.

Isolasi pada tiap *port output power divider* memberikan pengaruh terhadap kinerja *power divider*. Isolasi adalah karakteristik yang berperan sebagai kemampuan sinyal dalam satu *port* untuk tidak mempengaruhi atau menjadi terisolasi oleh sinyal di *port* lain. Nilai isolasi dapat diperoleh dari

$$IL (dB) = -20\log|S_{23}| \quad (2.21)$$

Apabila impedansi saluran transmisi tidak *match* maka akan muncul daya refleksi pada saluran yang berinterferensi dengan daya transmisi. Hal ini mengakibatkan adanya gelombang berdiri yang besarnya tergantung dari daya refleksi. *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR) adalah perbandingan antara amplitudo gelombang berdiri maksimum dan minimum. Besarnya nilai VSWR bervariasi antara 1 sampai tak hingga [8]. Nilai VSWR dapat diperoleh dari

$$VSWR = \frac{|V|_{max}}{|V|_{min}} = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \quad (2.22)$$

Kondisi terbaik adalah ketika VSWR bernilai 1 yang berarti tidak ada refleksi daya pada saluran dikarenakan saluran berada dalam keadaan *match* sempurna. Namun pada realisasinya kondisi tersebut sulit untuk diterapkan. Semakin tinggi nilai VSWR maka semakin besar ketidaksesuaian saluran transmisi.

*Power divider* memiliki rentang frekuensi kerja yang disebut dengan parameter *bandwidth*. Salah satu cara untuk menentukan *bandwidth* adalah dengan mengukur lebar rentang frekuensi dengan batasan -10 dB pada grafik *return loss*. Persamaan *bandwidth* dapat ditulis oleh persamaan berikut

$$BW = f_1 - f_2 \quad (2.23)$$

Dimana  $f_1$  adalah frekuensi atas dan  $f_2$  adalah frekuensi bawah.

### 2.7 Insertion Loss

*Insertion loss* (IL) merupakan perbandingan antara daya yang masuk ke beban ( $P_L$ ) dengan daya yang dikirimkan ( $P_{in}$ ). Besarnya nilai *insertion loss* dapat diperoleh melalui :

$$Insertion Loss (dB) = 10 \log \left( \frac{P_{OUT}}{P_{IN}} \right) \quad (2.24)$$

Keterangan :

$P_{OUT}$  = daya yang masuk ke beban / daya yang masuk ke port 2 (Watt)

$P_{IN}$  = daya yang dikirimkan / daya input pada port 1 (Watt)

### 2.8 Return Loss

*Return loss* adalah perbandingan antara daya yang dipantulkan (daya dipantulkan kembali menuju generator, PR) dengan daya yang dikirimkan ( $P_{in}$ ). Besarnya return loss dapat diperoleh melalui rumus sebagai berikut :

$$Return Loss (dB) = 10 \log \left( \frac{P_R}{P_{in}} \right) \quad (2.25)$$

Keterangan :

PR = daya yang dipantulkan / dipantulkan kembali menuju generator atau daya yang dipantulkan kembali ke port 1 (Watt)

$P_{in}$  = daya yang dikirimkan / daya input pada port 1 (Watt)

### 2.9 Frekuensi S-band

Menurut standar IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineering*) tentang gelombang radio, *S band* merupakan bagian dari pita gelombang mikro pada spektrum elektromagnetik yang memiliki rentang frekuensi 2 sampai 4 GHz. *S band* terletak pada batas konvensional antara UHF (*Ultra High Frequency*) dan SHF (*Super High Frequency*) pada frekuensi 3 GHz [6].

**Tabel 2.1** *Pembagian Frekuensi Radio*

Frekuensi	Panjang Gelombang	Nama Band
30-300 Hz	10 – 1 Mm	ELF (extremely low frequency)
300-3000 Hz	1 Mm – 100 km	
3-30 kHz	100 – 10 km	VLF (very low frequency)
30-300 kHz	10 – 1 km	LF (low frequency)
300-3000 kHz	1 km – 100 m	MF (medium frequency)
3-30 MHz	100 – 10 m	HF (high frequency)
30-300 MHz	10 – 1 m	VHF (very high frequency)
300-3000 MHz	1 m – 10 cm	UHF (ultra high frequency)
3-30 GHz	10 – 1 cm	SHF (super high frequency)
30-300 GHz	1 cm – 1 mm	EHF (extremely high frequency)
300-3000 GHz	1 mm – 100 $\mu$ m	

Frekuensi	Panjang Gelombang	Nama Band menurut IEEE
1-2 GHz	30 – 15 cm	L
2-4 GHz	15 – 7,5 cm	S
4-8 GHz	7,5 – 3,75 cm	C
8-12 GHz	3,75 – 2,5 cm	X
12-18 GHz	2,5 – 1,67 cm	Ku
18-27 GHz	1,67 – 1,11 cm	K
27-40 GHz	1,11 cm – 7,5 mm	Ka
40-300 GHz	7,5 – 1 mm	mm

## 2.10 Instrumen Perancangan dan Pengukuran

Pada perancangan *power divider* digunakan *software* simulasi yang dapat mensimulasikan hasil rancangan yang telah dibuat hingga siap untuk difabrikasi. Hasil rancangan tersebut kemudian akan diuji



pengukuran ini adalah yang mampu mengukur dalam rentang 2 MHz - 6 GHz.



**Gambar 2.17** RF Vector Network Analyzer Agilent N9923A Fieldfox

### 2.10.3 Kabel dan Konektor

Kabel yang digunakan untuk *power divider* yang memiliki beberapa *port* adalah kabel jenis RG8 untuk menghubungkan *port* yang akan diukur ke NA.



**Gambar 2.18** Kabel Jumper RG8

Sedangkan konektor yang digunakan adalah konektor jenis SMA *Female* yang berperan sebagai saluran transmisi dan dihubungkan ke VNA pada saat pengukuran.

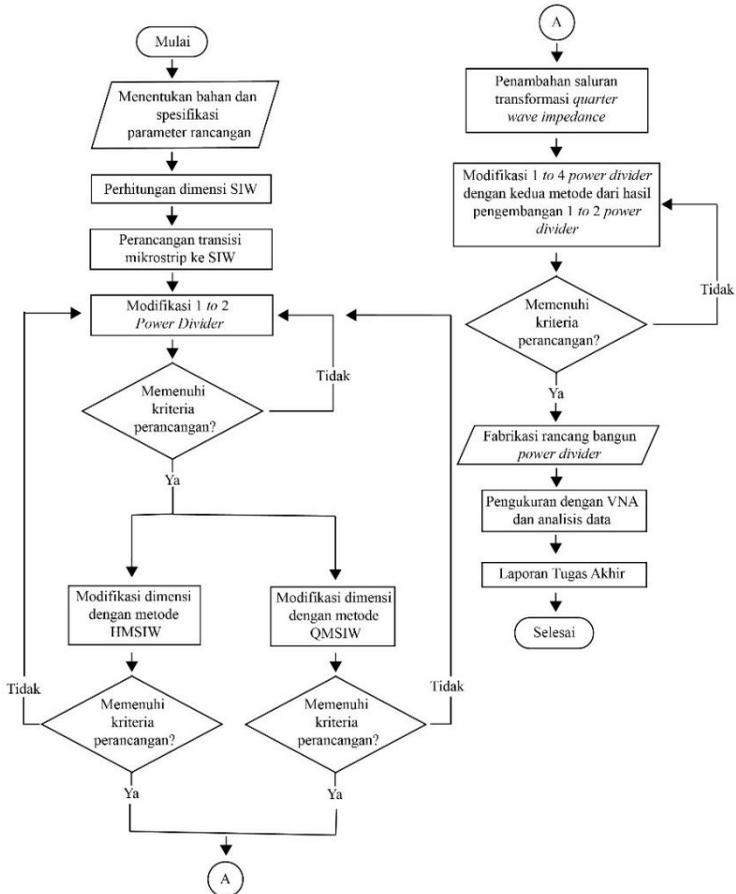


**Gambar 2.19** Konektor SMA Female

# BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

## 3.1 Diagram Alir Perancangan

Berikut ini gambaran skema penelitian dari proses awal perancangan hingga pengukuran alat yang melalui beberapa tahapan.



Gambar 3.1 Diagram Alir Metode Penelitian

### 3.2 Spesifikasi Rancangan

*Power divider* ini akan memiliki 1 *port input* dan 4 *port output* yang dapat diaplikasikan pada pengembangan teknologi 5G. Spesifikasi rancang bangun *power divider* adalah sebagai berikut.

**Tabel 3.1** Spesifikasi Rancangan Power Divider

Parameter	<i>Power divider 1 to 4</i>
Frekuensi kerja	2-4 GHz
<i>Fractional Bandwidth</i>	$\geq 20\%$
<i>Return loss</i>	$\leq -10 \text{ dB}$
<i>Insertion loss</i>	$\geq -10 \text{ dB}$ (toleransi $\leq 1 \text{ dB}$ )

Bahan yang digunakan pada perancangan *power divider* adalah PCB jenis FR4 dikarenakan mudah didapat, murah dan memiliki dielektrik konstan yang tinggi. Spesifikasi bahan yang digunakan pada perancangan adalah sebagai berikut.

**Tabel 3.2** Spesifikasi PCB FR4

Spesifikasi	Nilai
Permitivitas bahan ( $\epsilon_r$ )	4,3
Tebal substrat ( $h$ )	1,6 mm
Tebal konduktor	0,035 mm

### 3.3 Perancangan Secara Teoritis

Dalam proses perancangan *power divider* ini diperlukan perhitungan matematis untuk mendapatkan ukuran dari *power divider*. Pada tugas akhir ini digunakan spesifikasi rancangan dari *paper* [21] sebagai referensi perancangan 1 to 4 *power divider* untuk sistem 5G. Hal tersebut dikarenakan rancang bangun tersebut telah memenuhi parameter yang diinginkan baik rentang frekuensi maupun *loss* untuk perancangan *power divider*. Akan tetapi, terdapat perbedaan spesifikasi bahan pada rancangan *power divider* pada *paper* referensi. Bahan yang digunakan pada *paper* tersebut adalah Rogers RO4360 dengan permitivitas bahan  $\epsilon_r = 6,15$ , sedangkan yang digunakan pada tugas akhir ini adalah bahan jenis FR4 dengan permitivitas bahan  $\epsilon_r = 4,3$ . Perbandingan yang digunakan pada perancangan dengan *paper* referensi dapat dilihat pada tabel 3.3.

**Table 3.3** Perbandingan Spesifikasi Bahan Substrat

Bahan Substrat	Rogers RO4360	FR4
Permittivitas bahan ( $\epsilon_r$ )	6,15	4,3
Tebal substrat (h)	1,524 mm	1,6 mm
Tebal konduktor	0,035 mm	0,035 mm

### 3.3.1 Perhitungan Dimensi SIW

Pada perhitungan dimensi SIW akan dilakukan dua kali perhitungan yaitu dengan menggunakan bahan Rogers RO4360 dan FR4. Untuk frekuensi *cut-off* 2 GHz pada mode dominan  $TE_{10}$ , dengan menggunakan substrat Rogers RO4360 dimensi SIW dapat dihitung dari persamaan (2.5)

$$a = \frac{c}{2f_{c1}\sqrt{\epsilon_r}} = \frac{3 \cdot 10^8}{2 \cdot 2 \cdot 10^9 \sqrt{6,15}} = 30,24 \text{ mm}$$

Sedangkan dengan menggunakan substrat FR4

$$a = \frac{c}{2f_{c1}\sqrt{\epsilon_r}} = \frac{3 \cdot 10^8}{2 \cdot 2 \cdot 10^9 \sqrt{4,3}} = 34,77 \text{ mm}$$

Dimana  $a$  adalah lebar *waveguide* konvensional. Untuk mendapatkan nilai lebar SIW  $W_{SIW}$  dapat diperoleh dari persamaan (2.10)

$$W_{SIW} = 0,5 \left[ a + \sqrt{(a + 0,54d)^2 - 0,4d^2} \right] + 0,27d$$

Dengan asumsi diameter via  $d = 1 \text{ mm}$ , lebar SIW pada bahan Rogers RO4360 menjadi

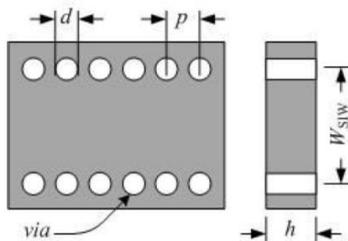
$$W_{SIW} = 0,5 \left[ a + \sqrt{(a + 0,54d)^2 - 0,4d^2} \right] + 0,27d = 31 \text{ mm}$$

Sedangkan pada bahan FR4 menjadi

$$W_{SIW} = 0,5 \left[ a + \sqrt{(a + 0,54d)^2 - 0,4d^2} \right] + 0,27d = 35,65 \text{ mm}$$

Diameter *via*  $d = 1 \text{ mm}$  dipilih dengan menyesuaikan ukuran mata bor supaya lubang *via* tidak terlalu kecil sehingga dapat mempermudah proses fabrikasi.

