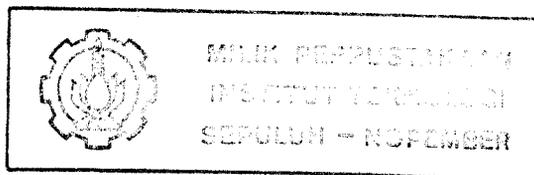
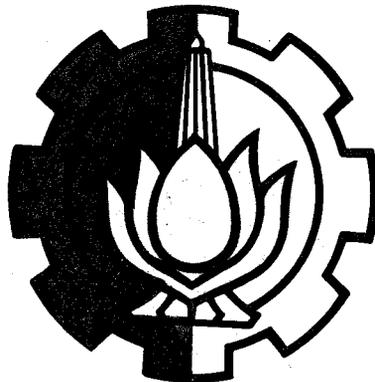


3100096007903

PERENCANAAN DAN PEMBUATAN
POWER DIVIDER DAN POWER COMBINER
UNTUK DAERAH VHF

RSE
621.384 151
Dah
P-1
1994

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	22 NOV 1994
Tertun. Dari	H
No. Agenda Pnp.	4725



Oleh :

Amir Dahlan

NRP. 2882200994

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
1994

**PERENCANAAN DAN PEMBUATAN
POWER DIVIDER DAN POWER COMBINER
UNTUK DAERAH VHF**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Menyelesaikan Studi
Pada
Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya**

**Mengetahui/Menyetujui
Dosen Pembimbing**



**Ir. Hang Suharto, MSc
NIP. 130 520 753**

**SURABAYA
1994**

ABSTRAK

Dalam beberapa aplikasi, seringkali diperlukan pencatutan daya bagi beberapa elemen dalam sistem yang membutuhkan konsumsi daya dari sebuah sumber tunggal, baik dengan karakteristik (amplitudo dan fase) sama ataupun berbeda. Disisi lain akan dibutuhkan suatu peralatan penggabung daya, jika daya dari beberapa sumber tunggal harus digabungkan untuk memperoleh daya yang cukup besar.

Untuk daerah VHF, terdapat tiga jenis power divider/combiner yang dapat direalisasikan, yaitu : divider/combiner type Wilkinson, Ring hybrid dan 90° branch line coupler. Dari ketiga jenis tersebut kemudian dapat dibentuk susunan pembagi/ penggabung n-jalur yang dapat membagi/menggabungkan daya ke/dari n peralatan.

Pada Tugas Akhir ini direncanakan dan dibuat power divider/combiner jenis Wilkinson hybrid 2-jalur yang bekerja pada frekuensi 145 MHz dengan menggunakan saluran microstrip.

Dari hasil pengukuran diperoleh efisiensi power divider sebesar 96 % pada pusat frekuensi operasinya, sedangkan efisiensi sebagai power combiner sebesar 91 %. VSWR yang terukur untuk semua range frekuensi pengukuran adalah antara 1,15 sampai 1,22, yang menunjukkan bahwa bandwidth dari peralatan tersebut cukup lebar. Isolasi antara port input/outputnya sangat tinggi sehingga sangat sesuai digunakan untuk aplikasi yang sensitif terhadap interaksi antara modul yang digabung/dibagi.

Bismillahirrahmannirohim

Demi malam tatkala gelap gulita

Demi siang tatkala telah terang

Demi Dzat yang menciptakan laki-laki dan
perempuan

Sesungguhnya amal usaha manusia itu
berbeda-beda

Adapun orang yang suka memberi dan
bertaqwa

Dan mengakui kebajikan

Maka kami mudahkan baginya ke jalan
yang mudah

(Al - Lail 1-7)

BUAT AYAH DAN IBUKU
YANG TELAH MEMBERIKU AMANAH

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat serta taufikNya, karena hanya dengan rahmad, ridlo serta kasih sayangNya penulis akhirnya dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul :

**PERENCANAAN DAN PEMBUATAN
POWER DIVIDER DAN POWER COMBINER
UNTUK DAERAH VHF**

Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat bagi setiap mahasiswa untuk melengkapi kurikulum dalam penyelesaian program sarjana pada Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Elektro, Bidang Studi Teknik Telekomunikasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Akhir kata semoga tugas akhir ini dapat memberikan sumbangan pengetahuan yang bermanfaat bagi pihak yang memerlukannya.

Surabaya, September 1994

Penyusun

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan tersusunnya buku tugas akhir ini penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Ir. Hang Suharto, MSc selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan selama penulis menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Bapak Ir. Yanto Suryadhana selaku dosen wali yang telah memberikan saran-sarannya selama penulis menjadi mahasiswa di Teknik Elektro ITS.
3. Ayah serta ibuku tercinta yang telah mencurahkan segenap perhatian dan kasih sayangnya selama penulis menyelesaikan studi.
4. Kakak-kakakku yang telah turut mendukung penulis baik moril maupun materiil.
5. Rekan-rekanku ; Hartono cs, Ivan cs, Irwan cs, Rahman, Handani, Heru, Arief, serta lainnya yang telah begitu banyak membantu penulis selama ini.
6. Semua pihak yang tidak mungkin disebutkan satu persatu, namun telah banyak membantu penulis hingga terselesaikannya tugas akhir ini.

Semoga Allah SWT yang maha rahman dan rahim memberikan balasan yang berlipat ganda atas segala kebaikan yang telah penulis terima. Jazaakumullahi khoiron katsiro. Amin.

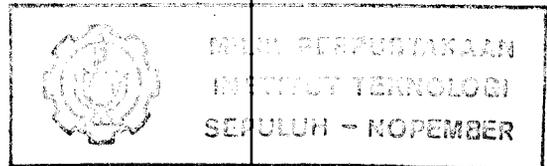
DAFTAR ISI

	HAL.
JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iii
KATA PENGANTAR	iv
UCAPAN TERIMA KASIH	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 PERMASALAHAN	2
1.3 PEMBATAAN MASALAH	3
1.4 TUJUAN	3
1.5 METODOLOGI	3
1.6 SISTEMATIKA PEMBAHASAN	4
1.7 RELEVANSI	5
BAB II TEORI PENUNJANG	6
2.1 DASAR TEORI POWER DIVIDER/COMBINER	6
2.1.1 Power Divider/Combiner Biner	7
2.1.1.1 Power divider/combiner sephase	10
2.1.1.2 Power divider/combiner berbeda phase 90°	16

2.1.2 Power Divider/Combiner n-jalur	19
2.1.2.1 Struktur power divider/combiner Serial	20
2.1.2.2 Struktur power divider/combiner	
corporate	22
2.2 SALURAN MICROSTRIP	24
2.2.1 Substrat Dielektrik	25
2.2.2 Impedansi Karakteristik	27
2.2.3 Rugi-Rugi Dalam Microstrip	28
2.2.3.1 Redaman Dielektrik	28
2.2.3.2 Redaman Ohmic	29
2.2.4 Diskontinuitas	30
2.2.4.1 Penyudutan	31
 BAB III TEKNIK POWER DIVIDER/COMBINER UNTUK DAERAH VHF .	 33
3.1 POWER DIVIDER/COMBINER HYBRID	33
3.1.1 Hybrid Saluran Bercabang	37
3.1.1.1 Prinsip operasi	37
3.1.1.2 Konstruksi dan isolasi	38
3.1.1.3 Lumped elemen	40
3.1.1.4 Penggunaan dalam sistem penguat daya RF	42
3.1.2 Wilkinson Hybrid Dua Jalur	42
3.1.2.1 Prinsip operasi	43
3.1.2.2 Konstruksi	43
3.1.2.3 Isolasi	44
3.1.2.4 Lumped elemen	46
3.1.2.5 Penggunaan dalam sistem penguat daya RF	48

3.1.3 Ring Hybrid	48
3.1.3.1 Prinsip operasi	49
3.1.3.2 Penggunaan dalam sistem penguat daya RF	53
3.2 POWER DIVIDER/COMBINER N-JALUR	53
3.2.1 Power Divider/Combiner Corporate	54
3.2.2 Power Divider/Combiner Chain	55
3.2.3 Power Divider/Combiner N-jalur Satu Tahap .	56
3.3 EFFISIENSI	57
3.4 ISOLASI DAN VSWR INPUT	61
3.5 KAPASITAS DAYA	62
 BAB IV PERENCANAAN DAN PEMBUATAN	 64
4.1 PERENCANAAN	64
4.1.1 Pemilihan Jenis Power Divider/Combiner . . .	65
4.1.2 Pemilihan Bahan Microstrip	67
4.1.3 Bentuk Dan Ukuran Power Divider/Combiner . .	68
4.2 PEMBUATAN	70
 BAB V PENGUKURAN	 72
5.1 PENGUKURAN ISOLASI	72
5.1.1 Metode	72
5.1.2 Hasil Pengukuran	74
5.2 PENGUKURAN RETURN LOSS DAN VSWR INPUT	74
5.2.1 Metode	74
5.2.2 Hasil Pengukuran	76
5.3 PENGUKURAN KOPLING	78
5.3.1 Metode	78
5.3.2 Hasil Pengukuran	79

5.4 PENGUKURAN EFFISIENSI	80
5.4.1 Metode	80
5.4.2 Hasil Pengukuran	82
BAB VI PENUTUP	84
6.1 KESIMPULAN	84
DAFTAR PUSTAKA	86
APPENDIX A : PROGRAM PERHITUNGAN PANJANG DAN LEBAR SALURAN MICROSTRI	
APPENDIX B : USULAN TUGAS AKHIR	
APPENDIX C : DAFTAR RIWAYAT HIDUP	



DAFTAR GAMBAR

	HAL.
GAMBAR 2.1 DIRECTIONAL COUPLER	8
GAMBAR 2.2 WILKINSON DIVIDER/COMBINER	15
GAMBAR 2.3 90° HYBRID BRANCH COUPLER	19
GAMBAR 2.4 STRUKTUR DIVIDER/COMBINER CHAIN	20
GAMBAR 2.5 STRUKTUR DIVIDER/COMBINER CORPORATE	23
GAMBAR 2.6 DIAGRAM SALURAN MICROSTRIP	25
GAMBAR 2.7 TEKNIK KOMPENSASI UNTUK SUDUT PADA MICROSTRIP	32
GAMBAR 3.1 DIAGRAM POWER DIVIDER/COMBINER HYBRID	35
GAMBAR 3.2 BEBERAPA JENIS POWER DIVIDER/COMBINER HYBRID	36
GAMBAR 3.3 KONSTRUKSI HYBRID SALURAN BERCABANG	39
GAMBAR 3.4 RANGKAIAN EKUIVALEN Π	41
GAMBAR 3.5 LUMPED ELEMEN HYBRID SALURAN BERCABANG	41
GAMBAR 3.6 BALANCE AMPLIFIER 90°	42
GAMBAR 3.7 SKEMA ISOLASI WILKINSON HYBRID DUA JALUR	45
GAMBAR 3.8 RANGKAIAN EKUIVALEN Π SALURAN TRANSFORMASI IMPEDANSI	47
GAMBAR 3.9 LUMPED ELEMEN WILKINSON HYBRID	47
GAMBAR 3.10 AMPLIFIER SEPHASE	48
GAMBAR 3.11 BENTUK RING HYBRID	49
GAMBAR 3.12 KONSTRUKSI RING HYBRID	50
GAMBAR 3.13 PENGOPERASIAN RING HYBRID POWER DIVIDER	52
GAMBAR 3.14 PENGGUNAAN RING HYBRID	52

