

**RANCANG BANGUN MIKROSTRIP KOPLER 3 dB UNTUK APLIKASI RF
AMPLIFIER PADA PEMANCAR TELEVISI UHF SOLID STATE**

Purwono Sutoyo dan Irmayani

Program Studi Teknik Elektro - Fakultas Teknologi Industri

Institut Sains dan Teknologi Nasional (ISTN)

Email: i.pungky@yahoo.com dan ir.irmayani@istn.ac.id

Abstrak

Kopler 3 dB atau Quadrature (90-degree) hybrid coupler memiliki peran penting dalam berbagai sistem RF seperti pemancar, penerima, rangkaian pengolahan sinyal, pergeseran fasa, penggabungan power dan aplikasi sampling pancaran daya. Kopler 3 dB umumnya digunakan berdiri sendiri dan dihubungkan dengan komponen lain menggunakan kabel RF. Disamping itu juga digunakan bersama dengan rangkaian microwave lain seperti amplifier, mixer, dan pembagi daya. Untuk mengetahui kinerja sistem secara keseluruhan, perlu dirancang dan disimulasikan perangkat coupler yang dihubungkan bersama dengan amplifier, mixer.

Dalam tulisan ini dibahas mengenai perancangan mikrostrip kopler 3 dB dengan T-junction yang bekerja pada frekuensi kerja 1,8 menggunakan substrat *RT Duroid 5870* dan pada frekuensi 2,3 GHz menggunakan substrat *Glass Epoxy (FR4)*. Perancangan dilakukan dengan bantuan software simulasi *RF Sim 99* dan *Advanced Design System (ADS)*.

Kata kunci : *Kopler 3 dB, Mikrostrip, substrat, Frekuensi kerja, Amplifier*

Abstract

3 dB coupler or Quadrature (90-degree) hybrid couplers play an important role in various RF system like receivers, transmitters, signal analysis/processing circuits etc., for phase shifting, power combining, and power sampling applications. Most of the times, they are used stand-alone connecting with other components using RF cables. They frequently are used along with other microwave circuits like amplifiers, mixers, and power dividers. It is important to design and simulate these hybrids along with amplifiers, mixers, etc., to get the necessary data regarding overall system performance.

In the design of microstrip 3 dB couplers do it with a T-junction, designed to work on the working frequency of 1.8 GHz that uses RT Duroid substrate 5870 and at a frequency of 2.3 GHz using Epoxy Glass substrate (FR4) using RF simulation software RF Sim 99 and Advanced Design System (ADS).

Keywords: *3 dB Couplers, Microstrip, Substrate, Work frequency, Simulation*

I. Pendahuluan

Amplifier berdaya tinggi diaplikasi kan pada berbagai perangkat seperti perangkat gelombang radio, sistem instrumentasi, perangkat elektronik, dan lain-lain. Ada banyak bentuk sirkuit elektronik yang digolongkan sebagai amplifier, dari Penguat Operasional dan Penguat sinyal kecil hingga ke sinyal besar dan Power Amplifier

Kopler 3 dB memiliki fungsi sebagai pembagi (divider) dan penggabung (combiner) sinyal di amplifier, switching sirkuit, dan blok antena. Kopler 3 dB merupakan pembentuk jaringan yang digunakan dalam berbagai aplikasi komersial dan militer. Kopler 3 dB digunakan dalam rangkaian yang membutuhkan suatu pembagi yang seimbang sehingga daya sinyal keluarannya menjadi dua

jalur transmisi dengan pemisahan fasa 90° atau berbeda phase sebesar 90° antara sinyal yang satu dengan lainnya.

Hybrid coupler memiliki beberapa desain, yaitu menggunakan waveguides, dan ada pula yang menggunakan mikrostrip/stripline. Jenis hybrid coupler yang menggunakan mikrostrip/stripline adalah Coupled-Line Directional Couplers, Lange Directional Coupler, Hybrid Ring, dan Branch-Line Hybrid Coupler.

Pembahasan dalam penelitian ini memiliki ruang lingkup:

1. Merancang mikrostrip kopler 3 dB dengan model penambahan T-junction, pengujian pada frekuensi kerja GSM 1800 dan mobile WiMAX 2,3 GHz .

2. Simulasi dengan bantuan software *RF Sim 99* dan *Advance Design System (ADS)*. Menggunakan substrat *RT Duroit 5870* dan *Glass Epoxy (FR4)*.
3. Pengukuran sesuai dengan target simulasi pada karakteristik parameter mikrostrip kopler 3 dB. aplikasinya dalam rangkaian RF amplifier pemancar TV UHF

II. Dasar Teori

2.1 Penguat RF (RF Amplifier) [3] [11]

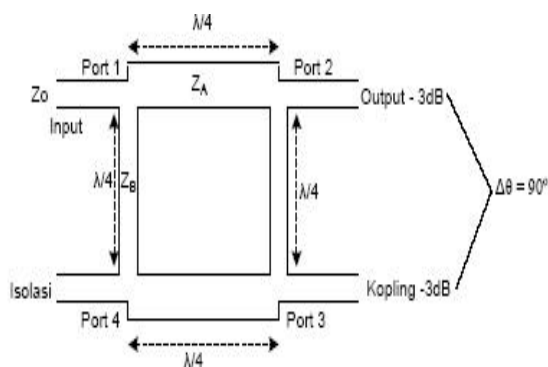
Penguat RF merupakan perangkat yang berfungsi memperkuat sinyal frekuensi tinggi yang dihasilkan osilator RF dan diterima oleh antena untuk dipancarkan.

Secara umum penguat RF terdiri dari tiga tingkatan yaitu *buffer*, *driver*, dan Penguat Akhir.

- *Buffer*, merupakan blok rangkaian yang berfungsi sebagai penyangga atau penyaring sinyal masukan (*input*) agar sesuai dengan karakteristik kerja penguat. *Buffer* merupakan penguat tingkat satu dengan daya *output* yang kecil.
- *Driver* merupakan penguat tingkat dua yang juga merupakan rangkaian kendali dari penguat RF. Rangkaian penguat *driver* ini mempunyai daya *output* yang lebih besar dari rangkaian *buffer*.
- Penguat Akhir, merupakan penguat tingkat akhir. Rangkaian penguat akhir menentukan daya *output* secara keseluruhan dari penguat RF. Komponen penguat dari rangkaian ini mempunyai daya yang tinggi.