Dari kedua hasil di atas didapatkan perbandingan rasio antara bahan Rogers RO4360 dengan FR4 sebesar 1:1,15 . Maka pada perancangan *power divider* menggunakan FR4, tiap komponen dari *power divider* pada paper referensi akan diperbesar dengan rasio 1,15.



**Gambar 3.2** Rancangan Struktur SIW [20]

**Tabel 3.4** Dimensi Struktur SIW

Parameter	Rogers RO4360	FR4
$W_{SIW}$	31 mm	35,65 mm
$d$	1 mm	1,15 mm
$h$	1,524 mm	1,6 mm
$L$	40 mm	46 mm

### 3.3.2 Perancangan Transisi Mikrostrip pada Struktur SIW

Transisi merupakan pencatu dari struktur SIW. Saluran transmisi mikrostrip merupakan saluran transmisi yang paling sering digunakan pada perancangan transisi SIW. Pada perancangan saluran transmisi mikrostrip ini akan dilakukan perhitungan untuk bahan substrat Rogers RO4360 dan FR4. Berikut ini adalah beberapa tahapan yang dilakukan pada perancangan transisi

1. Perhitungan lebar saluran transmisi mikrostrip ( $W_{fm}$ ) dengan menyesuaikan impedansi karakteristik  $50 \Omega$  dapat diperoleh menggunakan persamaan (2.11) dan (2.12). Nilai – nilai yang diketahui yaitu  $Z_0 = 50\Omega$  dan  $Z_f = 377\Omega$ , maka untuk bahan substrat Rogers RO4360 dengan spesifikasi ( $\epsilon_r = 6,15$  dan  $h = 1,524 mm$ )

$$A = 2\pi \frac{Z_o}{Z_f} \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left(0,23 + \frac{0,11}{\epsilon_r}\right) = 1,755$$

$$\frac{W}{h} = \frac{8e^A}{e^{2A} - 2} = 1,471 ; W = 1,471h = 2,24$$

Sehingga didapatkan nilai  $W_{fm} = 2,24 \text{ mm}$

Sedangkan untuk bahan FR4 dengan spesifikasi ( $\epsilon_r = 4,3$  dan  $h = 1,6 \text{ mm}$ )

$$A = 2\pi \frac{Z_o}{Z_f} \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left(0,23 + \frac{0,11}{\epsilon_r}\right) = 1,652$$

$$\frac{W}{h} = \frac{8e^A}{e^{2A} - 2} = 1,656 ; W = 1,656h = 2,6$$

Didapatkan nilai  $W_{fm} = 2,6 \text{ mm}$

2. Panjang transisi mikrostrip  $L_{tm}$  ditentukan menggunakan nilai awal  $\lambda/4$  untuk mendapatkan impedansi yang *match*. Nilai  $\lambda/4$  dapat diperoleh dari persamaan (2.15) dan (2.16). Frekuensi yang digunakan adalah frekuensi tengah dari rentang frekuensi kerja yaitu 3 GHz. Untuk bahan substrat Rogers RO4360 dengan  $\epsilon_r = 6,15$

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2\sqrt{1 + 12\frac{h}{W}}} = 4,426$$

$$\frac{\lambda}{4} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_{reff}} \times 4f} = \frac{3 \cdot 10^8}{4,3 \cdot 10^9 \sqrt{4,426}} = 11,883$$

Sehingga didapatkan nilai  $L_{tm} = 11,88 \text{ mm}$

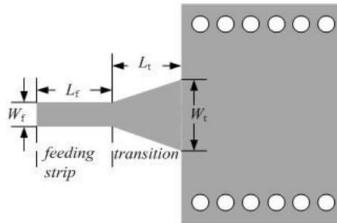
Sedangkan untuk bahan substrat FR4 dengan  $\epsilon_r = 4,3$

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2\sqrt{1 + 12\frac{h}{W}}} = 3,219$$

$$\frac{\lambda}{4} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_{reff}} \times 4f} = \frac{3 \cdot 10^8}{4.3 \cdot 10^9 \sqrt{3,219}} = 13,9$$

Sehingga didapatkan nilai  $L_{tm} = 13,93 \text{ mm}$

3. Dilakukan *parameter sweep* terhadap nilai  $L_{fm}$  dan  $W_{tm}$  yang telah dihitung untuk mendapatkan nilai yang paling optimal. Nilai  $L_{fm}$  diatur untuk dapat memasang konektor SMA pada *port*. Nilai  $W_{tm}$  dicari untuk mendapatkan nilai yang paling *match*. Dimensi hasil perhitungan transmisi mikrostrip ke SIW dapat dilihat pada tabel 3.4.



**Gambar 3.3** Struktur Perancangan Transisi Mikrostrip-SIW [20]

**Tabel 3.5** Dimensi Struktur Transisi Mikrostrip-SIW

Parameter	Rogers RO4360	FR4
$W_{fm}$	2,24	2,6
$L_{fm}$	6,5	7,5
$W_{tm}$	6,5	7,5
$L_{tm}$	11,88	13,9

### 3.4 Perancangan Power Divider 1 to 2

Setelah didapatkan spesifikasi parameter dimensi untuk perancangan struktur SIW dari 1 to 2 *power divider*, maka selanjutnya spesifikasi parameter tersebut akan disimulasikan pada *software* CST.

Pada rancang bangun 1 to 2 *power divider* ini dilakukan modifikasi pada perancangan *power divider* yaitu dengan mengganti bahan substrat

dari Rogers RO4360 menjadi FR4 dan juga memakai metode HMSIW dan QMSIW untuk mereduksi dimensi dari *power divider*.

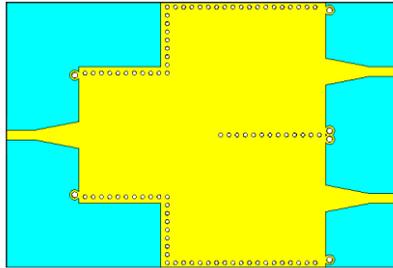
Pada perancangan 1 to 2 *power divider* ini akan menggunakan desain dari paper [21] sebagai referensi perancangan. Semua parameter mengacu pada rancang bangun 1 to 2 *power divider* sesuai dengan *paper* referensi untuk mempermudah dalam mendapatkan hasil simulasi yang diinginkan pada *software*. Namun terdapat beberapa parameter yang tidak sesuai dan juga tidak ditunjukkan pada *paper* referensi, sehingga perlu adanya optimasi untuk mendapatkan spesifikasi parameter dimensi yang sesuai atau mendekati rancangan tersebut.

#### 3.4.1 Rancangan 1 to 2 *Power Divider* berdasarkan *Paper* Referensi

Transisi mikrostrip ke SIW akan digunakan pada perancangan struktur SIW dari 1 to 2 *power divider*. *Power divider* dibentuk dari struktur SIW dengan cara membagi dua panjang SIW. Bagian pertama dari SIW digunakan sebagai *input* dan bagian kedua diduplikasi dan digunakan sebagai dua *output*. Lalu di bagian tengahnya dari bagian kedua ditambahkan transisi sebagai bagian ketiga dengan panjang  $L/2$  sehingga tiap bagian memiliki panjang  $L/2$ .

Pada rancangan ini ditambahkan dua *via* tengah (*via* optimasi I dan II) untuk mendapatkan nilai *return loss* yang lebih baik. Selain itu peningkatan kinerja juga dapat dilakukan dengan menggunakan metode *via* transisi. Penggunaan *via* transisi dapat memperkecil pengaruh *mismatch* yang terjadi pada transisi mikrostrip-SIW sehingga nilai *return loss* dapat semakin diperkecil. *Via* transisi diletakkan pada posisi ujung akhir antara struktur SIW dan transisi dengan jarak horizontal dari ujung dinding *via* SIW sebesar  $p_t = 0,66(2d)$  dan jarak vertikal antar *via* transisi sebesar  $W_{st} = 0,86W_{SIW}$  dengan diameter *via* sebesar  $d_t$ .

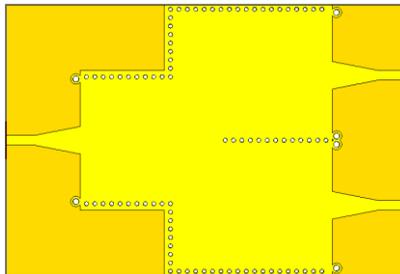
Hasil perancangan 1 to 2 *power divider* dengan bahan substrat Rogers RO4360 sesuai dengan *paper* referensi dapat dilihat pada gambar 3.4. Setelah tahap perancangan selesai dilakukan, analisis hasil simulasi yang berupa analisis S-parameter ( $S_{11}$ ,  $S_{21}$  dan  $S_{31}$ ) dapat dilihat pada sub bab 4.1.



**Gambar 3.4** Power Divider 1 to 2 dengan Bahan Rogers RO4360

### 3.4.2 Modifikasi Rancangan Power Divider 1 to 2

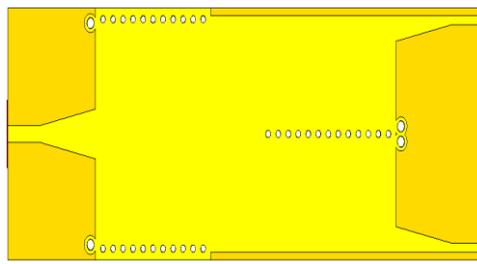
Dari hasil simulasi 1 to 2 power divider berdasarkan paper referensi, kemudian dilakukan modifikasi pada desain power divider tersebut dengan mengganti bahan substrat menjadi FR4. Hasil perancangan 1 to 2 power divider dengan menggunakan bahan FR4 dapat dilihat pada gambar 3.5. Analisis hasil simulasi terhadap pergantian substrat dapat dilihat pada sub bab 4.1.



**Gambar 3.5** Power Divider 1 to 2 dengan Bahan FR4

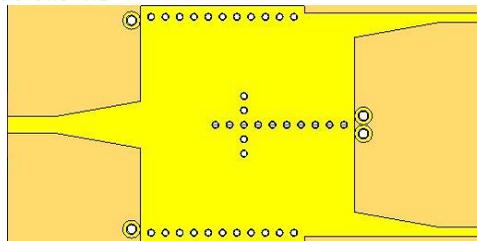
Kemudian modifikasi dilakukan menggunakan metode HMSIW berdasarkan paper referensi yaitu dengan cara mereduksi dimensi pada power divider. Modifikasi dilakukan dengan cara membagi dua pada struktur port output power divider. Struktur HMSIW dapat menjaga setengah dari distribusi medan tanpa mengubah struktur awal dari SIW. Dimensi awal power divider yang sebelumnya  $W = 64 \text{ mm} \times L = 95 \text{ mm}$  dapat direduksi menjadi  $W = 33 \text{ mm} \times L = 95 \text{ mm}$ . Pada perancangan power divider dengan metode HMSIW ditambahkan via

optimasi dengan diameter 1 mm untuk mendapatkan kinerja *return loss* yang lebih baik. Hasil perancangan dari metode HMSIW dapat dilihat pada gambar 3.6.1. Analisis hasil simulasi dari metode HMSIW dapat dilihat pada sub bab 4.1



**Gambar 3.6** Power Divider 1 to 2 dengan Metode HMSIW

Modifikasi selanjutnya dilakukan dengan menggunakan metode QMSIW yang cara kerjanya juga untuk mereduksi dimensi pada *power divider*. Modifikasi dilakukan dengan membagi dua pada struktur *port output power divider*. Struktur QMSIW dapat menjaga seperempat dari distribusi medan tanpa mengubah struktur awal dari SIW maupun HMSIW. Dimensi awal *power divider* yang sebelumnya  $W = 64 \text{ mm} \times L = 95 \text{ mm}$  dapat direduksi menjadi  $W = 33 \text{ mm} \times L = 48 \text{ mm}$ . Pada perancangan *power divider* dengan metode QMSIW juga ditambahkan *via* optimasi dengan diameter 1 mm untuk mendapatkan kinerja *return loss* yang lebih baik. Hasil perancangan dari metode QMSIW dapat dilihat pada gambar 3.6.2. Analisis hasil simulasi dari metode QMSIW dapat dilihat pada sub bab 4.1



**Gambar 3.7** Power Divider 1 to 2 dengan Metode QMSIW

Penggantian bahan substrat dari Rogers RO4360 menjadi FR4 juga mengakibatkan pergeseran rentang frekuensi kerja pada *power divider* menjadi di luar spesifikasi perancangan. Hal ini disebabkan

karena permitivitas relatif  $\epsilon_r$  dari FR4 lebih kecil dari Rogers RO4360. Oleh karena itu, diperlukan pelebaran dimensi dari *power divider* melalui penskalaan dengan rasio 1,15 pada tiap – tiap parameter *power divider* sesuai dengan perhitungan teoritis untuk mendapatkan frekuensi kerja yang sesuai dengan spesifikasi rancangan *power divider*. Perbandingan parameter awal dan modifikasi perancangan *power divider* dapat dilihat pada tabel 3.5.