GAMBAR 3.15	AMPLIFIER 4-JALUR MENGGUNAKAN POWER DIVIDER DAN POWER COMBINER CORPORATE	54
GAMBAR 3.16	SISTEM AMPLIFIER MENGGUNAKAN POWER DIVIDER DAN POWER COMBINER CHAIN	55
GAMBAR 3.17	POWER COMBINER WILKINSON N-JALUR	57
GAMBAR 3.18	EFFISIENSI POWER COMBINER HYBRID DUA JALUR .	58
GAMBAR 3.19	EFFISIENSI POWER COMBINER N-JALUR TERHADAP SEJUMLAH MASUKAN	60
GAMBAR 4.1	POWER DIVIDER/COMBINER WILKINSON	69
GAMBAR 4.2	POWER DIVIDER/COMBINER WILKINSON 2-JALUR YANG TELAH DIBUAT	71
GAMBAR 5.1	PERALATAN YANG DIGUNAKAN UNTUK PENGUKURAN .	73
GAMBAR 5.2	BLOK DIAGRAM PENGUKURAN ISOLASI	74
GAMBAR 5.3	BLOK DIAGRAM PENGUKURAN RETURN LOSS DAN VSWR	75
GAMBAR 5.4	GRAFIK HASIL PENGUKURAN RETURN LOSS DAN VSWR TERHADAP PERUBAHAN FREKUENSI	77
GAMBAR 5.5	BLOK DIAGRAM PENGUKURAN KOPLING	78
GAMBAR 5.6	GRAFIK HASIL PENGUKURAN KOPLING TERHADAP PERUBAHAN FREKUENSI	80
GAMBAR 5.7	BLOK DIAGRAM PENGUKURAN EFFISIENSI	81
GAMBAR 5.8	GRAFIK HASIL PENGUKURAN EFFISIENSI TERRHADAP PERUBAHAN FREKUENSI	83

DAFTAR TABEL

	HAL.
TABEL 5.1 HASIL PENGUKURAN RETURN LOSS DAN VSWR	76
TABEL 5.2 HASIL PENGUKURAN KOPLING	79
TABEL 5.3 HASIL PENGUKURAN EFFISIENSI	82

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Indonesia adalah negara kepulauan dengan wilayah yang luas sekali. Dengan kondisi seperti ini, maka sarana telekomunikasi yang handal mutlak diperlukan agar penyaluran informasi bagi masyarakat dapat dilakukan dengan cepat, tepat dan jangkauannya dapat mencakup wilayah seluas mungkin.

Perkembangan teknologi telekomunikasi di Indonesia sendiri sangat pesat, seiring dengan dioperasikannya SKSD (Sistem Komunikasi Satelit Domestik) Palapa sehingga komunikasi antar pulau maupun antar kota di hampir seluruh wilayah Indonesia dapat dijangkau.

Salah satu sarana telekomunikasi yang paling banyak digunakan sampai saat ini adalah radio broadcast. Dengan tersedianya sarana pemancar dan penerima radio yang memadai, maka informasi dapat disebar dan diterima dengan cepat dan jangkauan yang cukup luas.

Untuk dapat memberikan jangkauan yang luas, dan memungkinkan diterima dengan baik pada pesawat penerima, maka pemancar radio harus dirancang dengan daya output RF yang cukup besar dan memakai antena pemancar dengan gain cukup tinggi. Hal tersebut dimaksudkan agar daya sinyal

radio yang sampai pada antena penerima mencukupi level daya sinyal minimal. Sedangkan pada penerima, sinyal RF yang diterima harus mengalami penguatan kembali, agar dapat dideteksi dengan baik.

Membangkitkan daya yang cukup besar untuk keperluan tersebut kadang kala tidak bisa dilakukan dengan menggunakan penguat aktif tunggal, karena keterbatasan komponen aktif yang tersedia. Cara paling sederhana dan mudah untuk menyediakan daya tinggi adalah dengan menggabungkan beberapa sumber daya menggunakan teknik penggabungan daya, pada desain amplifier.

Disamping itu power divider/combiner dapat dipakai untuk mencatu antena array guna memperoleh penguatan antena yang cukup tinggi.

1.2 PERMASALAHAN

Untuk mendapatkan daya output RF tinggi, diperlukan teknik penggabungan daya dari beberapa sumber daya RF kecil tunggal. Sedangkan pada sisi lain, jika daya input akan dibagi untuk suatu keperluan tertentu maka dibutuhkan suatu teknik pembagian daya. Untuk itu perlu adanya pengetahuan mendalam mengenai berbagai teknik penggabungan/pembagian daya serta metode dan kriteria perencanaan power combiner/divider yang memenuhi persyaratan teknis, serta mudah dibuat.

1.3 PEMBATASAN MASALAH

Pada Tugas Akhir ini, masalah perencanaan dan pembuatan power combiner/divider akan dibatasi untuk daerah VHF. Sedangkan komponen yang akan dipakai dalam perencanaan dan pembuatan power combiner/divider ini terutama terbuat dari saluran transmisi microstrip, sehingga permasalahan microstrip juga akan dibahas, disamping permasalahan dari berbagai teknik power combiner/divider baik biner maupun n-jalur.

1.4 TUJUAN

Perencanaan dan pembuatan power combiner/divider dalam Tugas Akhir ini bertujuan untuk mengetahui lebih mendalam berbagai teknik penggabung/pembagi daya RF, penggunaan microstrip sebagai komponen pasif serta kriteria perencanaan untuk pembuatan power combiner/divider pada daerah VHF. Tugas Akhir ini diharapkan dapat memberikan alternatif penyediaan daya RF yang cukup tinggi dengan menggunakan teknik power combiner / divider, khususnya pada daerah VHF.

1.5 METODOLOGI

Untuk dapat merencanakan dan membuat peralatan power combiner/divider untuk daerah VHF ini, ditempuh langkah-langkah sebagai berikut :

- Studi literatur tentang teknik-teknik power divider/combiner yang ada serta pemakaian microstrip sebagai

komponen pasif power divider/combiner.

- Perencanaan peralatan yang sesuai dengan kriteria yang telah ditentukan.
- Pembuatan dan pengukuran peralatan untuk mendapatkan spesifikasi dari peralatan yang dibuat dan dievaluasi untuk dibandingkan dengan kriteria perencanaan.

1.6 SISTEMATIKA PEMBAHASAN

Pembahasan Tugas Akhir ini dibagi dalam 6 bab, yaitu :

- BAB I** : Pendahuluan, menguraikan latar belakang, permasalahan, pembatasan masalah, tujuan, metodologi sistematika pembahasan serta relevansi.
- BAB II** : Teori Penunjang, yang menguraikan dasar teori power combiner/divider, baik biner maupun n-jalur, serta uraian dasar-dasar saluran microstrip sebagai dasar teori dalam perencanaan power divider/combiner.
- BAB III** : Teknik Dan Kriteria Perencanaan Power Combiner/Divider Untuk Daerah VHF, membahas prinsip operasi dan konstruksi berbagai macam power combiner/divider, baik biner maupun n-jalur serta berbagai kriteria yang perlu diperhatikan dalam perencanaan power combiner/divider untuk daerah VHF.
- BAB IV** : Perencanaan Dan Pembuatan, berisi uraian perencanaan dan pembuatan peralatan sesuai dengan teknik dan kriteria yang telah ditentukan.

BAB V : Pengukuran, membahas cara-cara pengukuran peralatan yang telah dibuat serta hasil-hasil pengukurannya.

BAB VI : Penutup, merupakan kesimpulan dari seluruh tugas akhir yang telah diselesaikan.

1.7 RELEVANSI

Dari perencanaan dan pembuatan power combiner/divider dalam tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan alternatif bagi penyediaan daya pada pemancar dan penerima RF, terutama untuk daerah VHF, yang lebih menguntungkan baik secara teknis maupun ekonomis dari pada memakai sumber daya tunggal. Disamping itu, dari tugas akhir ini dapat dikembangkan untuk aplikasi dalam sistem telekomunikasi lainnya yang menggunakan gelombang mikro, seperti dalam stasiun bumi satelit dan radar.

BAB II

TEORI PENUNJANG

2.1 DASAR TEORI POWER DIVIDER/COMBINER

Dalam beberapa aplikasi, seringkali diperlukan pencatuan daya bagi beberapa elemen dalam sistem yang membutuhkan konsumsi daya dari sebuah sumber tunggal, baik dengan karakteristik (amplitudo dan phase) sama ataupun berbeda. Untuk memenuhi maksud tersebut maka dibutuhkan suatu peralatan pembagi daya yang sesuai dengan kriteria yang diinginkan. Disisi lain akan dibutuhkan suatu peralatan penggabung daya, jika daya dari beberapa sumber tunggal harus digabungkan untuk memperoleh daya yang cukup besar. Pemanfaatan peralatan pembagi dan penggabung daya sekaligus juga sangat diperlukan dalam amplifier balance untuk membangkitkan daya yang cukup besar, apabila daya tersebut tidak mampu disediakan oleh sumber daya tunggal.

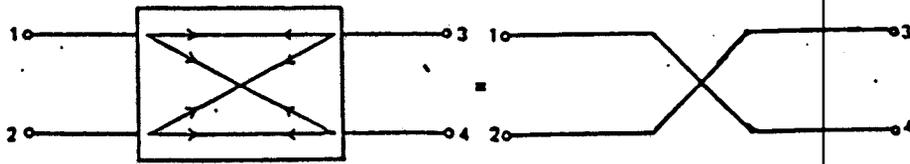
Secara umum ada dua katagori dari power combiner dan power divider, yaitu power combiner/divider yang menggabungkan/membagi daya output dari/ke n peralatan dalam beberapa tahap dan yang menggabungkan/membagi daya dalam satu tahap saja. Katagori pertama yang banyak dikenal dan telah digunakan secara luas adalah struktur corporate (bentuk pohon) dan struktur chain (bentuk serial). Sedangkan yang termasuk katagori kedua

diantaranya adalah divider/combiner Wilkinson n-jalur, combiner Rucker, waveguide cavity dan lain-lain.

Struktur power divider/combiner corporate dan chain biasanya dibangun dari beberapa power divider/combiner biner secara bertahap hingga diperoleh jumlah port input/output yang banyak. Power divider biner pada dasarnya adalah peralatan pasif yang menerima sebuah sinyal input dan membaginya menjadi dua sinyal output. Begitu pula sebaliknya, suatu power combiner biner akan menggabungkan daya sinyal identik yang dimasukkan pada kedua port inputnya.

2.1.1 Power Divider/Combiner Biner

Power divider/combiner biner pada dasarnya dibentuk dari peralatan pembagi dan penggabung tiga port, bisa berupa sebuah directional coupler, yang idealnya merupakan rangkaian tanpa redaman (lossless) empat port yang bersifat timbal balik, seperti ditunjukkan pada gambar 2.1. Directional coupler ideal mempunyai sifat bahwa : gelombang yang dimasukkan pada port 1 akan dikopel menuju ke port 3 dan 4, tetapi tidak ke port 2. Dengan cara yang sama, gelombang yang dimasukkan pada port 2 akan menuju ke port 3 dan 4, tetapi tidak ke port 1. Dengan demikian diantara port 1 dan 2 saling terjadi isolasi. Karena directional coupler bersifat timbal balik, maka semua sifat dari port 1 dan 2 akan berlaku pula untuk port 3 dan 4. Selanjutnya, apabila semua port dalam keadaan sepadan



GAMBAR 2.1¹
DIRECTIONAL COUPLER

(match), yakni jika keempat port diterminasikan dengan beban yang sepadan, maka tidak ada pantulan dari gelombang yang datang pada keempat portnya.

