

## BAB II

### DASAR TEORI

#### 2.1 KAJIAN PUSTAKA

Penelitian yang dilakukan oleh Christian Mahardhika, Bambang Setia Nugroho, Budi Syihabuddin pada tahun 2017 yang berjudul **“Perancangan *butler matrix 4x4* untuk pengarahan berkas antenna pada stasiun bumi”** ini berisi tentang penjelasan pengertian berkas stasiun bumi dimana penulis menjelaskan secara singkat akan mengubah arah pola radiasi atau *beamforming* pada antenna stasiun bumi dengan menggunakan catuan atau saluran *butler matrix* yang dimana bekerja pada frekuensi 2,3 – 2,45 GHz. Untuk penelitian ini *butler matrix* bekerja pada frekuensi S-Band 2,3 – 2,45 GHz yang dimana pada penelitian ini hanya menggunakan satu *crossover* saja, tujuannya yaitu untuk memperkecil dimensi pada *butler matrix* dan memperkecil juga resiko rugi-rugi. Hasil penelitian jurnal ini didapatkan hasil *insertion loss* tiap *port* yaitu -9 dB dan *return loss* dibawah -10 dB. Serta menghasilkan perbedaan fasa *output* antar *port* sebesar  $\pm 45^\circ$  [5].

Penelitian yang dilakukan oleh Imen Sfar, Lotfi Osman, dan Ali Gharsallah pada tahun 2014 yang berjudul **”*Design of a 4x4 Butler Matrix for Beamforming Antenna Applications*”** ini berisi tentang *tentang rencana membuat design Butler Matrix 4x4 dengan frekuensi 2,45 Ghz dengan menggunakan hybrid 3dB, crossover dan phase shifter*. Penelitian ini menggunakan *Hybrid 90° 3dB, Crossover dan phase shifter 45°*. Yang dimana *design* ini menggunakan *software ADS Simulation* dan menggunakan 2 *crossover*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada perancangan saluran *antenna butler matrix 4x4* ini pada *Hybrid 90°* disini pada S1.3 atau S3.1 sudah mendapatkan  $\pm 3\text{dB}$  dan pada S1.4 atau S4.1 masih belum mendapatkan  $\pm 3\text{dB}$  namun pada jurnal ini tidak dikatakan apakah ini sudah optimal? Dan untuk fasa sudah optimal karena S1.3 dan S1.4 berbeda fasa  $90^\circ$ . *Crossover* dikatakan optimal, jika tidak ada daya yang dilewati pada S-parameter S1.4 dan pada *phase shifter* dikatakan optimal bila sesuai dengan rancangan yaitu mendapatkan fasa  $45^\circ$  dan untuk *Butler Matrix 4x4* pada penelitian ini menghasilkan perbedaan fasa yang tidak tepat yaitu sebesar  $-45/45^\circ$  [6].

Penelitian yang dilakukan oleh Purwono Sutoyo dan Irmayani pada tahun 2017 yang berjudul “**Rancang bangun *microstrip* kopler 3 dB untuk aplikasi *RF Amplifier* pada pemancar televisi UHF solid state**” ini berisi tentang penjelasan secara singkat tentang *Hybrid Coupler 3 dB*. Metode desain dari kopler 3 dB ini menggunakan *T-junction* dan menggunakan substrat *duroid RT5870* pada frekuensi 1,8 GHz dan 2,3 GHz menggunakan substrat *FR-4*. Perancangan dilakukan dengan bantuan *software* simulasi *RF Sim 99* dan *Advanced Design System (ADS)*. Untuk mendapatkan hasil perbedaan fasa  $90^\circ$  dan *output port 2* dan *3* agar sama-sama mendapatkan -3 dB yaitu menggunakan model *microstrip branch line coupler* (kopler 3 dB) yang dimana *coupler* ini terdiri dari dua saluran impedansi series line yang dihubungkan oleh dua saluran *branch line coupler* yang dimana menggunakan impedansi  $z_0 = 50\Omega$  dan  $\frac{z}{\sqrt{2}} = 35,35\Omega$ . *Coupler* tersebut menggunakan cara *T-junction discontinuity* yang diletakan pada persimpangan antara saluran impedansi line  $50\Omega$  dan  $35,35\Omega$ . Dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa perancangan dan simulasi yang didapat untuk *microstrip kopler 3 dB* ini dirancang sudah memenuhi dan mendekati spesifikasi yang diharapkan. Dan juga hasil simulasi pada frekuensi kerja 1,8 GHz didapatkan nilai sesuai target simulasi *microstrip kopler 3dB* yang menandakan bila menggunakan *duroid* lebih bagus disbanding dengan *FR-4* [7].