**Tabel 3.6** Perbandingan Struktur Awal Dimensi Power Divider dari Struktur Setelah Modifikasi Power Divider

Parameter	Awal (mm)	Modifikasi (mm)
$W_{fm}$	2,24	2,6
$L_{fm}$	6,5	7,5
$W_{tm}$	6,5	7,5
$L_{tm}$	11,88	13,9
$L$	95	109,25
$W$	64	73,6
$L_{SIW}$	40	46
$W_{SIW}$	31	35,65
$d$	1	1,15
$h$	1,524	1,6
$p$	2	2,3
$W_{edge}$	1	1,15
$d_t$	2,5	2,88
$p_t$	1,5	1,73

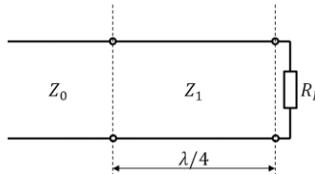
### 3.5 Perancangan 1 to 4 power divider

Setelah melakukan perancangan desain 1 to 2 power divider yang telah memenuhi spesifikasi perancangan, kemudian dilanjutkan dengan melakukan perancangan 1 to 4 power divider dengan menggunakan metode HMSIW dan metode QMSIW. 1 to 2 Power divider tersebut akan diduplikasi untuk dijadikan 4 port output. Kemudian dilakukan modifikasi dengan cara menambahkan saluran transformasi  $\lambda/4$  serta optimasi desain struktur power divider.

#### 3.5.1 Penambahan Saluran Transformasi $\lambda/4$

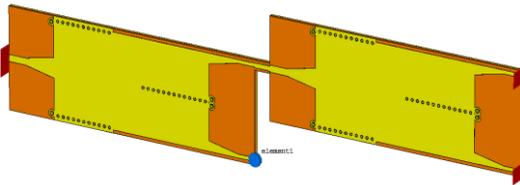
Transformator  $\lambda/4$  adalah teknik *impedance matching* yang digunakan pada saluran transmisi untuk mengurangi daya yang

dipantulkan ketika saluran transmisi terhubung pada beban. Transformator  $\lambda/4$  yang digunakan pada saluran transmisi memiliki impedansi karakteristik dengan beda panjang  $\lambda/4$  sehingga saluran tersebut menjadi *match*.



**Gambar 3.8** Saluran Transformasi  $\lambda/4$

Pada rancangan 1 to 4 *power divider*, saluran transformasi  $\lambda/4$  tersebut digunakan untuk menghubungkan desain 1 to 2 *power divider* awal sebagai *input* dengan 1 to 2 *power divider* hasil duplikasi sebagai *output*. Penambahan saluran transformasi  $\lambda/4$  ini bertujuan untuk mendapatkan nilai *return loss* dan *insertion loss* yang baik dan respon fase yang sesuai. Terdapat perbedaan nilai impedansi karakteristik antara kedua sambungan pada *power divider* sehingga diperlukan adanya perhitungan yang lebih sesuai untuk lebar  $W_{z_0}$  dan panjang  $L_{z_0}$  saluran transformasi  $\lambda/4$ .



**Gambar 3.9** Penambahan Saluran Transformasi  $\lambda/4$  pada *Power Divider*

Setelah mendapatkan dimensi dari lebar  $W_{z_0}$  dan panjang  $L_{z_0}$  saluran transformasi  $\lambda/4$  yang sesuai, saluran transformasi  $\lambda/4$  didesain pada *power divider* dengan *software* simulasi seperti pada gambar 3.8 dan juga disimulasikan dengan menambahkan *dummy load* pada *output* desain *power divider* awal. Setelah disimulasikan, dapat diketahui pada desain rancangan tersebut diperlukan adanya optimasi terhadap panjang saluran transformasi  $\lambda/4$   $L_{z_0}$  dengan menggunakan *parameter sweep* untuk mendapatkan hasil yang paling optimum dari s-parameter dan respon fase.

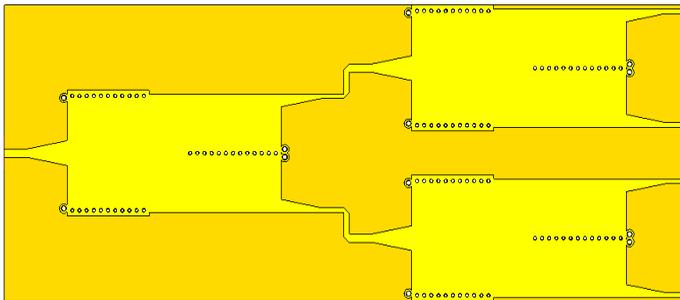
Analisis dari hasil simulasi penambahan saluran transformasi  $\lambda/4$  meliputi s-parameter dan respon fase dapat dilihat pada sub bab 4.2.

### 3.5.2 Modifikasi Rancangan 1 to 4 power divider

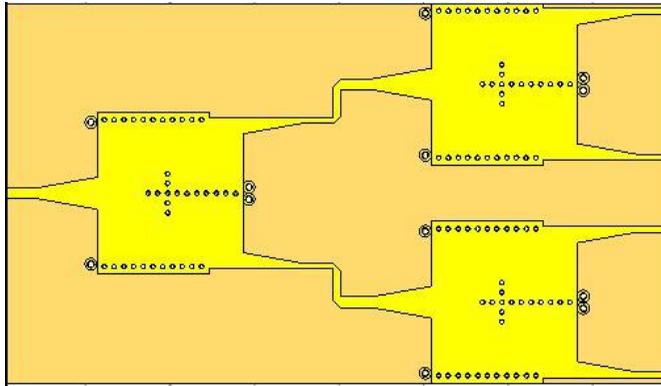
Setelah dilakukan penambahan saluran transformasi  $\lambda/4$  dan mendapatkan hasil simulasi yang sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan, kemudian dilakukan modifikasi penyambungan desain *power divider* awal menuju *power divider* duplikasi. Saluran transformasi  $\lambda/4$  yang sebelumnya akan diubah sesuaikan strukturnya dengan penambahan bentuk vertikal yang semula hanya berbentuk horizontal saja untuk memberikan jarak pada *port output power divider* serta untuk menghindari adanya isolasi antar *port* yang terlalu berdekatan. Perubahan struktur saluran transformasi  $\lambda/4$  tersebut juga harus memperhatikan panjang konektor SMA *female* yang akan dipasang pada *port output* supaya tidak mempersulit proses pemasangan konektor pada *port output*.

Saluran transformasi  $\lambda/4$  pada saluran mikrostrip yang sudah diubah menjadi bentuk vertikal tidak boleh memiliki sudut siku-siku pada sisi sambungannya. Hal ini dapat menyebabkan munculnya diskontinuitas pada sisi siku-sikunya dan akan berpengaruh pada nilai *return loss*. Oleh karena itu, pada sambungannya akan dimodifikasi menjadi bentuk sudut tumpul sebesar  $45^\circ$  yang digunakan sebagai nilai optimum untuk mendapatkan nilai *return loss* yang lebih baik.

Modifikasi terakhir pada rancang bangun 1 to 4 *power divider* ini adalah penambahan *full ground plane* pada struktur *power divider* untuk mempermudah proses fabrikasi hasil rancangan. Hasil perancangan 1 to 4 *power divider* dapat dilihat pada gambar 3.9. Analisis dari hasil simulasi 1 to 4 *power divider* yang meliputi s-parameter dan respon fase dapat dilihat pada sub bab 4.2.



**Gambar 3.10** 1 to 4 Power Divider dengan metode HMSIW



**Gambar 3.11** 1 to 4 Power Divider dengan metode QMSIW

### 3.6 Fabrikasi dan Pengukuran Power Divider

Pada tahap ini, fabrikasi dilakukan terhadap rancangan 1 to 4 *power divider* yang telah memenuhi spesifikasi yang diinginkan. Setelah fabrikasi, dilakukan pemasangan konektor SMA *female* pada tiap port untuk selanjutnya dilakukan pengukuran.

Pengukuran *power divider* menggunakan instrumen *vector network analyzer* (VNA) *Agilent N9923A fieldfox* untuk mengetahui karakteristik *power divider* yang dianalisis berdasarkan s-parameter dan respon fase *power divider*. Pengukuran dilakukan di Laboratorium Antena dan Propagasi Teknik Elektro ITS. Pengukuran dilakukan di ruangan yang terbuka atau terhindar dari interferensi elektromagnetik karena interferensi tersebut dapat mempengaruhi hasil dari pengukuran *power divider* menjadi tidak akurat. Teknik pengukuran 5 port *power divider* pada 2 port *network analyzer* dengan melakukan terminasi tiap port output yang tidak terpakai dengan beban  $50 \Omega$ . Hasil pengukuran s-parameter dari *vector network analyzer* berupa bentuk grafik dan data tabel dengan format *comma separate value* (.csv).

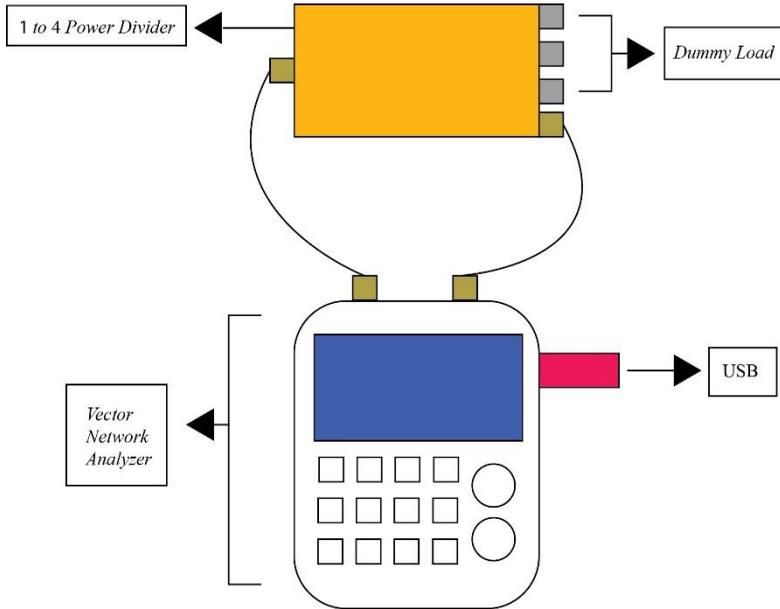
Metode dalam pengukuran *power divider* menggunakan *vector network analyzer* ini memiliki beberapa tahapan dari langkah awal hingga mendapatkan nilai s-parameter dan respon fase pada *power divider*. Berikut ini adalah langkah-langkah yang dilakukan untuk melakukan pengukuran *power divider*:

- Mempersiapkan kelengkapan semua instrumen yang diperlukan untuk pengukuran *power divider* seperti, *vector network*

*analyzer*, *flash disk*, *dummy load* 50  $\Omega$  dan *power divider* yang sudah dipasangkan konektor SMA *female* pada tiap *port*.