2.2 Branch-Line Coupler [3][4][6]

Branch-Line Coupler disebut juga Quadrature Hybrids dengan beda fasa 90° pada port output dan koplingnya. Model rancangan dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Desain Branch-Line Coupler

Prinsip kerja pada branch line kopler [13] 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 di coupled ke port-4 (isolated port). Matriks [S] untuk branch line kopler dinyatakan oleh persamaan (2.1)

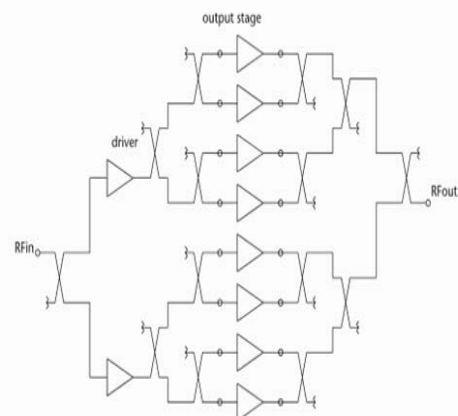
$$[S] = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & S_{14} \\ S_{12} & S_{22} & S_{23} & S_{24} \\ S_{13} & S_{23} & S_{33} & S_{34} \\ S_{14} & S_{24} & S_{34} & S_{44} \end{bmatrix}$$

$$[S] = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 0 & j & 1 & 0 \\ j & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & j \\ 0 & 1 & j & 0 \end{bmatrix}$$

Branch line kopler memiliki derajat simetris yang tinggi, sehingga semua port dapat bekerja sebagai input. Output port akan selalu berada di sisi yang berlawanan dengan input port dan isolated port akan selalu berada disatu sisi dengan input port.

Ada 2 topologi yang umum digunakan dalam aplikasi Kopler 3 dB untuk tahapan penguatan RF yaitu sebagai berikut:

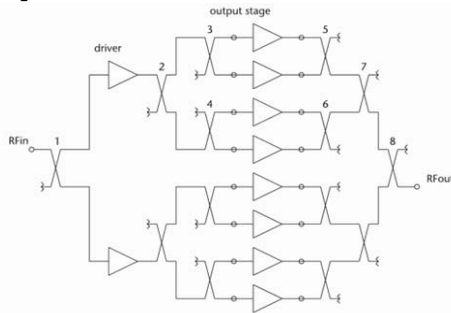
2.2.1 Topologi Uniform Kopler 3 dB [11]



Gambar 2.2 Pola Topologi Uniform Kopler 3 dB

Penyusunan beberapa Kopler 3 dB yang berfungsi sebagai power combiner yang dirangkai secara paralel di beberapa tahap, harus dipastikan bahwa Kopler 3 dB sebagai pembagi/divider dan penggabung/combiner sinyal saling melengkapi satu sama lain.

2.2.2 Topologi Non Uniform Kopler 3 dB [11]



Gambar 2.3 Pola Topologi Non Uniform Kopler 3 dB

Susunan atau rangkaian penguatan tidak seragam atau pola yang tidak identik dalam aplikasi Kopler 3 dB sebagai input dan output sinyal yang diberikan ke suatu rangkaian balance amplifier seperti ditunjukkan dalam skema gambar 2.3.

Karakteristik dari branch line kopler [4] ditunjukkan oleh beberapa faktor, yaitu:

a. Coupling Faktor

Coupling factor didefinisikan sebagai:

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

P1 adalah input power dan P3 adalah output power dari coupled port.

a. Loss

Pada branch line kopler yang ideal, loss pada port-1 ke port-2 yang disebabkan power coupled dengan coupled output port adalah:

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

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

b. Isolasi

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

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

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,

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

c. Directivity

Directivity berhubungan langsung dengan isolasi. Directivity didefinisikan sebagai:

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

P3 adalah output power dari coupled port dan P4 adalah output power dari isolated port.

Directivity tidak dapat diukur secara langsung, tetapi didapat dari pengukuran isolasi dan coupling,

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

d. VSWR (Voltage Standing Wave Ratio)

VSWR adalah perbandingan antara amplitud gelombang berdiri (standing wave) maksimum ($|V|_{\max}$) dengan minimum ($|V|_{\min}$). Pada saluran transmisi ada dua komponen gelombang tegangan, yaitu tegangan yang di kirimkan (V_{o+}) dan tegangan yang di refleksi (V_{o-}). Persamaan (2.8) merupakan perbandingan antara tegangan yang direfleksi dengan tegangan yang dikirimkan disebut sebagai koefisien refleksi tegangan (Γ):

$$\Gamma = \frac{V_{o-}}{V_{o+}} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (2.8)$$

Dimana ZL adalah impedansi beban (load) dan Z0 adalah impedansi saluran lossless.

Pada branch line kopler, besarnya koefisien refleksi adalah:

$$\Gamma_{in} = \frac{P_s + P_o}{2} \quad (2.9)$$

dimana koefisien refleksi even (Γ_e) dan odd (Γ_o) didapat dengan menggunakan :

$$\Gamma_e = \frac{j(Y_0(Z_0\sqrt{2})y - Z_0V_0X - Z_0(Y_0\sqrt{2})y + Z_0(Z_0\sqrt{2})Y_0^2y - Z_0V_0X)}{(2X - 2(Z_0\sqrt{2})Y_0y) + j(Y_0(Z_0\sqrt{2})y + Z_0V_0X + Z_0(Y_0\sqrt{2})y - Z_0(Z_0\sqrt{2})Y_0^2y + Z_0V_0X)}$$

$$\Gamma_o = \frac{j(Y_0(Z_0\sqrt{2})y + Z_0V_0X - Z_0(Y_0\sqrt{2})y + Z_0(Z_0\sqrt{2})Y_0^2y + Z_0V_0X)}{(2X + 2(Z_0\sqrt{2})Y_0y) + j(Y_0(Z_0\sqrt{2})y - Z_0V_0X + Z_0(Y_0\sqrt{2})y - Z_0(Z_0\sqrt{2})Y_0^2y - Z_0V_0X)}$$

dengan x sebagai $\cos \beta l$ dan y sebagai $\sin \beta l$. Pada persamaan atas

$$\beta l = (2\pi/\lambda) \times (\lambda/4) = \pi/2 \quad (2.10)$$

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 :