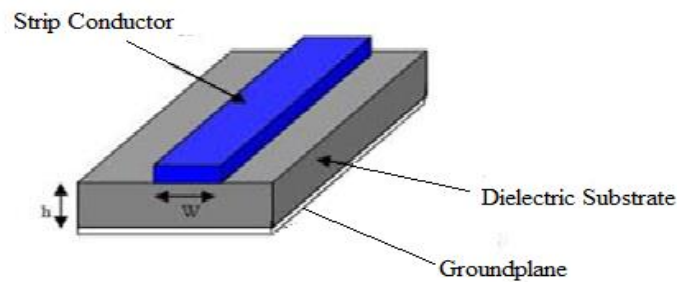
Penelitian yang dilakukan oleh Hamza Nachouane, Abdellah Najid, Abdelwahid Tribak, dan Fatima Riouch pada tahun 2014 yang berjudul “**Broadband 4x4 Butler matrix Using Wideband  $90^\circ$  Hybrid Couplers dan Crossovers for beamforming Networks**” ini berisi tentang desain *butler matrix 4x4* pada frekuensi *802.11b/g/n* pada frekuensi kerja 2,4 GHz dengan menggunakan substrat *FR-4* agar dihasilkan isolasi  $28\text{ dB}$  dan  $30\text{ dB}$ . Pada Jurnal ini menggunakan metode *butler matrix 4x4* dengan menggunakan 2 *crossover* dan juga menggunakan *Software* simulasi *ADS*. Pada *Hybrid  $90^\circ$*  jurnal ini menggunakan model *two-section branch-line coupler* yang dimana pada *branch-line coupler* lebih lebar dua kali atau  $\lambda/2$  lebar dimensi dan pada *crossover* jurnal ini menggunakan model penggabungan *two-section branch-line coupler* yang dipasang secara tegak atau berdiri pada rangkaian *butler matrix 4x4* [2].

Penelitian yang dilakukan oleh Qing-Ling Yang, Yong-Ling Ban, Qiang-Qiang Zhou, dan Ming-Yang Li pada tahun 2016 yang berjudul **“Butler Matrix Beamforming Network Based on Substrate integrated Technology for 5G Mobile Device”** berisi tentang membuat simulasi *butler matrix 4x4* yang akan diaplikasikan untuk jaringan masa depan yaitu 5G dan dimensi *butler Matrix 4x4* tersebut  $55.62 \times 28.4\text{mm}^2$ . Untuk *software* yang digunakan yaitu *HFSS Ansoft*. Penelitian ini menggunakan menggunakan *substrat rogers duroid 5880*, dengan menggunakan 2 *crossover* dan bekerja pada frekuensi 29,1 Ghz- 31,4 Ghz yang menggunakan *phase shifter*  $135^\circ$  dan  $0^\circ$  dan hasil Penelitian dalam Jurnal ini yaitu perbedaan fasa yang dihasilkan yaitu  $135^\circ$ ,  $-45^\circ$ ,  $45^\circ$  dan  $-135^\circ$ . Kesalahan fasa pada port 1 dan 4 adalah  $5^\circ$ - $10^\circ$  dan kesalahan fasa pada port port 2 dan 3 adalah  $6^\circ$  [8].

## 2.2 DASAR TEORI

### 2.2.1 Saluran Mikrostrip

Saluran transmisi mikrostrip tersusun dari dua konduktor, yaitu sebuah *strip* dengan lebar  $w$  dan bidang pentanahan, keduanya dipisahkan oleh suatu substrat yang memiliki konstanta dielektrik relatif ( $\epsilon_r$ ) dengan tinggi  $h$  seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1[5] :



Gambar 2. 1 Saluran Mikrostrip [5].

Berikut ini merupakan beberapa *referensi* perhitungan dari parameter yang terdapat pada saluran microstrip sebagai berikut:

a. Rasio  $\frac{W}{d}$ .

Rasio  $\frac{W}{d}$  dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut :

$$\frac{w}{d} = \left\{ \frac{2}{\pi} \left[ B - l - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left\{ \ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r} \right\} \right] \right\} \quad (2.1)$$

Dengan

$$B = \frac{377\pi}{2Z_0\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.2)$$

Di mana :

$\epsilon_r$  = konstanta dielektrik bahan yang tergantung dari *substrate* yang digunakan [5].

B = energi yang tersimpan pada saluran

d = tebal material

$\frac{W}{d}$  = perbandingan antara lebar dan tebal

b. Lebar saluran *microstrip*

Untuk menentukan lebar saluran *microstrip* diperoleh dapat diperoleh sebagai berikut:

$$W = \frac{W}{d} \times d \quad (2.3)$$

Di mana :

W = lebar patch *microstrip*

d = tebal material

c. Konstanta dielektrik

Konstanta dielektrik efektif [2] dapat ditunjukkan dengan persamaan (ketika  $W/d \geq 1$ ) dan 2.3 (ketika  $W/d \leq 1$ ). Konstanta dielektrik efektif nilainya adalah  $1 < \epsilon_e < \epsilon_r$  sebagai berikut :

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{12d}{W}}} \quad \frac{W}{d} \geq 1 \quad (2.4)$$

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left( \frac{1}{\sqrt{1 + 12\left(\frac{h}{W}\right)}} + 0.04 \left(1 + \frac{W}{h}\right)^2 \right) \quad \frac{W}{d} \leq 1$$