- Menentukan rentang frekuensi kerja pada perangkat *vector network analyzer*.
- Melakukan kalibrasi terhadap kabel yang akan digunakan pada proses pengukuran dengan cara menghubungkan kedua kabel tersebut pada *port vector network analyzer* sehingga didapatkan *loss* dari kabel tersebut. Hal ini perlu dilakukan untuk mengkompensasi hasil pengukuran terhadap pengaruh penambahan kabel.
- Pada pengukuran *return loss* ( $S_{11}$ ), *port input* pada *power divider* dihubungkan dengan kabel dari *port vector network analyzer*. Sedangkan pada tiap *port output* pada *power divider* diterminasi dengan beban 50  $\Omega$  dengan menggunakan *dummy load* 50  $\Omega$ . Hal tersebut dilakukan untuk mendapatkan kondisi yang *match* pada *power divider*.
- Pada pengukuran *insertion loss* ( $S_{21}$ ,  $S_{31}$ ,  $S_{41}$ , dan  $S_{51}$ ), *port input* pada *power divider* dihubungkan dengan kabel dari *port vector network analyzer*. *Port output* pada *power divider* yang digunakan pada pengukuran juga dihubungkan dengan kabel dari *port network analyzer*, sedangkan *port output* pada *power divider* yang tidak terpakai diterminasi dengan beban 50  $\Omega$  menggunakan *dummy load* 50  $\Omega$ . Hal tersebut dilakukan agar tidak terjadi sinyal pantulan pada *port* tersebut akibat kondisi *mismatch* yang dapat memberikan pengaruh pada *port* lainnya. Konfigurasi pengukuran *insertion loss power divider* menggunakan *network analyzer* dapat ditunjukkan pada gambar 3.11
- Setelah hasil pengukuran ditampilkan pada layar *vector network analyzer*, format data hasil pengukuran dapat diubah-ubah sehingga dapat dilihat hasil s-parameter dan juga respon fase.
- Pada hasil pengukuran juga dapat ditambahkan *marker* (max. 6 *marker*) pada perangkat *vector network analyzer* untuk menandakan hasil pengukuran pada frekuensi yang kita inginkan dan juga untuk mempermudah dalam melakukan analisis kinerja pada *power divider*.
- Hasil pengukuran tersebut dapat disimpan menggunakan *flash disk* yang dipasang pada perangkat *vector network analyzer*

dalam bentuk grafik dan data tabel dengan format *comma separate value (.csv)*.



**Gambar 3.12** Konfigurasi Pengukuran Insertion Loss Power Divider dengan Vector Network Analyzer

## BAB 4

### ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil dan Analisa Simulasi 1 to 2 Power Divider

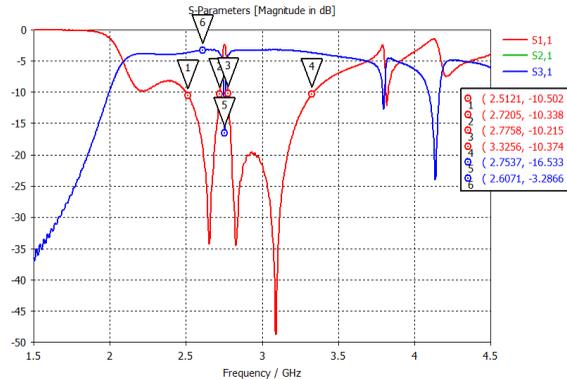
Desain rancangan 1 to 2 power divider diawali dengan melakukan duplikasi desain pada *paper* referensi. Modifikasi juga dilakukan pada rancang bangun dengan mengganti bahan substrat dari bahan Rogers RO4360 menjadi FR4 serta mereduksi dimensi struktur dengan metode HMSIW dan QMSIW. Setelah hasil simulasi memenuhi spesifikasi perancangan, maka desain tersebut akan dijadikan referensi untuk pengembangan desain 1 to 4 power divider selanjutnya.

##### 4.1.1 Hasil Simulasi 1 to 2 Power Divider berdasarkan Paper Referensi

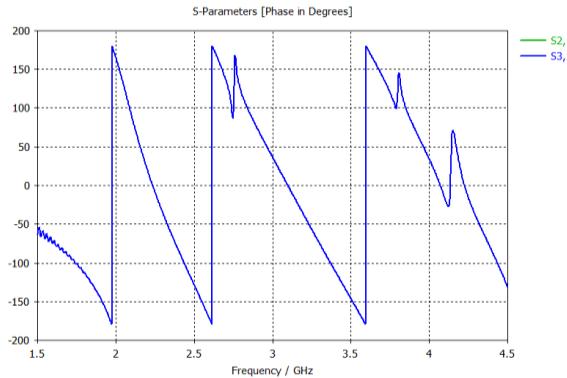
Pada hasil rancangan 1 to 2 power divider berdasarkan *paper* referensi, nilai tiap parameter yang disimulasikan pada *software* dibuat sama untuk mendapatkan hasil yang sesuai atau mendekati hasil simulasi desain awalnya tersebut. Namun terdapat beberapa parameter yang tidak sesuai dan tidak ditunjukkan pada *paper* referensi, sehingga diperlukan ujicoba dan optimasi untuk mendapatkan parameter tersebut. Perancangan power divider ini menggunakan bahan Rogers RO4360.

Hasil simulasi power divider berdasarkan *paper* referensi dapat dilihat pada gambar 4.1 (a). Pada hasil simulasi ini sudah mendekati hasil pada *paper* dan tetap memenuhi spesifikasi perancangan tetapi terdapat perbedaan dengan hasil pada *paper* referensi. Power divider menghasilkan  $return\ loss \leq -10\ dB$  pada rentang frekuensi 2,5-2,72 GHz dan 2,77-3,3 GHz. Pada rentang frekuensi tersebut, keseimbangan daya output atau *power equality* yang dihasilkan power divider berada pada nilai  $3,6 \pm 0,4\ dB$  yang berarti daya yang tersalurkan mendekati setengahnya pada *port output*. Nilai  $\pm 0,4\ dB$  ditimbulkan dari *ripple* yang terjadi pada bagian *pass-band* dari  $S_{21}$  dan  $S_{31}$ . Namun pada frekuensi 2,75 GHz terdapat *notch band* yang mengakibatkan daya tersebut tidak tersalurkan ke *port output power divider*.

Respon fase pada *port output power divider* yang ditinjau dari  $S_{21}$  dan  $S_{31}$  dapat dilihat pada gambar 4.1 (b). Fase gelombang akan bergeser tergantung dari nilai frekuensi namun pergeseran fase dari kedua *port output* menunjukkan respon yang seragam atau tidak ada perbedaan fase antara kedua *port output*.



(a)



(b)

**Gambar 4.1** Hasil Simulasi Rancangan Power Divider berdasarkan Paper Referensi (a) Respon Magnitude (b) Respon Fase

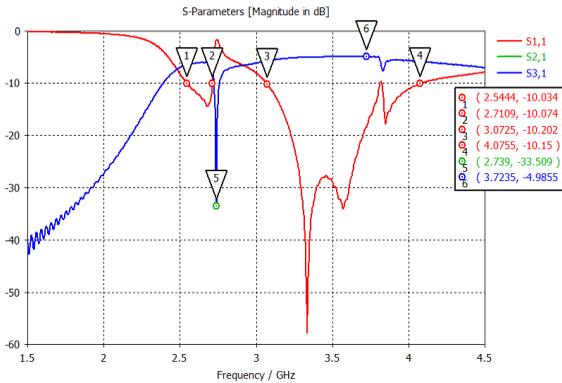
#### 4.1.2 Hasil Simulasi Modifikasi 1 to 2 Power Divider

Modifikasi pada perancangan 1 to 2 power divider dilakukan dengan mengganti bahan substrat dari Rogers RO4360 menjadi FR4. Hasil simulasi pada power divider dengan bahan FR4 dapat dilihat pada gambar 4.2 (a).

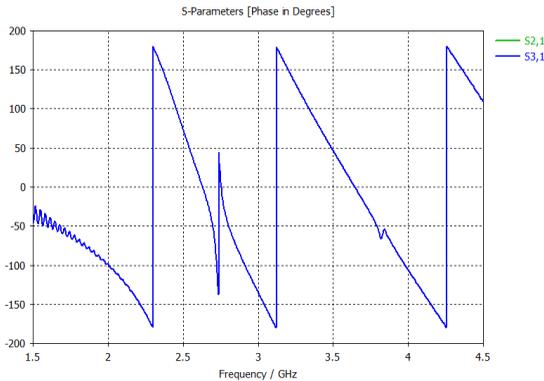
Power divider menghasilkan nilai return loss  $\leq -10$  dB pada rentang frekuensi 2,54-2,71 GHz dan 3,07-4,07 GHz. Pergantian substrat mengakibatkan penurunan nilai pada power equality dari  $-3,6 \pm 0,4$  dB menjadi  $-5,7 \pm 0,7$  dB. Kondisi tersebut menyebabkan daya yang

tersalurkan pada *power divider* tidak mencapai setengahnya pada *port output*, tetapi nilai tersebut masih memenuhi spesifikasi perancangan karena daya yang tersalurkan sudah melebihi 25% (-6 dB). Namun pada frekuensi 2,73 GHz masih terjadi *notch band* yang sangat tinggi sehingga daya tidak tersalurkan ke *port output power divider*.

Respon fase pada *port output power divider* menunjukkan pergeseran fase yang seragam dari kedua *port output* seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.2 (b).



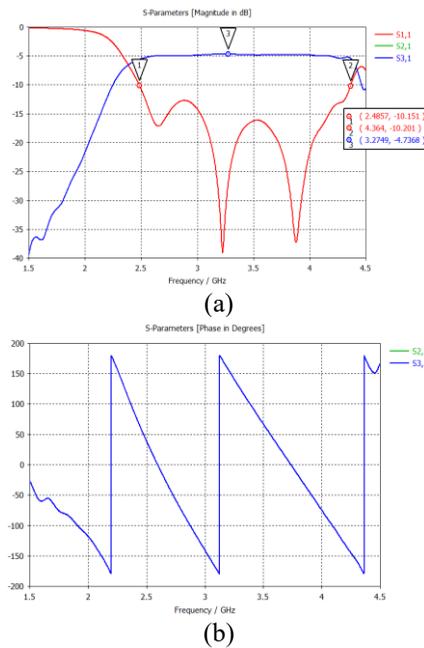
(a)



(b)

**Gambar 4.2** Hasil Simulasi Power Divider Menggunakan Bahan FR4  
 (a) Respon Magnitude (b) Respon Fase

Modifikasi selanjutnya yaitu mereduksi ukuran dimensi *power divider* dengan menggunakan metode HMSIW sesuai dengan *paper referensi*. Dengan menggunakan HMSIW ukuran dimensi *power divider* menjadi setengahnya dari desain sebelumnya. Penerapan metode HMSIW pada *power divider* memberikan hasil karakteristik yang sesuai dengan metode SIW dan juga peningkatan kinerja pada *power divider*. Hasil simulasi *power divider* dengan metode HMSIW dapat dilihat pada gambar 4.3 (a).



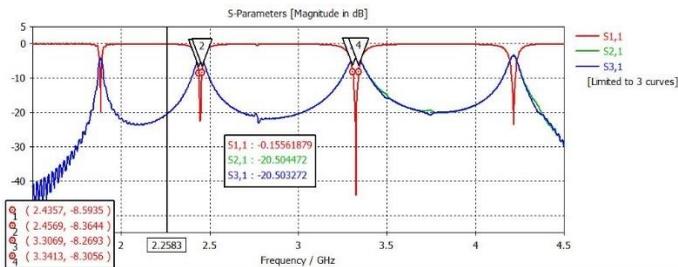
**Gambar 4.3** Hasil Simulasi Power Divider dengan Metode HMSIW (a) Respon Magnitude (b) Respon Fase

*Power divider* menghasilkan nilai *return loss*  $\leq -10$  dB yang lebar dengan rentang frekuensi 2,48-4,36 GHz. Bahkan pada rentang frekuensi 3-4,1 GHz nilai *return loss* mencapai  $\leq -15$  dB. Metode HMSIW juga memberikan perbaikan pada nilai *power equality* dari  $-5,7 \pm 0,7$  dB menjadi  $-5,15 \pm 0,4$  dB. Penerapan metode HMSIW dan penambahan *via* optimasi dengan diameter 1 mm mampu meningkatkan kinerja pada *power divider*.

