





HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Indah Riyanti

NPM : 0606029422

Tanda Tangan :

Tanggal : Juni 2010

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Indah Riyanti
NPM : 0606029422
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Perancangan Microstrip Branch Line Coupler dengan T-Junction untuk Mobile WiMAX pada Frekuensi 2,3 GHz

Telah berhasil dipertahankan di hadapan dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Gunawan Wibisono M.Sc., Ph.D.
Penguji : Dr. Ir. Agus Santoso Tamsir MT
Penguji : Ir. Purnomo Sidi Priambodo M.Sc., Ph.D.



Ditetapkan di : Depok
Tanggal : 30 Juni 2010

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya panjatkan kepada ALLAH SWT, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Saya menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada :

- (1) Ir. Gunawan Wibisono, M.Sc, Ph.D selaku pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- (2) Ir. Yuli Kurnia Ningsih, MT., mahasiswa S3 Teknik Elektro UI, yang telah banyak sekali membantu saya dalam memahami tema skripsi ini;
- (3) orang tua dan keluarga yang amat saya cintai yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral
- (4) teman-teman satu kelompok bimbingan yang telah saling memberikan bantuan dan saling mengingatkan;
- (5) teman-teman satu angkatan Teknik Elektro 2006 yang telah saling mendoakan dan menyemangati;
- (6) Indra Kusuma yang selalu memberi semangat dalam mengerjakan skripsi;
- (7) dan seluruh Sivitas akademik Departemen Teknik Elektro yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.

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

Depok, Juni 2010

Indah Riyanti

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

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

Nama : Indah Riyanti
NPM : 0606029422
Program Studi : Teknik Elektro
Departemen : Teknik Elektro
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

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

**PERANCANGAN MICROSTRIP BRANCH LINE COUPLER DENGAN T-
JUNCTION UNTUK MOBILE WIMAX PADA FREKUENSI 2,3 GHZ**

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Jakarta

Pada tanggal : Juni 2010

Yang menyatakan

(Indah Riyanti)

ABSTRAK

Nama : Indah Riyanti
Program Studi : Teknik Elektro
Judul : Perancangan Microstrip Branch Line Coupler dengan T-Junction untuk *Mobile WiMAX* pada Frekuensi 2,3 GHz

Sistem *Mobile WiMAX* di Indonesia direncanakan bekerja pada frekuensi 2,3 GHz dengan menggunakan teknologi *Time Division Duplex* (TDD). Pada TDD, *transmitter* dan *receiver* menggunakan satu pita frekuensi yang sama. Hal yang harus diperhatikan pada TDD adalah pemisahan antara sinyal yang ditransmisikan dengan sinyal yang diterima. Fungsi *coupler* pada RF *WiMAX* dirancang sebagai pemisah sinyal yang ditransmisikan dengan yang diterima. Pada *branch line coupler* terdapat dua output yang bernilai sama besar dengan beda fasa sebesar 90° . Perbedaan fasa inilah yang digunakan sebagai pemisah antara *transmitter* dengan *receiver*.

Pada skripsi ini dirancang *microstrip branch line coupler* dengan T-Junction yang bekerja pada frekuensi 2,3 GHz dengan nilai kedua output sebesar -3dB dan beda fasa 90° . Tahapan yang dilakukan adalah merancang panjang dan lebar untuk setiap saluran impedansi pada *microstrip branch line coupler* dengan menggunakan substrat FR4 yang memiliki konstanta dielektrik sebesar 4,6 dengan ketebalan 1,6 mm.

Dari hasil perancangan didapat frekuensi kerja dari *microstrip branch line coupler* adalah 2,300 GHz, *output port* pada *port 2* adalah $-2,754\text{dB}$ dan pada *port 3* adalah $-3,298$, beda fasa kedua *output* sebesar $90,038^\circ$, besarnya *return loss* adalah $-30,689\text{ dB}$, isolasi sebesar $-31,185\text{ dB}$, VSWR sebesar 1,060, dan *bandwidth* sebesar 200MHz

Kata kunci : *Time Division Duplex, RF WiMAX, branch line coupler, microstrip branch line coupler, FR4*

ABSTRACT

Name : Indah Riyanti
Study Program : Teknik Elektro
Title : Design of Microstrip Branch Line Coupler with T-Junction for Mobile WiMAX at 2,3 GHz

Mobile WiMAX system in Indonesia operates at 2,3 GHz frequency by using Time Division Duplex (TDD) technology. In TDD, the transmitter and the receiver use the same single frequency band. In TDD, thing that must be considered is the separation between the transmitted signals with the received signals. The function of the coupler in RF WiMAX is to separate the transmitted signal to the received signal. At the branch line coupler there are two equal output values with the phase difference of 90° . The phase difference is used as the separator between the transmitter and the receiver.

In this paper, a microstrip branch line coupler with a T-Junction will be designed which is operated at 2,3 GHz frequency with two equal output values of - 3dB and 90° phase differences. In here also the length and width for each impedance line of the microstrip branch line coupler using FR4 substrate with a dielectric constant of 4,6 and a thickness of 1,6 mm are calculated.

It is shown from the results that the microstrip branch line coupler operates at 2,300 GHz, the output port on port 2 is - 2,754 dB and at port 3 is - 3,298 dB, phase shift between the two output is $90,038^\circ$, the return loss is -30,689 dB, the isolation is -31,185 dB, the VSWR is 1,060, and the bandwidth is 200 MHz.

Keyword : Time Division Duplex, RF WiMAX, branch line coupler, microstrip branch line coupler, FR4

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
UCAPAN TERIMA KASIH	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI ILMIAH	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 TUJUAN	2
1.3 BATASAN MASALAH	3
1.4 SISTEMATIKA PENULISAN	3
BAB 2 BRANCH LINE COUPLER	4
2.1 Coupler pada WiMAX	4
2.2 Power Divider dan Directional Coupler	5
2.2.1 Pendahuluan	5
2.3 Quadrature (90°) Hybrid (Branch Line Coupler)	6
2.3.1 Karakteristik Branch Line Coupler	6
2.4 Microstrip Line	12
2.4.1 Microstrip Branch Line Coupler	12
2.5 Discontinuity	15
2.5.1 T-junction Discontinuity	16
BAB 3 PERANCANGAN MICROSTRIP BRANCH LINE COUPLER	18
3.1 Spesifikasi Kerja Branch Line Coupler	18
3.2 Menentukan Jenis Substrat yang Digunakan	19
3.3 Desain dari Branch Line Coupler	19
3.4 Parameter Fisik Microstrip Branch Line Coupler	20
3.5 T-junction Discontinuity	22
BAB 4 HASIL SIMULASI DAN ANALISA	26
4.1 Rangkaian Microstrip Branch Line Coupler	26
4.2 Hasil Simulasi dan Analisa Rangkaian Microstrip Branch Line Coupler	27
4.3 Perbandingan Menggunakan Substrat Jenis Lain	34
4.3.1 Alumina	34

4.3.2 Di-clad 522	36
4.4 Alasan Penggunaan FR4 dibanding Roger 4003	39
4.5 Penggunaan Juntion Lain	40
BAB 5 KESIMPULAN	45
DAFTAR ACUAN	46



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Arsitektur RF WiMAX yang menggunakan antena Multiple Input Multiple Output (MIMO) 2x2 [1]	4
Gambar 2.2.	(a). <i>Power division</i> . (b). <i>Power combining</i> [6]	5
Gambar 2.3.	<i>Branch line coupler</i> [6]	6
Gambar 2.4.	Panjang <i>branch line</i> dan <i>series line</i> pada <i>coupler</i> [11]	13
Gambar 2.5.	Geometri pada <i>microstrip line</i> yang digunakan pada <i>branch line coupler</i> [11]	13
Gambar 2.6.	Geometri <i>microstrip branch line coupler</i> [11]	14
Gambar 2.7.	Beberapa <i>discontinuity</i> pada <i>microstrip</i> (a). <i>open-ended microstrip</i> . (b). <i>Gap</i> pada <i>microstrip</i> . (c). Perubahan <i>width</i> . (d). <i>T-junction</i> . (e). <i>Coax-microstrip junction</i> [11]	16
Gambar 2.8.	Geometri dari <i>T-junction</i> [9]	17
Gambar 3.1.	Geometri <i>branch line coupler</i>	20
Gambar 3.2.	Geometri <i>branch line coupler</i> yang dirancang	22
Gambar 3.3.	Geometri dari <i>T-Junction</i> . (a). <i>T-junction</i> dengan $W_{11} = 50$, $W_{21} = 35$, $W_{31} = 50$. (b). <i>T-junction</i> dengan $W_{12} = 35$, $W_{22} = 50$, $W_{32} = 50$. (c). <i>T-junction</i> dengan $W_{1'4} = 35$, $W_{2'4} = 50$, $W_{3'4} = 50$. (d). <i>T-junction</i> dengan $W_{1'3} = 50$, $W_{2'3} = 35$, $W_{3'3} = 50$	23
Gambar 3.4.	Geometri <i>branch line coupler</i> dengan <i>T-junction</i>	24
Gambar 4.1.	Rangkaian <i>microstrip branch line coupler</i>	26
Gambar 4.2.	Hasil simulasi <i>return loss</i>	28
Gambar 4.3.	Hasil simulasi <i>output port</i>	29
Gambar 4.4.	Hasil simulasi fasa <i>output</i>	29
Gambar 4.5.	Hasil simulasi VSWR	30
Gambar 4.6.	Hasil simulasi isolasi	32
Gambar 4.7.	Hasil simulasi <i>return loss</i> untuk <i>bandwidth</i>	33
Gambar 4.8.	<i>Insertion loss</i> pada <i>microstrip</i> [14]	40
Gambar 4.9.	Perbandingan geometri dan kinerja <i>microstrip branch line coupler</i> (a). Geometri <i>microstrip branch line coupler</i> dengan <i>T-junction</i> . (b). Hasil simulasi <i>microstrip branch line coupler</i> dengan <i>T-junction</i> . (c). Geometri <i>microstrip branch line coupler</i> dengan <i>T-junction</i> dan <i>taper</i> . (d). Hasil simulasi <i>microstrip branch line coupler</i> dengan <i>T-junction</i> dan <i>taper</i> . (e.) Geometri <i>microstrip branch line coupler</i> dengan <i>Y-junction</i> . (f). Hasil simulasi <i>microstrip branch line coupler</i> dengan <i>Y-junction</i> .	41

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1.	Rekapitulasi kinerja <i>microstrip branch line coupler</i> yang dirancang	33
Tabel 4.2.	Perbandingan dimensi <i>microstrip branch line coupler</i> dengan menggunakan substrat yang berbeda	38
Tabel 4.3.	Karakteristik beberapa substrat	39
Tabel 4.4.	Rekapitulasi dimensi dan kinerja <i>microstrip branch line coupler</i> dengan menggunakan berbagai <i>junction</i>	44

BAB I PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX) merupakan teknologi akses nirkabel pita lebar yang dibangun berdasarkan standar *Institute of Electrical and Electronics Engineering (IEEE) 802.16*. WiMAX adalah teknologi *wireless broadband* yang sangat cocok untuk komunikasi berupa data karena mempunyai *bandwidth* yang lebar, *bit rate* yang besar dan cakupan area yang jauh. Saat ini teknologi WiMAX telah dikembangkan menjadi teknologi untuk komunikasi bergerak yang dinamakan *Mobile WiMAX*. *Mobile WiMAX* bekerja pada rentang frekuensi tertentu, yakni 2.3 – 2.7 GHz.

Sistem *Mobile WiMAX* di Indonesia direncanakan bekerja pada frekuensi 2.3 GHz dengan menggunakan teknologi *Time Division Duplex (TDD)*. Rentang frekuensi kerja pada WiMAX di Indonesia adalah 2300 – 2390 MHz dengan menggunakan *single carrier band*. Sehingga *transmitter* dan *receiver* memiliki pita frekuensi yang sama. Antena yang digunakan pada WiMAX dapat digunakan sebagai *transmitter* maupun *receiver* [1-3]. Properti penting pada *RF-frontend* atau antena yang digunakan dalam suatu sistem dengan *single carrier frequency* adalah kemampuannya untuk memisahkan antara sinyal yang ditransmisikan dengan sinyal yang dikirimkan. Salah satu divais yang digunakan sebagai pemisah antara *transmitter* dan *receiver* adalah *circulator*. Pada [2], *circulator* digunakan untuk mengisolasi sinyal yang ditransmisikan dengan sinyal yang diterima.

Pada [4] disebutkan bahwa antena yang mengirimkan dan menerima gelombang dengan berbeda polarisasi adalah pilihan yang tepat untuk mendapatkan pemisah *transmitter* dengan *receiver* pada kasus *single carrier frequency*. Pada [4] digunakan *3-dB hybrid circuit* atau disebut *branch line coupler* sebagai pemisah antara *transmitter* dan *receiver*. *Branch line coupler* ini bekerja pada frekuensi 866 MHz. Properti dasar dari *branch line coupler* adalah membagi *power input* pada salah satu port menjadi dua *output* yang sama besar

dengan beda fasa $+90^\circ$ atau -90° . Hal ini dapat digunakan untuk mendapatkan *right-hand* dan *left-hand circular polarization* dengan menggunakan *dual-input cross-polarized antenna*. Pada [4] ditambahkan dua *variable capacitance diodes* pada rangkaian *hybrid* yang berguna sebagai *tunning* untuk mendapatkan frekuensi kerja 866 MHz. Dari hasil simulasi didapatkan besarnya isolasi antara *transmitter* dengan *receiver* adalah sebesar 52 dB.

Branch line coupler dengan dua branch line ($N=2$) yang dirancang pada [5] dimana *branch line coupler* diaplikasikan ke dalam bentuk *microstrip*. Substrat yang digunakan adalah Roger 4003 dengan ketebalan 1/16 inci. Frekuensi kerja dari *coupler* adalah 5 GHz. Hasil rancangan *microstrip* disimulasikan dengan menggunakan *software* MathCAD yang meliputi dua tahapan simulasi. Simulasi pertama adalah mensimulasikan *branch line coupler* ideal. Hasil simulasi selanjutnya adalah pada rangkaian *branch line coupler* yang sudah dirancang sebelumnya diberi rangkaian *T-junction* yang digunakan sebagai kompensasi dari *T-junction discontinuity* yang terjadi pada *microstrip branch line coupler*. Dimensi dari *T-junction* yang digunakan dibuat simetris dengan lebar 50 line. Antara *T-junction* dengan 35,35 line ditambahkan *taper* untuk mengompensasi *discontinuity* yang terjadi yang disebabkan perubahan lebar antara 50 line dan 35,35 line.

Pada skripsi ini akan dirancang *microstrip branch line coupler* untuk aplikasi Mobile WiMAX yang bekerja pada frekuensi 2,3 GHz dengan *software* Advance Design System. Jenis substrat yang digunakan pada skripsi ini adalah FR4 yang memiliki konstanta dielektrik sebesar 4,6 dan ketebalan 1,6 mm. *Branch line coupler* ini pada RF WiMAX berguna sebagai pemisah antara *transmitter* dengan *receiver*. Dengan *branch line coupler*, *transmitter* dan *receiver* dipisahkan oleh perbedaan fasa antara keduanya. Jumlah *branch* pada skripsi ini adalah dua *branch*, dan pada rangkaian *branch line coupler* ditambahkan rangkaian *T-junction* yang berguna sebagai kompensasi *discontinuity* yang terjadi pada *microstrip*. Dimensi *T-junction* yang digunakan disesuaikan dengan impedansi 50 dan 35 line sehingga tidak perlu menggunakan *taper*. Hasil rancangannya kemudian disimulasikan dengan menggunakan *software* Advance Design System (ADS) 2008.

1.2 TUJUAN

Tujuan skripsi ini adalah untuk merancang suatu *microstrip branch line coupler* dengan penambahan *T-Junction* untuk aplikasi Mobile WiMAX pada frekuensi 2,3 Ghz dengan menggunakan bantuan *software Advance Design System (ADS)* 2008. Kinerja *microstrip* yang diinginkan dinyatakan oleh nilai kedua output sebesar -3dB dengan beda fasa 90°.