Di mana:

$\epsilon_{reff}$  = konstanta dielektrik efektif

W = lebar saluran *microstrip*

d = ketebalan *substrate*

$\epsilon_r$  = konstanta dielektrik

d. Panjang gelombang saluran *microstrip*

Panjang gelombang saluran *microstrip* dapat diperoleh sebagai berikut :

$$L \text{ atau } \lambda_g = \frac{c}{4f\sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad (2.5)$$

Di mana :

L atau  $\lambda_g$  = Panjang saluran *microstrip*

c = kecepatan cahaya

f = frekuensi kerja

$\epsilon_{reff}$  = konstanta dielektrik efektif

### 2.2.2 *Butler Matrix 4x4.*

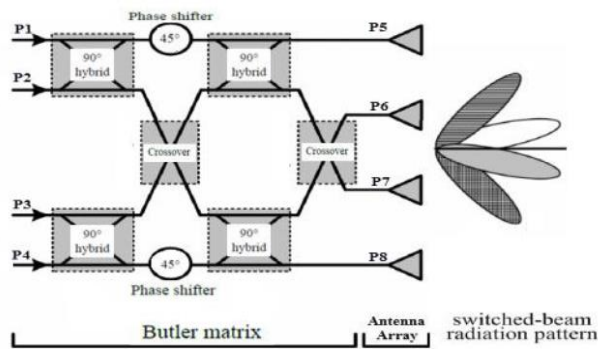
Pada sistem komunikasi khususnya *wireless*, sebuah *smart antenna* membutuhkan sebuah perangkat sambungan agar *system* pola radiasi atau arah pancaran dapat sesuai dengan perancangan. *Beamforming* berfungsi untuk mengatur arah pancaran berkas dari sistem antena sesuai dengan kebutuhan penggunaannya. Sistem untuk mengatur arah pancaran atau *beamforming* dapat menggunakan *butler matrix 4x4*.

*Butler Matrix 4x4* adalah rangkaian *microwave* yang memiliki N masukan dan N keluaran yang digunakan dalam *beamforming* dan *switched beam* pada susunan antena *linier* maupun sirkular. *Butler Matrix* merupakan salah satu pencatu yang menghasilkan banyak arah berkas, dimana pengkopel *hybrid 90°* merupakan komponen utamanya kemudian penyusun lainnya seperti *crossover* dan *phase shifter* /penggeser fasa [5].

Disisi lain rangkain *butler matrix* sangat sederhana karena menggunakan saluran *microstrip* dan menggunakan *butler matrix* memberikan keuntungan yaitu [9] :

1. Mudah diterapkan dengan menggunakan *hybrid coupler* dan *phase shifter* atau penggeser fasa.
2. *Beam* yang dihasilkan mempunyai jangkauan yang sempit dan terbatas dan hasil *directivity* sangat baik.
3. Memiliki panjang lengan saluran dan jumlah komponen yang sedikit dibandingkan dengan *beamforming* jaringan lain.
4. Sistemnya beroperasi dengan tinggi dan ukuran nilai *crossover* yang konstan sesuai dengan frekuensi.
5. Dapat mencapai *continuous beam* saat menggunakan *butler matrix* [9].

*Butler matrix* bekerja sama ketika mentransmisikan energi seperti ketika menerima energi karena merupakan jaringan timbal balik pasif. Setiap balok dapat digunakan oleh pemancar atau *receiver*. Kita bisa melihat di gambar 2.2 *butler matrix* menggunakan *feed* sirkuit untuk *antenna array*.



Gambar 2. 2 *Butler matrix* 4x4 dengan antena *array* [20].

*Butler Matrix* pertama kali dikenalkan oleh Jesse Butler dan Ralph Lowe [10]. Seperti yang terlihat pada gambar 2.2 *Butler Matrix* membagi kekuatan *input* menjadi 4 *output* dengan amplitudo yang sama tetapi fasa berbeda untuk setiap *port* atau *input*. *Output*nya merupakan kombinasi *linear* dari *input* dan dapat dinyatakan sebagai berikut jika diamsumsikan dengan *phase shifter* 45°:

$$\begin{aligned}
 P1 &= \frac{1}{4} (A_1 \angle 225^\circ + A_2 \angle 270^\circ + A_3 \angle 315^\circ + A_4 \angle 0^\circ) \\
 P2 &= \frac{1}{4} (A_1 \angle 270^\circ + A_2 \angle 45^\circ + A_3 \angle 180^\circ + A_4 \angle 315^\circ) \\
 P3 &= \frac{1}{4} (A_1 \angle 315^\circ + A_2 \angle 180^\circ + A_3 \angle 45^\circ + A_4 \angle 270^\circ)
 \end{aligned}
 \tag{2.6}$$

$$P4 = \frac{1}{4} (A_1 \angle 0^\circ + A_2 \angle 315^\circ + A_3 \angle 270^\circ + A_4 \angle 225^\circ)$$

Di mana :