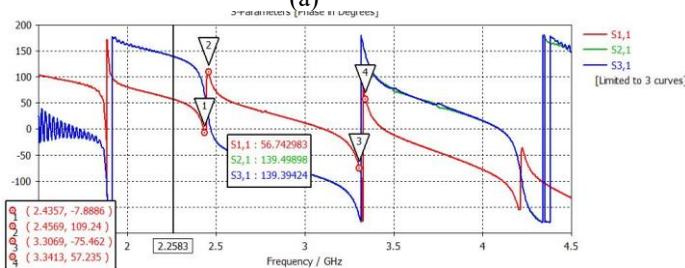
Respon fase pada *port output power divider* menunjukkan pergeseran fase yang seragam dari kedua *port output* seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.3 (b).

Modifikasi berikutnya yaitu mereduksi ukuran dimensi *power divider* dengan menggunakan metode QMSIW. Dengan menggunakan QMSIW ukuran dimensi *power divider* menjadi setengahnya dari desain HMSIW sebelumnya. Penerapan metode QMSIW pada *power divider* memberikan hasil karakteristik yang sesuai dengan metode SIW dan juga peningkatan kinerja pada *power divider*. Hasil simulasi *power divider* dengan metode QMSIW dapat dilihat pada gambar 4.4 (a).

*Power divider* menghasilkan nilai *return loss*  $\leq -10$  dB yang lebar dengan rentang frekuensi 2,43 - 2,45 GHz dan 3,3 - 3,34 GHz. Metode QMSIW juga memberikan perbaikan pada nilai *power equality* dari  $-5,7 \pm 0,7$  dB menjadi  $-3,3 \pm 0,5$  dB. Respon fase pada *port output power divider* menunjukkan pergeseran fase yang seragam dari kedua *port output* seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.4 (b).



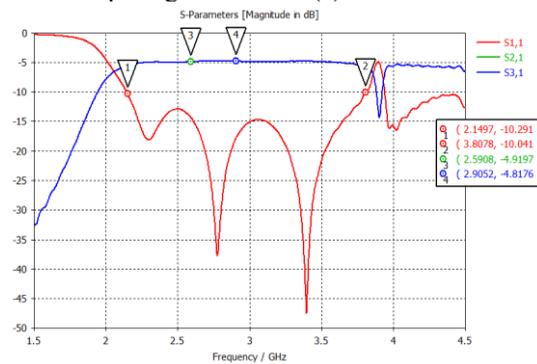
(a)



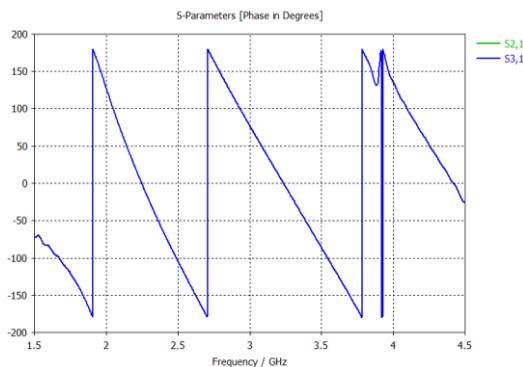
(b)

**Gambar 4.4** Hasil Simulasi Power Divider dengan Metode QMSIW  
(a) Respon Magnitude (b) Respon Fase

Pengantian bahan substrat dari Rogers RO4360 menjadi FR4 mengakibatkan pergeseran rentang frekuensi kerja pada *power divider*. Dari hasil simulasi menggunakan metode HMSIW sudah mendapatkan rentang frekuensi kerja yang lebar, akan tetapi rentang frekuensi kerja tersebut masih belum memenuhi spesifikasi perancangan yang diinginkan. Maka dari itu, diperlukan perbesaran dimensi dari *power divider* dengan rasio 1,15 untuk tiap paramater *power divider* sesuai perhitungan teoritis untuk mendapatkan rentang frekuensi kerja yang sesuai dengan spesifikasi perancangan Hasil simulasi perbesaran dimensi dari *power divider* dapat dilihat pada gambar 4.5.1 (a).



(a)



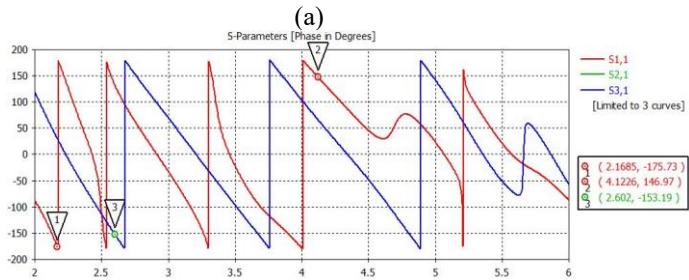
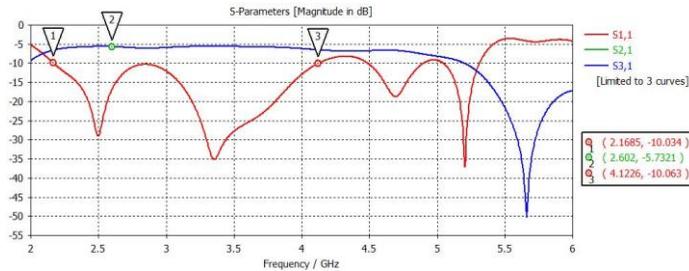
(b)

**Gambar 4.5.** Hasil Simulasi Power Divider HMSIW dengan Perbesaran Dimensi (a) Respon Magnitude (b) Respon Fase

Dari hasil perbesaran dimensi tersebut, nilai *return loss*  $\leq -10$  dB yang menentukan rentang frekuensi kerja bergeser dari 2,48-4,36 GHz menjadi 2,15-3,8 GHz. Perbesaran dimensi pada *power divider* memberikan sedikit perubahan pada nilai *power equality* dari  $5,15 \pm 0,4$  dB menjadi  $5,28 \pm 0,5$  dB. Kondisi tersebut sudah memenuhi spesifikasi perancangan yang diinginkan.

Respon fase pada *port output power divider* menunjukkan pergeseran fase yang seragam dari kedua *port output* seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.5.1 (b).

Dari hasil simulasi menggunakan metode QMSIW, rentang frekuensi kerja tersebut masih belum memenuhi spesifikasi perancangan yang diinginkan. Maka dari itu, diperlukan perbesaran dimensi dari *power divider* dengan rasio 1,15 untuk tiap paramater *power divider* sesuai perhitungan teoritis untuk mendapatkan rentang frekuensi kerja yang sesuai dengan spesifikasi perancangan Hasil simulasi perbesaran dimensi dari *power divider* dapat dilihat pada gambar 4.5.2 (a).



(b)

**Gambar 4.6** Hasil Simulasi Power Divider QMSIW dengan Perbesaran Dimensi (a) Respon Magnitude (b) Respon Fase

Dari hasil perbesaran dimensi tersebut, nilai *return loss*  $\leq -10$  dB yang menentukan rentang frekuensi kerja bergeser dari 2,43 - 2,45 GHz dan 3,3 - 3,34 GHz menjadi 2,16-4,12 GHz. Perbesaran dimensi pada *power divider* memberikan sedikit perubahan pada nilai *power equality* dari  $5,15 \pm 0,4$  dB menjadi  $5,7 \pm 0,5$  dB. Kondisi tersebut sudah memenuhi spesifikasi perancangan yang diinginkan.

Respon fase pada *port output power divider* menunjukkan pergeseran fase yang seragam dari kedua *port output* seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.5.2 (b).

**Tabel 4.1** Perbandingan Hasil Rancangan 1 to 2 Power Divider

Parameter	Full mode SIW	Full mode SIW	HMSIW	HMSIW	QMSIW
Frekuensi kerja	2,5-2,72 dan 2,77-3,3 GHz	2,54-2,71 dan 3,07-4,07 GHz	2,48-4,36 GHz	2,15-3,8 GHz	2,16 - 4,12 GHz
Bahan substrat	Rogers RO4360	FR4	FR4	FR4	FR4
<i>Return loss</i>	$\leq -10$ dB				
<i>Insertion loss</i>	$\geq -6$ dB (Toleransi $i \leq 0,5$ dB)	$\geq -6$ dB (Toleransi $i \leq 0,5$ dB)	$\geq -6$ dB (Toleransi $i \leq 0,5$ dB)	$\geq -6$ dB (Toleransi $i \leq 0,5$ dB)	$\geq -6$ dB (Toleransi $i \leq 0,5$ dB)
<i>Equality <math>\pm</math> ripple</i>	$-3,6 \pm 0,4$ dB	$-5,7 \pm 0,7$ dB	- $5,15 \pm 0,4$ dB	- $5,28 \pm 0,5$ dB	$-5,7 \pm 0,5$ dB
Dimensi	$95 \times 64$ mm	$95 \times 64$ mm	$95 \times 33$ mm	$109,25 \times 37,95$ mm	$52,9 \times 37,95$ mm

Hasil modifikasi rancang bangun 1 to 2 *power divider* akan dijadikan referensi untuk pengembangan rancang bangun 1 to 4 1 to 4 *power divider*. Proses perancangan dan optimasi *power divider* telah memberikan spesifikasi yang diinginkan dan telah dianalisis pada bab ini.

Dari hasil ini menunjukkan bahwa pada *power divider 1 to 2* menghasilkan daya output sebesar  $1/3$  pada tiap *port output* dan sebesar  $1/3$  dari total daya menjadi *loss*. Perbandingan hasil pada tiap proses perancangan *1 to 2 power divider* dapat dilihat pada tabel 4.1.

#### 4.2 Hasil dan Analisa Simulasi 1 to 4 Power Divider

Perancangan *1 to 4 power divider* dilakukan dengan melakukan pengembangan desain dari hasil modifikasi *1 to 2 power divider*. Desain *1 to 2 power divider* akan diduplikasi menjadi 2 untuk dijadikan *4 port output*. Kemudian dilakukan penambahan saluran transformasi  $\lambda/4$  dan modifikasi desain struktur yang akan dilakukan pada perancangan *power divider*.

##### 4.2.1 Hasil Simulasi Penambahan Saluran Transformasi $\lambda/4$

Pada perancangan *1 to 4 power divider*, saluran transformasi  $\lambda/4$  digunakan untuk menghubungkan desain *power divider* awal sebagai *input* dengan *power divider* hasil duplikasi sebagai *output*. Tujuan penambahan saluran transformasi  $\lambda/4$  adalah untuk mendapatkan nilai *return loss* yang baik, serta *insertion loss* dan respon fase yang sesuai. Terdapat perbedaan nilai impedansi karakteristik antara kedua sambungan pada *power divider* sehingga diperlukan adanya perhitungan lebar  $W_{z0}$  dan panjang  $L_{z0}$  saluran transformasi  $\lambda/4$ .

Dengan memasukkan nilai impedansi karakteristik pada antena mikrostrip didapatkan parameter  $W_{z0}$  dan  $L_{z0}$  masing-masing sebesar 1,78 mm dan 14,13 mm. Setelah mendapatkan dimensi dari parameter tersebut, saluran transformasi  $\lambda/4$  ditambahkan pada rancangan *power divider* dengan menambahkan *dummy load* pada *output* desain *power divider* awal. Pada rancangan tersebut diperlukan adanya optimasi terhadap panjang saluran transformasi  $\lambda/4$   $L_{z0}$  dengan menggunakan *parameter sweep* dari nilai 7-14 mm dengan masing – masing 5 *sampling* untuk mendapatkan hasil yang paling optimum dari s-parameter dan respon fase.