1.3 BATASAN MASALAH

Pembahasan pada skripsi ini dibatasi pada perancangan *microstrip branch line coupler* untuk aplikasi Mobile WiMAX pada frekuensi kerja 2.3 GHz dengan menggunakan bantuan *software Advance Design System (ADS)* 2008. Yang akan dilakukan adalah merancang panjang dan lebar untuk setiap saluran impedansi pada *microstrip branch line coupler* dengan menggunakan substrat FR4 yang memiliki konstanta dielektrik sebesar 4,6 dengan ketebalan 1,6 mm.

1.4 SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika pembahasan laporan seminar ini adalah sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Membahas latar belakang, tujuan dan batasan masalah, serta bagian dari sistematika penulisan.

BAB 2 BRANCH LINE COUPLER

Pada bab ini dibahas kegunaan *coupler* pada RF WiMAX, teori dasar *branch line coupler*, formula pada *microstrip* dan efek *discontinuity* pada *microstrip*.

BAB 3 PERANCANGAN MICROSTRIP BRANCH LINE COUPLER

Menjelaskan tahap-tahap perancangan *microstrip* dengan menghitung parameter fisik pada *microstrip*.

BAB 4 HASIL SIMULASI DAN ANALISA

Simulasi hasil rancangan *microstrip branch line coupler* dan perbandingan dimensi *microstrip* menggunakan substrat yang berbeda.

BAB 5 KESIMPULAN

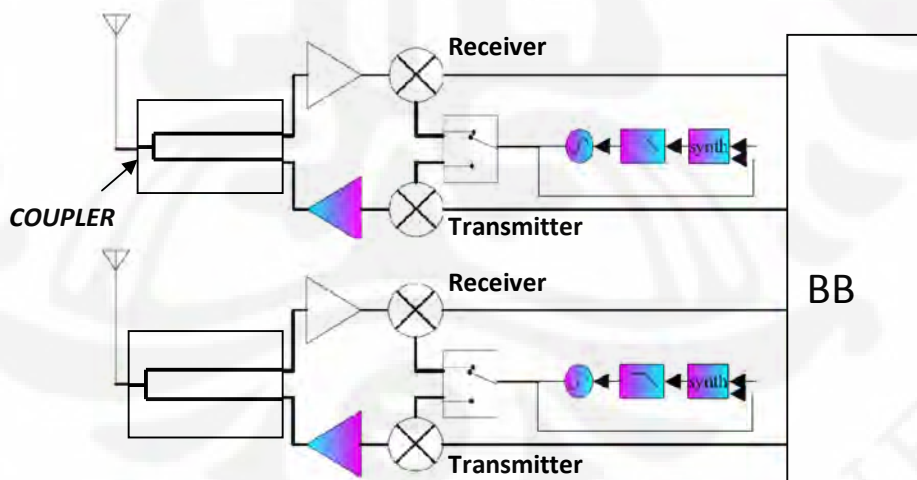
Berisi tentang kesimpulan dari skripsi ini.

BAB 2 BRANCH LINE COUPLER

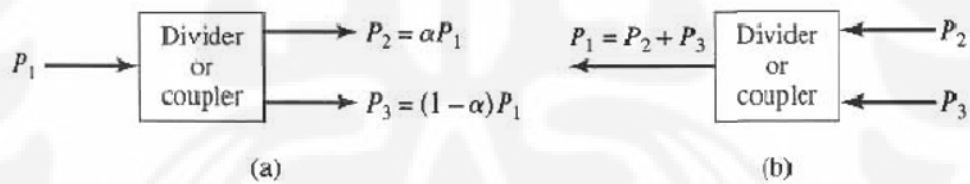
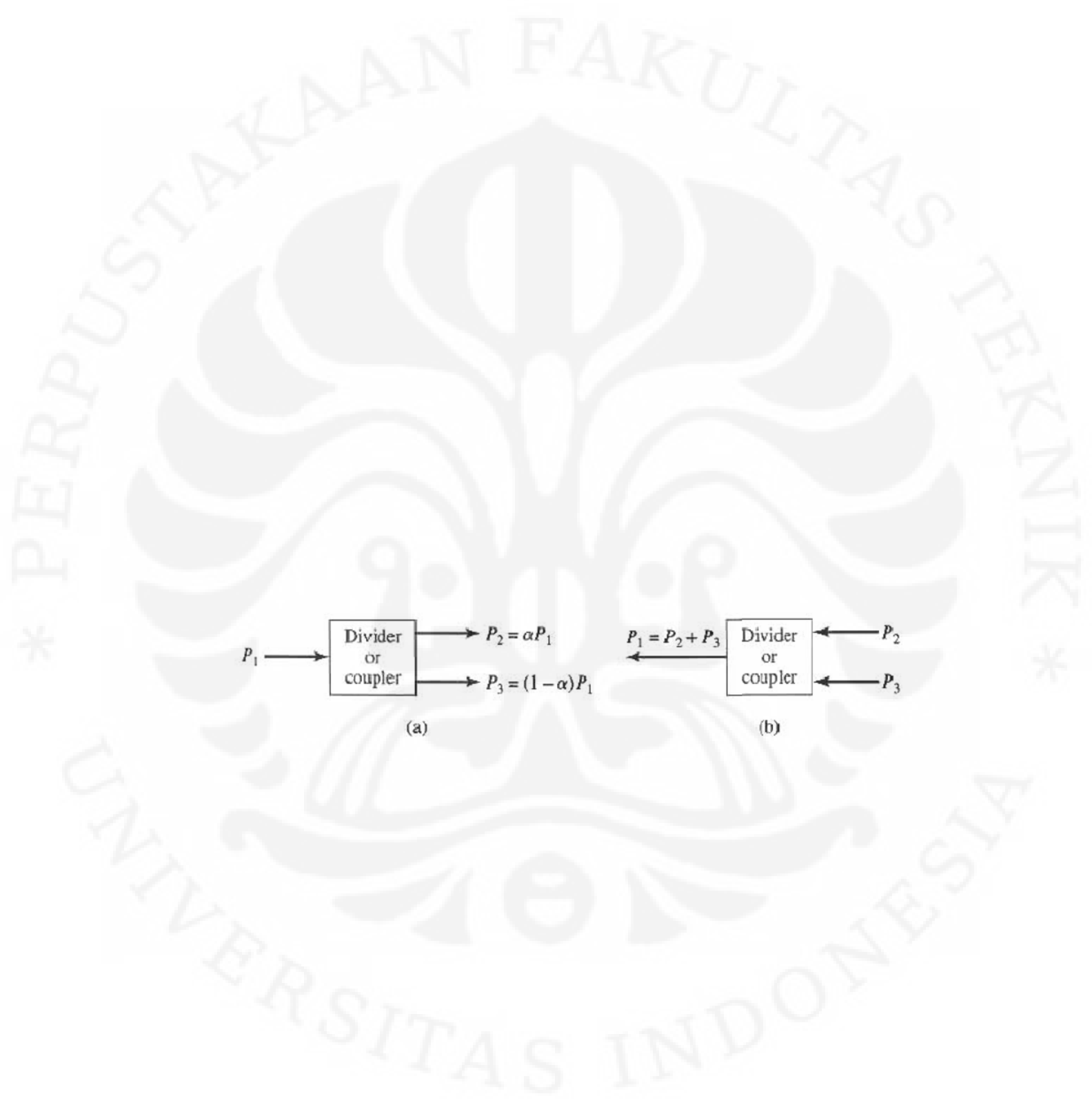
2.1 Coupler Pada WiMAX

WiMAX merupakan suatu teknologi akses nirkabel pita lebar yang dibangun berdasarkan standar IEEE 802.16. Teknologi WiMAX mampu mentransfer data dengan kecepatan dan cakupan area yang jauh. Saat ini teknologi WiMAX telah dikembangkan menjadi teknologi untuk komunikasi bergerak, yang dinamakan dengan *Mobile WiMAX*. *Mobile WiMAX* bekerja pada rentang frekuensi tertentu, yakni 2.3 – 2.7 GHz.

Sistem *Mobile WiMAX* di Indonesia direncanakan bekerja pada frekuensi 2,3 GHz dengan menggunakan Time Division Duplex (TDD). Rentang frekuensi kerja pada WiMAX di Indonesia adalah 2300 – 2390 MHz dengan menggunakan *single carrier band*. Sehingga *transmitter* dan *receiver* memiliki pita frekuensi yang sama. Antena yang digunakan pada WiMAX dapat digunakan sebagai *transmitter* maupun *receiver* dengan menggunakan *coupler* seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1.



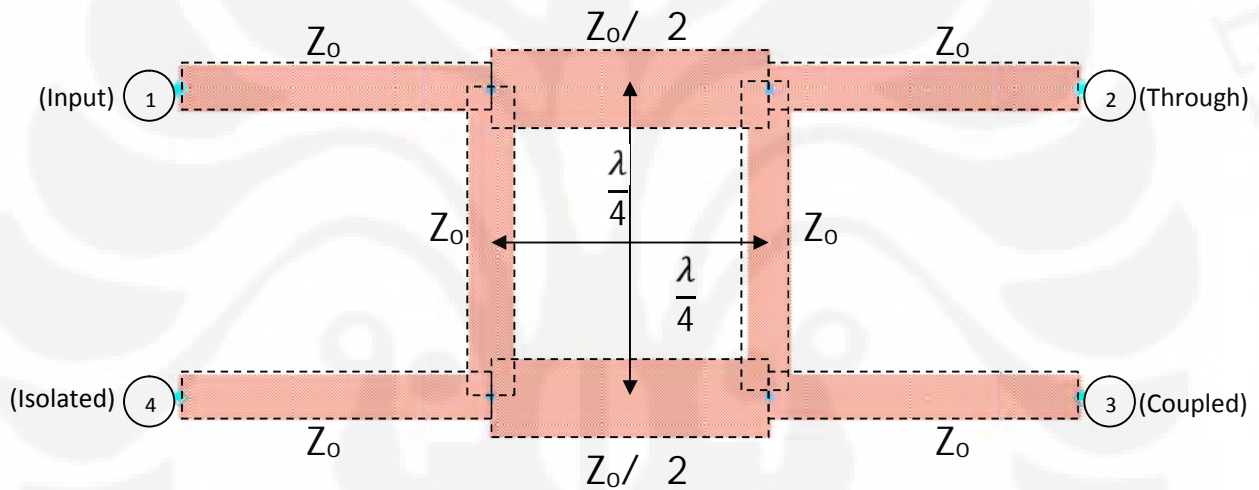
Gambar 2.1. Arsitektur RF WiMAX yang menggunakan antena *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) 2x2 [1]



division, sedangkan hybrid junction biasanya memiliki *power division* yang sama besar. *Hybrids junction* memiliki perbedaan fasa antara *port output* baik 90° (*quadrature*) atau 180° (magic-T).

2.3 Quadrature (90°) Hybrid (Branch line coupler)

Quadrature hybrids adalah 3 dB *directional coupler* dengan perbedaan fasa sebesar 90° pada kedua *outputnya*, *through* dan *coupled port* [6]. *Hybrid* tipe ini biasa dibuat dalam bentuk *microstrip* atau *stripline* seperti ditunjukkan Gambar 2.3. dan biasa disebut dengan *branch-line hybrid*.



Gambar 2.3. *Branch line coupler* [6]

3 dB *coupler* lainnya, seperti *coupled line couplers* atau *Lange coupler*, dapat digunakan juga sebagai *quadrature coupler*. Operasi dasar pada *branch line coupler* adalah sebagai berikut. Dengan semua *port* dalam keadaan *matched*, *power* yang masuk ke *port 1* dibagi rata antara *port 2* dan *port 3*, dengan pergeseran fasa 90° antara kedua *outputnya*. Tidak ada *power* yang dicoupled ke *port 4* (*isolated port*). Matriks [S] untuk *branch line coupler* dinyatakan oleh [6] :

$$[S] = -\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & S_{14} \\ S_{12} & S_{22} & S_{23} & S_{24} \\ S_{13} & S_{23} & S_{33} & S_{34} \\ S_{14} & S_{24} & S_{34} & S_{44} \end{bmatrix} = -\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 0 & j & 1 & 0 \\ j & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & j \\ 0 & 1 & j & 0 \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

Branch line coupler memiliki derajat simetri yang tinggi, sehingga semua portnya dapat bekerja sebagai *input*. *Output* portnya akan selalu berada di sisi yang berlawanan dengan *input port*, dan *isolated port* akan selalu berada di satu sisi dengan *input port*. Simetri ini terefleksi pada *scattering matriksnya*, dimana setiap baris dapat dicari dengan mentranspos baris pertamanya.

2.3.1 Karakteristik Branch line coupler

Karakteristik dari *branch line coupler* ditunjukkan oleh beberapa faktor, yaitu [7]:

1. Coupling Faktor

Coupling factor didefinisikan sebagai [7] :

$$\text{Coupling factor (dB)} = 10 \log \frac{P_1}{P_3} \quad (2.2)$$

dimana P_1 adalah *input power* dan P_3 adalah *output power* dari *coupled port*.

2. Loss

Pada ideal *branch line coupler*, *loss* pada port 1 ke port 2 yang disebabkan *power coupled* dengan *coupled output port* adalah [7] :

$$\text{Insertion loss (dB)} = 10 \log \left| 1 - \frac{P_3}{P_1} \right| \quad (2.3)$$

Loss sebenarnya yang terjadi pada *branch line coupler* adalah kombinasi antara *coupling loss*, *dielectric loss*, *conductor loss*, dan *VSWR loss*.

3. Isolasi

Isolasi pada sebuah *branch line coupler* dapat didefinisikan sebagai perbedaan pada sinyal level dalam dB antara *input port* dan *isolated port* ketika dua *output port* diakhiri dengan *matched load* [7].

$$\text{Isolasi (dB)} = -10 \log \frac{P_4}{P_1} \quad (2.4)$$

Isolasi juga dapat didefinisikan hubungan antara dua *output port*. Pada kasus ini, salah satu *output port* dianggap sebagai *input* dan *output* lainnya tetap menjadi *output*, dimana dua *port* lainnya (*input* dan *isolated*) diakhiri dengan *matched load*. Maka [7],

$$\text{Isolasi (dB)} = -10 \log \frac{P_3}{P_2} \quad (2.5)$$

Isolasi antara *input* dan *isolated port* dapat berbeda dengan isolasi antara dua *output port*. Sebagai contoh, isolasi antara *port* 1 dan *port* 4 bisa 30 dB, sedangkan isolasi antara *port* 2 dan *port* 3 bisa memiliki nilai yang berbeda misal 25 dB. Jika pengukuran isolasi tidak dapat dilakukan dua-duanya, maka nilainya dianggap sama. Isolasi harus sebaik mungkin. Dalam keadaan sebenarnya, *isolated port* tidak pernah terisolasi secara sempurna. Pasti ada beberapa *power* RF yang akan melewatinya.

4. Directivity

Directivity berhubungan langsung dengan isolasi. *Directivity* didefinisikan sebagai [7],

$$\text{Isolasi (dB)} = -10 \log \frac{P_4}{P_3} = -10 \log \frac{P_4}{P_1} + 10 \log \frac{P_3}{P_1} \quad (2.6)$$

dimana P_3 adalah *output power* dari *coupled port* dan P_4 adalah *output power* dari *isolated port*. *Directivity* harus sebagus mungkin. *Directivity* tidak dapat dikur secara langsung, tetapi dapat dari pengukuran isolasi dan coupling [7],

$$\text{Directivity (dB)} = \text{Isolasi (dB)} - \text{Coupling (dB)} \quad (2.7)$$

5. VSWR (Voltage Standing Wave Ratio)

VSWR adalah perbandingan antara amplitudo gelombang berdiri (*standing wave*) maksimum ($|V|_{\max}$) dengan minimum ($|V|_{\min}$). Pada saluran transmisi ada dua komponen gelombang tegangan, yaitu tegangan yang dikirimkan (V_0^+) dan tegangan yang direfleksikan (V_0^-) [8]. Perbandingan antara

tegangan yang direfleksikan dengan tegangan yang dikirimkan disebut sebagai koefisien refleksi tegangan (Γ) [8]:

$$\Gamma = \frac{V_0^-}{V_0^+} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (2.8)$$

di mana Z_L adalah impedansi beban (*load*) dan Z_0 adalah impedansi saluran *lossless*.