P1: Port 1

P2: Port 2

P3: Port 3

P4: Port 4

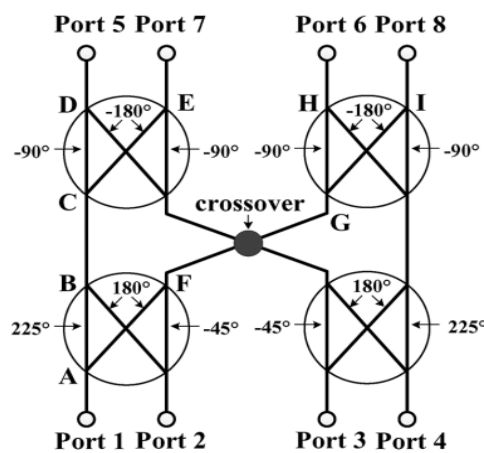
A1: Amplitudo gelombang pertama

A2: Amplitudo gelombang kedua

A3: Amplitudo gelombang ketiga

A4: Amplitudo gelombang keempat

Sebagai contoh jalur atau arah pergeseran fasa antar *port* dengan menggunakan *hybrid ring coupler*  $180^\circ$ , satu *crossover*, dan tanpa *phase shifter* seperti pada gambar 2.3 sebagai berikut [11] :



Gambar 2. 3 jalur pergeseran fasa *Butler matrix*  $4 \times 4$  menggunakan *hybrid coupler ring*  $180^\circ$ , satu *crossover*, dan tanpa *phase shifter* [11].

Pada gambar 2.3 jalur pergeseran fasa jika dicatu dari *port* 1 seperti ditunjukkan pada tabel 2.1 sebagai berikut [11] :

Tabel 2. 1 Jalur pergeseran fasa pada *Butler matrix*  $4 \times 4$ .

Port	Jalur Pergeseran fasa	Fasa keluaran	(2.7)
Port 1-5	(A ke B ke C ke D) = $(\theta_{15} = \theta_{AB} + \theta_{CD})$	$135^\circ$	
Port 1-6	(A ke F ke G ke H) = $(\theta_{16} = \theta_{AF} + \theta_{GH})$	$90^\circ$	
Port 1-7	(A ke B ke C ke E) = $(\theta_{17} = \theta_{AB} + \theta_{CE})$	$45^\circ$	
Port 1-8	(A ke F ke G ke I) = $(\theta_{18} = \theta_{AF} + \theta_{GI})$	$0^\circ$	

Jika dinyatakan dalam tabel sebagai berikut dengan asumsi nilai pada *hybrid coupler 90°* dan menggunakan *phase shifter 45°* sebagai berikut:

Tabel 2. 2 menggunakan fasa  $45^\circ$  pada Butler matrix  $4 \times 4$ .

Input \ Output	Port 1	Port 2	Port 3	Port 4
Port 5	$-45^\circ$	$-135^\circ$	$-90^\circ$	$-180^\circ$
Port 6	$-90^\circ$	$0^\circ$	$-225^\circ$	$-135^\circ$
Port 7	$-135^\circ$	$-225^\circ$	$0^\circ$	$-90^\circ$
Port 8	$-180^\circ$	$-90^\circ$	$-135^\circ$	$-45^\circ$

Pada Tabel 2.1 dan 2.2 Menunjukkan perbedaan fasa  $45^\circ$  atau  $45^\circ$  dengan menggunakan *phase shifter 45°*. Kemudian jika menggunakan *phase shifter 60°* pada *butler matrix 4x4* akan menghasilkan fasa seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.3 dengan asumsi pada *hybrid coupler 90°* sebagai berikut :

Tabel 2. 3 menggunakan *phase shifter 60°* menghasilkan perbedaan fasa dengan dominan perbedaan fasa  $30^\circ$  atau  $30^\circ$ .

Out/in	Port 1	Port 2	Port 3	Port 4
Port 5	$-60^\circ$	$-150^\circ$	$-90^\circ$	$-180^\circ$
Port 6	$-90^\circ$	$0^\circ$	$-240^\circ$	$-150^\circ$
Port 7	$-150^\circ$	$-240^\circ$	$0^\circ$	$-90^\circ$
Port 8	$-180^\circ$	$-90^\circ$	$-150^\circ$	$-60^\circ$



Kemudian jika menggunakan *phase shifter*  $30^\circ$  pada *butler matrix* 4x4 akan menghasilkan fasa seperti yang ditunjukkan pada tabel 3.3 dengan asumsi perbedaan fasa  $0^\circ$  dan  $90^\circ$  sebagai berikut:

Tabel 2. 4 menggunakan *phase shifter*  $30^\circ$  menghasilkan perbedaan fasa dengan dominan perbedaan fasa  $60^\circ$  atau  $-60^\circ$ .