Dari hasil *parameter sweep* didapatkan bahwa semakin tinggi nilai  $L_{z0}$ , nilai *insertion loss* sudah hampir seragam. Akan tetapi terdapat perbedaan nilai *insertion loss* yang cukup tinggi pada frekuensi 2,63 GHz yakni sebesar 3 dB. Selisih nilai tersebut akan menyebabkan perbedaan daya *output* pada *power divider* yang cukup signifikan. Semakin tinggi nilai  $L_{z0}$  juga akan memberikan dimensi struktur yang lebih besar pada *power divider*. Sedangkan semakin rendah nilai  $L_{z0}$ , nilai *insertion loss*

sudah hampir seragam. Akan tetapi terdapat perbedaan nilai *insertion loss* yang cukup tinggi pada frekuensi 3 GHz sebesar 2,9 dB. Pada frekuensi tersebut, nilai *insertion loss* yang dihasilkan juga mencapai -12 dB yang berarti akan terjadi *notch-band* sehingga daya tidak tersalurkan ke *port output power divider*. Semakin rendah nilai  $L_{z0}$  juga akan memberikan pengaruh isolasi pada *port output power divider* karena jarak yang terlalu dekat antar *port* dan juga akan mengalami kesulitan pada saat ingin memasang konektor SMA.

Berdasarkan pertimbangan tersebut, maka digunakan nilai tengah  $L_{z0}$  dari hasil *parameter sweep* sebesar 10,5 mm pada rancangan *1 to 4 power divider*. Dengan menggunakan nilai  $L_{z0}$  tersebut yang mampu mengurangi selisih nilai *insertion loss* pada frekuensi 2,63 GHz dari 3 dB menjadi 1,4 dB dan juga pada frekuensi 3 GHz dari 2,9 dB menjadi 1,3 dB. Maka dari itu, nilai  $L_{z0}$  tersebut merupakan nilai yang paling optimum pada perancangan saluran transformasi  $\lambda/4$  pada *power divider*.

Respon fase pada *port output power divider* dengan menggunakan *parameter sweep* menunjukkan hasil yang seragam pada tiap nilai  $L_{z0}$ . Sehingga nilai  $L_{z0}$  sebesar 10,5 mm akan digunakan pada rancangan *1 to 4 power divider*.

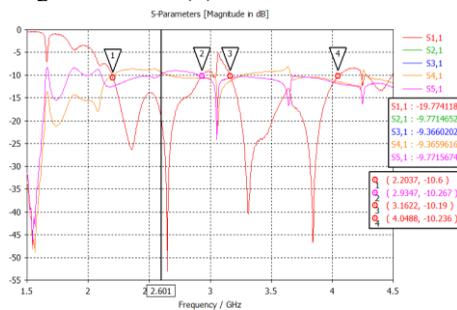
#### 4.2.2 Hasil Simulasi Modifikasi *1 to 4 power divider*

Setelah perancangan penambahan saluran transformasi  $\lambda/4$  mendapatkan hasil simulasi yang sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan, selanjutnya dilakukan modifikasi penyambungan desain *power divider* awal menuju *power divider* duplikasi. Struktur pada saluran transformasi  $\lambda/4$  akan ditambahkan bentuk vertikal setelah ujung bentuk horizontal untuk memberikan jarak pada *port output power divider* untuk menghindari adanya isolasi antar *port* yang terlalu berdekatan. Penambahan *full ground plane* pada struktur *power divider* dilakukan untuk mempermudah proses fabrikasi hasil rancangan. Hasil simulasi *1 to 4 power divider* dapat dilihat pada gambar 4.6.1 (a).

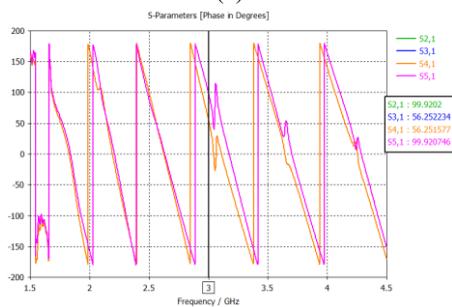
*Power divider* dengan metode HMSIW menghasilkan nilai *return loss*  $\leq -10$  dB pada rentang frekuensi 2,2-2,93 GHz dan 3,16-4,04 GHz. Dari hasil tersebut telah menunjukkan rentang frekuensi kerja yang lebar dan sudah memenuhi spesifikasi perancangan. Pada hasil dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa nilai *insertion loss* dari  $S_{21}$  sama dengan nilai *insertion loss* dari  $S_{51}$  dan juga nilai *insertion loss* dari  $S_{31}$  sama dengan nilai *insertion loss* dari  $S_{41}$ . Hal ini disebabkan adanya ketidaksimetrisan dari jarak antar *port output* dari hasil penambahan saluran transformasi

$\lambda/4$  yang dibentuk dengan struktur vertikal. Pada rentang frekuensi tersebut, keseimbangan daya *output* yang dihasilkan *power divider* berada pada nilai  $-9,58 \pm 1,4$  dB. Kondisi tersebut menyebabkan daya yang keluar dari *power divider* tidak mencapai seperempatnya tetapi dari hasil tersebut sudah memenuhi spesifikasi pada perancangan. Namun terdapat perbedaan nilai *insertion loss* yang cukup tinggi pada rentang frekuensi 2,2-2,32 GHz dan 3,57-3,66 GHz sebesar  $\geq 2,5$  dB. Pada frekuensi 3,65 juga terjadi *notch-band* yang menyebabkan daya tidak tersalurkan ke *port output*. Hal ini disebabkan karena adanya isolasi yang masih tinggi pada tiap *port output*. Maka dari itu, diperlukan penelitian lebih lanjut untuk memperbaiki nilai isolasi pada rancangan *1 to 4 power divider*.

Respon fase pada *port output power divider* menunjukkan pergeseran fase yang seragam dari kelima *port output* seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.6.1 (b).



(a)

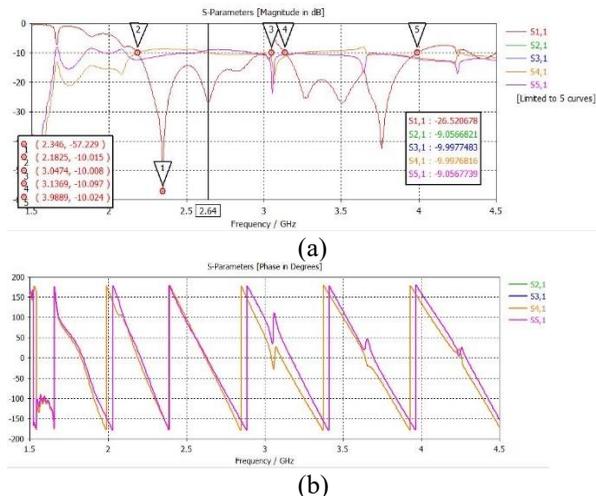


(b)

**Gambar 4.7** Hasil Simulasi 1 to 4 Power Divider dengan Metode HMSIW (a) Respon Magnitude (b) Respon Fase

Hasil simulasi *1 to 4 power divider* QMSIW dapat dilihat pada gambar 4.6.2 (a). *Power divider* dengan metode QMSIW menghasilkan nilai *return loss*  $\leq -10$  dB pada rentang frekuensi 2,18-3,04 GHz dan 3,13-3,98 GHz. Dari hasil tersebut telah menunjukkan rentang frekuensi kerja yang lebar dan sudah memenuhi spesifikasi perancangan. Pada hasil dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa nilai *insertion loss* dari  $S_{21}$  sama dengan nilai *insertion loss* dari  $S_{51}$  dan juga nilai *insertion loss* dari  $S_{31}$  sama dengan nilai *insertion loss* dari  $S_{41}$ . Hal ini disebabkan adanya ketidaksimetrisan dari jarak antar *port output* dari hasil penambahan saluran transformasi  $\lambda/4$  yang dibentuk dengan struktur vertikal. Pada rentang frekuensi tersebut, keseimbangan daya *output* yang dihasilkan *power divider* berada pada nilai  $-9,52 \pm 1,2$  dB. Kondisi tersebut menyebabkan daya yang keluar dari *power divider* tidak mencapai seperempatnya tetapi dari hasil tersebut sudah memenuhi spesifikasi pada perancangan. Maka dari itu, diperlukan penelitian lebih lanjut untuk memperbaiki nilai isolasi pada rancangan *1 to 4 power divider*.

Respon fase pada *port output power divider* menunjukkan pergeseran fase yang seragam dari kelima *port output* seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.6.2 (b).

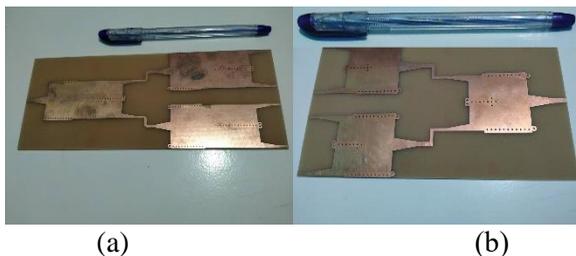


**Gambar 4.8** Hasil Simulasi *1 to 4 Power Divider* dengan Metode QMSIW (a) Respon Magnitude (b) Respon Fase

Dari hasil simulasi *1 to 4 power divider* pada hasil perancangan bekerja paling optimal pada frekuensi 2,6 GHz untuk metode HMSIW dan bekerja paling optimal pada frekuensi 2,45 GHz untuk metode QMSIW. Hal ini dapat dilihat dari nilai *return loss* yang mendekati -20 dB dan juga nilai *insertion loss* yang berada pada kisaran -9,5 dB pada tiap *port output*. Sehingga *1 to 4 power divider* yang mampu bekerja optimum pada frekuensi 2,6 GHz ini dapat diaplikasikan pada sistem 5G. Pada frekuensi 2,6 GHz ini juga menunjukkan bahwa *1 to 4 power divider* menghasilkan daya output sebesar 1/9 pada tiap *port output* sedangkan sisa dayanya sebesar 55,5 % berubah menjadi *loss*. Penambahan komponen resistif pada *port output* dan juga pergantian bahan substrat dengan permitivitas relatif yang lebih tinggi dapat diterapkan pada penelitian *1 to 4 power divider* selanjutnya untuk mendapatkan hasil *loss power divider* yang lebih baik. Hasil perancangan *1 to 4 power divider* akan menjadi desain yang difabrikasi.

### 4.3 Perbandingan Pengukuran Hasil Fabrikasi

Desain rancangan *1 to 4 power divider* yang sudah memenuhi spesifikasi perancangan telah difabrikasi dan kemudian dilakukan pengukuran. Hasil fabrikasi struktur *power divider* seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.8 (a) memiliki dimensi lebar 87,2 mm dan panjang 209 mm dan (a) memiliki dimensi lebar 87,2 mm dan panjang 143 mm.



**Gambar 4.9** (a) Tampak Depan HMSIW dan (b) Tampak Depan QMSIW Hasil Fabrikasi *1 to 4 power divider*

Pengukuran *power divider* menggunakan instrumen *vector network analyzer* (NA) *Agilent N9923A fieldfox* untuk mengetahui karakteristik *power divider* yang dianalisis berdasarkan s-parameter *power divider*. Pengukuran dilakukan di Laboratorium Antena dan Propagasi Teknik Elektro ITS. Teknik pengukuran *5 port power divider* pada *2 port vector*

*network analyzer* dengan melakukan terminasi tiap *port output* yang tidak terpakai dengan beban  $50 \Omega$ . Dari tahap awal pengukuran pada perangkat *vector network analyzer* didapatkan nilai *loss* dari kabel sebesar  $0,5 \text{ dB}$ . Dikarenakan kabel yang digunakan sebanyak 2 kabel maka *loss* dari kabel menjadi sebesar  $1 \text{ dB}$ . Hasil *loss* dari kabel tersebut akan digunakan untuk mengkompensasi nilai pada hasil pengukuran *power divider*.