Pada *branch line coupler*, besarnya koefisien refleksi adalah [9]

$$\Gamma_{in} = \frac{\Gamma_e + \Gamma_o}{2} \quad (2.9)$$

dimana koefisien refleksi *even* (Γ_e) dan *odd* (Γ_o) didapat dengan menggunakan [10]

$$\Gamma_e = \frac{j(Y_0(Z_0 \sqrt{2})y - Z_0 Y_0 x - Z_0(Y_0 \sqrt{2})y + Z_0(Z_0 \sqrt{2})Y_0^2 y - Z_0 Y_0 x)}{(2x - 2(Z_0 \sqrt{2})Y_0 y) + j(Y_0(Z_0 \sqrt{2})y + Z_0 Y_0 x + Z_0(Y_0 \sqrt{2})y - Z_0(Z_0 \sqrt{2})Y_0^2 y + Z_0 Y_0 x)} \quad (2.10)$$

$$\Gamma_o = \frac{j(Y_0(Z_0 \sqrt{2})y + Z_0 Y_0 x - Z_0(Y_0 \sqrt{2})y + Z_0(Z_0 \sqrt{2})Y_0^2 y + Z_0 Y_0 x)}{(2x + 2(Z_0 \sqrt{2})Y_0 y) + j(Y_0(Z_0 \sqrt{2})y - Z_0 Y_0 x + Z_0(Y_0 \sqrt{2})y - Z_0(Z_0 \sqrt{2})Y_0^2 y - Z_0 Y_0 x)} \quad (2.11)$$

dengan x sebagai $\cos \theta$ dan y sebagai $\sin \theta$. Pada [10]

$$\theta = (2 \ell / \lambda) \times (\pi / 4) = \ell / 2 \quad (2.12)$$

Koefisien refleksi tegangan (Γ) memiliki nilai kompleks, yang merepresentasikan besarnya magnitudo dan fasa dari refleksi. Untuk beberapa kasus yang sederhana, ketika bagian imajiner dari Γ adalah nol, maka:

- $\Gamma = -1$: refleksi negatif maksimum, ketika saluran terhubung singkat,
- $\Gamma = 0$: tidak ada refleksi, ketika saluran dalam keadaan *matched* sempurna,
- $\Gamma = +1$: refleksi positif maksimum, ketika saluran dalam rangkaian terbuka.

Rumus untuk mencari nilai VSWR adalah [8]:

$$S = \frac{|\tilde{V}|_{max}}{|\tilde{V}|_{min}} = \frac{1 + |\Gamma_{in}|}{1 - |\Gamma_{in}|} \quad (2.11)$$

Kondisi yang paling baik adalah ketika VSWR bernilai 1 ($S=1$) yang berarti tidak ada refleksi ketika saluran dalam keadaan *matching* sempurna. Namun kondisi ini pada praktiknya sulit untuk didapatkan. Oleh karena itu nilai standar VSWR yang diijinkan untuk fabrikasi antena adalah $VSWR \leq 2$.

6. Return loss dan Insertion Loss

Return loss adalah perbandingan antara amplitudo dari gelombang yang direfleksikan terhadap amplitudo gelombang yang dikirimkan [8]. *Return loss* digambarkan sebagai peningkatan amplitudo dari gelombang yang direfleksikan (V_0^-) dibanding dengan gelombang yang dikirim (V_0^+). *Return loss* dapat terjadi akibat adanya diskontinuitas diantara saluran transmisi dengan impedansi masukan beban. Pada rangkaian gelombang mikro yang memiliki diskontinuitas (*mismatched*), besarnya *return loss* bervariasi tergantung pada frekuensi [8].

$$Return Loss = 20 \log_{10} \left| \frac{V_0^-}{V_0^+} \right| \quad (2.12)$$

Pada *coupler*, nilai *return loss* yang baik adalah di bawah -20 dB, sehingga dapat dikatakan nilai gelombang yang direfleksikan tidak terlalu besar dibandingkan dengan gelombang yang dikirimkan atau dengan kata lain, saluran transmisi sudah *matching*. Nilai parameter ini menjadi salah satu acuan untuk melihat apakah *coupler* sudah dapat bekerja pada frekuensi yang diharapkan atau tidak.

Return loss dapat juga dikatakan sebagai sejumlah daya yang direfleksikan kembali ke sumber dari sebuah terminasi yang tidak benar. *Return loss* dapat terjadi diakibatkan oleh kondisi rangkaian yang tidak *matching*. Jika daya yang ditransmisikan oleh sumber adalah P_T dan daya yang direfleksikan adalah P_R , maka *return loss* merupakan pembagian antara P_R dengan P_T .

Return loss juga dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut [8]:

$$R_L = 10 \log \frac{P_R}{P_T} = 10 \log \left(\frac{VSWR-1}{VSWR+1} \right)^2 \quad (2.13)$$

Agar daya yang ditransfer maksimum, *return loss* haruslah sekecil mungkin. Itu artinya P_R / P_T juga harus sekecil mungkin, atau jika diekspresikan

dalam dB, nilai *return loss* harus bernilai negatif sebesar mungkin. Sebagai contoh – 40 dB lebih bagus dibandingkan dengan – 20. Pada *coupler*, *return loss* ini dapat dilihat dari besarnya S_{11} .

Daya yang dikirimkan dari sumber ke beban, ada yang direfleksikan kembali ke sumber, ada juga yang ditransfer ke beban. Namun daya yang ditransfer ke beban ini sebagian akan hilang karena komponen berbagai macam pada rangkaian. *Loss* yang dihasilkan karena sisipan transmisi di sepanjang sumber ke beban disebut *insertion loss*. Jika daya ditransmisikan oleh sumber disebut P_T dan daya yang diterima pada sumber disebut P_R , maka *insertion loss* ini merupakan perbandingan antara P_R dengan P_T . terlihat jelas bahwa *insertion loss* akan selalu bernilai kurang dari 1. Jika ingin mendapatkan daya yang diterima pada beban sesuai dengan daya yang ditransmisikan maka nilai *insertion loss* haruslah mendekati 1, dalam decibel (dB) nilai *insertion loss* sebisa mungkin haruslah mendekati nilai 0.

7. Bandwidth

Bandwidth dari sebuah *coupler* didefinisikan sebagai jarak dari frekuensi-frekuensi dimana performa (karakteristik-karakteristik) dari *coupler* sesuai dengan standar yang ditetapkan. *Bandwidth* suatu *coupler* juga dapat didefinisikan sebagai rentang frekuensi di mana kinerja *coupler* yang berhubungan dengan beberapa karakteristik (seperti VSWR, *return loss*) memenuhi spesifikasi standar. Pada *coupler*, *bandwidth* berdasarkan *return loss*, yaitu rentang frekuensi saat nilai *return loss* < -20 dB. Pada [10] *bandwidth* suatu *coupler* dilihat dengan cara menarik garis pada – 20 dB pada *return loss*nya.

Bandwidth dinyatakan sebagai perbandingan antara frekuensi atas dan frekuensi bawah dalam level yang dapat diterima [8]

$$BW = \frac{f_h - f_l}{f_c} \times 100 \% \quad (2.14)$$

Dengan f_h = frekuensi tertinggi dalam *band* (GHz)

f_l = frekuensi terendah dalam *band* (GHz)

f_c = frekuensi tengah dalam *band* (GHz) [8],

$$f_c = \frac{f_h + f_l}{2} \quad (2.15)$$

8. Amplitude Balance

Terminologi ini mendefinisikan perbedaan *power* antara dua *output port* pada 3 dB *hybrid*. Pada rangkaian *hybrid* ideal, perbedaan yang terjadi harus 0 dB. *Amplitude balance* ini bergantung pada frekuensi kerja.

9. Phase Balance

Perbedaan fasa antara dua *output port* pada *hybrid coupler* dapat bernilai 0, 90, atau 180 derajat tergantung dari tipe yang digunakan. Tetapi, seperti *amplitude balance*, perbedaan sensitive fasa terhadap frekuensi *input* dan akan menyebabkan variasi beberapa derajat.

2.4 Microstrip Line

Microstrip line merupakan media transmisi yang digunakan di dalam rangkaian RF dan microwave. Pada saat ukuran *microstrip* dikurangi sehingga dimensinya menjadi lebih kecil dibandingkan dengan panjang gelombang, maka *microstrip* dapat digunakan sebagai elemen lumped.

2.4.1 Microstrip Branch Line Coupler

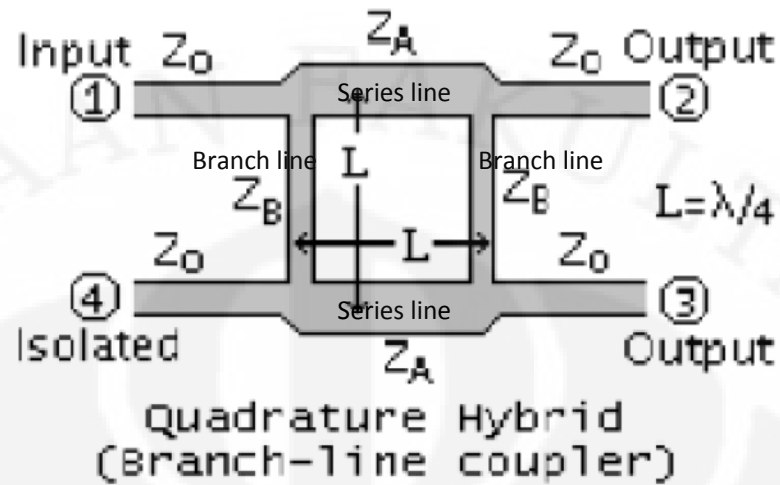
Dimensi panjang atau *length* (L) pada *coupler* pada *branch line* dan *series line* biasanya dipilih $\frac{1}{4}$ dari desain *wavelength*nya atau disebut *quarter wavelength* [10]. Formula untuk *wavelength* dengan memberikan spesifikasi frekuensinya adalah [10]

$$\lambda_g = \frac{c}{\epsilon_r f} \quad (2.16)$$

dimana c adalah kecepatan cahaya pada udara (3×10^8 m/s)

f adalah frekuensi kerja pada *coupler*

ϵ_r adalah konstanta dielektrik dari substrat yang digunakan



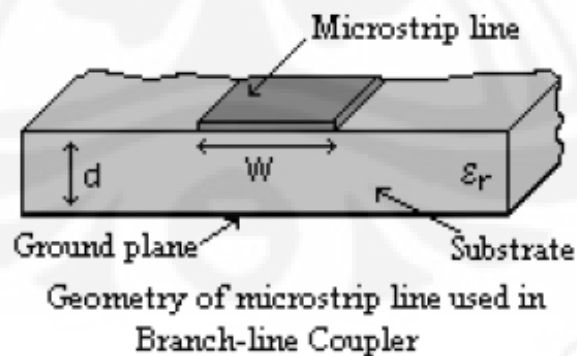
Gambar 2.4. Panjang branch line dan series line pada *coupler* [10]

Dari Gambar 2.4. terlihat panjang dari series dan branch transmission line, L , dinyatakan oleh [10] :

$$L = \frac{\lambda_g}{4} \quad (2.17)$$

$$= \frac{c}{\epsilon_r f} \quad (2.18)$$

Gambar 2.5. menunjukkan geometri pada *microstrip* line yang digunakan untuk *branch line coupler* [10].



Gambar 2.5. Geometri pada *microstrip* line yang digunakan pada *branch line coupler* [10]

Dari Gambar 2.5. W atau *width* adalah *lebar* dari *microstrip*, d adalah tebal dari substrat yang digunakan dan ϵ_r adalah konstanta dielektrik dari substrat yang digunakan. Lebar (*width*) dari *microstrip* dapat ditentukan dengan mencari rasio W/d . Berdasarkan pemilihan saluran impedansi pada *series* dan *branch microstrip transmission line*, bila diberikan ϵ_r dan Z_0 , maka rasio W/d dinyatakan oleh [10]

$$\frac{W}{d} = \begin{cases} \frac{8e^a}{e^{2a}-2} & \text{untuk } \frac{W}{d} < 2 \\ \frac{2}{\pi} \left[b - 1 \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left| \ln b - 1 + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r - 1} \right| \right] & \text{untuk } \frac{W}{d} > 2 \end{cases} \quad (2.19)$$

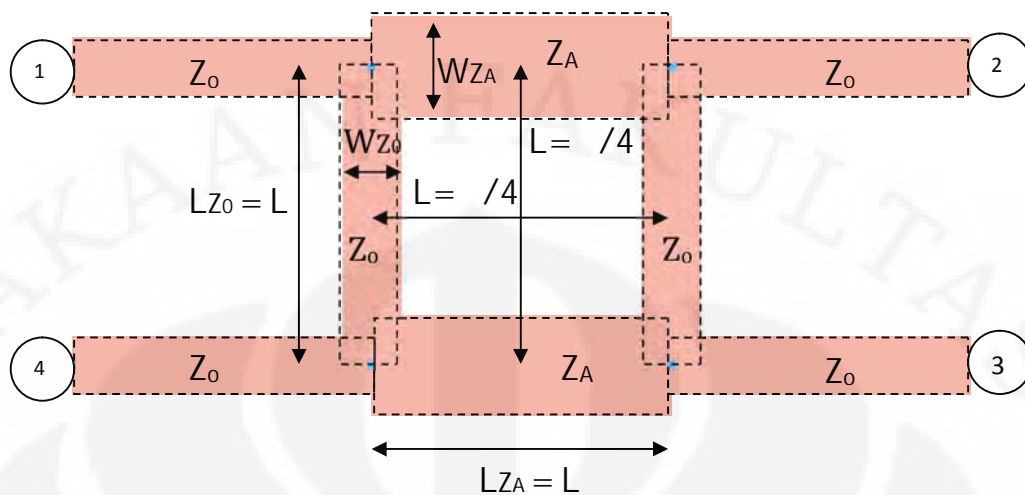
dimana

$$a = \frac{Z_0}{60} \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left(0.23 + \frac{0.11}{\epsilon_r} \right) \quad (2.20)$$

$$b = \frac{377\pi}{2 Z_0 \sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.21)$$

Microstrip branch line coupler terdiri dari dua saluran impedansi series line yang dihubungkan oleh dua saluran impedansi branch line seperti ditunjukkan Gambar 2.4. Untuk mendapatkan nilai coupling 3 dB maka besar saluran impedansi series line (Z_A) besarnya sama dengan $1/\sqrt{2}$ dari Z_0 dan besar saluran impedansi branch line (Z_B) sama dengan Z_0 seperti pada Gambar 2.3. [9].