<i>Out/in</i>	<i>Port 1</i>	<i>Port 2</i>	<i>Port 3</i>	<i>Port 4</i>
<i>Port 5</i>	$-30^\circ$	$-120^\circ$	$-90^\circ$	$-180^\circ$
<i>Port 6</i>	$-90^\circ$	$0^\circ$	$-240^\circ$	$-150^\circ$
<i>Port 7</i>	$-120^\circ$	$-210^\circ$	$0^\circ$	$-90^\circ$
<i>Port 8</i>	$-180^\circ$	$-90^\circ$	$-150^\circ$	$-60^\circ$

### 2.2.3 S-Band Spetrum.

*S-Band* adalah sebuah spektrum pita gelombang mikro yang sudah ditetapkan standar *IEEE*, *S-Band* bekerja pada frekuensi 2 – 4 GHz [12]. *S-Band* dapat digunakan pada radar komersial militer, jaringan 4G [13], *Synthetic Antenna Radar (SAR) sensors* [14] dan juga spektrum S-Band secara luas diterapkan oleh satelit sector komunikasi di bidang layanan seluler satelit.

### 2.2.4 S-Parameter.

*Scattering Parameter* pertama kali diterbitkan dalam thesis oleh Vitold Belevitch pada tahun 1945 [15]. Nama tersebut digunakan oleh Belevitch karena *repartition matrix* dan pertimbangan terbatas untuk jaringan empat elemen. *Matriks* sebaran istilah digunakan oleh fisikawan dan insinyur *Robert Henry Dicke* pada tahun 1947 yang dikembangkan secara *independent* yaitu ide selama masa perang yang bekerja pada parameter S-Radar atau *Scattering* parameter (Elemen-elemen dari *Scattering matrix* atau *S-Matrix*) yang dimana menggambarkan sikap listrik dari jaringan listrik *linier* ketika menjalankan berbagai operasi keadaan tunak oleh sinyal listrik. Parameter tersebut berguna untuk teknik elektro, elektronik, desain sistem komunikasi, dan terutama untuk teknik gelombang mikro [15] [16].

Pertimbangan bahwa kita memiliki jaringan *n-port*. *Scattering* parameter atau *S*-parameter dapat diturunkan sehubungan dengan kejadian ini dan mencerminkan gelombang tegangan sebagai berikut [16] :

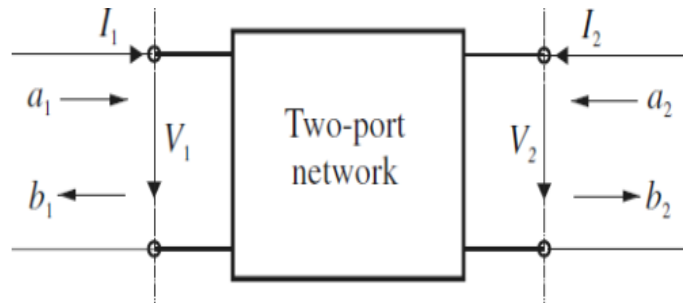
$$[b_n] = [S] [a_n]$$

Di mana :

$a_n$  adalah amplitudo gelombang tegangan yang diteruskan pada *port*  $n$ .

$b_n$  adalah amplitudo gelombang tegangan yang direflesikan dari *port*  $n$ .

#### 2.2.4.1 Two-Port-S-Parameter.



Gambar 2. 4 Two Port Network [15].

*S*-parameter jaringan dua *port* yang ditunjukkan pada gambar 2.4 adalah yang memberikan hubungan antara gelombang yang dipantulkan dan gelombang diteruskan sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

Dimana:

$$b_1 = S_{11}a_1 + S_{12}a_2$$

$$b_2 = S_{21}a_1 + S_{22}a_2$$

Di mana:

$S_{11}$ : adalah koefisien refleksi tegangan *port* input (koefisien refleksi *Port* 1 =  $b_1/a_1$ ).

$S_{12}$ : adalah gain tegangan balik (*Port* 2 ke *Port* 1 koefisien transmisi / *gain* =  $b_1/a_2$ ).

$S_{21}$ : adalah penguatan tegangan maju (*Port* 1 ke *Port* 2 koefisien transmisi / *gain* =  $b_2/a_1$ ).

$S_{22}$ : adalah koefisien refleksi tegangan *port* keluaran (koefisien refleksi *port* 2 =  $b_2/a_2$ ).

Diasumsikan bahwa koneksi *input* dan *output* ke *port* 1 dan 2 masing-masing merupakan konvensi paling umum. Impedansi sistem nominal, frekuensi dan faktor lainnya, yang dapat mempengaruhi perangkat, seperti suhu, juga harus ditentukan [15].

#### 2.2.4.2 *Return Loss.*

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

$$Return\ loss = 20 \log 10 |\Gamma| \quad (2.9)$$

Di mana :

$\Gamma$  adalah koefisien pantul.