**Gambar 4.10** Pengukuran *Power Divider* Menggunakan *Vector Network Analyzer*

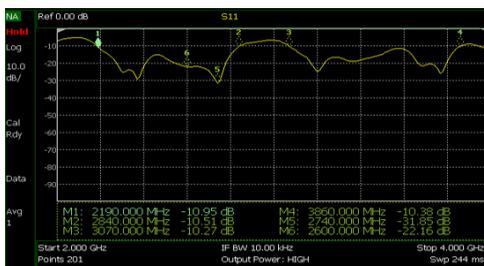
Hasil pengukuran *return loss power divider* dengan metode HMSIW ditunjukkan pada gambar 4.9. Dari hasil pengukuran tersebut menunjukkan grafik yang tidak jauh berbeda dari hasil simulasi. Hasil pengukuran *return loss* menghasilkan nilai  $\leq -10 \text{ dB}$  pada rentang frekuensi  $2,19\text{-}2,84 \text{ GHz}$  dan  $3,07\text{-}3,86 \text{ GHz}$ . Pada rentang frekuensi  $2,23\text{-}2,8 \text{ GHz}$  nilai *return loss* menghasilkan nilai  $\leq -15 \text{ dB}$ . Nilai *return loss* pada frekuensi kerja optimum pada *power divider*  $2,6 \text{ GHz}$  menunjukkan nilai  $-22,16 \text{ dB}$ . Perbandingan hasil simulasi dan pengukuran *return loss* ditunjukkan pada tabel 4.2.

Hasil pengukuran *return loss power divider* dengan metode QMSIW ditunjukkan pada gambar 4.10. Hasil pengukuran *return loss* menghasilkan nilai  $\leq -10 \text{ dB}$  pada rentang frekuensi  $2,23\text{-}2,62 \text{ GHz}$ . Nilai *return loss* pada frekuensi kerja optimum pada *power divider*  $2,6 \text{ GHz}$  menunjukkan nilai  $-46,37 \text{ dB}$ . Perbandingan hasil simulasi dan pengukuran *return loss* ditunjukkan pada tabel 4.3.

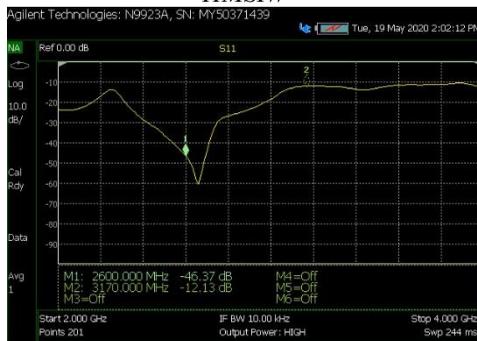
Dari hasil pengukuran dengan metode HMSIW tersebut, nilai yang didapatkan masih belum dikurangi dengan adanya *loss* dari kabel. *Loss* yang dihasilkan dari kabel yang digunakan sebesar  $1 \text{ dB}$ . Maka tiap nilai

yang didapatkan akan dikurangi dengan 1 dB. Sehingga rentang frekuensi kerja pada *power divider* menjadi 2,2-2,83 GHz dan 3,08-3,85 GHz. Nilai *return loss* yang didapat dari hasil pengukuran sebesar  $\leq -10$  dB dan juga pada frekuensi kerja optimum 2,6 GHz menjadi -21,16 dB.

Sedangkan dari hasil pengukuran dengan metode QMSIW tersebut, nilai yang didapatkan masih belum dikurangi dengan adanya *loss* dari kabel. *Loss* yang dihasilkan dari kabel yang digunakan sebesar 1 dB. Maka tiap nilai yang didapatkan akan dikurangi dengan 1 dB. Sehingga rentang frekuensi kerja pada *power divider* menjadi 2,24-2,61 GHz. Nilai *return loss* yang didapat dari hasil pengukuran sebesar  $\leq -10$  dB dan juga pada frekuensi kerja optimum 2,6 GHz menjadi -45,37 dB. Perbandingan hasil simulasi dan pengukuran *return loss* ditunjukkan pada tabel 4.2.1



**Gambar 4.11** Hasil Pengukuran Return Loss pada Power Divider  
HMSIW



**Gambar 4.12** Hasil Pengukuran Return Loss pada Power Divider  
QMSIW

**Tabel 4.2** Perbandingan Return Loss dari Hasil Simulasi dan Pengukuran HMSIW

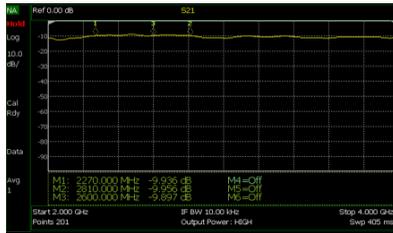
Parameter	Simulasi	Pengukuran	Perbedaan
<i>Return loss</i>	$\leq -10$ dB	$\leq -10$ dB	0 dB
$S_{11}$ pada 2,6 GHz	-19,77 dB	-21,16 dB	1,39 dB

**Tabel 4.3** Perbandingan Return Loss dari Hasil Simulasi dan Pengukuran QMSIW

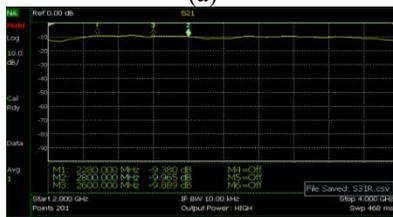
Parameter	Simulasi	Pengukuran	Perbedaan
<i>Return loss</i>	$\leq -10$ dB	$\leq -10$ dB	0 Db
$S_{11}$ pada 2,6 GHz	-26,52 dB	-45,37 dB	18,85 dB

Hasil pengukuran  $S_{21}$ ,  $S_{31}$ ,  $S_{41}$  dan  $S_{51}$  ditunjukkan pada gambar 4.11. Pada grafik hasil pengukuran menunjukkan nilai yang tidak jauh berbeda dengan hasil simulasi. Untuk metode HMSIW pada rentang frekuensi kerja *power divider*; keseimbangan daya *output* berada pada  $-9,89 \pm 0,8$  dB. Sedangkan pada frekuensi 2,6 GHz pada *power divider*, tiap nilai *insertion loss* menunjukkan sedikit perbedaan dari hasil simulasi. Pada  $S_{21}$  nilai *insertion loss* berada pada nilai -9,89 dB, pada  $S_{31}$  nilai *insertion loss* berada pada nilai -9,88 dB, pada  $S_{41}$  nilai *insertion loss* berada pada nilai -9,42 dB dan pada  $S_{51}$  nilai *insertion loss* berada pada nilai -9,89 dB. Perbandingan hasil simulasi dan pengukuran untuk parameter *insertion loss* ditunjukkan pada tabel 4.4.

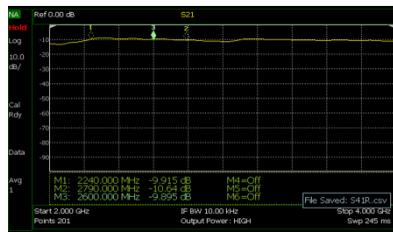
Hasil pengukuran  $S_{21}$ ,  $S_{31}$ ,  $S_{41}$  dan  $S_{51}$  ditunjukkan pada gambar 4.12. Pada grafik hasil pengukuran menunjukkan nilai yang tidak jauh berbeda dengan hasil simulasi. Untuk metode QMSIW pada rentang frekuensi kerja *power divider*; keseimbangan daya *output* berada pada  $-9,92 \pm 0,8$  dB. Sedangkan pada frekuensi 2,6 GHz pada *power divider*, tiap nilai *insertion loss* menunjukkan sedikit perbedaan dari hasil simulasi. Pada  $S_{21}$  nilai *insertion loss* berada pada nilai -10,02 dB, pada  $S_{31}$  nilai *insertion loss* berada pada nilai -9,76 dB, pada  $S_{41}$  nilai *insertion loss* berada pada nilai -9,76 dB dan pada  $S_{51}$  nilai *insertion loss* berada pada nilai -10,17 dB. Perbandingan hasil simulasi dan pengukuran untuk parameter *insertion loss* ditunjukkan pada tabel 4.5.



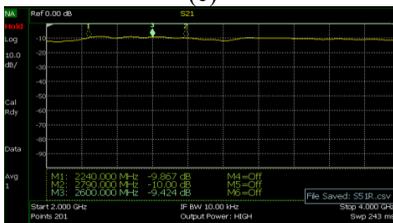
(a)



(b)

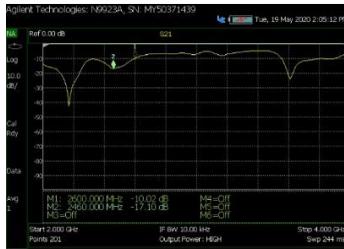


(c)

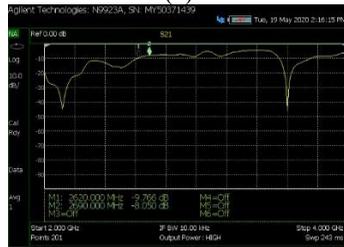


(d)

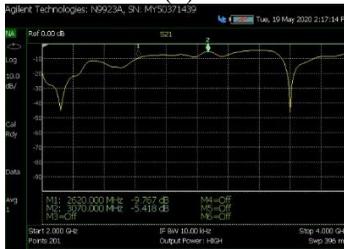
**Gambar 4.13** Hasil Pengukuran Insertion Loss pada Power Divider HMSIW (a)  $S_{21}$  (b)  $S_{31}$  (c)  $S_{41}$  (d)  $S_{51}$



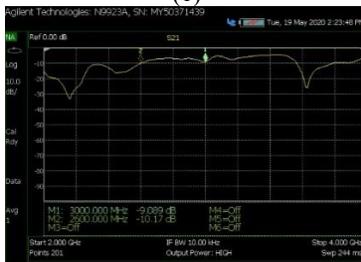
(a)



(b)



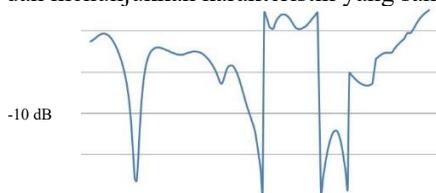
(c)



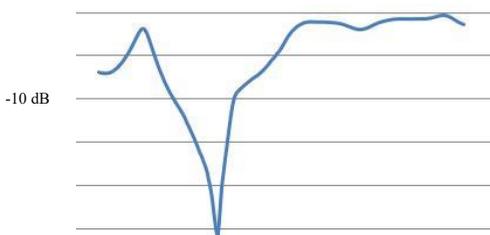
(d)

**Gambar 4.14** Hasil Pengukuran Insertion Loss pada Power Divider QMSIW (a)  $S_{21}$  (b)  $S_{31}$  (c)  $S_{41}$  (d)  $S_{51}$

Setelah memperoleh perbandingan nilai *return loss* dan *insertion loss* dari hasil simulasi dan pengukuran, tiap hasil dari s-parameter tersebut akan dibentuk dan dibuat suatu grafik. Hasil dari gabungan tiap s-parameter baik simulasi maupun pengukuran akan ditampilkan pada gambar 4.15 - 4.18. Dari grafik - grafik tersebut menunjukkan bahwa hasil pengukuran *power divider* tidak terdapat perbedaan yang cukup signifikan dan menunjukkan karakteristik yang sama.



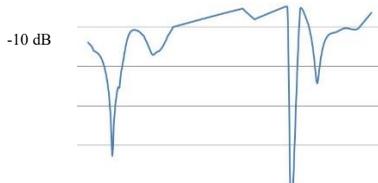
**Gambar 4.15** Grafik Return Loss HMSIW



**Gambar 4.16** Grafik Return Loss QMSIW



**Gambar 4.17** Grafik Insertion Loss HMSIW



**Gambar 4.18** Grafik Insertion Loss QMSIW

Secara umum dari hasil pengukuran tersebut, pada rentang frekuensi kerja *power divider*, keseimbangan daya *output* HMSIW nilainya  $-9,9 \pm 0,8$  dB. Pada frekuensi 2,6 GHz,  $S_{21}$  memiliki nilai -9,89 dB,  $S_{31}$  memiliki nilai -9,88 dB,  $S_{41}$  memiliki nilai -9,89 dB dan  $S_{51}$  memiliki nilai -9,42 dB. Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa nilai *insertion loss* pada hasil pengukuran memiliki nilai yang sama baiknya dengan hasil simulasi.