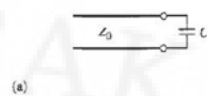
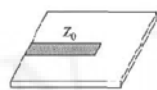
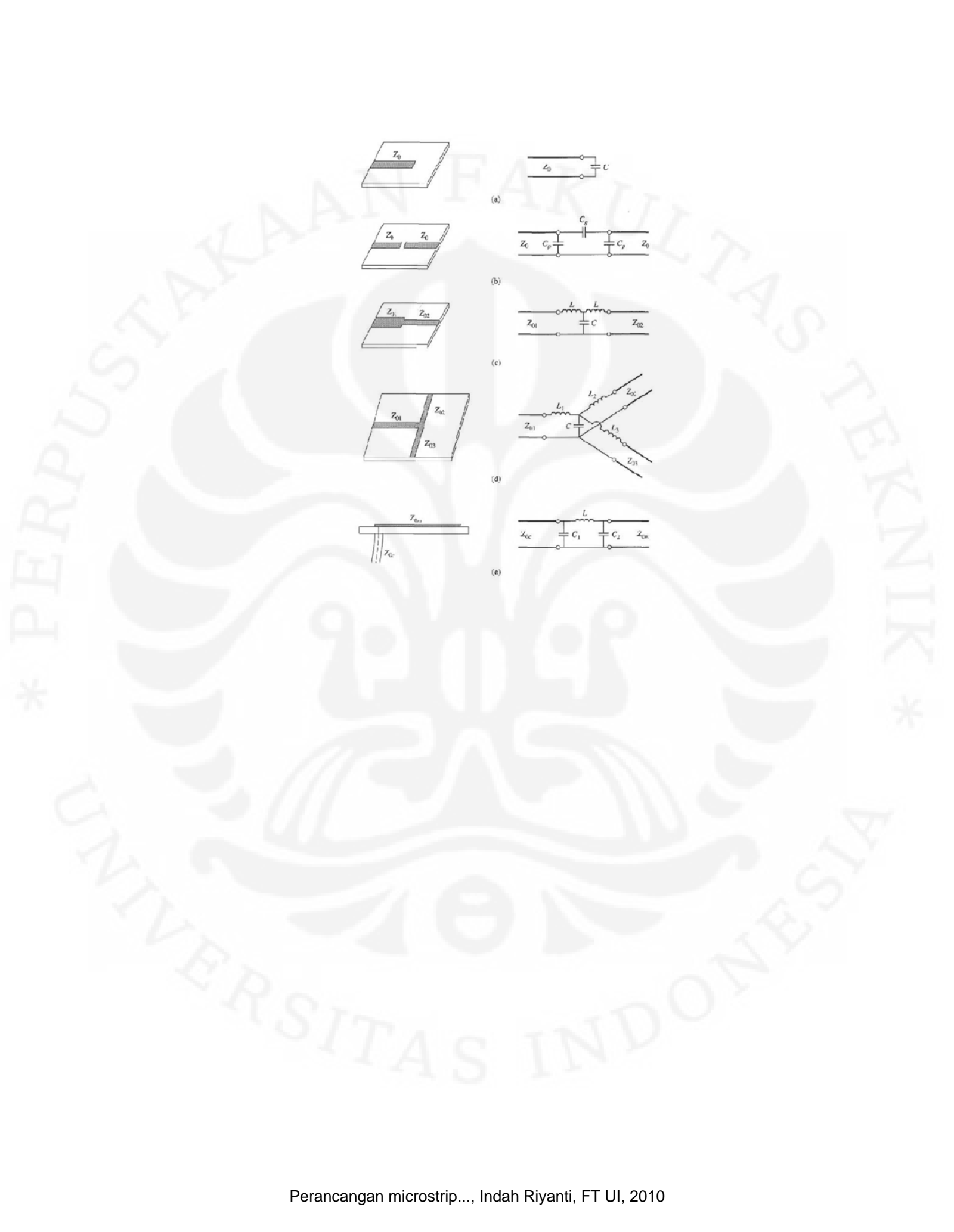
Lebar (*width*) untuk masing-masing saluran impedansi dihitung dengan menggunakan (2.19). Sedangkan panjang (*length*) untuk masing-masing saluran impedansi memiliki nilai yang sama yang dinyatakan oleh (2.17). Gambar 2.6. menunjukkan geometri dari *microstrip branch line coupler*.



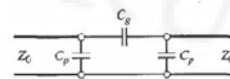
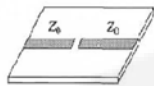
Gambar 2.6. Geometri *microstrip branch line coupler*

2.5 Discontinuity

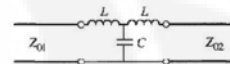
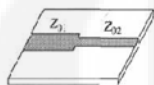
Untuk kebutuhan atau desain, jaringan microwave biasanya terdiri dari *transmission line* dengan berbagai tipe dari *transmission line discontinuities*. Pada beberapa kasus, *discontinuity* adalah hasil yang tidak dapat dihindari pada transisi mekanik atau elektrik dari satu medium ke medium lainnya (misalnya persimpangan antara dua *waveguide* atau transisi *coax* ke *microstrip*), dan efek dari *discontinuity* ini tidak diinginkan tetapi cukup signifikan untuk menjadi karakteristik tuntutan. Pada kasus lainnya, *discontinuity* dengan sengaja dimasukkan kedalam rangkaian untuk memainkan beberapa fungsi elektrik (misalnya *reactive diaphragms* pada *waveguide* atau *stubs* pada *microstrip line* untuk matching atau rangkaian filter). Pada beberapa peristiwa, *transmission line discontinuity* dapat direpresentasikan sebagai rangkaian ekuivalen pada poin tertentu di *transmission line*. Bergantung pada tipe dari *discontinuity*, rangkaian ekuivalen dapat berupa simpel *shunt* atau *series element* yang melewati *line*, atau pada kasus umumnya, *T-* atau *-equivalent circuit* mungkin dibutuhkan. Nilai komponen pada rangkaian ekuivalen bergantung pada parameter dari *line* dan *discontinuity*, seperti frekuensi kerja. Pada beberapa kasus, rangkaian ekuivalen melibatkan pergeseran pada bidang referensi fasa pada *transmission line*.



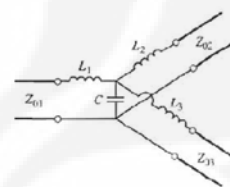
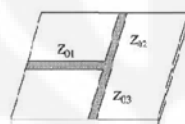
(a)



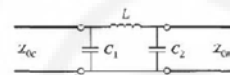
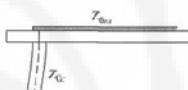
(b)



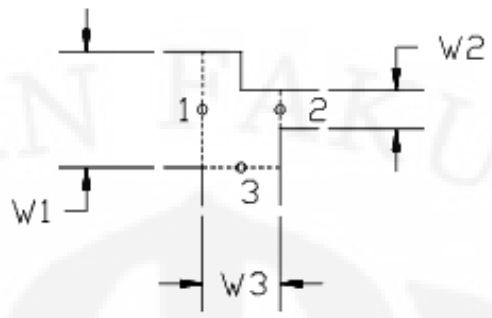
(c)



(d)



(e)



BAB 3

PERANCANGAN MICROSTRIP BRANCH LINE COUPLER

Pada skripsi ini, jenis *coupler* yang akan dirancang adalah 3 dB *branch line coupler* yang merupakan salah satu jenis dari *hybrid coupler* untuk aplikasi pada CPE WiMAX. 3 dB pada *branch line coupler* menunjukkan kedua *output* pada *coupler* bernilai setengah dari *inputnya* dan memiliki nilai yang sama besar. Desain dari *branch line coupler* yang akan dirancang adalah 2-*branch line coupler*. Pada 2-*branch line*, *bandwidthnya* adalah sebesar 10%.

Terdapat beberapa tahapan untuk perancangan *microstrip branch line coupler* ini, yaitu menentukan spesifikasi kerja dari *coupler*, menentukan spesifikasi substrat yang akan digunakan, mendesain geometri dari *coupler* yang dirancang dan selanjutnya adalah menghitung parameter fisik dari *microstrip* yang dirancang dengan menggunakan formula-formula desain untuk *microstrip*. Setelah parameter fisik dari *branch line coupler* sudah didapat, selanjutnya adalah penambahan *T-junction* pada rangkaian. Hasil rancangan tersebut kemudian disimulasikan dengan menggunakan *software Advanced Design System*.

3.1 Spesifikasi Kerja Branch Line Coupler

Spesifikasi kerja dari *branch line coupler* yang akan dirancang adalah:

1. Frekuensi kerja : Sistem Mobile WiMAX di Indonesia direncanakan bekerja pada frekuensi 2,3 GHz.
2. Nilai coupling dan beda fasa : untuk mendapatkan besaran kedua *output* yang sama besar, maka besar nilai coupling untuk kedua *output port* adalah - 3 dB. Karena yang dirancang adalah *branch line coupler*, maka beda fasa antara kedua *output port* adalah 90°.
3. Bandwidth : *Bandwidth* pada WiMax adalah sebesar 100 MHz.
4. VSWR : 1 - 2

5. Return loss dan isolasi : kinerja *coupler* yang baik memiliki nilai *return loss* (S_{11}) dan isolasi (S_{14}) harus lebih kecil – 20 dB. Dengan melihat hubungan antara VSWR dengan *return loss* pada pada (2.12),

$$R_L = 10 \log \frac{P_R}{P_T} = 10 \log \left(\frac{VSWR-1}{VSWR+1} \right)^2$$

semakin VSWR mendekati ideal (sama dengan 1) maka besarnya *return loss* semakin kecil. Dengan *return loss* lebih kecil dari – 20 dB, maka besarnya VSWR semakin mendekati ideal.

3.2 Menentukan Jenis Substrat yang Digunakan

Untuk merancang suatu *microstrip*, perlu ditentukan jenis substrat yang digunakan yang selanjutnya parameter substrat ini digunakan dalam perhitungan besaran parameter fisik dari *microstrip* yang dirancang. Pada skripsi ini digunakan substrat FR4 (evoksi) dengan parameter sebagai berikut.

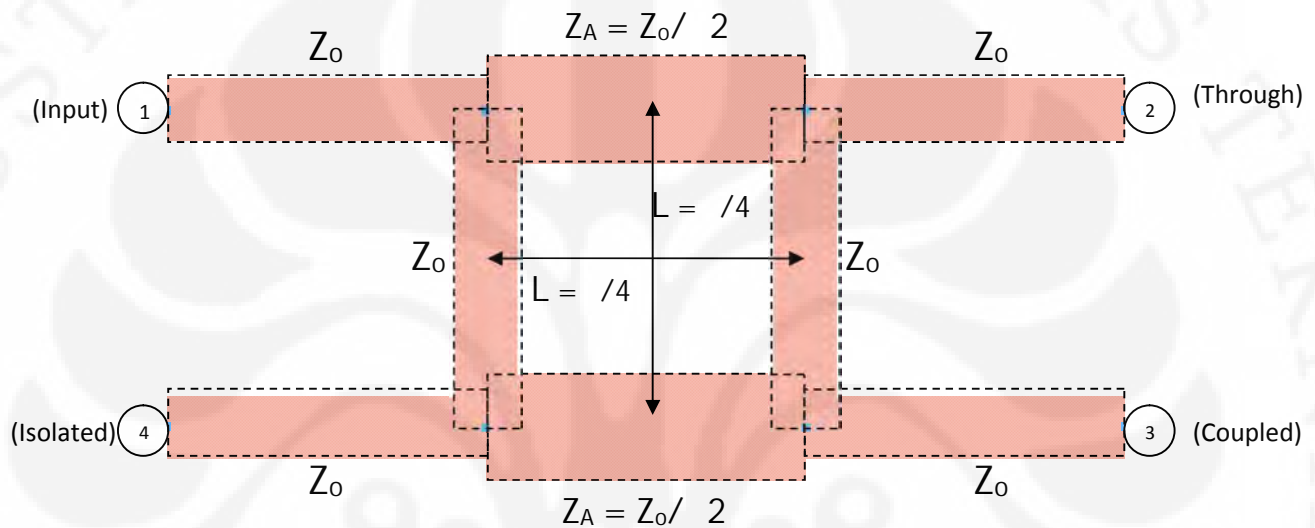
1. Konstanta dielektrik bahan ϵ_r : Substrat dengan konstanta dielektrik yang tinggi berpengaruh pada ukuran dimensi dari *microstrip branch line coupler* yang dirancang. *Microstrip branch line coupler* yang akan dirancang menggunakan substrat evoksi dengan nilai $\epsilon_r = 4,6$.
2. Ketebalan bahan dielektrik (d) : Ketebalan substrat yang akan dirancang adalah 1,6 mm.

3.3 Desain dari Branch Line Coupler

Geometri dari *branch line coupler* yang akan dirancang pada skripsi ini ditunjukkan pada Gambar 3.1. *Branch line coupler* terdiri dari dua *series transmission line* yang dihubungkan oleh dua *branch line*. Dari Gambar 3.1 dapat dilihat bahwa *branch line coupler* memiliki empat *port* yang simetris. *Port* pertama disebut dengan *input port*, *port* kedua dan ketiga adalah *output port* dan *port* keempat adalah *isolated port*. *Port* kedua disebut juga dengan *direct* atau *through port* dan *port* ketiga disebut juga dengan *coupled port*. Karena *branch*

line coupler bersifat simetris maka setiap *port* dapat berlaku sebagai *input* dan pada saat bersamaan *output port* dan *isolated port* juga berubah.

Dari Gambar 3.1 dapat dilihat bahwa ada dua saluran impedansi yang digunakan dalam merancang *microstrip branch line coupler* yaitu Z_0 dan Z_A dimana besarnya $Z_A = Z_0/2$. Selanjutnya saluran impedansi ini diubah kedalam satuan panjang dan lebar untuk aplikasinya pada *microstrip*.



Gambar 3.1. Geometri *branch line coupler*

3.4 Parameter Fisik Microstrip Branch Line Coupler

Untuk menghitung parameter fisik lebar (*width*) dan panjang (*length*) dari saluran impedansi pada *microstrip branch line coupler*, ada beberapa tahapan yang harus dilakukan. Tahapan tersebut adalah menghitung *quarter wavelength* dari spesifikasi frekuensi yang diberikan. Panjang dari masing-masing saluran impedansi dinyatakan oleh *quarter wavelength*. Selanjutnya adalah menghitung rasio W/d dengan nilai ϵ_r dan Z_0 yang diberikan. Dari nilai rasio ini dapat dihitung berapa lebar dari saluran impedansi pada *microstrip* yang dirancang. Nilai saluran impedansi untuk Z_0 dipilih sebesar 50 sehingga untuk $Z_0/2$ adalah 25.

1. Quarter Wavelength

Dengan menggunakan (2.16), didapat

$$\begin{aligned}\lambda_g &= \frac{c}{\epsilon_r f} \\ &= \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{4,6 \cdot 2,3 \times 10^9} = 0,0608 \text{ m} = 60,8 \text{ mm}\end{aligned}$$

Quarter Wavelength dengan menggunakan (2.17) didapat

$$\begin{aligned}L &= \frac{\lambda_g}{4} \\ &= \frac{60,08 \text{ mm}}{4} = 15,2 \text{ mm}\end{aligned}$$

Quarter wavelength ini menunjukkan panjang pada saluran impedansi untuk 50 dan 35 (L_{50} dan L_{35}) atau $L_{50} = L_{35} = L$.

2. Lebar dari Saluran Impedansi 50 dan 35 (W_{50} dan W_{35})

50 Line

Besarnya rasio W/d dengan menggunakan (2.19) dan (2.20) adalah

$$\begin{aligned}a &= \frac{Z_0}{60} \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left(0,23 + \frac{0,11}{\epsilon_r} \right) \\ &= \frac{50}{60} \sqrt{\frac{4,6+1}{2}} + \frac{4,6-1}{4,6+1} \left(0,23 + \frac{0,11}{4,6} \right) \\ &= 1,56\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{W}{d} &= \frac{8e^a}{e^{2a}-2} \\ &= \frac{8e^{1,56}}{e^{2 \cdot 1,56}-2} = 1,845\end{aligned}$$

Dengan rasio W/d sebesar 1,845 dan ketebalan substrat (d) sebesar 1,6 mm, maka lebar dari saluran impedansi 50 (W_{50}) didapat 2,952 mm.