*Return loss* dapat terjadi diakibatkan oleh kondisi rangkaian yang tidak matching. Jika daya yang ditransmisikan oleh sumber adalah  $P_{\Gamma}$  dan daya yang direfleksikan adalah  $P_R$ , maka *return loss* merupakan pembagian antara  $P_R$  dengan  $P_{\Gamma}$ . *Return loss* juga dapat dicari dengan menggunakan persamaan [7].

$$R_L = 10 \log \frac{P_R}{P_{\Gamma}} = 20 \log \left( \frac{VSWR-1}{VSWR+1} \right) \quad (2.10)$$

Dimana :

$\frac{P_R}{P_{\Gamma}}$  = Pembagian daya yang ditransmisi dengan daya yang direfleksikan.

*VSWR* = *Voltage standing wave ratio* adalah rasio perbandingan antara gelombang datang dan gelombang pantul dimana kedua gelombang tersebut membentuk gelombang berdiri.

Agar daya yang ditransfer maksimum, *return loss* haruslah sekecil mungkin. Itu artinya  $P_R / P_{\Gamma}$  juga harus sekecil mungkin, atau jika diekspresikan dalam dB, nilai *return loss* harus bernilai negatif sebesar mungkin [7].

#### 2.2.4.3 *Isolasi.*

Isolasi dapat didefinisikan sebagai perbedaan pada sinyal *level* dalam dB antara *input port* dan *isolated port* ketika dua *output port* diakhiri dengan *matched load* [7]. Dapat dicari dengan persamaan 2.12 :

$$\text{Isolasi (dB)} = -10 \log \frac{P_1}{P_2} \quad (2.11)$$

Di mana :

$P_1$  = port keluaran 1 dalam satuan dB

$P_2$  = port keluaran 2 dalam satuan dB

Melihat persamaan diatas bahwa isolasi adalah kemampuan tiap *port* agar sinyal tidak saling terpropagasi atau *ter-coupled* satu sama lain, karena akan terjadi *loss* jika isolasi antar *port* lemah. Semakin besar isolasi semakin baik performa perangkatnya.

#### 2.2.4.4 *Insertion Loss.*

*Insertion Loss* adalah suatu kondisi kehilangan daya yang disebabkan oleh sisipan antara perangkat dan saluran transmisi. Kehilangan daya akibat sisipan dapat dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$\text{Insertion loss (dB)} = -10 \log \frac{P_T}{P_R} \quad (2.12)$$

di mana :

$P_T$  = daya yang disalurkan

$P_R$  = daya yang dipantulkan

Melihat persamaan di atas bahwa kehilangan daya akibat sisipan dinyatakan dengan perbandingan daya yang masuk dan daya yang keluar. *Insertion loss* dinyatakan dengan satuan *decibel* (dB) [17].

#### 2.2.4.5 *Voltage Standing Wave Ratio.*

VSWR adalah perbandingan antara 12mplitude gelombang berdiri (*standing wave*) maksimum (*max*) dengan minimum (*min*). Pada saluran transmisi ada dua komponen gelombang tegangan, yaitu tegangan yang di kirimkan ( $V_0^+$ ) dan tegangan yang di refleksikan ( $V_0^-$ )[7].

$$\Gamma = \frac{V_0^-}{V_0^+} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (2.13)$$

Di mana:

$z_l$  = impedansi input

$z_0$  = impedansi saluran

Sedangkan rumus untuk mencari nilai  $VSWR$  adalah Persamaan (2.14) :

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

atau

(2.14)

$$VSWR = \frac{10^{\left(\frac{R.L(dB)}{20}\right)+1}}{10^{\left(\frac{R.L(dB)}{20}\right)-1}}$$

Di mana:

$|V|_{max}$  = tegangan maksimal.

$|V|_{min}$  = tegangan minimal.

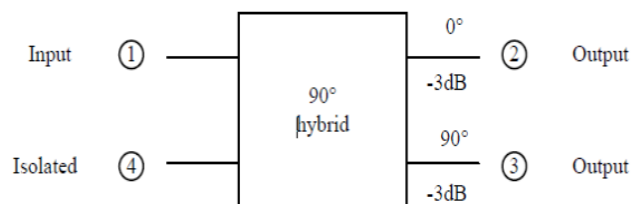
R. L = *Return loss*.

*dB* = *desibel*.

Kondisi yang paling baik adalah ketika  $VSWR$  bernilai 1 yang berarti tidak ada refleksi ketika saluran dalam keadaan *matching* sempurna. Namun kondisi ini pada praktiknya sulit untuk didapatkan. Pada umumnya nilai  $VSWR$  yang dianggap baik adalah  $VSWR \leq 2$ .

### 2.2.5 Hybrid Coupler 90°.

*Hybrid Coupler 90°* juga dikenal sebagai *coupler hybrid quadrature* adalah 3 dB *directional coupler* dengan perbedaan fasa 90° pada dua *port output* [7]. Dengan referensi ke simbol hibrida 90° yang ditunjukkan pada gambar 2.5 sinyal yang diterapkan ke *port* 1 akan merata dibagi menjadi dua komponen dengan perbedaan fasa 90° pada *port* 2 dan 3, dan *port* 4 akan diisolasi [18].



Gambar 2. 5 Hybrid coupler 90°[18].