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

Persamaan untuk mencari nilai VSWR adalah :

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

Kondisi yang paling baik adalah ketika VSWR bernilai 1 ($S=1$) yang berarti tidak ada refleksi ketika saluran dalam keadaan matching sempurna. Nilai standar VSWR yang diijinkan untuk pabrikasi antenna adalah $VSWR \leq 2$.

e. Return Loss dan Insertion Loss

Return loss dapat terjadi akibat adanya diskontinuitas diantara saluran transmisi dengan impedansi masukan beban.

$$Return\ loss = 20 \log 10 |\Gamma| \quad (2.12)$$

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 (2.13)

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

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.

f. Bandwidth

Bandwidth suatu kopler dapat didefinisikan sebagai rentang frekuensi di mana kinerja kopler yang berhubungan dengan beberapa karakteristik (seperti VSWR, return loss) memenuhi spesifikasi standar.

Pada kopler, bandwidth berdasarkan return loss, yaitu rentang frekuensi saat nilai return loss < -20 dB. Pada bandwidth suatu kopler dilihat dengan cara menarik garis pada -20 dB pada return lossnya.

Bandwidth dinyatakan sebagai perbandingan antara frekuensi atas dan frekuensi bawah dalam level yang dapat diterima.

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

f_h = frekuensi tertinggi (Hz)

f_l = frekuensi terendah (Hz) dan

f_c = frekuensi tengah (Hz)

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

g. 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.

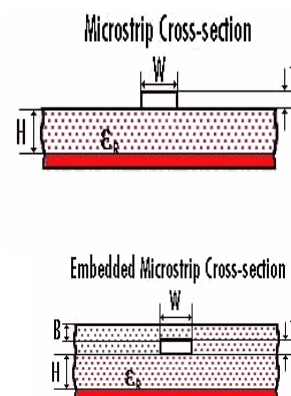
i. Phase Balance

Perbedaan fasa antara dua output pada hybrid kopler dapat bernilai 0° , 90° , atau 180° tergantung dari tipe yang digunakan.

2.3 Microstrip Line [4] [8] [9]

Mikrostrip line adalah saluran transmisi microwave paling populer, terutama untuk microwave sirkuit, yang terdiri dari strip konduktif lebar "W" dan yang digunakan bidang tanah yang lebih luas, yang dipisahkan oleh lapisan dielektrik (alias "substrat") dan telah diketahui konstanta dielektrik " ϵ_r " dan ketebalan "H" seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.4.

Keuntungan utama dari mikrostrip atas stripline adalah bahwa semua komponen aktif dapat dipasang di atas papan. Kerugiannya adalah memerlukan isolasi yang tinggi seperti dalam filter atau switch.

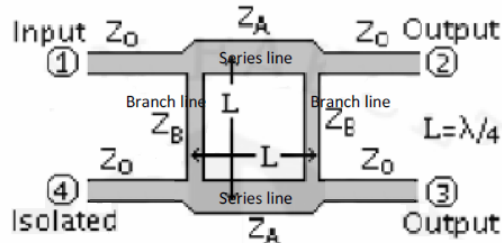


Gambar 2.4 Bagan Mikrostrip

Varian mikrostrip termasuk tertanam mikrostrip (embedded) dan mikrostrip dilapisi, keduanya menambahkan beberapa dielectric atas konduktor mikrostrip.

2.3.1 Microstrip Branch Line Coupler (Kopler 3 dB)

Microstrip Branch Line Coupler terdiri dari dua saluran impedansi series line yang dihubungkan oleh dua saluran branch line seperti ditunjukkan gambar 2.5.



Gambar 2.5 Bagan Branch Line Kopler

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 .

Dimensi panjang atau length (L) pada kopler 3 dB pada branch line dan series line biasanya dipilih $1/4$ dari desain wavelength nya atau disebut quarter length dengan spesifikasi frekuensi adalah

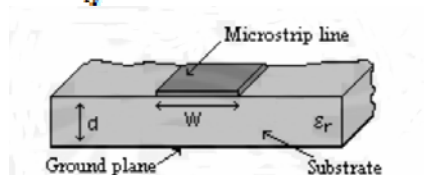
$$\lambda_g = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r} f} \quad (2.16)$$

c adalah kecepatan cahaya pada udara (3×10^8 m/s), f adalah frekuensi kerja pada kopler dan ϵ_r adalah konstanta dielektrik dari substrat yang digunakan

Sehingga dari **gambar 2.11**, dapat diketahui transmission line, L dinyatakan oleh:

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

$$= \frac{c}{4\sqrt{\epsilon_r} f} \quad (2.18)$$



Gambar 2.6 Penampang Geometri Mikrostrip

Dari **gambar 2.6** merupakan penampang geometri mikrostrip dengan nilai lebar dari mikrostrip, d adalah tebal dari substrat yang digunakan. Lebar (W) dari mikrostrip dapat ditentukan dengan mencari rasio W/d . Berdasarkan pemilihan saluran impedansi pada series dan branch mikrostrip transmission line, bila diberikan ϵ_r dan Z_0 , maka rasio W/d dinyatakan :

$$\frac{W}{d} = \begin{cases} \frac{2e^{-2B}}{1 - e^{-2B}} \\ \frac{2}{B} \left[B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{e^{-2B}}{2B - 1} \right] \left[\ln(B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{e^{2B}} \right] \end{cases} \quad (2.19)$$

Dimana :

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

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

2.3.2 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 transmisi mekanik atau elektrik dari satu medium ke medium lainnya (misalnya persimpangan antara dua waveguide tau transmisi coax ke mikrostrip), dan efek discontinuity tidak di inginkan tetapi cukup signifikan untuk menjadi karakteristik tuntutan.