Jika $S = [S_{ij}]$ adalah matrik scattering simetri dari directional coupler empat port, yang dapat dituliskan sebagai :

$$S = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & S_{14} \\ S_{12} & S_{22} & S_{23} & S_{24} \\ S_{13} & S_{23} & S_{33} & S_{34} \\ S_{14} & S_{24} & S_{34} & S_{44} \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

maka dari sifat diatas, yaitu bahwa port 1 saling terisolasi dengan port 2 dan port 3 diisolasi dengan port 4 dimana seluruh portnya match, akan diperoleh :

¹ Tri T. Ho, "Solid State Microwave Amplifier Design", John Wiley & Sons, 1981, hal. 249

$$S_{11} = S_{22} = S_{33} = S_{44} = S_{12} = S_{34} = 0$$

sehingga matrik scattering persamaan 2.1 dapat dituliskan sebagai :

$$S = \begin{bmatrix} 0 & 0 & S_{13} & S_{14} \\ 0 & 0 & S_{23} & S_{24} \\ S_{13} & S_{23} & 0 & 0 \\ S_{14} & S_{24} & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

Jika directional coupler adalah edial tanpa redaman, matrik scattering persamaan 2.2 harus memenuhi theorema Bounded-real bahwa $S^{T*} S = I$. Dengan theorema ini dapat diturunkan persamaan :

$$S_{13}^* S_{23} + S_{14}^* S_{24} = 0 \quad (2.3a)$$

$$S_{13}^* S_{14} + S_{23}^* S_{24} = 0 \quad (2.3b)$$

atau ekuivalen dengan :

$$|S_{13}| |S_{23}| = |S_{14}| |S_{24}| \quad (2.4a)$$

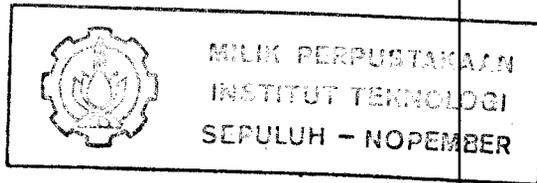
$$|S_{13}| |S_{14}| = |S_{23}| |S_{24}| \quad (2.4b)$$

apabila persamaan 2.4a dibagi dengan persamaan 2.4b, di-
dapatkan :

$$\frac{|S_{23}|}{|S_{14}|} = \frac{|S_{14}|}{|S_{23}|} \quad (2.5)$$

atau

$$|S_{23}| = |S_{14}| \quad (2.6)$$



substitusi persamaan 2.6 kedalam persamaan 2.4a, menghasilkan :

$$|S_{13}| = |S_{24}| \quad (2.7)$$

Dengan menentukan harga-harga S_{23} , S_{14} , S_{13} dan S_{24} yang memenuhi persamaan 2.3, akan ditemukan berbagai tipe power divider/combiner serta perbandingan daya yang digabungkan.

2.1.1.1 Power Divider/Combiner Sephase

Kemungkinan pertama persamaan 2.3 dapat dipenuhi dengan menetapkan :

$$S_{13} = S_{24} = \alpha \quad (2.8a)$$

$$S_{23} = S_{14} = \beta \quad (2.8b)$$

dimana α dan β adalah besaran real yang mempunyai tanda sama. Matrik scattering persamaan 2.2 dapat ditulis sebagai :

$$S = \left[\begin{array}{ccc|c} 0 & 0 & \alpha & \beta \\ 0 & 0 & \beta & \alpha \\ \alpha & \beta & 0 & 0 \\ \hline \beta & \alpha & 0 & 0 \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c|c} S_{11c} & S_{21c} \\ \hline S_{21c} & S_{22c} \end{array} \right] \quad (2.9)$$

Dengan sifat satuan dari theorema Bounded-real dapat dengan mudah diperoleh hubungan bahwa :

$$\alpha^2 + \beta^2 = 1 \quad (2.10)$$

Apabila port 4 disambungkan pada beban yang mempunyai koefisien pantul Γ_L , maka directional coupler dapat menjadi sebuah peralatan power combiner dengan port 1 dan 2 sebagai masukan dan port 3 sebagai keluaran, atau sebagai power divider dimana masukan pada port 3 dan keluaran pada port 1 dan 2. Matrik scattering penjumlahan dari power divider/combiner diberikan sebagai :

$$\begin{aligned} \Sigma &= S_{11c} + S_{21c}^T (1 - \Gamma_L S_{22c})^{-1} \Gamma_L S_{1c} \\ \Sigma &= S_{11c} + S_{21c}^T \Gamma_L S_{21c} \end{aligned} \quad (2.11)$$

Jika beban yang disambungkan pada port 4 adalah sepadan, atau $\Gamma_L = 0$, maka :

$$\Sigma = S_{11c} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \alpha \\ 0 & 0 & \beta \\ \alpha & \beta & 0 \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

Misalkan a_i dan b_i ($i = 1, 2, 3$) adalah scattering normalisasi dari gelombang yang masuk dan terpantul terhadap port 1, 2, dan 3 dari peralatan power divider/combiner tiga port. Maka untuk peralatan power combiner hanya ada dua gelombang a_1 dan a_2 yang masuk pada port 1 dan 2. Hubungan ini dituliskan sebagai :

$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \alpha \\ 0 & 0 & \beta \\ \alpha & \beta & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \alpha a_1 + \beta a_2 \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

Dari persamaan diatas terlihat bahwa tidak ada pantulan gelombang pada port input ($b_1 = b_2 = 0$), dan sinyal output pada port 3 adalah :

$$b_3 = \alpha a_1 + \beta a_2$$

sehingga besarnya daya yang keluar pada port 3 dapat ditulis sebagai :

$$|b_3|^2 = |\alpha a_1 + \beta a_2|^2 \quad (2.14)$$

Apabila daya yang dimasukkan pada port 1 adalah $|a_1|^2$ dan pada port 2 adalah $|a_2|^2$, maka jika dianggap power combiner adalah ideal, akan didapatkan daya yang keluar $|b_3|^2$ sebagai penjumlahan daya yang dimasukkan, yaitu $|b_3|^2 = |a_1|^2 + |a_2|^2$. Dari persamaan 2.14 dapat dilihat bahwa, penggabungan daya dapat dicapai dengan memilih β dan phase sinyal dari a_1 dan a_2 yang tepat.

Jika gelombang a_1 dan a_2 dipilih sephase, atau :

$$a_1 = |a_1| \exp(j\theta)$$

$$a_2 = |a_2| \exp(j\theta)$$

persamaan 2.14 dapat dituliskan sebagai :

$$|b_3|^2 = |\alpha|a_1| + \beta|a_2| |^2 \quad (2.15)$$

Sekarang jika dimisalkan :

$$\beta = \alpha \frac{|a_2|}{|a_1|} \quad (2.18)$$

dengan catatan bahwa $\alpha^2 + \beta^2 = (\alpha^2 + \beta^2)^2 = 1$, maka didapatkan penyelesaian :

$$\begin{aligned} |b_3|^2 &= \left[\alpha|a_1| + \frac{\beta^2}{\alpha} |a_1| \right]^2 = \frac{(\alpha^2 + \beta^2)^2 |a_1|^2}{\alpha^2} \\ &= \frac{(\alpha^2 + \beta^2) |a_1|^2}{\alpha^2} = |a_1|^2 + \frac{\beta^2}{\alpha^2} |a_1|^2 \\ &= |a_1|^2 + |a_2|^2 \end{aligned} \quad (2.17)$$

Untuk menetapkan berapa besar β dan α , dapat diperoleh dari persamaan 2.15 dan persyaratan $\alpha^2 + \beta^2 = 1$ yang didapat :

$$\alpha = \pm \frac{1}{\left[1 + \frac{|a_2|^2}{|a_1|^2} \right]^{1/2}}$$

$$= \pm \frac{1}{\left[|a_1|^2 + |a_2|^2 \right]^{1/2}} \quad (2.18a)$$

$$\beta = \pm \frac{|a_2|}{\left[|a_1|^2 + |a_2|^2 \right]^{1/2}} \quad (2.18b)$$

Dari hubungan di atas diperlihatkan bahwa, penggabungan daya pada port 3 dapat dicapai dengan memasukkan dua sinyal pada hubungan phase yang sama pada port 1 dan 2 dan dengan koefisien kopling yang tertentu.

Apabila digunakan sebagai rangkaian power divider dengan satu sinyal masukan a_3 pada port 3, akan didapatkan hubungan :

$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \alpha \\ 0 & 0 & \beta \\ \alpha & \beta & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ a_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha a_3 \\ \beta a_3 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.19)$$

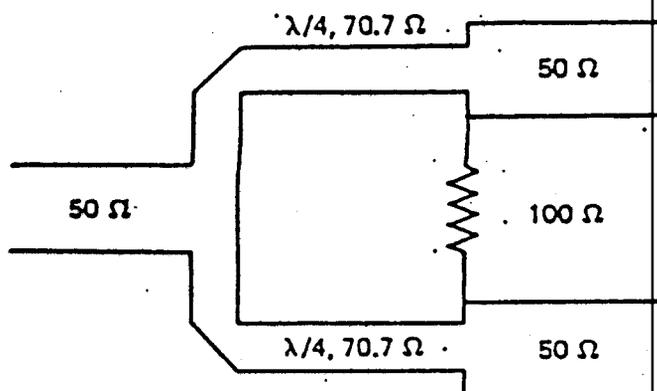
Dari persamaan di atas diperlihatkan bahwa tidak ada pantulan gelombang pada port 3 atau $b_3 = 0$ dengan daya output pada port 1 dan 2 adalah :

$$|b_1|^2 = \alpha^2 |a_3|^2 \quad (2.20a)$$

$$|b_2|^2 = \beta^2 |a_3|^2 \quad (2.20b)$$

Dengan memilih harga α dan β tertentu, asalkan $\alpha^2 + \beta^2 = 1$, maka daya input dapat dibagi kedalam dua port output dengan daya yang besarnya sama ataupun berbeda. Jika dipilih $\alpha^2 = \beta^2 = 1/2$, sehingga $|b_1|^2 = |b_2|^2 = |a_3|^2/2$, maka hal ini merupakan peralatan 3 dB power divider yang menghasilkan daya output pada kedua portnya masing-masing setengah dari daya inputnya (atau 3 dB dibawah daya input).

Gambar 2.2 memperlihatkan salah satu contoh peralatan jenis ini, yaitu split-T power divider/combiner atau dikenal juga sebagai Wilkinson divider/combiner.



GAMBAR 2.2²

WILKINSON DIVIDER/COMBINER

² Ibid, hal. 254

2.1.1.2 Power Divider/Combiner Berbeda Phase 90°

Seperti pada penetapan persamaan 2.8a dan 2.8b, kemungkinan kedua penyelesaian persamaan 2.3 dapat diperoleh dengan menetapkan harga :

$$S_{13} = S_{24} = \alpha \quad (2.21a)$$

$$S_{23} = S_{14} = j\beta \quad (2.21b)$$

dimana α dan β adalah besaran real. Matrik scattering persamaan 2.2 dapat ditulis sebagai :

$$S = \left[\begin{array}{ccc|c} 0 & 0 & \alpha & j\beta \\ 0 & 0 & j\beta & \alpha \\ \alpha & j\beta & 0 & 0 \\ \hline j\beta & \alpha & 0 & 0 \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c|c} S_{11c} & S_{21c}^T \\ \hline S_{21c} & S_{22c} \end{array} \right] \quad (2.22)$$

Dengan mengulangi langkah-langkah penurunan persamaan 2.10, 2.11 dan 2.12, matrik scattering penjumlahan dari power divider/combiner adalah diberikan sebagai :

$$\Sigma = S_{11c} = \left[\begin{array}{ccc} 0 & 0 & \alpha \\ 0 & 0 & j\beta \\ \alpha & j\beta & 0 \end{array} \right]$$

Apabila peralatan tersebut digunakan sebagai power combiner dengan sinyal input a_1 dan a_2 pada port 1 dan 2, diperoleh hubungan sebagai :

$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & S_{13} \\ 0 & 0 & S_{23} \\ S_{13} & S_{23} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \alpha a_1 + j\beta a_2 \end{bmatrix} \quad (2.23)$$

dimana $b_1 = b_2 = 0$, dan sinyal yang keluar pada port 3 diberikan sebagai :

$$b_3 = \alpha a_1 + j\beta a_2$$

besarnya daya yang keluar pada port 3 dapat diperoleh dari $|b_3|^2$, yaitu :

$$|b_3|^2 = |\alpha a_1 + j\beta a_2|^2 \quad (2.24)$$

Misalkan a_1 dan a_2 dipilih berbeda phase 90° , kedua sinyal ini dapat dituliskan sebagai :

$$a_1 = |a_1| \exp^{(j\theta)}$$

$$a_2 = |a_2| \exp^{[j(\theta - \pi/2)]}$$

maka, persamaan 2.24 dapat ditulis sebagai :

$$|b_3|^2 = |\alpha|a_1| + \beta|a_2||^2$$

persamaan diatas mempunyai penyelesaian

$$|b_3|^2 = |a_1|^2 + |a_2|^2 \quad (2.25)$$

dan hubungan kopling α dan β seperti persamaan (2.18)

Dari hubungan diatas ditunjukkan bahwa, dengan hubungan phase sinyal a_1 dan a_2 yang berbeda 90° dan β ditetapkan seperti persamaan 2.16 didapatkan penggabungan daya pada port 3 dengan sinyal input pada port 1 dan 2.