35 Line

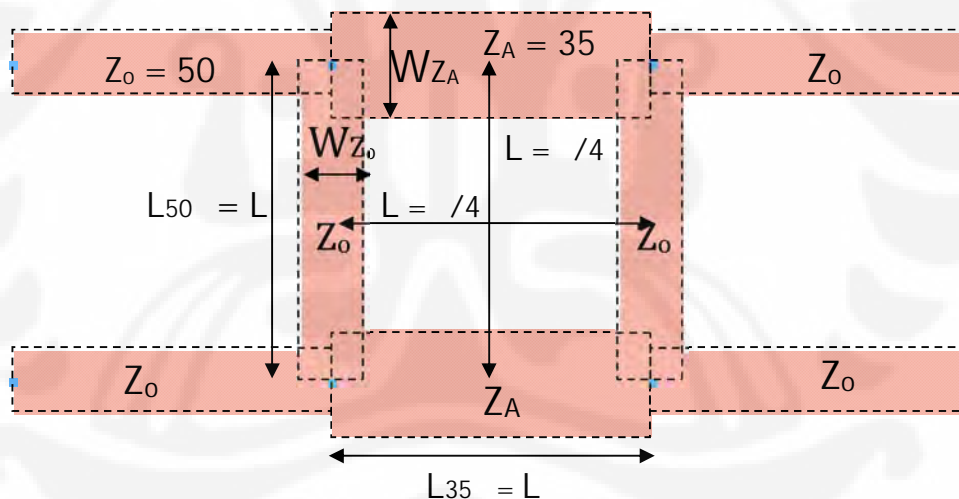
Besarnya rasio W/d dengan menggunakan (2.19) dan (2.20) adalah

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{Z_0}{60} \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left(0,23 + \frac{0,11}{\epsilon_r} \right) \\
 &= \frac{35}{60} \sqrt{\frac{4,6+1}{2}} + \frac{4,6-1}{4,6+1} \left(0,23 + \frac{0,11}{4,6} \right) \\
 &= 1,1207
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{W}{d} &= \frac{8e^a}{e^{2a}-2} \\
 &= \frac{8e^{1,1207}}{e^{2 \cdot 1,1207} - 2} = 3,313
 \end{aligned}$$

Dengan rasio W/d sebesar 3,313 dan ketebalan substrat (d) sebesar 1,6 mm, maka lebar dari saluran impedansi 35 (W_{35}) didapat 5,14 mm.

Gambar 3.2. menunjukkan gambar dari geometri *branch line coupler* yang dirancang.



Gambar 3.2. Geometri *branch line coupler* yang dirancang

3.5 T-junction Discontinuity

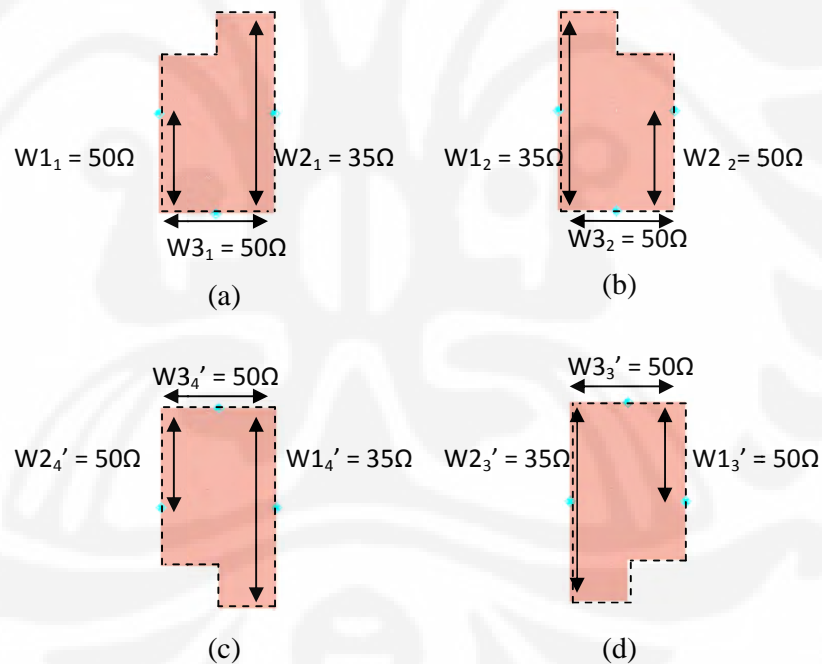
Salah satu jenis diskontinu yang terjadi pada *branch line coupler* adalah *T-junction discontinuity*. Pada persimpangan dimana dua *transmission line* dengan beda karakteristik impedansi digabungkan secara paralel dengan *input line*, medan elektrik dan aliran arusnya akan terdistorsi.

Universitas Indonesia

Salah satu komponen paling penting dalam desain *microstrip* adalah *three port T-junction*. Penambahan ini dilakukan sebagai kompensasi *discontinuity* yang terjadi pada *microstrip branch line coupler*.

Pada [5] dijelaskan beberapa metode kompensasi dari *T-junction discontinuity* dan semuanya bergantung pada *line width*, *dielectric constant*, dan *substrate thickness*. Bergantung dengan jenis *discontinuity*-nya, rangkaian ekuivalen dapat berupa simpel *shunt* dan *series element*. Nilai komponen pada rangkaian ekuivalen bergantung dengan parameter *line* dan frekuensi kerja dari *coupler*.

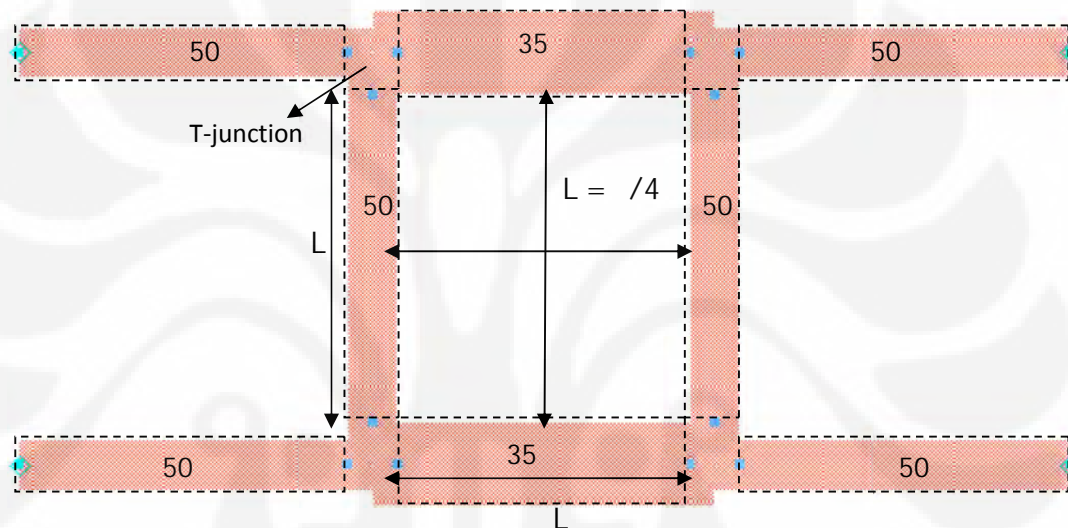
Pada skripsi ini *T-junction* diletakkan pada persimpangan antara saluran impedansi 50Ω dan 35Ω . Pada Gambar 3.2. dapat dilihat ada empat persimpangan antara saluran impedansi 50Ω dan 35Ω , sehingga ada empat jenis *T-junction* yang digunakan. Gambar 3.3. menunjukkan empat geometri *T-junction* yang digunakan pada skripsi ini.



Gambar 3.3. Geometri dari *T-junction* yang digunakan. (a). *T-junction* dengan $W_{1_1} = 50 \Omega$, $W_{2_1} = 35 \Omega$, $W_{3_1} = 50 \Omega$. (b). *T-junction* dengan $W_{1_2} = 35 \Omega$, $W_{2_2} = 50 \Omega$, $W_{3_2} = 50 \Omega$. (c). *T-junction* dengan $W_{1_4}' = 35 \Omega$, $W_{2_4}' = 50 \Omega$, $W_{3_4}' = 50 \Omega$. (d). *T-junction* dengan $W_{1_3}' = 50 \Omega$, $W_{2_3}' = 35 \Omega$, $W_{3_3}' = 50 \Omega$.

Besarnya lebar (W_1 , W_2 , dan W_3) *T-junction* pada Gambar 3.3. dapat dicari dengan menggunakan (2.19) dan (2.20). Besarnya lebar untuk 50 adalah 2,952 mm dan untuk 35 adalah 5,14 mm.

Selanjutnya *T-junction* ini diletakkan pada persimpangan antara dua saluran impedansi pada *branch line coupler* yaitu antara 50 line dengan 35 line. Berikut adalah gambar geometri dari *branch line coupler* dengan *T-junction*.



Gambar 3.4. Geometri branch line coupler dengan T-junction

Maka *microstrip branch line coupler* yang dirancang memiliki parameter fisik :

50 Line

$$W_{50} : 2,952 \text{ mm}$$

$$L_{50} : 15,2 \text{ mm}$$

35 Line

$$W_{35} : 5,14 \text{ mm}$$

$$L_{35} : 15,2 \text{ mm}$$

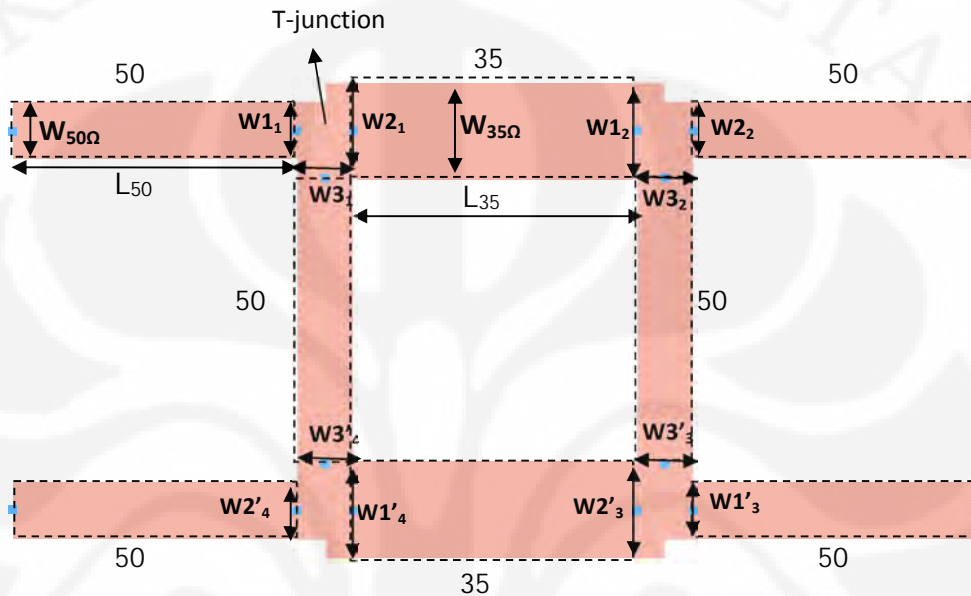
Selanjutnya rancangan *microstrip branch line coupler* ini akan disimulasikan pada bab selanjutnya dengan bantuan *software Advanced Design System*.



Universitas Indonesia

BAB IV
HASIL SIMULASI DAN ANALISA

4.1 Rangkaian Microstrip Branch line Coupler



Gambar 4.1 Rangkaian *microstrip branch line coupler*

Gambar 4.1. menunjukkan rangkaian *microstrip branch line coupler* dengan penambahan *T-junction* menggunakan *layout window* pada *software Advanced Design System*. Adapun parameter fisik dari *microstrip branch line coupler* yang akan disimulasikan telah dihitung di bab sebelumnya. Pada bab ini akan disimulasikan *microstrip* tersebut dengan menggunakan *software Advanced Design System*.

Parameter fisik *microstrip branch line coupler* pada Gambar 4.1. untuk masing-masing saluran impedansi dan *T-junction* adalah :

50 Line

$$W_{50} : 2,952 \text{ mm}$$

$$L_{50} : 15,2 \text{ mm}$$

35 Line

 $W_{35} : 5,14 \text{ mm}$
 $L_{50} : 15,2 \text{ mm}$
T-junction
 $W_{11} : 2,952 \text{ mm}; \quad W_{21} : 5,14 \text{ mm}; \quad W_{31} : 2,952 \text{ mm}$
 $W_{12} : 5,14 \text{ mm}; \quad W_{22} : 2,952 \text{ mm}; \quad W_{32} : 2,952 \text{ mm}$
 $W_{1'3} : 2,952 \text{ mm}; \quad W_{2'3} : 5,14 \text{ mm}; \quad W_{3'3} : 2,952 \text{ mm}$
 $W_{1'4} : 5,14 \text{ mm}; \quad W_{2'4} : 2,952 \text{ mm}; \quad W_{3'4} : 2,952 \text{ mm}$

Selanjutnya rangkaian Gambar 4.1. pada *layout window* digenerate ke *schematic window* dan kemudian disimulasikan.

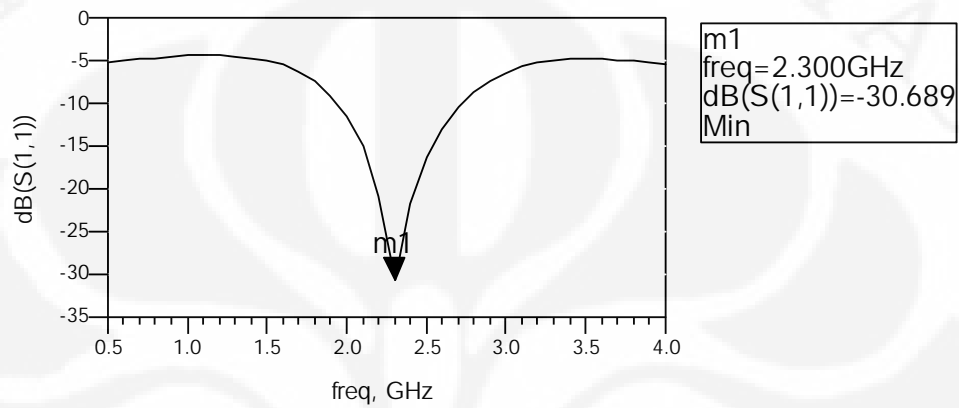
4.2 Hasil Simulasi dan Analisa Rangkaian Microstrip Branch Line Coupler