III. Perancangan Mikrostrip Kopler 3 dB

Dengan mengambil contoh penerapan kopler 3 dB pada sistem GSM 1800 dan sistem WiMAX 2,3 GHz di Indonesia. Terdapat beberapa tahapan untuk perancangan mikrostrip kopler 3 dB ini. Hasil rancangannya kemudian di simulasikan dengan menggunakan software *RF Sim 99* dan software *Advance Design System (ADS)* dari Agilent.

3.1. Perancangan Mikrostrip 3 dB Pada Frekuensi 1,8 GHz

Spesifikasi kerja dari kopler 3 dB yang akan dirancang dengan sasaran adalah sebagai berikut:

1. Frekuensi kerja: pada 1,8 GHz.
2. Nilai kopling dan beda phase: untuk kedua output port adalah -3dB, beda phase 90° .
3. Bandwidth: 100 MHz.
4. VSWR: 1-2.
5. Return loss dan isolasi: kinerja kopler yang baik memiliki nilai return loss (S_{11}) dan isolasi (S_{14}) harus lebih kecil -26 dB. Dengan return loss lebih kecil dari -26 dB, maka besarnya VSWR semakin mendekati ideal.

3.1.1 Karakteristik Jenis Substrat-1

Untuk merancang suatu mikrostrip, perlu ditentukan substrat yang digunakan yang selanjutnya parameter substrat ini digunakan dalam perhitungan besaran parameter fisik dari mikrostrip kopler 3 dB yang dirancang. Digunakan substrat pertama adalah *RT Duroit 5870* dengan karakteristiknya sebagai berikut:

- Konstanta dielektrik (ϵ_r) = 2,33

- Loss tangent (δ) = 0,0008
- Ground plane thickness = 1,38 mm
- Trace thickness = 1,25 mm
- Substrate thickness = 62 mm

3.1.2 Parameter Fisik Mikrostrip Kopler 3 dB untuk Frekuensi 1,8 GHz.

Parameter fisik lebar (width) dan panjang (length) dari saluran impedansi pada mikrostrip kopler 3 dB ditentukan berdasarkan nilai *quarter wavelength* ($\lambda/4$). Dari gambar 3.1 terdapat dua saluran impedansi yang digunakan dalam merancang mikrostrip kopler 3 dB yaitu Z_0 dan Z_A dimana besarnya $Z_A = Z_0\sqrt{2}$. Saluran impedansi ini diubah kedalam satuan panjang dan lebar untuk diaplikasikan pada mikrostrip.

Nilai saluran impedansi untuk Z_0 dipilih sebesar 50 Ω sehingga untuk $Z_0\sqrt{2}$ adalah 35,4 Ω .

1. Panjang gelombang $\lambda/4$

Dengan menggunakan persamaan (2.16) didapat:

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r} \cdot f} \\ &= \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{\sqrt{2,22} \cdot 1,8 \times 10^9} \\ &= 0,1092 \text{ m} \\ &= 109,2 \text{ mm}\end{aligned}$$

Panjang gelombang $\lambda/4$ dengan menggunakan (2.17) didapat

$$\begin{aligned}L &= \frac{\lambda g}{4} \\ L &= \frac{109,2}{4} \\ L &= 27,3 \text{ mm}\end{aligned}$$

Panjang gelombang $\lambda/4$ ini menunjukkan panjang pada saluran impedansi untuk 50 Ω dan 35,4 Ω ($L_{50 \Omega}$ dan $L_{35,4 \Omega}$) atau $L_{50 \Omega} = L_{35,4 \Omega} = L$

2. Lebar dari saluran impedansi 50 Ω dan 35,4 Ω ($W_{50 \Omega}$ dan $W_{35,4 \Omega}$)

Pertama untuk line 50 Ω , dengan menggunakan persamaan (2.20) dan (2.21) didapat rasionya:

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

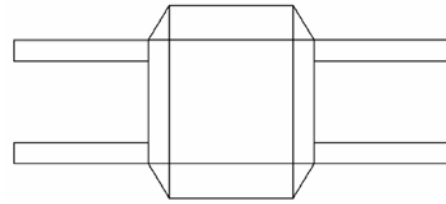
Maka dengan menggunakan rasio

$$\frac{W}{d} = \frac{e^{\frac{1}{\square}}}{e^{2,2\alpha} - 2}$$

Didapat untuk line 50 Ω nilainya = 182,4 mm.

Untuk line 35,4 Ω , didapat = 299,4 mm.

Geometri dari kopler 3 ditunjukkan dalam desain tata letak pada gambar 3.1.



??Gambar 3.1 Bentuk Geometris Desain Tata letak Kopler 3 dB

3.2. Perancangan Mikrostrip 3 dB Pada Frekuensi 2,3 GHz.

Spesifikasi kerja dari kopler 3 dB yang akan dirancang dengan sasaran adalah sebagai berikut:

1. Frekuensi kerja: pada 2,3 GHz.
2. Nilai kopling dan beda phase: untuk kedua output port adalah -3dB., beda phase 90°.
3. Bandwidth: 100 MHz.
4. VSWR: 1-2.
5. Return loss dan isolasi: kinerja kopler yang baik memiliki nilai return loss (S_{11}) dan isolasi (S_{14}) harus lebih kecil -26 dB.

3.2.1 Karakteristik Jenis Substrat ke-2

Substrat kedua adalah *Glass Epoxy (FR4)* dengan karakteristiknya sebagai berikut:

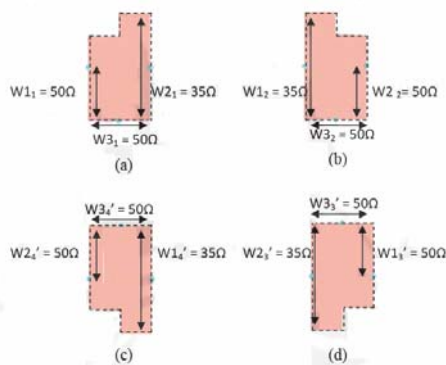
- Konstanta dielektrik ($\square$) = 4,6
- Loss tangent (δ) = 0,0023
- Ground plane thickness = 0,035 mm
- Trace thickness = - mm
- Substrate thickness = 1,6 mm

3.2.2 Parameter Fisik Mikrostrip Kopler 3 dB untuk Frekuensi 2,3 GHz.

Seperti halnya perancangan pada substrat *RT Duroit 5870* pada frekuensi 1,8 GHz. Maka tahapan yang sama harus dilakukan untuk menghitung parameter fisik dari saluran impedansi pada mikrostrip kopler 3 dB. Sehingga di dapat nilai lebar dari saluran impedansi 50 Ω ($W_{50 \Omega}$) = 2,952 mm dan lebar dari saluran impedansi 35,4 Ω ($W_{35,4 \Omega}$) = 5,14 mm.