Apabila digunakan sebagai power divider, dimana hanya ada satu sinyal input (a_3) pada port 3, akan didapat hubungan :

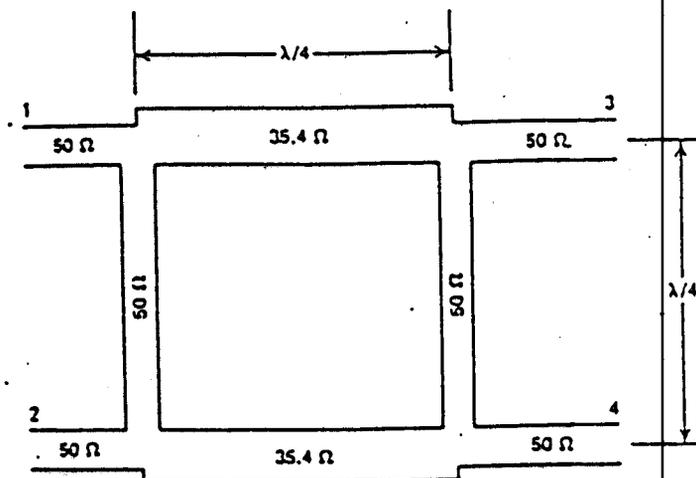
$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \alpha \\ 0 & 0 & j\beta \\ \alpha & j\beta & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ a_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha a_3 \\ j\beta a_3 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.26)$$

Persamaan di atas diperlihatkan bahwa, tidak ada pantulan pada port 3 dan daya yang keluar pada port 1 dan 2 adalah sebagai :

$$|b_1|^2 = \alpha^2 |a_3|^2 \quad (2.27a)$$

$$|b_2|^2 = \beta^2 |a_3|^2 \quad (2.27b)$$

dengan memilih α dan β yang sesuai dengan hubungan $\alpha^2 + \beta^2 = 1$, daya yang masuk pada port 3 dapat disalurkan sesuai dengan koefisien kopling yang ditetapkan, apakah dengan perbandingan daya yang sama atau berbeda diantara dua port output. Misalkan dipilih $\alpha^2 = \beta^2 = 1/2$, maka $|b_1|^2 = |b_2|^2 = |a_3|^2 / 2$. Hasil ini adalah merupakan peralatan power divider 3 dB dengan dua port output yang saling terisolasi, dan masing-masing daya output adalah setengah dari daya yang masuk. Gambar 2.3 menunjukkan sebuah peralatan power divider/combiner 3-dB hybrid branch coupler dari saluran microstrip.



GAMBAR 2.3³

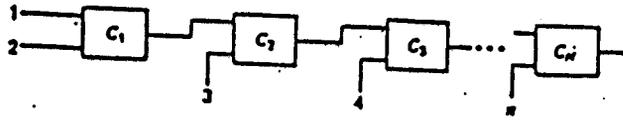
90° HYBRID BRANCH COUPLER

2.1.2 Power Divider/Combiner n-jalur

Seperti telah disebutkan diawal bab ini, power divider dan power combiner biner dapat dijadikan sebagai pembangun struktur power divider/combiner n-jalur, yaitu peralatan yang membagi daya dari suatu sumber tunggal kepada n buah output atau peralatan yang menggabungkan n buah input menjadi satu output. Dua bentuk peralatan power divider/combiner n-jalur yang sangat populer adalah struktur corporate dan chain, sebagaimana diagramnya masing-masing ditunjukkan pada gambar 2.4 dan 2.5

Pada prinsipnya, dengan power divider/combiner ideal dapat dilakukan pembagian/penggabungan daya sebarang besarnya. Tetapi pada kenyataannya, insertion loss dari

³ Ibid, hal. 252

GAMBAR 2.4⁴

STRUKTUR COMBINER/DIVIDER CHAIN

power divider/combiner dapat membatasi efisiensi keseluruhan dari struktur power divider/combiner tersebut.

2.1.2.1 Struktur Power Divider/Combiner Serial

Struktur power divider/combiner serial (chain divider/combiner) ditunjukkan pada gambar 2.4. Struktur chain dapat membagi / menggabungkan daya sebanyak $n = N + 1$, dimana N adalah menunjukkan jumlah tingkat atau banyaknya peralatan divider/combiner biner.

Secara eksplisit akan dilakukan analisa terhadap power combiner, dengan pengertian bahwa power divider bekerja secara berlawanan terhadap power combiner. Misalkan a_i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) sebagai gelombang yang dimasukkan pada port ke i , dengan persamaan 2.17 dan 2.18 dapat ditemukan persamaan daya output pada C_i dengan koefisien kopling α_i dan β_i adalah diberikan sebagai :

⁴ Ibid, hal. 256

$$|b_i|^2 = \frac{|a_1|^2}{\prod_{m=1}^i \alpha_m^2} = \frac{|a_{i+1}|^2}{\sum_{m=1}^{i+1} |a_m|^2} \quad (2.28)$$

dimana :

$$\alpha_i = \pm \frac{1}{\left[1 + \frac{|a_{i+1}|^2}{\sum_{m=1}^i |a_m|^2} \right]^{1/2}}$$

$$= \pm \left[\frac{\sum_{m=1}^i |a_m|^2}{i+1 \sum_{m=1}^{i+1} |a_m|^2} \right]^{1/2} \quad (2.28a)$$

$$\beta_i = \frac{|a_{i+1}|}{\left[\sum_{m=1}^{i+1} |a_m|^2 \right]^{1/2}} \quad (2.28b)$$

dengan asumsi bahwa, phase dari a_i ($i=1,2,3,\dots,n$) mempunyai hubungan phase yang sesuai, tergantung dari tipe masing-masing peralatan combiner biner yang digunakan (input sephase untuk combiner Wilkison, dan input berbeda phase 90° , apabila digunakan 90° directional coupler).

Sekarang apabila pada masing-masing power combiner C_i terdapat redaman kopling L_i ($L_i \geq 1$ dB), maka daya output pada tingkat ke i akan menurun. Sesuai dengan persamaan 2.28 dan 2.29 dapat diturunkan persamaan rekursif sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 |b_i|^2 &= \frac{|a_1|^2}{\prod_{m=1}^i L_m^2 \alpha_m^2} \\
 &= \frac{1}{L_i^2} (|b_{i-1}|^2 + |a_{i+1}|^2)
 \end{aligned}
 \tag{2.30}$$

dengan $b_0 = a_1$

dan :

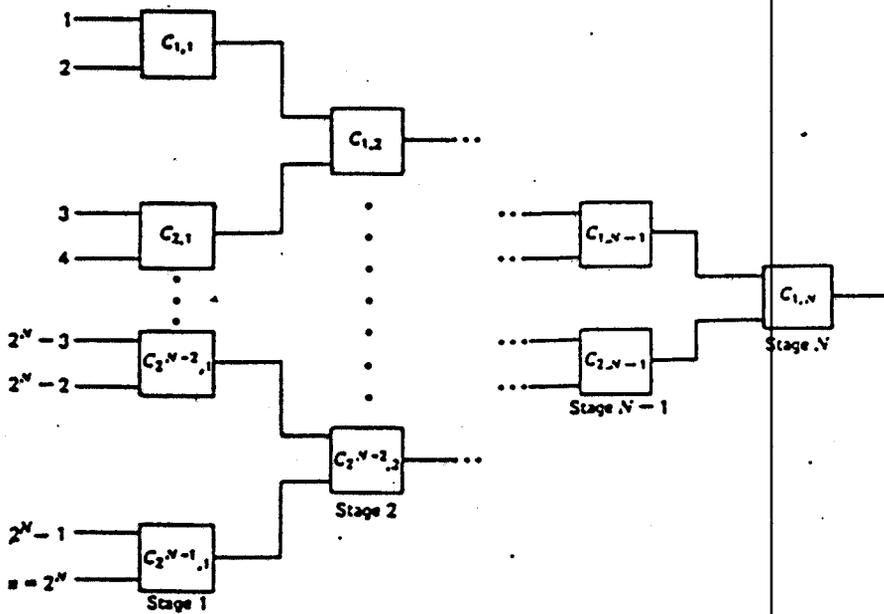
$$\begin{aligned}
 \alpha_i &= \pm \frac{1}{\left[1 + \frac{|a_{i+1}|^2}{|b_{i-1}|^2} \right]^{1/2}} \\
 &= \pm \frac{|b_{i-1}|}{(|b_{i-1}|^2 + |a_{i+1}|^2)^{1/2}}
 \end{aligned}
 \tag{2.31a}$$

$$\beta_i = \pm \frac{|a_{i+1}|}{(|b_{i-1}|^2 + |a_{i+1}|^2)^{1/2}}
 \tag{2.31b}$$

2.1.2.2 Struktur Power Divider/Combiner Corporate

Struktur power divider/combiner corporate seperti ditunjukkan pada gambar 2.5 dapat membagi/menggabungkan daya sejumlah $n = 2^N$, dimana N adalah menunjukkan tingkatan (stage) dari divider/combiner.

Pada peralatan penggabung, jika a_i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) adalah sinyal yang dimasukkan pada port 1, maka dari persamaan 2.17 dan persamaan 2.18 didapat persamaan daya output pada $C_{i,1}$ dengan koefisien kopling $\alpha_{i,1}$ ($i = 1, 2, 3, \dots, 2^{N-1}$) sebagai :

GAMBAR 2.5⁵

STRUKTUR DIVIDER/COMBINER CORPORATE

$$|b_{i,1}|^2 = \frac{|a_{2i-1}|^2}{\alpha_{i,1}^2} \quad (2.32)$$

dimana :

$$\alpha_{i,1} = \frac{1}{\left[1 + \frac{|a_{2i}|^2}{|a_{2i-1}|^2} \right]^{1/2}} \quad (2.33)$$

dan daya output pada $C_{i,m}$ dengan koefisien kopling $\alpha_{i,m}$ ($i = 1, 2, 3, \dots, 2^{N-m}$, $m = 1, 2, 3, \dots, N$) adalah diberikan dalam persamaan rekursif sebagai :

⁵ Ibid, hal. 255

$$|b_{i,m}|^2 = \frac{|b_{2i-1,m-1}|^2}{\alpha_{i,m}^2} \quad (2.34)$$

dimana,

$$\alpha_{i,m} = \pm \frac{1}{\left[1 + \frac{|b_{2i,m-1}|^2}{|b_{2i-1,m-1}|^2} \right]^{1/2}} \quad (2.35)$$

Jika masing-masing power combiner biner ($C_{i,m}$) memiliki redaman $L_{i,m}$ ($L_{i,m} \geq 1$ dB) maka $\alpha_{i,m}$ pada persamaan 2.34 dan 2.35 dapat diganti dengan $\alpha_{i,m} L_{i,m}$. Semua persamaan di atas dapat dipenuhi dengan menganggap bahwa phase dari a_i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) mempunyai hubungan phase yang sesuai dengan jenis penggabung yang digunakan.