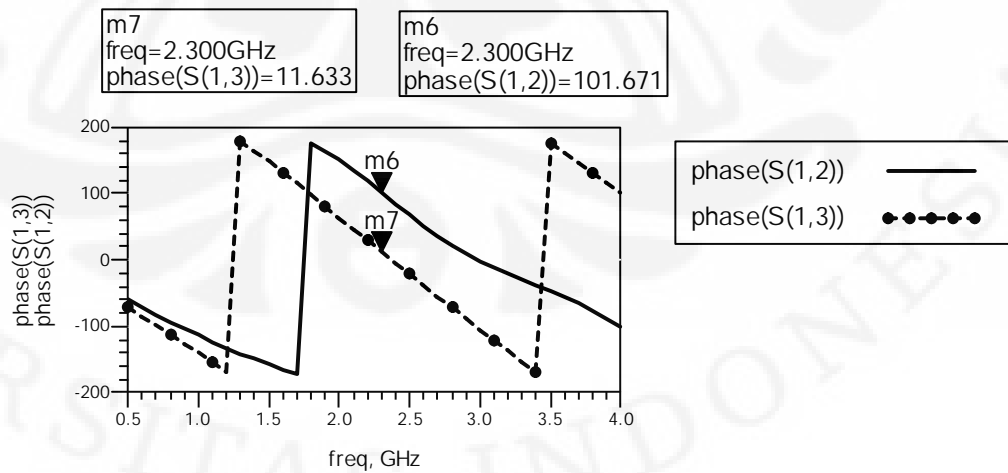
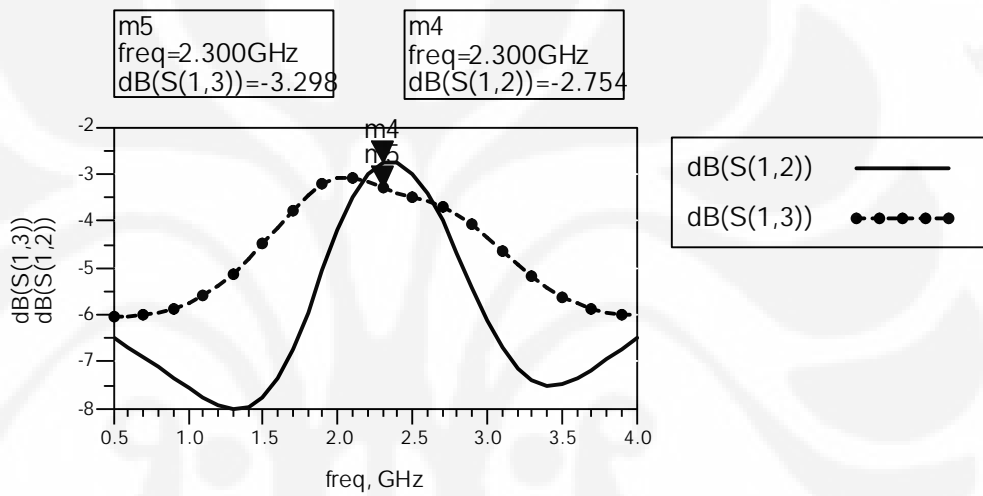
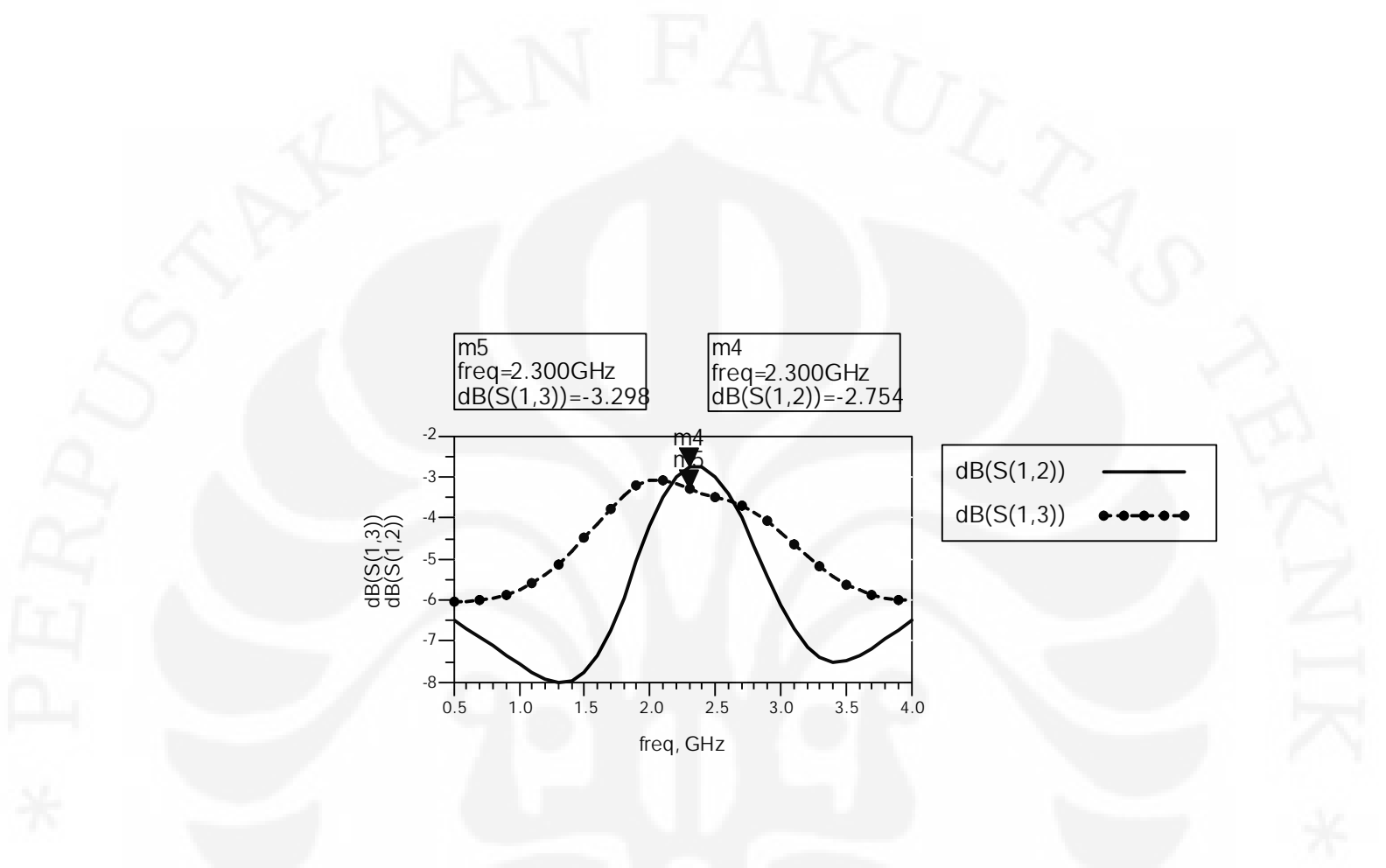
Pada simulasi ini ada beberapa parameter yang dilihat untuk mengetahui apakah *microstrip branch line coupler* yang dibuat sudah sesuai dengan yang diinginkan apa belum. Parameter-parameter tersebut adalah:

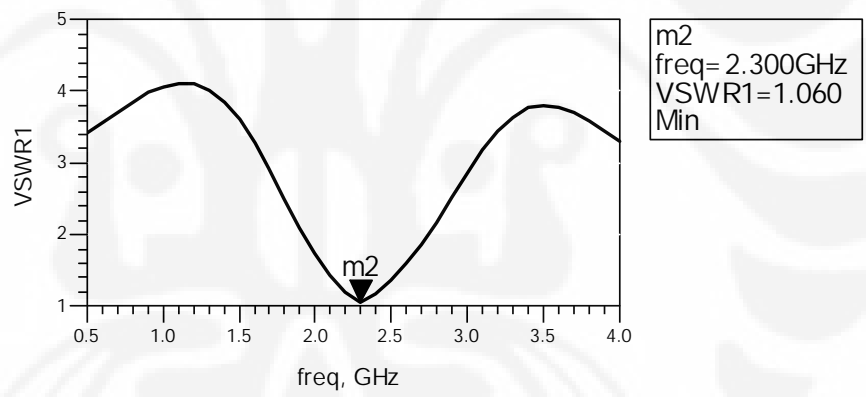
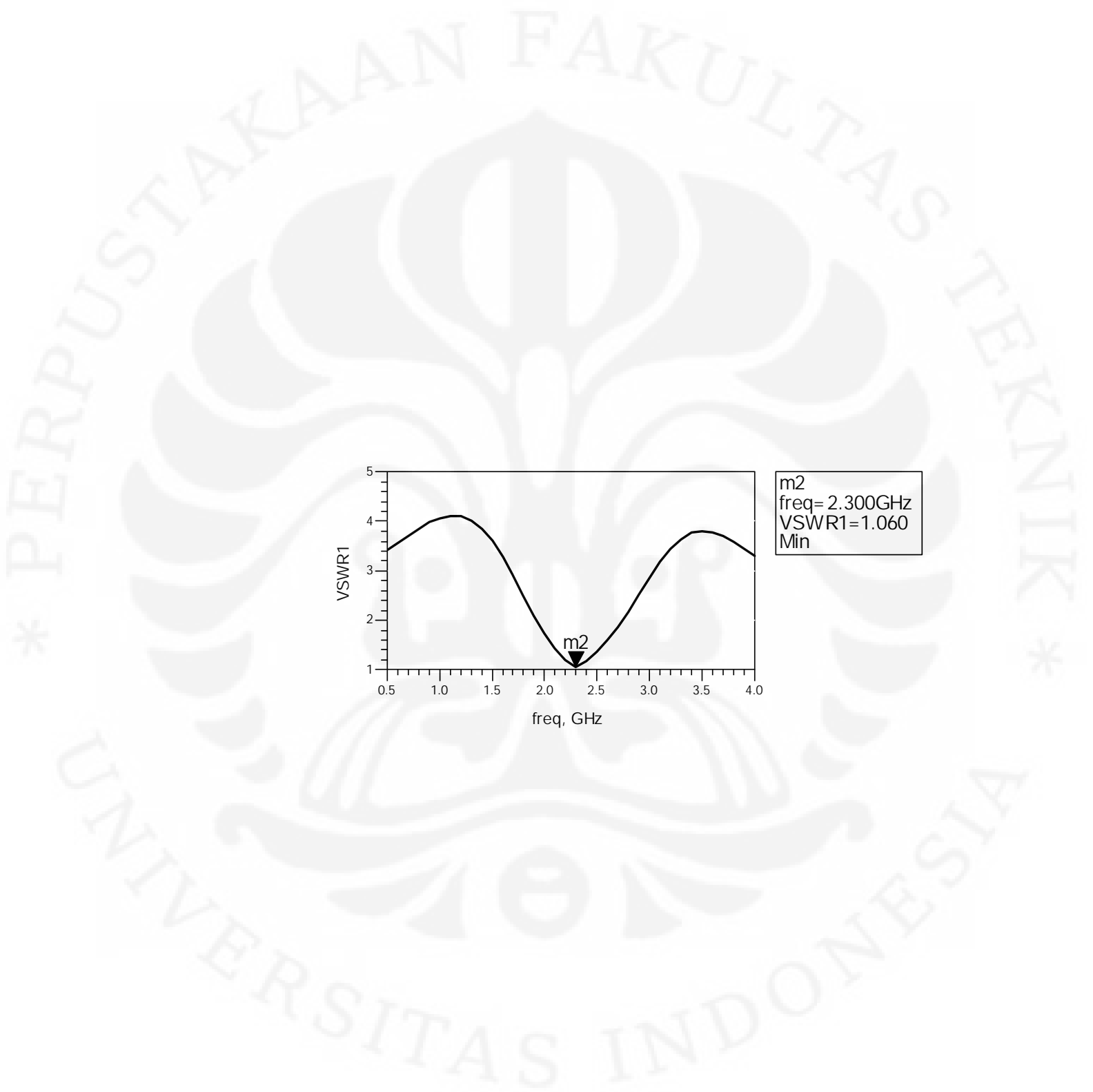
1. Frekuensi kerja: 2,3 GHz
2. Output Port :
 - *Through Port (port 2)* : - 3 dB
 - *Coupled Port (port 3)* : - 3 dB
 - Beda Fasa Keduanya : +90° atau -90°
3. VSWR : 1 - 2
4. Return loss (S_{11}) dan Isolasi (S_{14}) : lebih baik dari - 20 dB
5. Bandwidth : 100 MHz

1. Frekuensi kerja

Frekuensi kerja menunjukkan *microstrip branch line coupler* bekerja pada frekuensi berapa. Parameter yang digunakan untuk melihat frekuensi kerja dari *microstrip branch line coupler* adalah S_{11} (*Return loss*). Dari hasil plot grafik, titik terendah dan tercuram dari plot S_{11} menunjukkan frekuensi kerja dari *coupler*.







Besarnya koefisien refleksi pada *branch line coupler* dapat dicari dengan menggunakan (2.9) :

$$\Gamma_{in} = \frac{e^- + o^-}{2}$$

Dari hasil perhitungan didapat $e^- = 0,036$ dan $o^- = 0,01309$. Sehingga besarnya $\Gamma_{in} = 0,0245$.

Dan dengan menggunakan (2.10) didapat VSWR yaitu

$$\begin{aligned} S &= \frac{|\bar{V}|_{\max}}{|\bar{V}|_{\min}} = \frac{1+|\Gamma_{in}|}{1-|\Gamma_{in}|} \\ &= \frac{1+0,0245}{1-0,0245} = 1,050 \end{aligned}$$

Ternyata hasil VSWR menggunakan perhitungan manual dengan hasil simulasi tidak berbeda jauh. Perbedaannya hanya kecil sekali. Hasil manual adalah 1,050 sedangkan hasil simulasi 1,060.

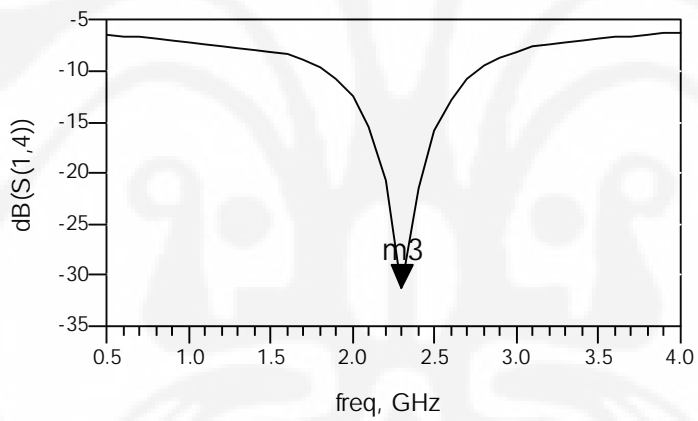
4. Return loss (S_{11}) dan Isolasi (S_{14})

Return loss adalah perbandingan antara amplitudo dari gelombang yang direfleksikan terhadap amplitudo gelombang yang dikirimkan. *Return loss* digambarkan sebagai peningkatan amplitudo dari gelombang yang direfleksikan (V_0^-) dibanding dengan gelombang yang dikirim (V_0^+).

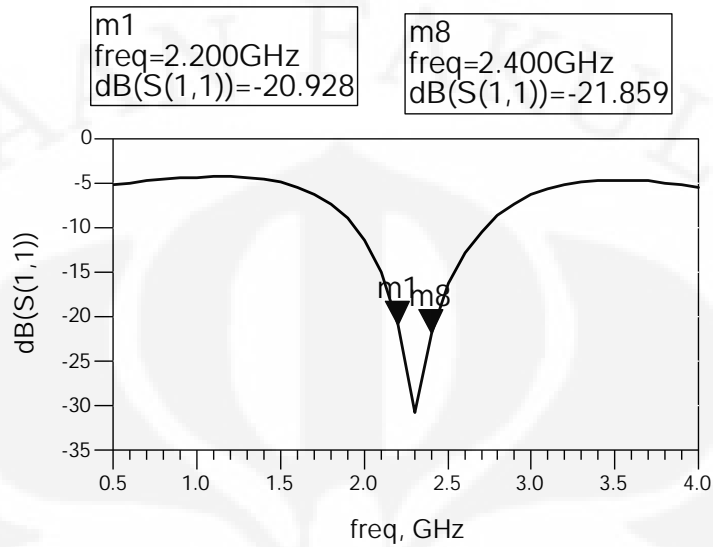
Gambar 4.2. menunjukkan hasil simulasi dari *return loss* yaitu sebesar -30,689 dB. Pada *branch line coupler*, nilai *return loss* yang baik adalah di bawah -20 dB. Sehingga dari hasil simulasi nilai *return loss* pada *microstrip branch line coupler* yang dirancang sudah baik.

Besarnya *return loss* dapat dihitung dengan menggunakan (2.11)

$$\begin{aligned} \text{Return Loss} &= 20 \log_{10} |\Gamma_{in}| \\ &= 20 \log_{10} |0,0245| = -32,22 \end{aligned}$$



m3
freq= 2.300GHz
dB(S(1,4))=-31.185
Min



No	Parameter	Target	Pencapaian	Keterangan
1	Frekuensi Kerja	2,300 GHz	2,300 GHz	Sudah memenuhi target
2	Output	- 3 dB	-2,754 dB dan -3,298	Adanya pembulatan nilai pada perhitungan dimensi dari <i>microstrip</i> dan penambahan <i>T-Junction</i> menyebabkan kedua output tidak tepat -3 dB
3	Return Loss	- 20 dB	-30,689 dB	Sudah memenuhi target
4	Isolasi	- 20 dB	-31,185 dB	Sudah memenuhi target
5	VSWR	1 - 2	1,060	Sudah memenuhi target
6	Bandwith	100 MHz	200 MHz	Secara teori, <i>bandwidth</i> pada <i>branch line coupler</i>

				adalah sebesar 10% dari frekuensi kerjanya. Hasil pencapaian sudah mendekati teori namun lebih besar dari target yang diinginkan
7	Fasa Output	$\pm 90^\circ$	90,038°	Sudah hampir mendekati target

4.3 Perbandingan Menggunakan Substrat Jenis Lain

Dengan melihat (2.16) untuk persamaan *wavelength*

$$\lambda_g = \frac{c}{\epsilon_r f}$$

dan (2.17) untuk persamaan *quarter wavelength*,

$$L = \frac{\lambda_g}{4}$$

dapat dilihat bahwa dimensi dari *microstrip branch line coupler* dipengaruhi oleh jenis substrat yang digunakan. Dari (2.16), terlihat bahwa konstanta dielektrik dari substrat yang digunakan (ϵ_r) berbanding terbalik dengan *wavelength* (λ_g). Semakin besar konstanta dielektrik yang digunakan, semakin kecil dimensi dari microstrip. Begitu pula sebaliknya semakin kecil konstanta dielektrik yang digunakan, semakin besar dimensi dari microstrip.