**Tabel 4.4** Perbandingan Insertion Loss dari Hasil Simulasi dan Pengukuran Metode HMSIW

Parameter	Simulasi	Pengukuran	Perbedaan
$S_{21}$ pada 2,6 GHz	-9,77 dB	-9,89 dB	0,12 dB
$S_{31}$ pada 2,6 GHz	-9,36 dB	-9,88 dB	0,52 dB
$S_{41}$ pada 2,6 GHz	-9,36 dB	-9,89 dB	0,53 dB
$S_{51}$ pada 2,6 GHz	-9,77 dB	-9,42 dB	0,35 dB
Equality $\pm$ ripple	$-9,58 \pm 1,4$ dB	$-9,9 \pm 0,8$ dB	0,32 dB

**Tabel 4.5** Perbandingan Insertion Loss dari Hasil Simulasi dan Pengukuran Metode QMSIW

Parameter	Simulasi	Pengukuran	Perbedaan
$S_{21}$ pada 2,6 GHz	-9,05 dB	-10,02 dB	1,03 dB
$S_{31}$ pada 2,6 GHz	-9,99 dB	-9,76 dB	0,23 dB
$S_{41}$ pada 2,6 GHz	-9,99 dB	-9,76 dB	0,23 dB
$S_{51}$ pada 2,6 GHz	-9,05 dB	-10,17 dB	1,12 dB
Equality $\pm$ ripple	$-9,52 \pm 1,2$ dB	$-9,92 \pm 0,8$ dB	0,4 dB

Keseimbangan daya *output* QMSIW nilainya  $-9,92 \pm 0,8$  dB. Pada frekuensi 2,6 GHz,  $S_{21}$  memiliki nilai -10,02 dB,  $S_{31}$  memiliki nilai -9,76 dB,  $S_{41}$  memiliki nilai -9,76 dB dan  $S_{51}$  memiliki nilai -10,17 dB. Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa nilai *insertion loss* pada hasil pengukuran memiliki nilai yang sama baiknya dengan hasil simulasi.

**Tabel 4.6** Perbandingan Daya Output dan Loss yang Dihasilkan pada *Power Divider*

Parameter	Simulasi	Pengukuran
Daya output <i>power divider</i>	44,8 %	52,8%
Loss yang dihasilkan <i>power divider</i>	55,2 %	47,2%

Setelah dilakukan pengukuran, dari perbandingan nilai menunjukkan bahwa hasil simulasi dan pengukuran *power divider* tidak terdapat perbedaan yang cukup signifikan dan menunjukkan karakteristik yang sama.

Pada frekuensi kerja optimum *power divider* 2,6 GHz, hasil simulasi menunjukkan nilai *insertion loss* yang berada pada kisaran -9,5 dB pada tiap *port output* yang berarti bahwa 1 to 4 *power divider* menghasilkan daya output sebesar 11,2 % pada tiap *port output* dan sisa dayanya sebesar 55,2 % berubah menjadi *loss*. Sedangkan pada hasil pengukuran, nilai *insertion loss* berada pada kisaran -8,9 dB pada tiap *port output* yang berarti bahwa 1 to 4 *power divider* menghasilkan daya output sebesar 13,2 % pada tiap *port output* dan sisa dayanya sebesar 47,2% berubah menjadi *loss*. Perbandingan daya yang diterima pada *port output power divider* dan *loss* pada *power divider* dapat dilihat pada tabel 4.6.

Untuk nilai s-parameter hasil pengukuran secara keseluruhan dianggap telah memenuhi spesifikasi pada perancangan. Untuk lebih jelas, parameter-parameter yang termasuk dalam spesifikasi perancangan dibandingkan dengan hasil yang didapatkan pada simulasi dan pengukuran. Perbandingan parameter tersebut dapat dilihat pada tabel 4.7.

**Tabel 4.7** Perbandingan Ketercapaian Parameter Hasil Rancangan dengan Spesifikasi Perancangan untuk (a) HMSIW (b) QMSIW

<i>Parameter</i>	<i>Spesifikasi perancangan</i>	<i>Simulasi</i>	<i>Pengukuran</i>
<i>Frekuensi kerja</i>	2-4 GHz	2,2-2,93 dan 3,16-4,04 GHz	2,19-2,84 dan 3,07-3,86 GHz
<i>Fractional Bandwidth</i>	$\geq 20\%$	52,9%	48,6%
<i>Return loss</i>	$\leq -10$ dB	$\leq -10$ dB	$\leq -10$ dB
<i>Insertion loss</i>	$\geq -10$ dB (toleransi $\leq 1$ dB)	$\geq -10$ dB	$\geq -10$ dB

(a)

<i>Parameter</i>	<i>Spesifikasi perancangan</i>	<i>Simulasi</i>	<i>Pengukuran</i>
<i>Frekuensi kerja</i>	2-4 GHz	2,18-3,04 dan 3,13-3,98 GHz	2,23-3,17 GHz
<i>Fractional Bandwidth</i>	$\geq 20\%$	59,1%	34,8%
<i>Return loss</i>	$\leq -10$ dB	$\leq -10$ dB	$\leq -10$ dB
<i>Insertion loss</i>	$\geq -10$ dB (toleransi $\leq 1$ dB)	$\geq -10$ dB	$\geq -10$ dB

(b)

## BAB 5 PENUTUP

Pada akhir bab ini, 1 to 4 *power divider* dengan metode HMSIW dan QMSIW telah selesai dirancang untuk memenuhi spesifikasi perancangan yang ditentukan untuk keperluan sistem 5G pada frekuensi 2,6 GHz dan dalam rentang frekuensi kerja *S-band*. Dari penelitian yang telah dilakukan menghasilkan beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari pembahasan bab-bab sebelumnya. Kekurangan yang didapat dari hasil akhir perancangan juga dirangkum pada bab ini untuk dapat dikembangkan pada penelitian selanjutnya.

### 5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil perancangan *power divider* 1 to 4 dengan metode HMSIW dan QMSIW ini adalah:

1. Pada penelitian ini telah dihasilkan prosedur perancangan 1 to 4 *power divider* dengan metode HMSIW dan QMSIW dari hasil pengembangan desain *power divider* 1 to 2 dari *paper* referensi yang dimodifikasi sehingga dihasilkan konfigurasi 5 port *power divider* untuk aplikasi sistem 5G serta parameter yang penting untuk dipertimbangkan dalam perancangan pada rentang tersebut meliputi frekuensi kerja dan *scattering parameter*.
2. 1 to 4 *power divider* dengan metode HMSIW dan QMSIW ini dirancang dengan substrat berpermitivitas tinggi dan dapat meminimalkan dimensi dari struktur *power divider* hingga menghasilkan dimensi  $209 \times 87,2$  mm dan  $143 \times 87,2$  mm.
3. Metode HMSIW dan QMSIW dapat digunakan untuk mereduksi struktur *power divider* hingga 51,6 % dan 26,1 %.
4. *Power divider* dengan metode HMSIW telah memenuhi spesifikasi perancangan dengan nilai *return loss* ( $S_{11}$ ) dibawah -10 dB yaitu -21,16 dB, nilai *insertion loss* ( $S_{21}$ ,  $S_{31}$ ,  $S_{41}$  dan  $S_{51}$ ) diatas -10 dB dengan *power equality*  $-9,9 \pm 0,88$  dB.
5. *Power divider* dengan metode QMSIW telah memenuhi spesifikasi perancangan dengan nilai *return loss* ( $S_{11}$ ) dibawah -10 dB yaitu -45,37 dB, nilai *insertion loss* ( $S_{21}$ ,  $S_{31}$ ,  $S_{41}$  dan  $S_{51}$ ) diatas -10 dB dengan *power equality*  $-9,92 \pm 0,88$  dB.

6. Pada frekuensi kerja 2,6 GHz daya output yang dihasilkan oleh *power divider* sebesar 44,8 % pada hasil simulasi dan 52,8 % pada hasil pengukuran.
7. Pada frekuensi kerja 2,6 GHz, *loss* yang dihasilkan oleh *power divider* sebesar 55,2 % pada hasil simulasi dan 47,2 % pada hasil pengukuran.

## 5.2 Saran

Saran untuk perancangan *power divider* selanjutnya:

1. *Power divider* dengan bahan FR4 menghasilkan nilai *insertion loss* yang masih kurang baik. Penggantian substrat dengan menggunakan bahan yang memiliki permitivitas lebih tinggi disarankan dapat diterapkan pada penelitian selanjutnya.
2. 1 to 4 *power divider* menghasilkan respon fase yang memiliki beda fase pada frekuensi antara 3 GHz. Penambahan perangkat *phase shifter* pada *port output power divider* dapat diterapkan pada penelitian selanjutnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] 5G-PPP, "5G Vision 5G Infrastructure Public Private Partnership: the next generation of communication networks and services", 2015
- [2] Warren, D., & Dewar, C., "Understanding 5G : Perspectives on Future Technological Advancements in Mobile", gSMA Intelligence London. 2014.
- [3] Huawei Technologies Co., Ltd., "5G Antenna White Paper : New 5G, New Antenna", 2019
- [4] Haupt, Randy L., "Antenna Arrays A Computational Approach", John Wiley & Sons:2010
- [5] Roh, W., Seol, J.-Y., Park, J., Lee, B., Lee, J., Kim, Y., Aryanfar, F., "Millimeterwave beamforming as an enabling technology for 5G cellular communications: theoretical feasibility and prototype results. IEEE Communications Magazine, 52(2), 106–113.", 2014
- [6] D. Pozar, Microwave Engineering Fourth Edition. John Wiley & Sons, Inc., 2011.
- [7] Balanis C A, "Antenna Theory Analysis and Design 4<sup>th</sup> Edition", John Wiley. 2016.
- [8] Ludwig R, Bretchko P, "RF Circuit Design Theory and Application", Prentice Hall. 2000.
- [9] Chen X P and Wu K, "Substrate Integrated Waveguide Filter", IEEE microwave magazine. 2014
- [10] Yang T, Zhang C, Lin S, Fathy A, "Development of an Ultra Wideband Vivaldi Antenna Array", IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium. 2005.
- [11] Germain S. Deslandes D, "Development of Substrate Integrated Waveguide Power Dividers", IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering. 2003.
- [12] Liu B, Hong W, Tian L, Zhu H B, Jiang W and Wu K, "Half Mode Substrate Integrated Waveguide (HMSIW) Multi-way Power Divider", Proceedings of Asia Pacific Microwave Conference. 2006.
- [13] Jin H Y, Wen G J, and Jin Y B, "Novel Spatial Power Combiner Based on SIW and HMSIW", IEEE MTT-S.2008
- [14] Zou X, Tong C M, and Yu D W, "Y-Junction Power Divider based on Substrate Integrated Waveguide", Electronics Letters,

- Vol. 47, No. 25. 2011.
- [15] Chen S Y, Zhang D S and Yu Y T, “Wideband SIW Power Divider with Improved Out of band Rejection”, *Electronics Letters*, Vol. 49, No. 15. 2013.
  - [16] Kazemi R and Fathy A, “Design of Single Ridge SIW Power Divider with Over 75% Bandwidth”. *IEEE MTT-S*. 2014.
  - [17] Bozzi M Georgiadis A and Wu K, “Review of Substrate Integrated Waveguide Circuits and Antennas”, *IET Microwaves*. 2011.
  - [18] Sanchez J and Ayala V G, “General EM-Based Design Procedure for Single Layer Substrate Integrated Waveguide Interconnects with Microstrip Transitions”, *IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest*, Atlanta, GA, pp. 983-986. 2008.
  - [19] Kordiboroujeni Z, “New Wideband Transition from Microstrip Line to Substrate Integrated Waveguide”, *IEEE Transaction on Microwave Theory and Techniques*, vol. 62, no.12, 2983-2989. 2014.
  - [20] Wirawan A P, Mukti P H, and Setijadi E, “Design of Substrate Intergated Waveguide Based Power Divider for S Band Applications”, *ICRAMET*. 2015.
  - [21] Wirawan A P, and Setijadi E, “Ultrawide Band Power Divider Based on Substrate Integrated Waveguide (SIW) for S-Band Applications” *ARNP*. 2018.

*Lembar ini sengaja dikosongkan*

## **BIOGRAFI PENULIS**



Amirul Dipo adalah seorang mahasiswa Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember 2016. Ia lahir di Kota Lamongan pada tanggal 1 Oktober 1997. Selama di perkuliahan penulis aktif dalam beberapa kegiatan kemahasiswaan baik di dalam jurusan maupun di luar jurusan. Penulis juga melakukan penelitian tugas akhir di Laboratorium Antena dan Propagasi.

*Lembar ini sengaja dikosongkan*