2.2 SALURAN MICROSTRIP

Saluran transmisi microstrip terdiri dari suatu strip konduktor dan ground plane dimana diantara keduanya dipisahkan oleh suatu material dielektrik. Bentuk geometri dan konfigurasi medan elektromagnetik pada saluran microstrip ditunjukkan pada gambar 2.6.

Garis-garis medan listrik dan magnet diantara strip konduktor dan ground plane tidak semuanya berada dalam substrat, sehingga propagasi gelombang dalam saluran microstrip bukan merupakan mode tranverse electro magnetic (TEM) murni melainkan berupa mode quasi-TEM. Dimana dalam mode quasi-TEM, kecepatan phase propagasi gelombang didalam saluran microstrip adalah :

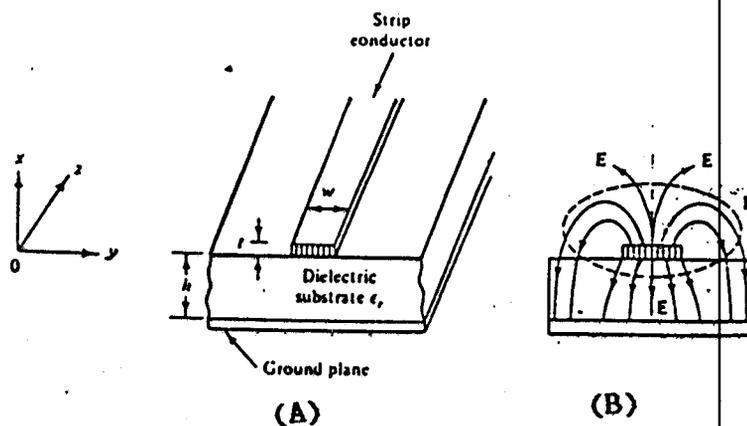
GAMBAR 2.6^o

DIAGRAM SALURAN MICROSTRIP

(A) DIAGRAM SKEMATIK

(B) POLA MEDAN ELEKTROMAGNETIK

$$V_p = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_{re}}} \quad (2.36)$$

dimana : $c = 3 \times 10^8$ m/s adalah kecepatan cahaya dalam vakum

ϵ_{re} = konstanta dielektrik relatif efektif dari substrat.

2.2.1 Substrat Dielektrik

Material dielektrik yang diselipkan antara strip konduktor dan ground plane bertindak sebagai suatu substrat board bagi saluran. Bahan yang biasa digunakan

^o Samuel Y. Liao, "Microwave Circuit Analysis and Amplifier Design", Printice Hall, Inc, New Jersey, 1987, hal. 198



sebagai substrat dielektrik adalah quartz, alumina, teflon fiber glass dan lain-lain.

Konstanta dielektrik relatif efektif, ϵ_{re} , adalah suatu parameter penting dalam perencanaan suatu saluran microstrip dimana besarnya merupakan fungsi dari konstanta dielektrik relatif, ϵ_r , tinggi substrat, h , dan lebar w dari strip konduktor. Persamaan eksperimental dari konstanta dielektrik relatif efektif untuk tebal konduktor diabaikan ($t/h \ll 0,005$) diberikan oleh :

$$\epsilon_{re} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[\left(1 + \frac{12}{w/h} \right)^{-1/2} + 0,04 \left(1 - \frac{w}{h} \right)^2 \right]$$

untuk $\frac{w}{h} \leq 1$ (2.37)

atau :

$$\epsilon_{re} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + \frac{12}{w/h} \right]^{-1/2}$$

untuk $\frac{w}{h} > 1$ (2.38)

Sedangkan panjang gelombang dalam saluran microstrip untuk $t/h \leq 0,005$ adalah :

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}} \left[\frac{\epsilon_r}{1 + 0,63(\epsilon_r - 1)(w/h)^{0,1255}} \right]^{1/2}$$

untuk $\frac{w}{h} \geq 0,6$ (2.39)

atau :

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}} \left[\frac{\epsilon_r}{1 + 0.60(\epsilon_r - 1)(w/h)^{0.0297}} \right]^{1/2}$$

untuk $\frac{w}{h} < 0.6$ (2.40)

dimana : $\lambda_0 = c/f$ adalah panjang gelombang dalam ruang bebas

2.2.2 Impedansi Karakteristik

Dengan asumsi tebal konduktor sama dengan nol atau diabaikan ($t/h < 0,005$) impedansi karakteristik dari suatu saluran microstrip dapat dinyatakan sebagai :

$$Z_0 = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_r}} \ln \left[\frac{8}{w/h} + 0.25 \frac{w}{h} \right] \quad \text{untuk } \frac{w}{h} \leq 1 \quad (2.41)$$

atau :

$$Z_0 = \frac{120\pi / \sqrt{\epsilon_r}}{w/h + 1.393 + 0.667 \ln (w/h + 1.444)}$$

untuk $\frac{w}{h} \geq 1$ (2.42)

Sedemikian jauh persamaan-persamaan diatas berlaku untuk ketebalan strip konduktor dianggap nol atau $t/h \leq 0.005$. Sedangkan untuk t/h lebih besar dari 0.005, tebal konduktor akan menyebabkan naiknya kapasitansi, sehingga parameter w dalam seluruh persamaan diatas harus diganti dengan lebar efektif w_{eff} , yang dapat dihitung dengan persamaan (untuk $t < h$ dan $t < w/2$) :

$$w_{\text{eff}} = w + \frac{t}{\pi} \left[1 + \ln \left(\frac{2}{t/h} \right) \right] \quad \text{untuk } \frac{w}{h} \geq \frac{1}{2\pi} \quad (2.43)$$

atau :

$$w_{\text{eff}} = w + \frac{t}{\pi} \left[1 + \ln \left(\frac{4\pi}{t/w} \right) \right] \quad \text{untuk } \frac{w}{h} \leq \frac{1}{2\pi} \quad (2.44)$$

2.2.3 Rugi-Rugi Dalam Microstrip

Masalah rugi-rugi dalam saluran microstrip merupakan suatu hal serius dan tergantung pada beberapa faktor yaitu bentuk geometri, sifat-sifat elektronik substrat dan konduktor, serta frekuensi. Untuk substrat dielektrik non magnetik, terdapat dua jenis rugi-rugi yaitu rugi dielektrik dalam substrat dan rugi ohmic pada kulit konduktor dan ground plane. Jumlah dari kedua rugi-rugi ini biasanya dinyatakan dalam konstanta redaman, α , yang merupakan rugi-rugi per unit panjang.

Jadi, konstanta redaman α dapat dinyatakan sebagai :

$$\alpha = \alpha_d + \alpha_c \quad (2.45)$$

dimana α_d = konstanta redaman dielektrik

α_c = konstanta redaman ohmic

2.2.3.1 Redaman dielektrik

Untuk dielektrik dengan rugi-rugi rendah, α_d dapat dihitung dari :

$$\alpha_d = 27,3 \left(\frac{\epsilon_r}{\sqrt{\epsilon_{r0}}} \right) \left(\frac{\epsilon_{r0}-1}{\epsilon_r-1} \right) \frac{\tan \theta}{\lambda_0} \text{ dB/cm} \quad (2.46)$$

dimana loss $\tan \theta = \frac{\sigma}{\omega \epsilon}$ dan λ_0 adalah panjang gelombang di ruang bebas.

Untuk konduktivitas yang tidak bisa diabaikan (σ tidak sama dengan nol),

$$\alpha_d = 4,34 \sigma \frac{\epsilon_r \epsilon_0 - 1}{\sqrt{\epsilon_r \epsilon_0} (\epsilon_r - 1)} \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \quad \text{dB/cm} \quad (2.47)$$

dimana :

ϵ_0 = permitivitas ruang hampa

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-9}$ H/m

2.2.3.2 Redaman ohmic

Untuk strip konduktor yang lebar ($w \ll h$),

$$\alpha_c = \frac{8,68 R_s}{Z_0 w} \quad \text{dB/cm} \quad (2.48)$$

dimana R_s adalah resistivitas permukaan konduktor yang besarnya adalah,

$$R_s = \sqrt{\pi f \mu / \sigma} \quad \text{ohm}$$

Sedangkan untuk strip konduktor yang sempit, redaman konduktor dapat dihitung dari :

$$\alpha_c = \frac{8,68 R_s}{2\pi Z_0 h} \left[1 - (w'/4h)^2 \right] \times \left[1 + h/w' + h/\pi w' \left(\ln \frac{4\pi w}{t} + t/w \right) \right] \quad \text{dB/cm}$$

$$\text{untuk } w/h \leq 1/2\pi \quad (2.49)$$

atau :

$$\alpha_c = \frac{8,68 R_s}{2\pi Z_0 h} \left[1 - (w'/4h)^2 \right] \times$$

$$\left[1 + h/w' + h/w' \left(\ln \frac{2h}{t} - t/h \right) \right] \text{ dB/cm}$$

untuk $1/2\pi < w/h \leq 2$ (2.50)

atau :

$$\alpha_c = \frac{8,68 R_s}{Z_0 h} \left[w'/h + 2/\pi \ln (2\pi e (w'/2h + 0,94)) \right]^{-2} \times$$

$$\left[\frac{w'}{h} + \frac{w'/(C\pi h)}{w'/2h + 0,94} \right] \left[1 + \frac{h}{w'} + \frac{h}{\pi w'} \left(\ln \frac{2h}{t} - \frac{t}{h} \right) \right]$$

dB/cm untuk $w/h \geq 2$ (2.51)

dimana : $e = 2,718$

$$w' = w + \Delta w$$

$$\Delta w = \frac{t}{\pi} \left(\ln \frac{4\pi w}{t} + 1 \right) \quad \text{untuk} \quad \frac{2t}{h} < \frac{w}{h} \leq \frac{1}{2\pi}$$

$$= \frac{t}{\pi} \left(\ln \frac{2h}{t} + 1 \right) \quad \text{untuk} \quad \frac{w}{h} \geq \frac{1}{2\pi}$$

2.2.4 Diskontinuitas

Pada pembahasan sebelumnya, saluran microstrip dianggap sebagai suatu saluran lurus dan uniform, sehingga distribusi garis-garis medan dan arusnya tidak mengalami perubahan dengan impedansi karakteristik konstan. Namun kenyataan dalam praktek banyak dijumpai bentuk-bentuk yang tidak lagi sesuai secara teoritis, seperti adanya gabungan beberapa saluran, perubahan nilai impedansi karakteristik saluran atau arah propagasi yang berubah-ubah.

Adanya penyimpangan-penyimpangan tersebut akan menimbulkan apa yang disebut sebagai efek diskontinuitas yang

berpengaruh pada suatu saluran microstrip, sehingga harus diperhatikan dalam perencanaan. Terjadinya efek diskontinuitas tersebut dapat disebabkan karena :

- a. Adanya limpahan medan-medan listrik quasi-static dan kapasitansi gabungan, misalnya jika ada perubahan mendadak pada lebar saluran.
- b. Perubahan pada aliran normal arus konduksi dan induktansi seri gabungan.
- c. Lompatan dari mode-mode orde lebih tinggi dan gelombang permukaan.