Pada skripsi ini akan dibuat perbandingan dimensi microstrip branch line coupler dengan menggunakan substrat yang memiliki dielektrik konstan lebih besar dari konstanta dielektrik FR4 dan substrat yang memiliki dielektrik konstan lebih kecil dari konstanta dielektrik FR4 ($\epsilon_r > \epsilon_r \text{ FR4}$ dan $\epsilon_r < \epsilon_r \text{ FR4}$). Untuk konstanta dielektrik yang lebih besar dipilih Alumina dengan dielektrik konstan sebesar 9,8. Untuk konstanta dielektrik yang lebih kecil dipilih Di-clad 522 dengan dielektrik konstan sebesar 2,6.

4.3.1 Alumina

Untuk mempermudah dalam melihat perbandingan, maka geometri dari *microstrip branch line coupler* menggunakan FR4 dan alumina dibuat sama.

Sehingga karakteristik impedansi yang digunakan sama yaitu 50 dan 35 .
Ketebalan substrat juga dibuat sama yaitu 1,6 mm.

1. Quarter Wavelength

Dengan menggunakan (2.16), didapat

$$\begin{aligned}\lambda_g &= \frac{c}{\epsilon_r f} \\ &= \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{9,8 \cdot 2,3 \times 10^9} = 0,042 \text{ m} = 42 \text{ mm}\end{aligned}$$

Quarter Wavelength dengan menggunakan (2.17) didapat

$$\begin{aligned}L &= \frac{\lambda_g}{4} \\ &= \frac{42 \text{ mm}}{4} = 10,5 \text{ mm}\end{aligned}$$

2. Lebar dari Saluran Impedansi 50 dan 35 (W_{50} dan W_{35})

50 Line

Besarnya rasio W/d dengan menggunakan (2.19) dan (2.20) adalah

$$\begin{aligned}a &= \frac{Z_0}{60} \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left(0,23 + \frac{0,11}{\epsilon_r} \right) \\ &= \frac{50}{60} \sqrt{\frac{9,8 + 1}{2}} + \frac{9,8 - 1}{9,8 + 1} \left(0,23 + \frac{0,11}{9,8} \right) \\ &= 2,126\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{W}{d} &= \frac{8e^a}{e^{2a} - 2} \\ &= \frac{8e^{2,126}}{e^{2 \cdot 2,126} - 2} = 0,9825\end{aligned}$$

Dengan rasio W/d sebesar 0,9825 dan ketebalan substrat (d) sebesar 1,6 mm, maka lebar dari saluran impedansi 50 (W_{50}) didapat 1,572 mm.

35 Line

Besarnya rasio W/d dengan menggunakan (2.19) dan (2.20) adalah

$$a = \frac{Z_0}{60} \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left(0,23 + \frac{0,11}{\epsilon_r} \right)$$

$$= \frac{35}{60} \sqrt{\frac{9,8+1}{2}} + \frac{9,8-1}{9,8+1} \left(0,23 + \frac{0,11}{9,8} \right)$$

$$= 1,551$$

$$\frac{W}{d} = \frac{8e^{1,551}}{e^{2 \cdot 1,551} - 2}$$

$$= \frac{8e^{1,551}}{e^{2 \cdot 1,551} - 2} = 1,86$$

Dengan rasio W/d sebesar 1,86 dan ketebalan substrat (d) sebesar 1,6 mm, maka lebar dari saluran impedansi 35 (W_{35}) didapat 2,976 mm.

3. Panjang dari Saluran Impedansi 50 dan 35 (L_{50} dan L_{35})

Dengan penambahan *T-junction* pada rangkaian *branch line coupler*, maka seperti yang sudah dijelaskan pada bab sebelumnya panjang dari saluran impedansi 50 dan 35 (L_{50} dan L_{35}) memiliki nilai yang sama besar yaitu sama dengan nilai *quarter wavelength* (L). Maka besarnya L_{50} dan L_{35} adalah 10,5 mm.

Dimensi *microstrip branch line coupler* menggunakan alumina :

50 Line

$$W_{50} : 1,572 \text{ mm}$$

$$L_{50} : 10,5 \text{ mm}$$

35 Line

$$W_{35} : 2,976 \text{ mm}$$

$$L_{35} : 10,5 \text{ mm}$$

4.3.2 Di-clad 522

Sama dengan alumina, untuk mempermudah dalam melihat perbandingan maka geometri dari *microstrip branch line coupler* menggunakan FR4 dan di-clad 522 dibuat sama. Sehingga karakteristik impedansi yang digunakan sama yaitu 50 dan 35. Ketebalan substrat juga dibuat sama yaitu 1,6 mm.

1. Quarter Wavelength

Dengan menggunakan (2.16), didapat

$$\begin{aligned}\lambda_g &= \frac{c}{\epsilon_r f} \\ &= \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{2,6 \cdot 2,3 \times 10^9} = 0,0809 \text{ m} = 80,9 \text{ mm}\end{aligned}$$

Quarter Wavelength dengan menggunakan (2.17) didapat

$$\begin{aligned}L &= \frac{\lambda_g}{4} \\ &= \frac{80,9 \text{ mm}}{4} = 20,225 \text{ mm}\end{aligned}$$

2. Lebar dari Saluran Impedansi 50 dan 35 (W_{50} dan W_{35})

50 Line

Besarnya rasio W/d dengan menggunakan (2.19) dan (2.20) adalah

$$\begin{aligned}a &= \frac{Z_0}{60} \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left(0,23 + \frac{0,11}{\epsilon_r} \right) \\ &= \frac{50}{60} \sqrt{\frac{2,6 + 1}{2}} + \frac{2,6 - 1}{2,6 + 1} \left(0,23 + \frac{0,11}{2,6} \right) \\ &= 1,232\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{W}{d} &= \frac{8e^a}{e^{2a} - 2} \\ &= \frac{8e^{1,232}}{e^{2 \cdot 1,232} - 2} = 2,813\end{aligned}$$

Dengan rasio W/d sebesar 2,813 dan ketebalan substrat (d) sebesar 1,6 mm, maka lebar dari saluran impedansi 50 (W_{50}) didapat 4,5 mm.

35 Line

Besarnya rasio W/d dengan menggunakan (2.19) dan (2.20) adalah

$$\begin{aligned}a &= \frac{Z_0}{60} \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left(0,23 + \frac{0,11}{\epsilon_r} \right) \\ &= \frac{35}{60} \sqrt{\frac{2,6 + 1}{2}} + \frac{2,6 - 1}{2,6 + 1} \left(0,23 + \frac{0,11}{2,6} \right)\end{aligned}$$

$$= 0,9024$$

$$\begin{aligned} \frac{W}{d} &= \frac{8e^a}{e^{2a}-2} \\ &= \frac{8e^{0,9024}}{e^{2 \cdot 0,9024}-2} = 4,836 \end{aligned}$$

Dengan rasio W/d sebesar 4,836 dan ketebalan substrat (d) sebesar 1,6 mm, maka lebar dari saluran impedansi 35 (W_{35}) didapat 7,74 mm.

3. Panjang dari Saluran Impedansi 50 dan 35 (L_{50} dan L_{35})

Dengan penambahan *T-junction* pada rangkaian *branch line coupler*, maka seperti yang sudah dijelaskan pada bab sebelumnya panjang dari saluran impedansi 50 dan 35 (L_{50} dan L_{35}) memiliki nilai yang sama besar yaitu sama dengan nilai *quarter wavelength* (L). Maka besarnya L_{50} dan L_{35} adalah 20,225 mm.

Dimensi *microstrip branch line coupler* menggunakan di-clad 522 :

50 Line

$$W_{50} : 4,5 \text{ mm}$$

$$L_{50} : 20,225 \text{ mm}$$

35 Line

$$W_{35} : 7,74 \text{ mm}$$

$$L_{35} : 20,225 \text{ mm}$$

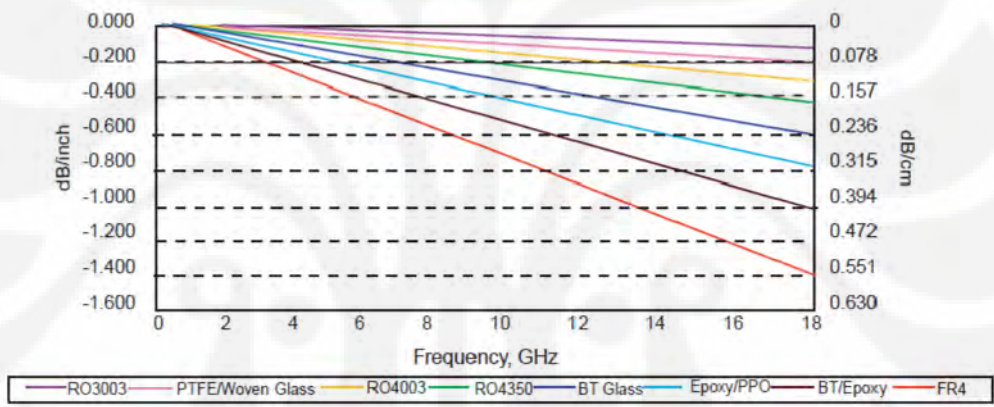
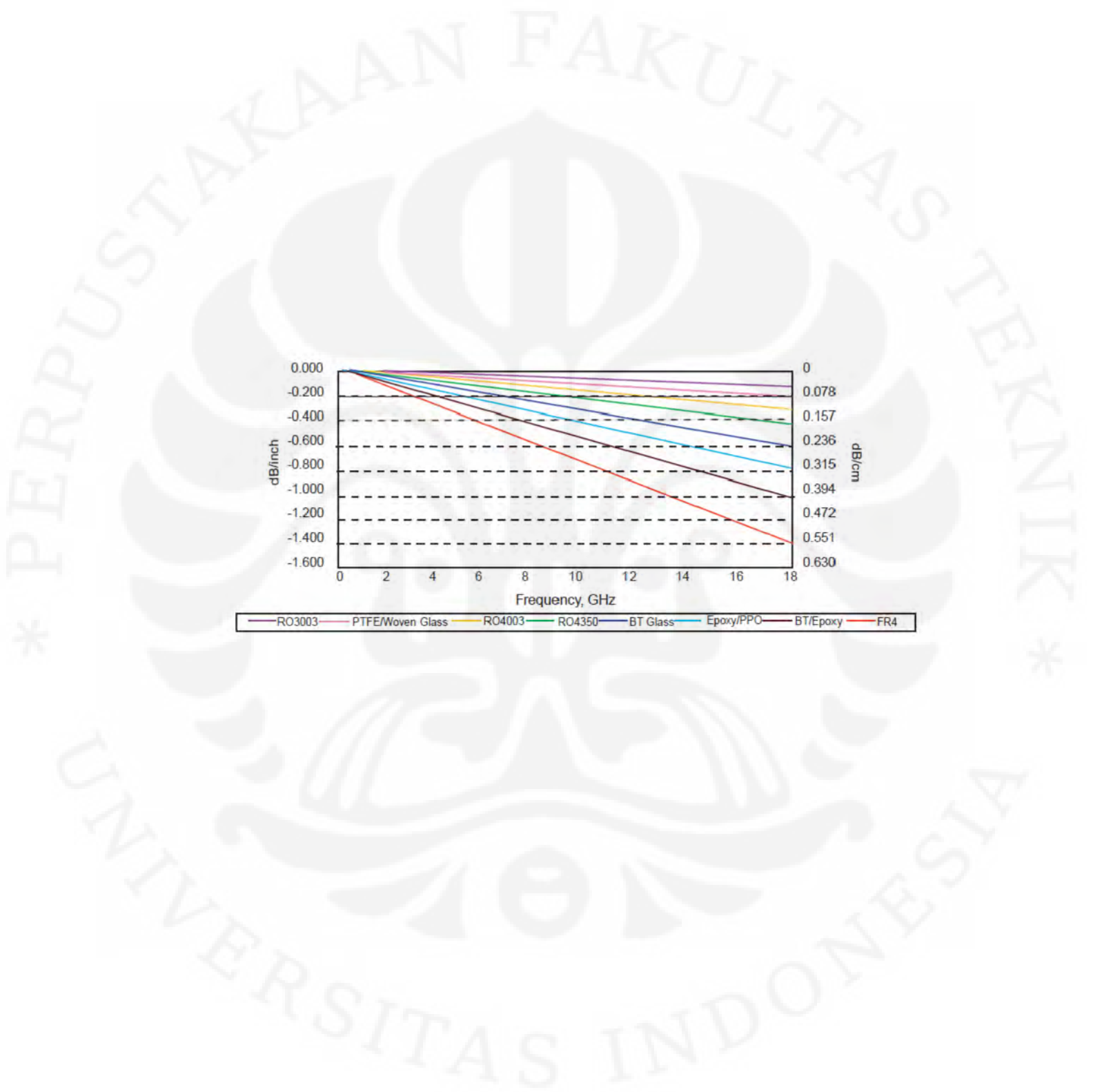
Tabel 4.2. menunjukkan perbandingan dimensi dari *microstrip branch line coupler* dengan menggunakan tiga jenis substrat yaitu Di-clad 522, FR4, dan alumina.

Tabel. 4.2. Perbandingan dimensi *microstrip branch line coupler* dengan menggunakan substrat yang berbeda

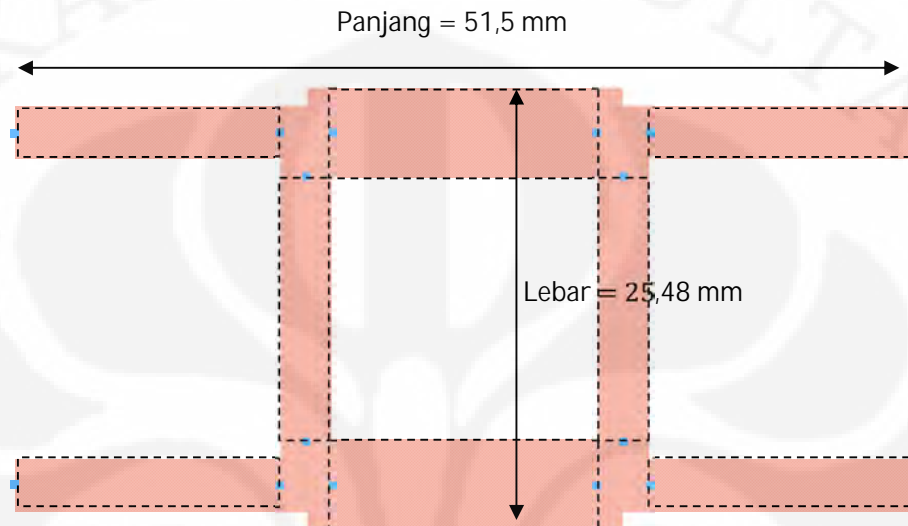
No	Substrat	r	W_{50}	L_{50}	W_{35}	L_{35}
1	Di-clad 522	2,6	4,5 mm	20,225 mm	7,74 mm	20,225 mm
2	FR4	4,6	2,952 mm	15,2 mm	5,14 mm	15,2 mm