Pada gambar 2.5 *Hybrid coupler 90°* menghasilkan perbedaan fasa pada *port* 2 dan 3 ketika ada masukan dari *port* 1. Selanjutnya contoh S-Parameter pada *Hybrid coupler 90°* sebagai berikut [7] :

$$[S] = -\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & S_{14} \\ S_{12} & S_{22} & S_{23} & S_{24} \\ S_{13} & S_{23} & S_{33} & S_{34} \\ S_{14} & S_{24} & S_{34} & S_{44} \end{bmatrix} = -\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 0 & 1 & j & 0 \\ 1 & 0 & 0 & j \\ j & 0 & 0 & 1 \\ 0 & j & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (2.15)$$

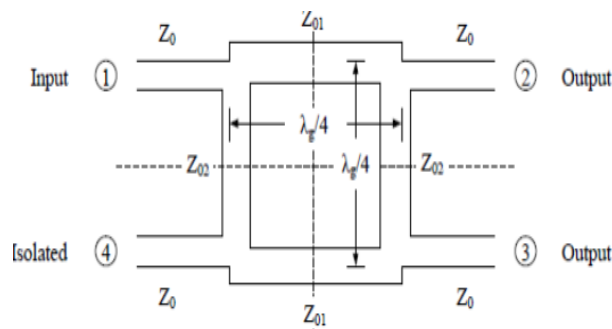
Di mana:

0 = *return loss* dan isolasi

1 dan  $j$  = *insertion loss* dan *coupling*

Pada *Hybrid coupler 90°* memiliki empat *port* dengan impedansi terminal masukan  $Z_0$ . Terdiri dari dua bagian saluran transmisi yang dimana seperempat panjang gelombang impedansi karakteristiknya  $Z_{01}$ . Dua bagian saluran transmisi dihubungkan oleh dua cabang saluran, yang keduanya merupakan bagian saluran transmisi dengan panjang gelombang seperempat dari impedansi karakteristik  $Z_{02}$  atau  $\frac{Z_0}{\sqrt{2}}$  pada kedua ujungnya [18].

Fungsi dari *hybrid coupler 90°* adalah sebagai *reciprocal passive device*, dengan kata lain dapat digunakan sebagai *power combiner*. *Directional coupler* bertujuan untuk pembagian daya dan memisahkan panjang gelombang. *Coupler* dapat dengan mudah dibangun dalam bentuk *planar (microstrip atau stripline)*. Dapat dilihat pada gambar 2.6 sebagai berikut :



Gambar 2. 6 *Geometry branch-line hybrid coupler*[18].

Pada gambar diatas merupakan *geometry branch-line hybrid coupler* atau *hybrid coupler 90°* yang dimana pada gambar diatas terlihat impedansi  $Z_0$  dan  $Z_{02}$  memiliki nilai yang sama. Kemudian untuk  $Z_{01}$  memiliki nilai impedansi yang

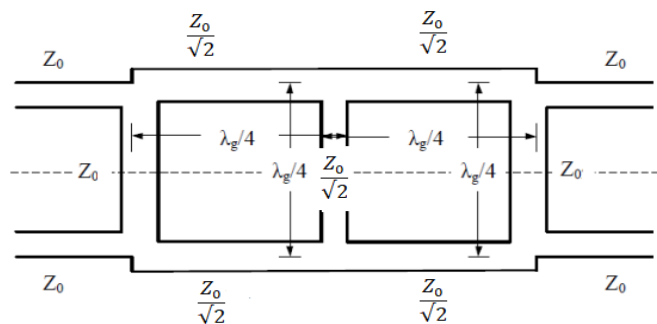
berbeda. Kemudian  $\frac{\lambda_g}{4}$  merupakan panjang gelombang penyusun *hybrid coupler*  $90^\circ$ .

Tabel 2. 5 *Input dan output hybrid coupler 90°*.

Output Input	1	2	3	4
1	<i>Retrun loss</i>	<i>Insertion loss</i>	$-90^\circ$	<i>Isolated</i>
2	<i>Insertion loss</i>	<i>Return loss</i>	<i>Isolated</i>	$-90^\circ$
3	$-90^\circ$	<i>Isolated</i>	<i>Return loss</i>	<i>Insertion loss</i>
4	<i>Isolated</i>	$-90^\circ$	<i>Insertion loss</i>	<i>Return loss</i>

### 2.2.6 Crossover

*Crossover* adalah jaringan empat *port* simetris yang dimana *port* tersebut adalah dua *port input* dan dua *port* keluaran. Dalam desain *crossover* sempurna semua *port* yang berdekatan dari *coupler* harus di isolasi dengan sempurna satu sama lain. *Crossover* dapat dibangun dengan menggabungkan dua jaringan *Hybrid coupler 90°* dengan 2 input dan 2 output [18]. Lebih jelasnya seperti pada gambar berikut [19]:



Gambar 2. 7 *Crossover coupler* [19].