2.2.4.1 Penyudutan

Suatu hal yang sering harus dilakukan pada perencanaan suatu directional coupler adalah menerapkan suatu penyudutan pada saluran microstrip. Hal ini terpaksa dilakukan terutama jika ada sambungan dua saluran atau pada pola tertentu dari saluran yang telah ditetapkan dalam desain. Padahal adanya penyudutan dapat menyebabkan turunnya induktansi dan naiknya kapasitansi.

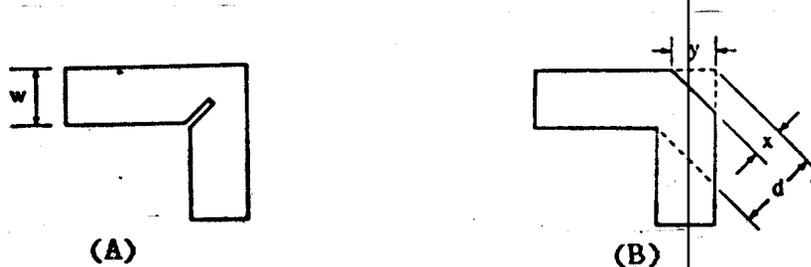
Jika ukuran sudut adalah kecil dibandingkan panjang gelombang saluran microstrip, maka impedansi di daerah penyudutan akan lebih rendah dari pada impedansi karakteristik saluran uniform. Hal ini tentunya sangat mengganggu karena akan membuat impedansi yang tidak sepadan. Untuk mengurangi pantulan karena adanya impedansi mismatch tersebut dapat dilakukan dengan dua cara yaitu :

dengan menaikkan nilai induktansi atau dengan menurunkan nilai kapasitansinya.

Teknik yang dapat diterapkan untuk menaikkan nilai induktansi sudut adalah dengan membuat celah sempit pada saluran seperti pada gambar 2.7a. Sedangkan nilai kapasitansi sudut dapat dikurangi dengan cara memotong sudut secara simetris seperti pada gambar 2.7b. Cara kedua lebih disukai dalam praktek karena lebih mudah dilakukan.

Untuk $\epsilon_r \leq 25$ dan $w/h \geq 0,25$, jarak untuk pemotongan y yang harus dilakukan seperti pada gambar 2.7b secara empiris dapat ditentukan dari :

$$y = (1,04 + 1,3 \exp (-1,35 w/h)) w \quad (2.52)$$



GAMBAR 2.7⁷

TEKNIK KOMPENSASI UNTUK SUDUT PADA MICROSTRIP
 (A) PENAMBAHAN INDUKTANSI (B) PENGURANGAN KAPASITANSI

⁷

E.H. Fooks, R.A. Zakarevicius, "Microvave Engineering Using Microstrip Circuit", Printice Hall, Sidney, 1990, hal. 99

BAB III

TEKNIK POWER DIVIDER/COMBINER UNTUK DAERAH VHF

Berbagai macam teknik power divider/combiner banyak diterapkan pada frekuensi microwave, terutama berkaitan dengan sulitnya memperoleh sejumlah daya yang cukup besar dari sumber tunggal. Namun untuk daerah VHF, hanya sebagian dari teknik divider/combiner tersebut dapat direalisasikan.

Secara ekonomis, penerapan teknik power divider/combiner untuk mendapatkan daya besar dari beberapa sumber kecil adalah lebih menguntungkan dari pada menggunakan sebuah sumber besar. Disamping itu, teknik power combiner/divider dapat memberikan *graceful degradation* (penurunan yang lembut) apabila terjadi kegagalan pada salah satu atau beberapa sumber dalam sistem.

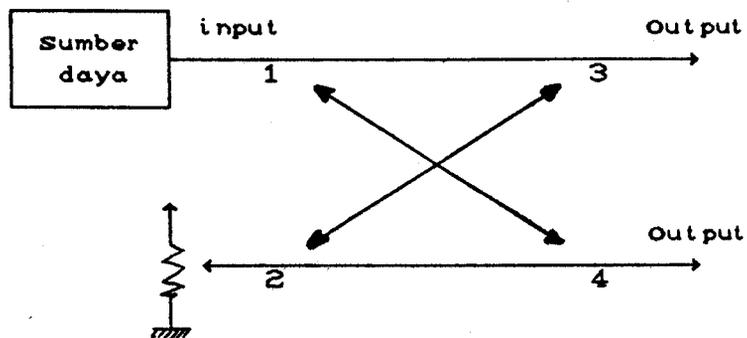
3.1 POWER DIVIDER/COMBINER HYBRID

Power divider/combiner hybrid disebut juga sebagai 3-dB power divider/combiner, karena daya yang dihasilkan oleh peralatan ini pada kedua port outputnya adalah setengah (3-dB) dibawah daya inputnya. Dengan demikian peralatan ini dapat difungsikan untuk menyalurkan daya yang sama pada kedua outputnya, atau sebaliknya, peralatan hybrid ini dapat digunakan untuk menggabungkan dua daya

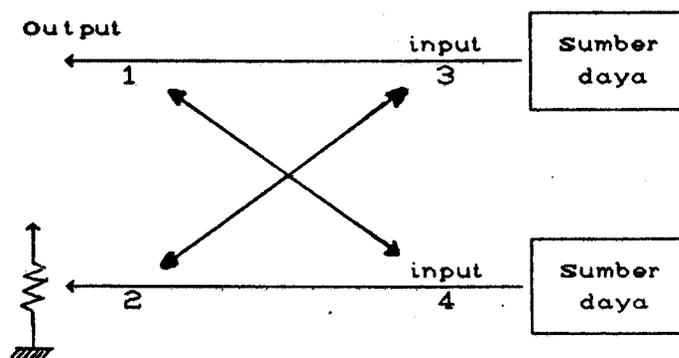
sinyal yang beramplitudo sama dengan hubungan phase yang tertentu. Peralatan ini merupakan keadaan khusus dari realisasi directional coupler, yang mana dapat membagi atau menggabungkan daya dengan suatu perbandingan tertentu.

Secara skematik, power divider dan power combiner hybrid dapat ditunjukkan seperti pada gambar 3.1. Sebagai power divider, apabila pada port 1 dimasukkan sinyal input, sinyal itu akan disalurkan merata menuju port 3 dan 4, sedangkan port 2 terisolasi dari port 1. Apabila ada sinyal yang terpantul kembali oleh beban yang tidak sepadan (mismatch), sinyal itu seluruhnya akan menuju ke port 2. Sedang pada port 1 sinyal pantulan itu akan saling meniadakan, sebab hubungan phase pada titik itu saling berlawanan. Peralatan ini adalah bersifat timbal balik, jadi apabila pada port 3 dan 4 dicatu dengan sinyal yang koheren, dengan hubungan phase keduanya sesuai, maka akan diperoleh penggabungan dua buah sumber daya tersebut pada port 1.

Beberapa jenis power divider/combiner hybrid dari berbagai media transmisi seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.2 antara lain adalah : divider/combiner Wilkison (2-jalur), branch line 90° hybrid, ring hybrid, coupled line directional coupler dan wave guide combiner. Dari semua bentuk divider/combiner diatas hanya sebagian yang dapat direalisasikan untuk daerah VHF, antara lain : Wilkison dua jalur, hybrid saluran bercabang dan ring hybrid.



(A)

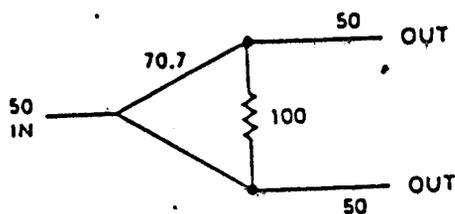


(B)

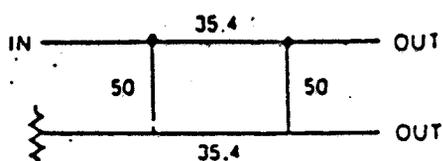
GAMBAR 3.1

DIAGRAM POWER DIVIDER DAN POWER COMBINER HYBRID

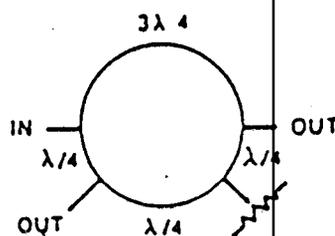
(A) POWER DIVIDER (B) POWER COMBINER



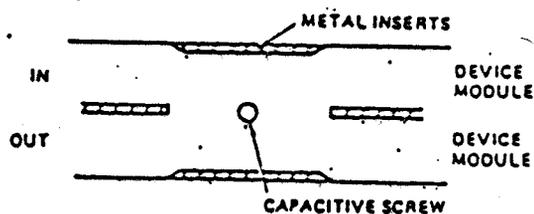
(A)



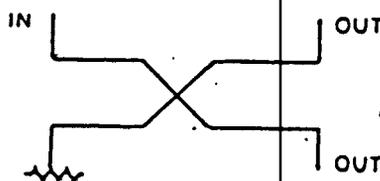
(C)



(B)



(D)



(E)

GAMBAR 3.2⁸

BEBERAPA JENIS POWER DIVIDER/COMBINER HYBRID

(A) WILKINSON DIVIDER (2-JALUR) (B) RING HYBRID

(C) BRANCH LINE 90° HYBRID (D) WAVE GUIDE COMBINER

(E) COUPLED LINE DIRECTIONAL COUPLER

⁸ Kenneth J. Russel, "Microwave Power Combining Techniques" IEEE Transactions On Microwave Theory And Techniques, vol. MTT-27, No. 5, May 1979, hal. 473

3.1.1 Hybrid Saluran Bercabang

Power divider/combiner ini sering disebut sebagai branch line 90° hybrid karena pasangan phase keluaran/masukannya berbeda phase 90° . Peralatan ini amat populer dalam penggunaannya, terutama pada balance amplifier yang membutuhkan pasangan phase "quadratur", sehingga akan diperoleh VSWR input dan output yang baik hanya dengan menggunakan karakteristik modul amplifier yang identik. Dengan prosentase bandwidth yang tidak lebih dari 10 persen, hybrid saluran bercabang banyak digunakan sebagai pembagi/penggabung daya pada amplifier berbidang sempit.

3.1.1.1 Prinsip operasi

Power divider/combiner hybrid saluran bercabang adalah peralatan empat port yang terdiri dari empat saluran transmisi, seperempat gelombang ; dua saluran transmisi $35,4 \Omega$ yang dirangkai seri, dan dua saluran transmisi 50Ω dirangkai secara paralel, dengan semua port pada beban standart 50Ω , seperti pada gambar 2.3.

Apabila sebuah sinyal dimasukkan pada port 1, sinyal itu akan dibagi sama rata pada kedua beban yang sama pada port 3 dan 4, dengan hubungan phase keduanya adalah berbeda 90° . Jika dari port 3 dan 4 terjadi sinyal pantulan oleh beban yang tidak sepadan (mismatch), semua sinyal yang kembali akan menuju ke port 2, dan tidak ke port 1. Operasi ini bila rangkaian hybrid saluran bercabang digunakan sebagai power divider.

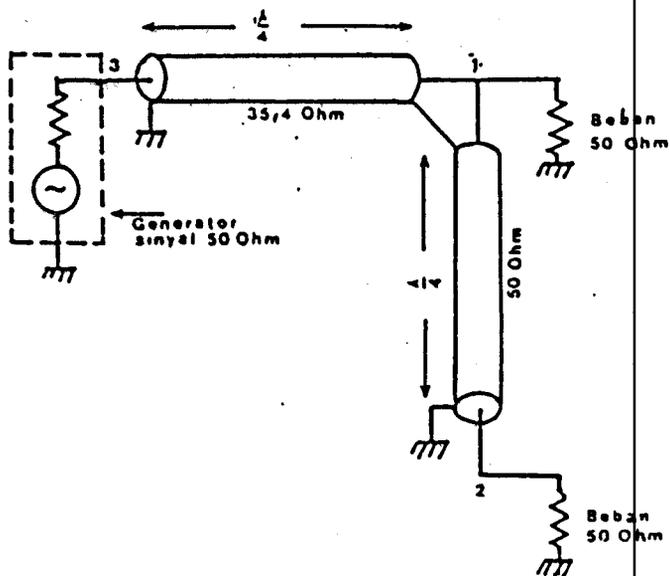
Peralatan ini adalah bersifat timbal balik, jadi hybrid saluran bercabang akan memberikan penggabungan daya pada port 1 bila port 3 dan 4 dicatu dengan dua sumber daya yang sama dan keduanya berbeda phase 90° .