Universitas Indonesia

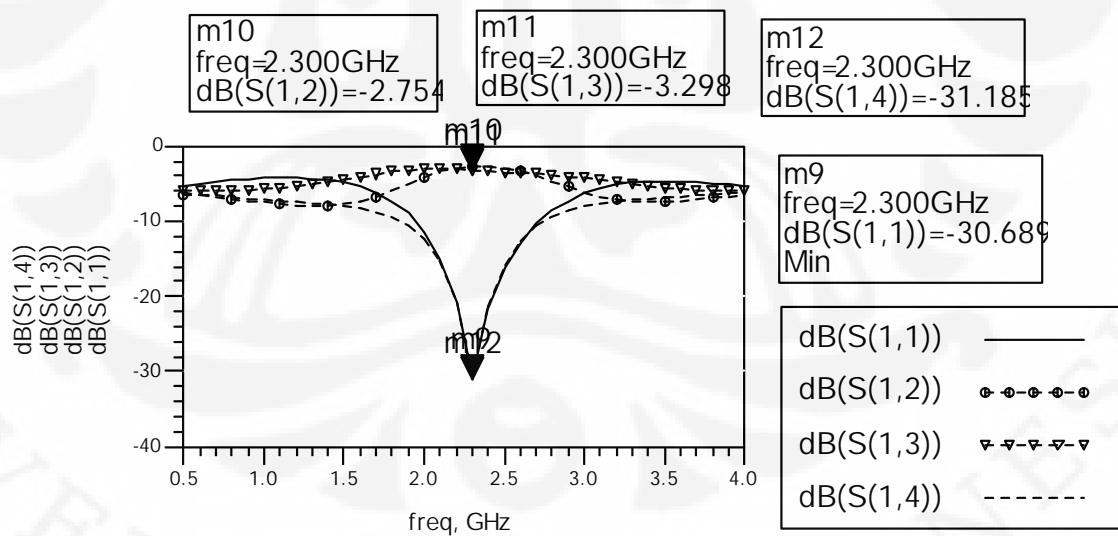
Material	Er (* at 1.0 MHz)	Thickness Tolerance	Copper Style	Multilayer Compatible	Loss Tangent
FR4	3.9 – 4.6*	+/- 1-2 mils	ED Only	Yes	.02 - .03
FR408	3.4 – 4.1*	+/- 1-2 mils	ED Only	Yes	.01 - .015
BI Epoxy	3.9 – 4.6*	+/- 1-2 mils	ED Only	Yes	.015 - .02
Cyanate Ester	3.5 – 3.9*	+/- 1-2 mils	ED Only	Yes	.009
Polyimide	4.0 – 4.5*	+/- 1-2 mils	ED Only	Yes	.01
GETEK	3.5 – 4.2*	+/- 1-2 mils	ED Only	Yes	.012
Nelco 4000-13	3.7 (1GHz)	+/- 1 mil	ED Only	Yes	.01
Nelco 4000-13SI	3.5 (1GHz)	+/- 1 mil	ED Only	Yes	.009
Nelco 6000	3.5 (1GHz)	+/- 1 mil	ED Only	Yes	.008
Nelco 6000SI	3.2 (1GHz)	+/- 1 mil	ED Only	Yes	.005
Speedboard N	3.0 *	+/- 1 mil	Prepreg	Yes	.02
Speedboard C	2.6 – 2.7*	+/- 1 mil	Prepreg	Yes	.004
Arlon 25 / Rogers 4003	3.4 (10GHz)	+/- 1 mil	ED Only	Yes	.0027



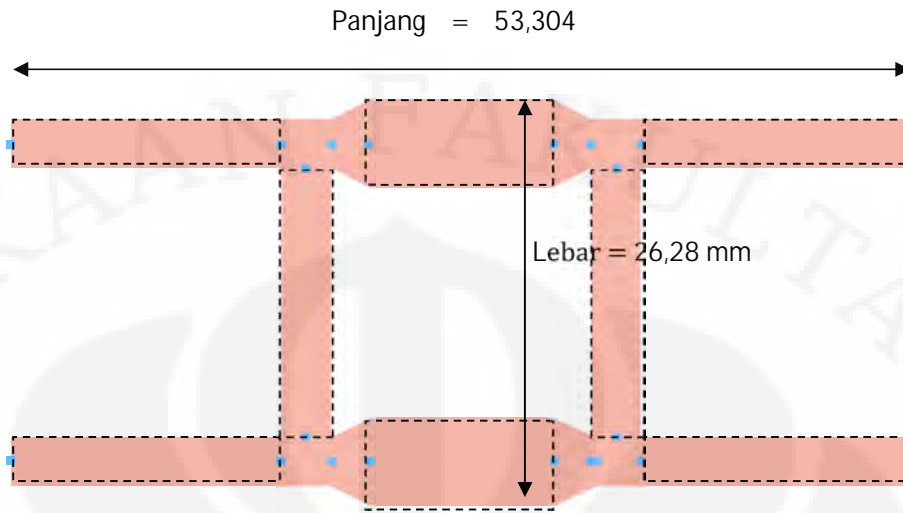
geometri dan kinerja *microstrip branch line coupler* dengan menggunakan T-junction yang dibuat dalam skripsi ini, T-junction dengan menggunakan taper seperti pada [5] dan dengan menggunakan Y-junction.



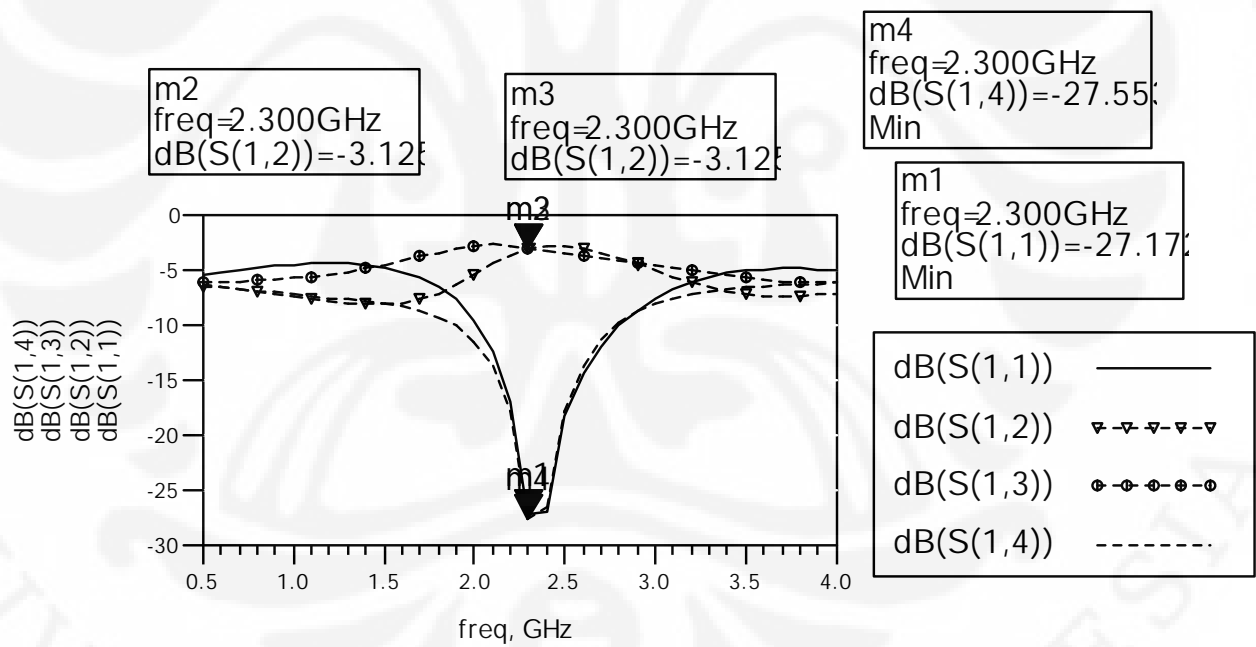
(a). Geometri *microstrip branch line coupler* dengan T-junction



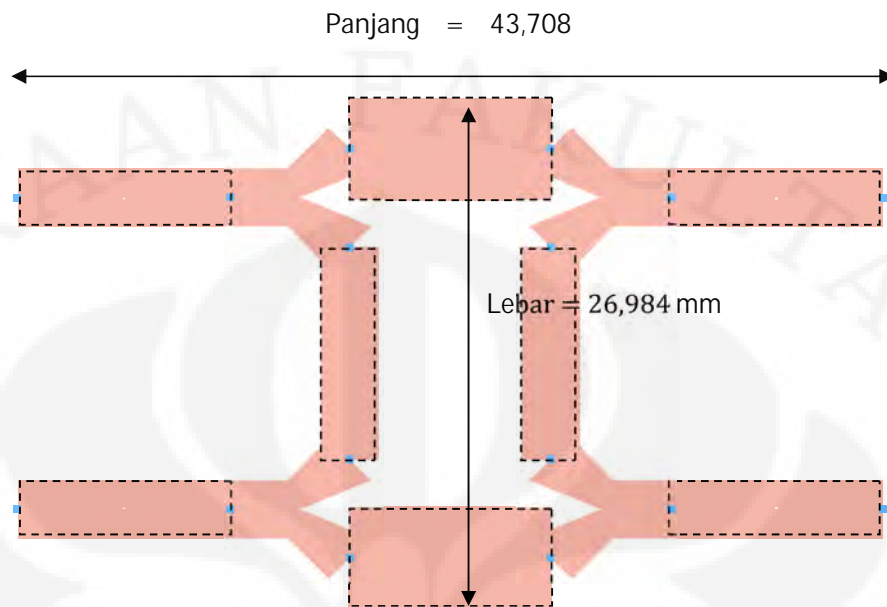
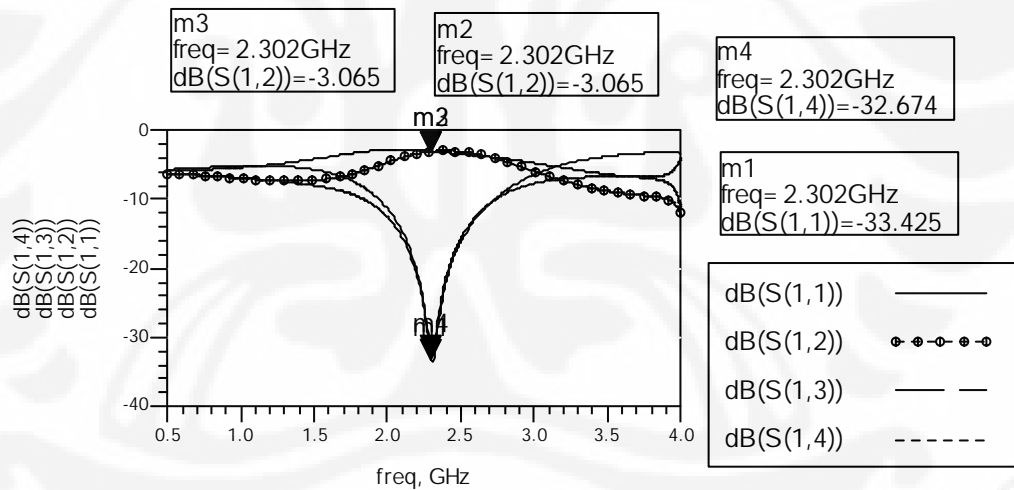
(b). Hasil simulasi *microstrip branch line coupler* dengan T-junction



(c). Geometri *microstrip branch line coupler* dengan *T-junction* dan *taper*



(d). Hasil simulasi *microstrip branch line coupler* dengan *T-junction* dan *taper*

(e). Geometri *microstrip branch line coupler* dengan *Y-junction*(f). Hasil simulasi *microstrip branch line coupler* dengan *Y-junction*

Gambar 4.9. Perbandingan geometri dan kinerja *microstrip branch line coupler* (a). Geometri *microstrip branch line coupler* dengan *T-junction*. (b). Hasil simulasi *microstrip branch line coupler* dengan *T-junction*. (c). Geometri *microstrip branch line coupler* dengan *T-junction* dan *taper*. (d). Hasil simulasi *microstrip branch line coupler* dengan *T-junction* dan *taper*. (e.) Geometri *microstrip branch line coupler* dengan *Y-junction*. (f). Hasil simulasi *microstrip branch line coupler* dengan *Y-junction*.

Tabel 4.4. Rekapitulasi dimensi dan kinerja *microstrip branch line coupler* dengan menggunakan berbagai *junction*

No	Spesifikasi	T-Junction	Tjunction+Taper	Y-Junction
1	Dimensi Keseluruhan	Panjang = 51,5 mm Lebar = 25,48 mm	Panjang = 53,304 mm Lebar = 26,28 mm	Panjang = 43,708 mm Lebar = 26,984 mm
2	Frekuensi Kerja	2,300 GHz	2,300 GHz	2,302 GHz
3	Output (S_{12}) dan (S_{13})	(S_{12}) = - 2,75 dB (S_{13}) = - 3,298 dB	(S_{12}) = - 3,125 dB (S_{13}) = - 3,125 dB	(S_{12}) = - 3,065 dB (S_{13}) = - 3,065 dB
4	Return Loss	-31,185 dB	-27,175 dB	-33,425 dB

Dari rekapitulasi Tabel 4.4. dapat dilihat bahwa *T-junction* yang digunakan pada skripsi ini memiliki kekurangan yaitu *output* yang dihasilkan tidak terbagi rata atau sama besar. Kelebihan *T-junction* yang digunakan dibandingkan dengan menggunakan *taper* adalah *return loss*nya yang lebih rendah. Namun kekurangannya dibanding menggunakan *Y-junction* adalah *return loss*nya lebih besar.

BAB V KESIMPULAN

1. Pada skripsi ini telah dirancang *microstrip branch line coupler* dengan *T-junction* yang didesain untuk bekerja pada frekuensi 2,3 GHz dengan menggunakan *software* Advanced Design System.
2. Dari hasil perancangan didapat frekuensi kerja dari *microstrip branch line coupler* adalah 2,300 GHz, *output port* pada *port 2* adalah - 2,754 dB dan pada *port 3* adalah - 3,298 dB, beda fasa kedua *output* sebesar 90,038°, besarnya *return loss* adalah -30,689 dB, isolasi sebesar -31,185 dB, VSWR sebesar 1,060, dan *bandwidth* sebesar 200 MHz.
3. Dari hasil perancangan yang didapat, *microstrip branch line coupler* yang dirancang sudah baik karena sudah mendekati spesifikasi-spesifikasi yang diinginkan.

DAFTAR ACUAN

- [1] Balvinder Bisla, Roger Eline, Luiz M. Franca-Neto, "RF System and Circuit Challenges for WiMAX." Intel Communication Group, Intel Corporation.
- [2] Teng Zhao, Jianyo Zhou, Jianfeng Zhai, " Design of a High Performance Compact RF Transceiver for WiMAX Acces Points." *IEEE*. 2009.
- [3] Jun-Wen Zhang, Chang-Tao Wang. "RF Transceiver of WiMAX Base Station for 802.16d." Jushri Technilogies, Inc. *IEEE*. 2008.
- [4] Lukas W. Mayer, Arpad L. Scholtz. "Circularly Polarized Patch Antenna with High Tx/Rx-Separation." Vienna University of Techonology. *IEEE*. 2009.
- [5] Murshed Alam, Donald Eastman, Jason Mcgraw, Wai Tung. "The Branch-Line Coupler."
- [6] Pozar, David . "Microwave Engineering", 3rd ed. United State of America: John Wiley and Sons, 2005.
- [7] "Power Divider and Directional Coupler"
<http://www.tscm.com.couplers.pdf>, didownload pada tanggal 1 Desember 2009.
- [8] Wardana, Indra Kusuma. "Rancang Bangun Antena Mikrostrip Susun Linier 8 Elemen Dengan Pembentukan Berkas Pola Sectoral 60° Untuk Aplikasi WiMAX. Skripsi S1 pada Universitas Indonesia, 2009.
- [9] Fooka, E.H dan Zakarevicius, R.A. "Microwave Enginnering Using Microstrip Circuits." Australia: Prentice Hall, Inc, 1990.
- [10] "Theoritical Information About Branch Line Couplers"
<http://een.iust.ac.ir/profs/Soleymani/Couplers/Theoritical%20Information%20About%20Tapered%20Coupled%20Line%20Hybrid.pdf>, didownload pada tanggal 1 Maret 2010.
- [11] Masahiro Muraguchi, Takeshi Yukitake, Yoshiyuki Naito, "Optimum Design of 3-dB Branch-Line Couplers, Using Microstrip Line." *IEEE*. 1983.

- [12] ADS Help “MTEE”.
- [13] Hartley, Rick. “Base Materials for High Speed, High Frequency PC Boards”. March 2002.
- [14] “RO4000® Series High Frequency Circuit Materials”
<http://www.rogerscorporation.com>, didownload pada tanggal 5 Juli 2010.