*Crossover* ditempatkan pada titik dimana garis berpotongan untuk mencegah kombinasi sinyal. *Crossover* juga biasa disebut dengan 0 dB *coupler*, karena pada *port* 3 jika dicatu dari *port* 1 tidak tambahan daya yang terlewat dan

juga untuk fasanya menjadi  $0^\circ$ . Desain dikatakan ideal adalah jika setiap berdekatan *port* terisolasi sehingga jika *port* 1 masukan, maka *output* dari *port* 3 harus sama dengan 0 dB dan  $0^\circ$  *phase*, begitu juga jika *port* 4 sebagai masukan, maka *output* *port* 2 harus 0 dB dan  $0^\circ$  *phase*, dan untuk impedansinya sama seperti *hybrid coupler*  $90^\circ$  yaitu  $Z_0$  dan  $\frac{Z_0}{\sqrt{2}}$ . Untuk *S-Matrix* nya sebagai berikut [20] [21]:

$$[S_{ij}] = [S_{ji}]$$

Dimana  $i, j = 1, 2, 3,$  dan  $4$

$$S_{11} = S_{22} = S_{33} = S_{44} = 0$$

$$S_{21} = S_{32} = S_{43} = S_{14} = 0$$

$$S_{31} = S_{42} = 1$$

$$[S - parameter] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & j & 0 \\ 0 & 0 & 0 & j \\ j & 0 & 0 & 0 \\ 0 & j & 0 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

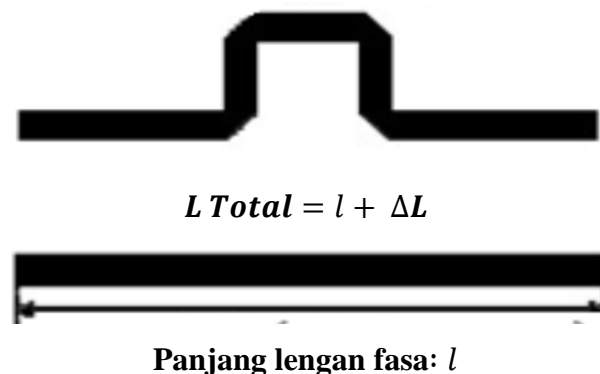
Di mana :

0 = *Return loss* dan isolasi

1 = *Insertion los*.

### 2.2.7 Phase Shifter $60^\circ$ .

*Phase shifter* adalah sebuah instrumen yang menghasilkan perubahan yang dapat disesuaikan pada sudut fasa dari gelombang yang ditransmisikan. Terdapat banyak metode untuk mengimplementasikan *phase shifter* seperti metode *switched-line*, *loaded line*, dan *reflection theories* [22]. Dari ketiga metode tersebut, metode *switched-line* yang paling sederhana [23]. Berikut contoh gambar 2.8 metode *switched line* sebagai berikut [24] :



Gambar 2. 8 Phase shifter [24].



Metode *switched-line phase shifter* adalah metode yang menggunakan konsep *time delay* diantara dua jalur dengan panjang yang berbeda untuk menghasilkan pergeseran fasa yang diinginkan [22]. Untuk menggeser fasa sebesar  $\varphi$  maka panjang saluran yang dibutuhkan adalah [19]:

$$|l| = \varphi \frac{\lambda_g}{360} \quad (2.18)$$

Di mana :

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad (2.19)$$

Keterangan:

$l$  = panjang lengan.

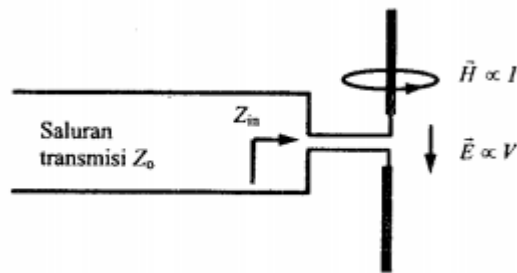
$\varphi$  = nilai fasa.

$\lambda_g$  = panjang gelombang saluran *microstrip*.

$\lambda_0$  = panjang gelombang.

### 2.2.8 Impedansi Masukan

Impedansi masukan didefinisikan sebagai impedansi yang diberikan. Impedansi ini merupakan perbandingan tegangan dan arus atau perbandingan komponen medan listrik dan medan magnet yang sesuai dengan orientasinya [25]. Seperti divisualkan oleh gambar 2.9 sebagai berikut :



Gambar 2. 9 Antena sebagai beban dari rangkaian sebelumnya [25].

Impedansi masukan dalam kondisi *matching* pada saat antena dihubungkan dengan sumber tegangan, sehingga semua sinyal yang dikirim ke antena akan terpancarkan, dan pada antena penerima, jika kondisi *matching* tercapai, energi yang diterima antena akan bisa dikirimkan ke *receiver*. Impedansi masukan terdiri dari komponen *real* ( $R_{in}$ ) dan komponen imajiner ( $X_{in}$ )[26].

$$Z_{in} = R_{in} + jX_{in} \quad (2.19)$$

Di mana :

$Z_{in}$  = impedansi antena

$R_{in}$  = resistansi antena

$X_{in}$  = reaktansi antena