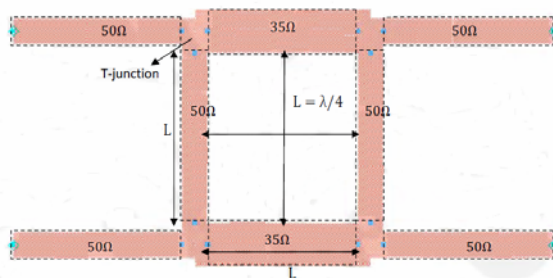
3.2.3 T-junction Discontinuity

Penambahan dilakukan sebagai kompensasi discontinuity yang terjadi pada mikrostrip kopler 3 dB. T-junction diletakkan pada persimpangan antara saluran impedansi line 50 Ω dan 35,4 Ω , pada gambar 3.2 menunjukkan empat geometri T-junction tersebut.



Gambar 3.2 Rancangan T-junction Discontinuity

Gambar 3.3 merupakan geometri dari branch line dengan T-junction.

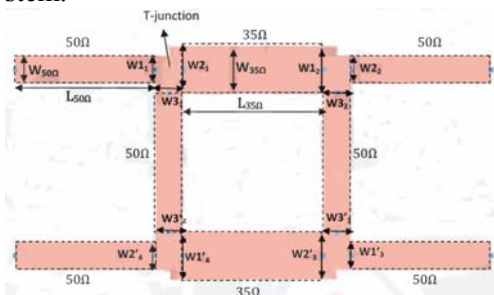


Gambar 3.3 Geometri kopler 3 dB dengan T-junction

Selanjutnya dilakukan pengujian dan analisa dalam simulasi dengan bantuan software *RF Sim 99* dan atau *Advanced Design System* (ADS).

3.3 Pengujian dan Analisa Hasil Rancangan

Dengan penambahan T-junction menggunakan software *Advanced Design System*.



Gambar 3.4 Struktur Rancangan Mikrostrip Kopler 3 dB

Parameter fisik mikrostrip kopler 3 dB pada gambar 3.4 untuk masing-masing saluran impedansi dan T-junction adalah:

Line 50 Ω: Line 35,4 Ω :

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

$W_{35,4\Omega} : 5,14 \text{ mm}$

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

$L_{35,4\Omega} : 15,2 \text{ mm}$

T-junction:

$W_{11} : 2,952 \text{ mm}; W_{21} : 5,14 \text{ mm}; W_{31} : 2,952 \text{ mm}$

$W_{12} : 5,14 \text{ mm}; W_{22} : 2,952 \text{ mm}; W_{32} : 2,952 \text{ mm}$

$W_{13} : 2,952 \text{ mm}; W_{23} : 5,14 \text{ mm}; W_{33} : 2,952 \text{ mm}$
 $W_{14} : 5,14 \text{ mm}; W_{24} : 2,952 \text{ mm}; W_{34} : 2,952 \text{ mm}$

IV. Hasil Pengujian dan Pembahasan

4.1 Hasil Simulasi Rancangan Mikrostrip Kopler 3 dB

Pada simulasi ini parameter-parameter tersebut yang di jadikan target simulasi sebagai berikut:

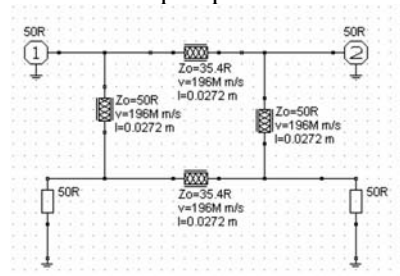
1. Frekuensi kerja : 1,8 GHz dan 2,3 GHz
2. Output port :
 - Through port (port-2): - 3 dB
 - Coupled port (port-3): - 3 dB
 - Beda phase keduanya: $+90^\circ$ atau -90°
3. VSWR: $\leq 1,11$
4. Return loss (S_{11}) dan isolasi (S_{14}): $\leq 26 \text{ dB}$
5. Bandwidth: 100 MHz

4.1.1 Simulasi Dengan *RF Sim 99*

Simulasi ini dijalankan pada program software *RF Sim 99* versi 1.05 dari HyDesign Ltd. Nilai lebar (W) dan panjang (L) didapatkan dengan simulasi ADS. Kecepatan fasa dhitng menggunakan persamaan:

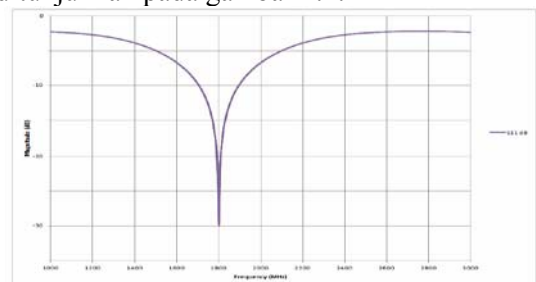
$$v_{ph} = \frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}} = 1.96 * 10^8 \text{ m/s}$$

Nilai-nilai tersebut digunakan untuk jalur panjang $\lambda/4$ dalam pembuatan simulasi rangkaian mikrostrip kopler 3 dB.