3.1.1.2 Konstruksi dan isolasi

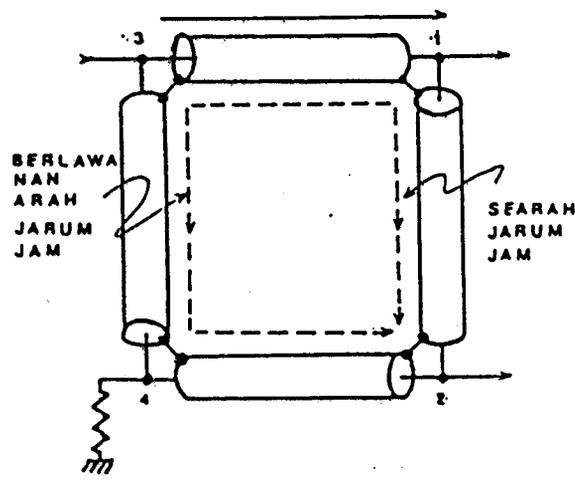
Pada gambar 3.3a diperlihatkan konstruksi awal dari hybrid saluran bercabang. Peralatan ini dibentuk dari hybrid transmisi seri 3-1 dan saluran paralel 1-2. Daya yang masuk pada port 3 akan bergerak sepanjang saluran transmisi seri 3-1. Di titik 1 daya dibagi sama antara beban 50Ω dan beban pada ujung saluran transmisi paralel 1-2 di titik 1. Saluran transmisi paralel 1-2 adalah saluran penggeser phase seperempat gelombang dengan impedansi karakteristiknya adalah 50Ω , sehingga kombinasi paralel dari beban dan input impedansi saluran transmisi paralel di titik 1 akan menghasilkan impedansi 25Ω . Supaya didapatkan input impedansi 50Ω pada port 3, impedansi 25Ω pada 1 harus ditransformasi dengan saluran transmisi seperempat gelombang seri 3-1, dengan impedansi karakteristik adalah akar kwadrat dari perkalian impedansisumber dan beban, yaitu :

$$Z \text{ seri} = \sqrt{(50 \cdot 25)} = 35,4 \Omega$$

sehingga didapatkan impedansi karakteristik saluran 3-1 adalah $35,4 \Omega$.



(A)



(B)

GAMBAR 3.3^o

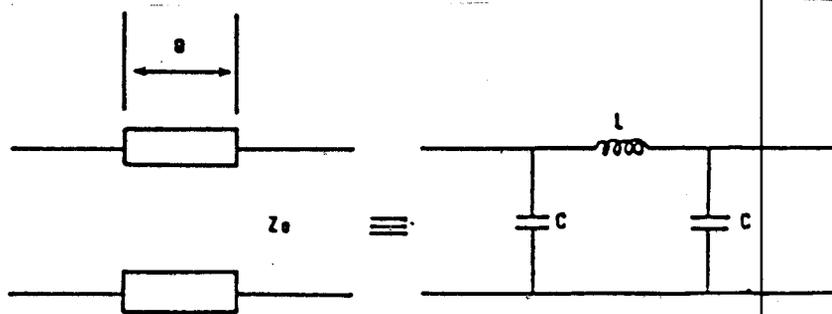
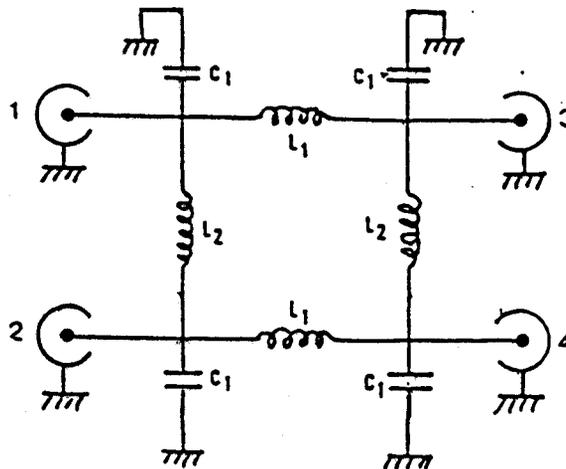
KONSTRUKSI HYBRID SALURAN BERCABANG
 (A) KONSTRUKSI AWAL (B) KONSTRUKSI LENGKAP

^o Ernie Franke, "Branch Line Hybrid Part I", Ham Radio, April 1984, hal. 108

Dengan menggunakan dua saluran transmisi yang dirangkai secara seri dan paralel dapat dibentuk sebuah rangkaian power divider/combiner. Tetapi itu bukan merupakan bentuk hybrid yang benar, karena port 1 dan 2 hanya terisolasi 6 dB. Untuk menambah isolasi diantara port output, harus ditambahkan saluran transmisi 2-4 dan 3-4, seperti pada gambar 3.3b. Apabila terjadi pantulan oleh adanya beban yang tidak sepadan, akan terjadi dua arah gerakan gelombang. Misalnya terjadi pantulan dari port 1, gelombang terbagi dalam dua arah pergerakan yang menuju port 2. Jalur yang berlawanan arah jarum jam adalah lebih panjang setengah gelombang dari jalur yang searah dengan jarum jam. Di port 2 kedua arah sinyal pantulan yang datang akan saling meniadakan, oleh karena kedua sinyal yang datang mempunyai amplitudo yang sama dan phase sinyal yang saling berlawanan atau berbeda 180° . Begitu pula sebaliknya bila sinyal pantulan datang dari port 2, pada port 1 sinyal itu akan saling meniadakan. Ini berarti kedua port adalah saling terisolasi.

3.1.1.3 Lumped element hybrid saluran bercabang

Pada frekuensi yang rendah saluran transmisi sering dibentuk dalam rangkaian L dan C. Saluran transmisi dengan panjang elektrik θ dan impedensi karakteristik Z_0 dapat dibentuk dalam rangkaian ekuivalen Π lumped constan, seperti gambar 3.4 di bawah. Dimana besarnya parameter L dan C adalah :

GAMBAR 3.4¹RANGKAIAN EKUIVALEN Π 

GAMBAR 3.5

LUMPED ELEMEN HYBRID SALURAN BERCABANG

$$L = (Z_0/2\pi f) \tan (\theta/2) \quad (3.1)$$

$$C = (1/2Z_0\pi f) \sin (\theta/2) \quad (3.2)$$

Dengan menetapkan $\theta = \pi/2$, lumped elemen hybrid saluran bercabang dibentuk seperti gambar 3.5, dimana :

¹ G. Luzzatto, "A New Lumped Element Bridge H Combiner, IEEE Trans. On Broadcasting, Vol. 22, No. 2, Juni 1976 hal. 95

$$L_1 = (35,4 / 2\pi f) \quad (3.3)$$

$$L_2 = (50 / 2\pi f) \quad (3.4)$$

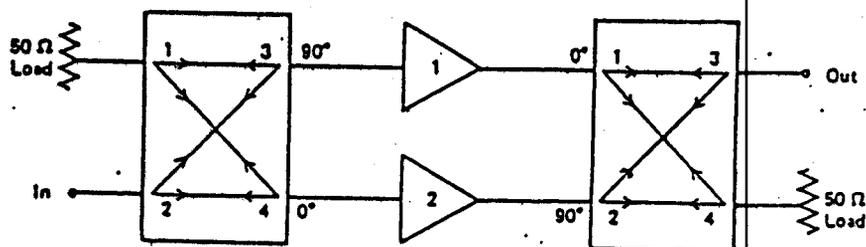
$$C = (1/35,4 \cdot 2\pi f) + (1/50 \cdot 2\pi f) \quad (3.5)$$

3.1.1.4 Penggunaan dalam sistem penguat daya RF

Pada sistem penguat daya RF, hybrid saluran bercabang banyak digunakan sebagai power divider/combiner baik biner maupun n-jalur. Seperti pada gambar 3.6 diperlihatkan salah satu penggunaan peralatan ini untuk sistem penguat daya RF 2-jalur. Pada sistem ini diperlukan dua buah hybrid saluran bercabang yang dioperasikan sebagai power divider dan power combiner dengan dua buah peralatan pendorong (driver) yang dioperasikan pada phase yang berbeda 90° .

3.1.2 Wilkinson Hybrid Dua Jalur

Wilkinson hybrid 2-jalur secara umum sering disebut sebagai spit-T power divider/combiner karena bentuknya



GAMBAR 3.6¹¹

BALANCE AMPLIFIER 90°

¹¹ Tri T. Ho, op cit, hal. 260

yang sederhana seperti pada gambar 2.2. Peralatan tiga port ini dioperasikan dengan amplitudo dan beda phase sinyal yang sama pada masukan/keluarannya dan mempunyai bandwidth yang lebar, sehingga sesuai digunakan untuk amplifier sefase berbidang lebar.

3.1.2.1 Prinsip operasi

Peralatan ini dapat digunakan sebagai power divider dengan operasi sebagai berikut ; jika pada port 3 dicatu dengan sebuah sinyal, maka daya sinyal tersebut akan dibagi dengan sama rata pada port 1 dan 2. Bila kedua sinyal yang keluar tidak ada perbedaan phase, maka diantara ujung-ujung balance resistor tidak terjadi perbedaan tegangan, sehingga tidak ada daya yang diserap pada hambatan itu. Namun jika kedua sinyal yang keluar tidak seimbang, sebagian sinyal akan diserap oleh hambatan dan sebagian lagi dikembalikan ke generator port 3.

Dengan hubungan yang sama, peralatan hybrid ini akan berfungsi sebagai power combiner pada port 3, apabila pada port 1 dan 2 dicatu dengan dua sumber daya yang koheren.

3.1.2.2 Konstruksi

Konstruksi dari power divider/combiner Wilkinson ini merupakan prinsip konstruksi dari semua divider/combiner hybrid dua jalur, yaitu dengan meninjau pembagian daya pada saluran transmisi yang dicabang oleh dua saluran transformasi impedensi seperempat gelombang.

Wilkinson hybrid dua jalur dibentuk dari dua cabang saluran transmisi yang disambungkan pada port 3. Masing-masing ujung saluran ini harus berimpedansi 100Ω , supaya rangkaian paralel kedua ujungnya mempunyai impedansi standard 50Ω , yang merupakan impedansi saluran output port 1 dan 2. Jadi impedansi karakteristik Z_0 dari saluran transmisi penyesuai seperempat gelombang besarnya sama dengan harga geometri dari impedansi ujung-ujungnya, yaitu :

$$Z_0 = \sqrt{100 \Omega \times 50 \Omega} = 70,7 \Omega$$

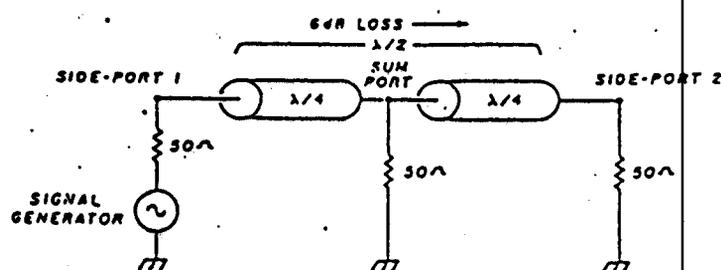
Sebuah balance resistor yang ditempatkan diantara ujung port 1 dan 2, besarnya adalah sama dengan dua kali besar impedansi port sisi-sisinya, yaitu 100Ω . Resistor ini fungsinya akan menyerap beberapa level daya yang tidak seimbang (unbalance) atau karena adanya perbedaan phase diantara dua sisi portnya.