Gambar 4.1 Simulasi Perancangan Dengan *RF Sim 99*

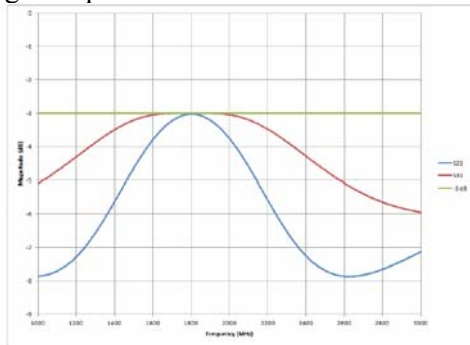
Hasil simulasi pengukuran RL ditunjukkan pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 Pengukuran Return loss Pada Frekuensi kerja 1800 MHz

Gambar 4.2 menunjukkan nilai di S_{11} (return loss) berada di bawah -26 dB . Titik terendah dan terdalam ditunjukkan pada frekuensi

1800 MHz (1,8 GHz) yang berarti frekuensi tersebut sebagai frekuensi kerja dan matching dengan impedansi 50Ω.

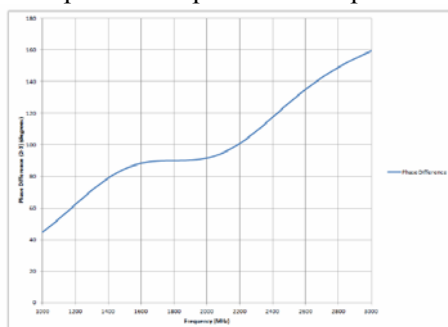


Gambar 4.3 Pengukuran Koefisien Transmisi Port-2 dan Port-3

Gambar 4.3 menunjukkan hasil pengukuran simulasi pada port-2 dan port-3 sebesar sekitar -3 dB. ini menunjukkan bahwa rancangan mikrostrip kopler 3 dB tersebut sesuai parameter.

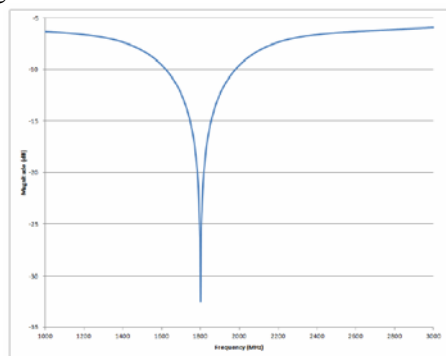
Pada gambar 4.4 menunjukkan beda fasa berada di pertengahan nilai 80 dan 100 derajat, diasumsikan beda phasanya pada kisaran 90°.

Hal ini menunjukkan bahwa beda fasa antara output di port-2 dan port-3 sesuai parameter.



Gambar 4.4 Pengukuran Beda Phase

Gambar 4.5 merupakan hasil pengukuran isolasi lebih rendah dari -26 dB.



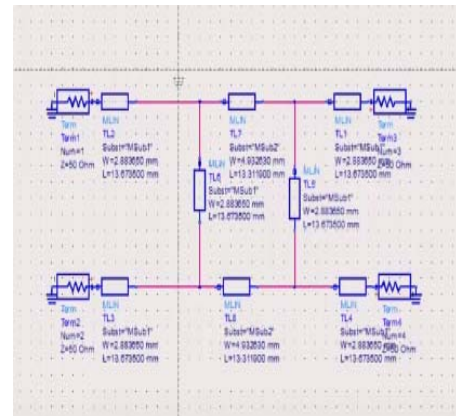
Gambar 4.5 Pengukuran Isolasi

Hal ini menunjukkan bahwa simulasi rancangan mikrostrip kopler 3 dB ini mampu memberikan keluaran secara maksimum

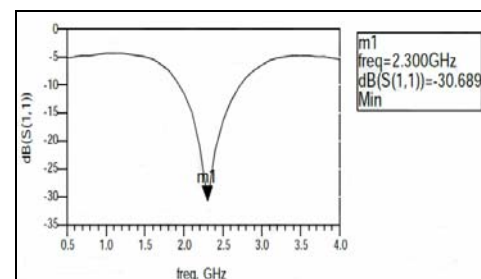
kepada output di port - 2 maupun kopling di port - 3.

4.1.2 Simulasi Dengan Advance Design System (ADS)

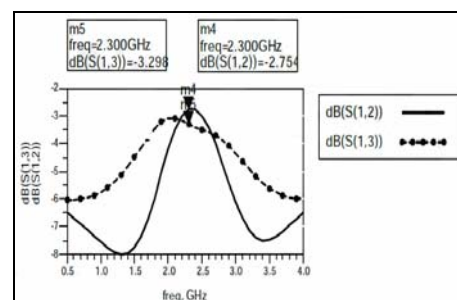
Hasil pengujian perancangan mikrostrip kopler 3 dB yang dijalankan dengan menggunakan software yang berbeda yaitu Advance Design System (ADS) yang ditunjukkan pada gambar 4.6 hingga gambar 4.12



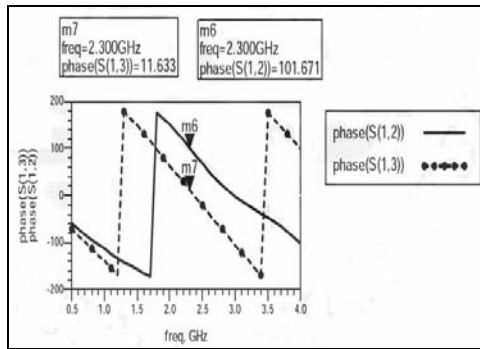
Gambar 4.6 Simulasi Dengan Advance Design System



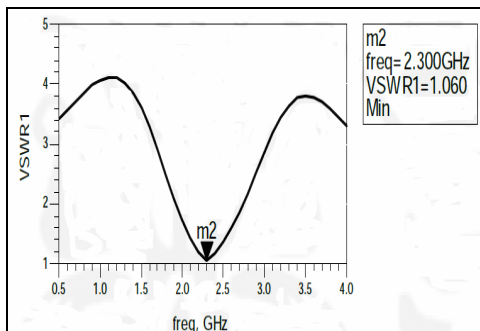
Gambar 4.7 Pengukuran Return loss Pada Frekuensi kerja 2,3 GHz



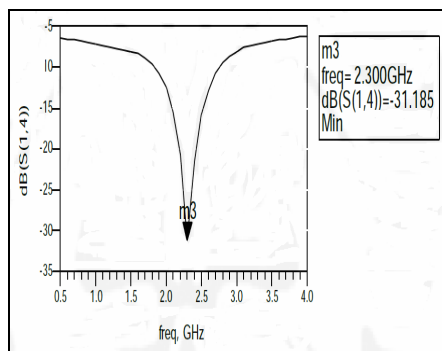
Gambar 4.8 Pengukuran Output Kopler Port-2 dan Port-3



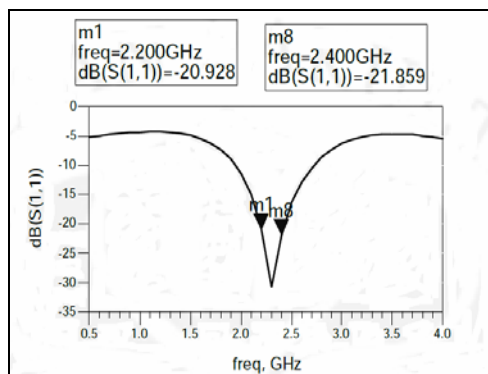
Gambar 4.9 Pengukuran Beda Phase



Gambar 4.10 Hasil Pengukuran VSWR



Gambar 4.11 Pengukuran Isolasi



Gambar 4.12 Hasil Pengukuran Bandwidth

Sehingga dapat di buat suatu rangkuman hasil pengujian rancangan mikrostrip kopler 3 dB pada tabel 4.1.

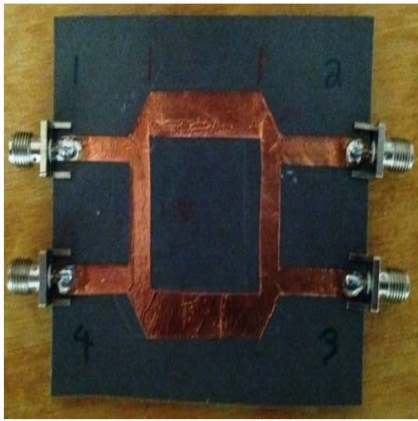
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Simulasi Perancangan Kopler 3 dB Pada 2,3 GHz

No	Parameter pengujian	Tujuan Simulasi	Hasil Simulasi	Keterangan
1	Frekuensi kerja	2,3 GHz	2,3 GHz	sudah memenuhi
2	Output port-2	- 3 dB	-2,754 dB	adanya pembulatan nilai pada perhitungan dimensi microstrip dan penambahan T-junction menyebabkan kedua output tidak tepat - 3 dB
3	Output port-3	- 3 dB	-3,298 dB	
4	Return loss	≤ -20 dB	-30,689 dB	sudah memenuhi
5	Isolasi	≤ -20 dB	-31,185 dB	sudah memenuhi
6	VSWR	1-2	1,060	sudah memenuhi
7	Bandwidth	100 MHz	200 MHz	secara teori, ini bandwidth pada kopler 3 dB adalah sebesar 10 % dari frekuensi kerjanya. Hasil pencapaian sudah mendekati teori namun lebih besar dari tujuan yang diinginkan
8	Phase output	$\pm 90^\circ$	90,038 °	Hampir mendekati tujuan

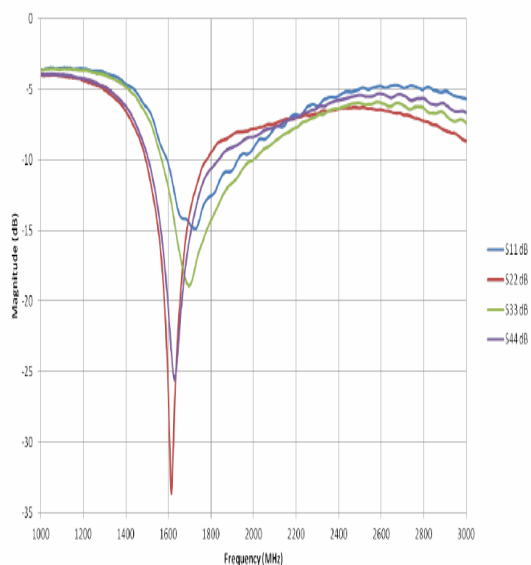
4.1 Pabrikasi dan Hasil Pengukuran

4.1.1 Pabrikasi dan Pengukuran Mikrostrip Substrat RT Duroid 5870.

Hasil pabrikasi dari perancangan mikrostrip kopler 3 dB terlihat pada gambar 4.13.



Gambar 4.13 Pabrikasi Mikrostrip Substrat RT Duroid 5870



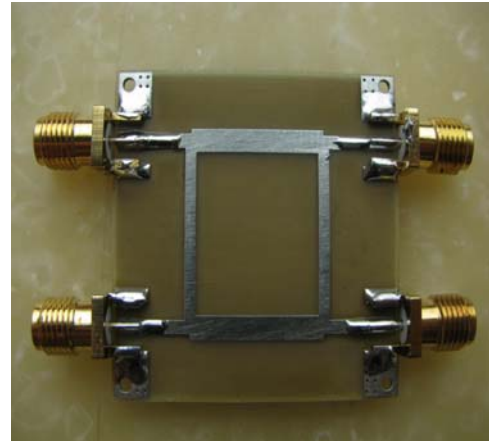
Gambar 4.14 Hasil Pengukuran Mikrostrip Substrat RT Duroid 5870

Pengukuran untuk mengetahui kinerja dengan menggunakan alat ukur Agilent 8714ES Vector Network Analyzer, seperti ditunjukkan pada gambar 4.14.

Hasil pengukuran pada perangkat hasil pabrikasi tidak sesuai seperti yang diharapkan dalam simulasi sebelumnya.

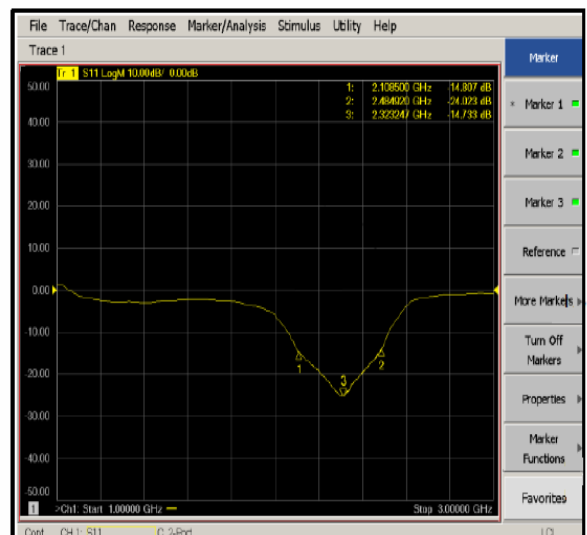
4.1.2 Pabrikasi dan Pengukuran Mikrostrip Substrat Glass Epoxy (FR4)

Rancang bangun yang di ditunjukkan pada gambar 4.15 merupakan konstruksi hasil pabrikasi suatu mikrostrip kopler 3 dB dengan menggunakan bahan Epoxy (FR4).



Gambar 4.15. Hasil Pabrikasi Mikrostrip Substrat Epoxy (FR4)

Sedangkan pengukuran terhadap hasil pabrikasi seperti ditunjukkan pada gambar 4.16.



Gambar 4.16 Pengukuran Mikrostrip Substrat Epoxy (FR4)

Dari hasil pabrikasi dan pengukuran terhadap perancangan mikrostrip kopler 3 dB baik yang berbahan substrat RT Duroid 5870 ataupun berbahan substrat Glass Epoxy (FR4) tersebut di atas. Bahwa hasil pabrikasi memiliki kinerja berbeda dibandingkan hasil simulasi, karena ada kemungkinan ketidakakuratan proses pembuatan platform papan PCB (etching). Perbedaan ini akan mengakibatkan pergeseran frekuensi dari hasil perancangan dan simulasi yang didapat. Mikrostrip 3 dB yang dirancang sudah sesuai dan bisa di katakan memenuhi target karena mendekati spesifikasi parameter yang di harapkan.

V. Simpulan

Berdasarkan pengujian dan analisa yang telah dilakukan, maka dapat ditarik simpulan, yaitu:

1. Hasil pengujian simulasi pada frekuensi kerja 1,8 didapatkan nilai sesuai target simulasi mikrostrip kopler 3 dB. Demikian juga hasil pengujian dari perancangan mikrostripkopler 3 dB pada frekuensi kerja 2,3 GHz, di dapatkan hasil output port-2 adalah -2,754 dB dan pada port-3 sebesar -3,298 dB. Beda phase kedua output tersebut sebesar $90,038^\circ$, nilai return loss sebesar -30,689 dB, isolasinya di port-4 sebesar -31,185 dB. Adapun untuk VSWR nilainya 1,060 dan bandwidth yang didapat adalah sekitar 150 MHz.
2. Dari hasil perancangan dan simulasi yang didapat untuk mikrostrip kopler 3 dB ini dirancang sudah memenuhi dan mendekati spesifikasi yang di harapkan.
3. Hasil pabrikan dari perancangan mikrostrip kopler 3 dB dan pengukurannya untuk kedua substrat memiliki kinerja berbeda dibandingkan hasil simulasi, karena ketidakakuratan proses pembuatan platform papan PCB (etching). Perbedaan ini akan mengakibatkan pergeseran frekuensi dari hasil perancangan dan simulasi yang didapat

Daftar Pustaka

- [1] Pramudi Utomo dkk, TEKNIK TELEKOMUNIKASI Jilid I, Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Departemen Pendidikan Nasional, 2008, Jakarta, ISBN 978-979-060-155-0
- [2] Dennis Roddy & John Coolen, alih bahasa Ir Kamal Idris, KOMUNIKASI ELEKTRONIKA Jilid 1, Erlangga Jakarta, edisi ketiga, tahun 1990.
- [3] Departement Transmisi & Network RCTI, Diktat TRAINING DASAR TRANSMISI DAN AUDIO-VIDEO, MNC Learning & Development Centre, MNC Group, 2003, Jakarta.
- [4] Indah Riyanti, PERANCANGAN MICROSTRIP BRANCHLINE COUPLER DENGAN T-JUNCTION UNTUK MOBILE WIMAX PADA FREKUENSI 2,3 GHz, FTUI Jakarta, 2010.
- [5] John P. Vitale, Master's Theses, HYBRID COUPLER IMPLEMENTED AS PHASE SHIFTER, Marquette University e-Publications@Marquette, 2012.
- [6] James Corsini, Josue Malaver, Sokol Lushllari, Major Qualifying Project, 90 DEGREE HYBRID COUPLER, Worcester Polytechnic Institute, 2013.
- [7] Peraturan Menteri Komunikasi dan Informatika, Nomor 31 tahun 2014 Tentang RENCANA INDUK (MASTER PLAN) FREKUENSI RADIO PENYELENGGARA TELEKOMUNIKASI KHUSUS UNTUK KEPERLUAN TELEVISI SIARAN ANALOG PADA PITA *ULTRA HIGH FREQUENCY*, Menteri Komunikasi dan Informatika Republik Indonesia, Jakarta.
- [8] Sapto Nugroho, Dwi P. Sasongko, Isnaen Gunadi, RANCANG BANGUN PENGUAT DAYA RF, Jurnal berkala Fisika Vol.6 No 3, Juli, 2013, UNDIP Semarang.
- [9] Zulhelman dkk, RANCANG BANGUN MIKROSTRIP COUPLER UNTUK MOBILE WIMAX PADA FREKUENSI 2,3 GHz, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta.
- [10] Overview and Definition of Term, MICROWAVE POWER DIVIDERS AND COUPLERS TUTORIAL, Marki Microwave, USA.
- [11] Franco Sechi-Marina Bujatti, SOLID-STATE MICROWAVE HIGH-POWER AMPLIFIER, Artech House Microwave Library, 1st Edition, 2009. ISBN-13: 978-1596933194
- [12] Application Note, RF DIRECTIONAL COUPLER AND 3 dB HYBRIDS OVERVIEW, Jurnal: https://www.ieee.li/pdf/essay/directional_couplers.pdf, M/A-COM Division of AMP Incorporated, USA.
- [13] A. Nassiri-ANL, Diktat RF Cavities and Component for Accelerator, Lecture 8: POWER DIVIDER AND COUPLER, AMPLIFIER, jurnal: <http://uspas.fnal.gov/materials/10MIT/Lecture8.pdf>, Massachusetts Institute of Technology, 2010, USA.