3.1.2.3 Isolasi

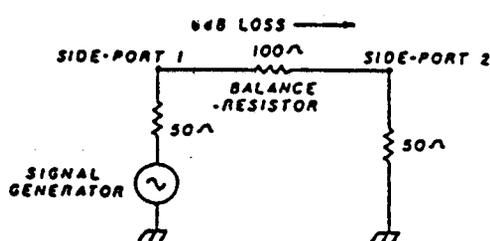
Power divider/combiner Wilkinson mempunyai isolasi yang tinggi pada port output/inputnya. Isolasi ini merupakan redaman antara port yang satu terhadap port yang lain. Besarnya isolasi dapat diukur dengan memasukkan daya pada salah satu port dan mendeteksinya pada port yang lain (dianggap port penjumlahan mempunyai beban match).

Pada gambar 3.7a dan 3.7b, ditunjukkan bahwa sebuah sinyal yang masuk pada salah satu portnya, akan dibagi dalam dua arah perambatan. Sinyal yang bergerak ke arah port penjumlahan, akan diteruskan ke sisi port yang lain

dengan mengalami redaman 6-dB dan pergeseran phase 180° , (gambar 3.7a). Sedang sinyal yang melewati balance resistor, juga akan mengalami redaman 6-dB dengan phase yang tetap, (gambar 3.7b). Kedua sinyal yang datang itu tergabung dalam amplitudo yang sama, tetapi phase yang berbeda 180° , sehingga pada titik port itu kedua sinyal akan saling meniadakan.



(A)



(B)

GAMBAR 3.7¹²

SKEMA ISOLASI WILKINSON HYBRID DUA JALUR

(A) ISOLASI PADA PORT PENJUMLAHAN

(B) ISOLASI PADA RESISTOR BALANCE

¹² Ernie Franke, "Wilkinson Hybrid", Ham Radio, Jan. 1982, hal. 14

Apabila port penjumlahan tidak sepadan, akan terjadi penurunan isolasi. Hubungan isolasi dapat dituliskan sebagai :

$$I = Ts + 2 D \quad (3.6)$$

dimana :

Ts = Return loss pada port penjumlahan

D = Perbandingan power divider/combiner

Jika return loss pada port penjumlahan adalah 20 dB (SWR $\leq 1,2 : 1$), isolasi diantara port masukan/keluarannya adalah 25 dB.

3.1.2.4 Lumped elemen Wilkinson hybrid 2-jalur

Saluran transmisi penyesuai impedansi seperempat gelombang dapat dirubah dalam bentuk lumped elemen dengan menggunakan model rangkaian ekuivalen Π dari saluran transformasi impedansi.

Besarnya impedansi rangkaian ekuivalen Π (gambar 3.8) adalah :

$$Z_a = j \frac{R_1 R_2 \sin \theta}{R_2 \cos \theta - \sqrt{R_1 R_2}} \quad (3.7)$$

$$Z_b = j \frac{R_1 R_2 \sin \theta}{R_1 \cos \theta - \sqrt{R_1 R_2}} \quad (3.8)$$

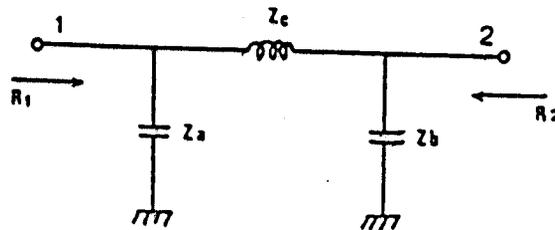
$$Z_c = j \sqrt{R_1 R_2} \sin \theta \quad (3.9)$$

dimana :

R_1 = Hambatan port 1

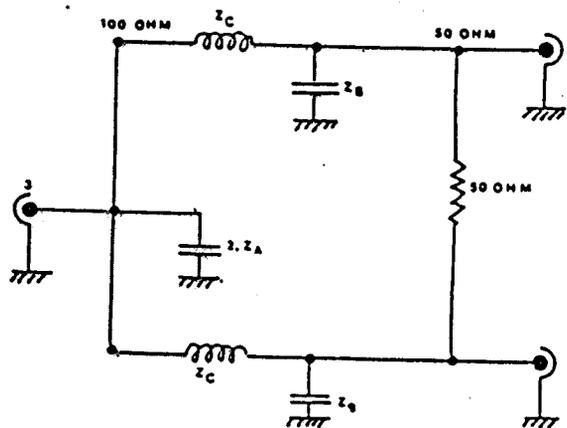
R_2 = Hambatan port 2

θ = Pergeseran phase



GAMBAR 3.8¹³

RANGKAIAN EKIVALEN Π SALURAN TRANSFORMASI IMPEDANSI

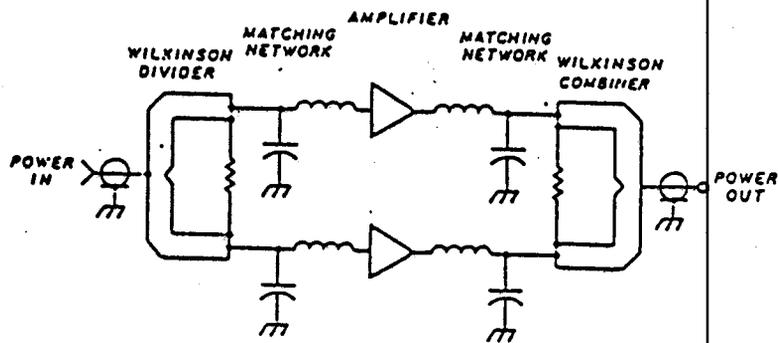


GAMBAR 3.9

LUMPED ELEMEN WILKINSON HYBRID

13

Herbert L. Krauss, Charles W. Bostian, Frederick H. Rabb,
 "Solid State Radio Engineering", John Wiley & Son, New
 York, 1989, Hal. 148

GAMBAR 3.10¹⁴

AMPLIFIER SEPHASE

Dengan rangkaian ekivalent Π , Wilkinson hybrid 2-jalur dapat dibentuk seperti pada gambar 3.9, dengan memasukkan harga $\theta = 90^\circ$, $R_1 = 100 \Omega$ dan $R_2 = 50 \Omega$.

3.1.2.5 Penggunaan dalam sistem penguat daya RF

Bentuk penggunaan Wilkinson hybrid, seperti ditunjukkan pada gambar 3.10. Pada sistem tersebut diperlukan dua buah Wilkinson hybrid yang dipergunakan sebagai power divider dan power combiner, serta dua buah peralatan pendorong (driver) yang dioperasikan pada phase yang sama.

3.1.3 Ring Hybrid

Ring hybrid sering pula disebut sebagai rat race ring. Peralatan ini dapat dipergunakan untuk menggabungkan atau membagi daya pada daerah VHF dan UHF. Ring hybrid bentuknya yang sederhana memberikan penyesuaian yang baik. Dengan isolasi input yang tinggi kemungkinan terjadinya

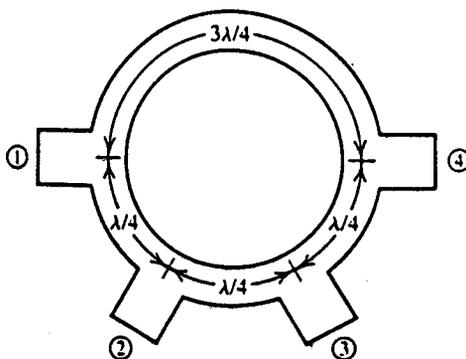
¹⁴ Ernie Franke, "Wilkinson Hybrid", op cit, hal. 13

interaksi dan ketidakstabilan peralatan pendorongnya adalah cukup kecil. Ring hybrid mempunyai prosentase bandwidth yang cukup lebar yaitu 20 % lebih.

3.1.3.1 Prinsip operasi

Ring hybrid adalah peralatan empat port yang dapat dibuat dari saluran transmisi 70,7 ohm (gambar 3.11). Tiga buah port ; 1, 2 dan 3 disambungkan dengan saluran transmisi seperempat gelombang, sedang antara port 1-4 disambungkan dengan saluran transmisi $3/4 \lambda$.

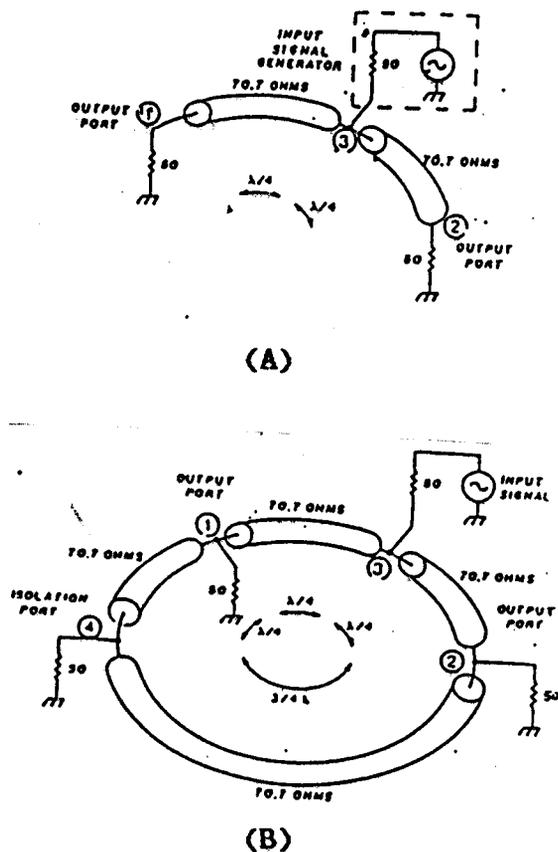
Prinsip operasi ring hybrid dapat ditinjau dengan melihat rangkaian power divider yang sederhana. Pada gambar 3.12a ditunjukkan sebuah rangkaian power divider yang dibentuk oleh dua buah saluran transmisi transformasi



GAMBAR 3.11¹⁵

BENTUK RING HYBRID

¹⁵ Dennis Roddy, "Microwave Technology", Printice Hall, Inc
New Jersey, 1966, hal. 159

GAMBAR 3.14¹⁶

KONTRUKSI RING HYBRID

(A) KONSTRUKSI AWAL (B) KONSTRUKSI LENGKAP

impedansi seperempat gelombang, dimana impedansi karakteristik adalah $70,7 \Omega$ apabila ketiga portnya disambungkan dengan beban 50Ω .

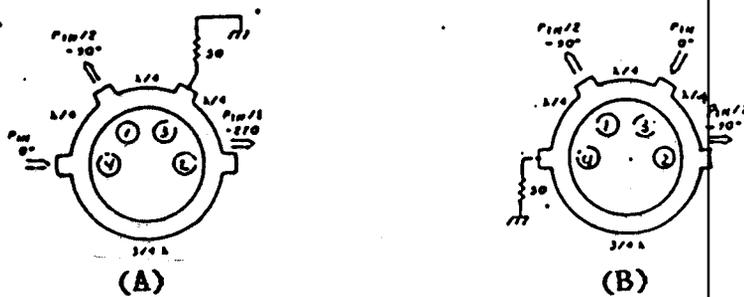
Pengoperasian power divider gambar 3.12a dapat dilakukan sebagai berikut ; apabila sebuah sinyal dimasukkan

¹⁶ Ernie Franke, "The Hybrid Ring", Ham Radio, Agust. 1983 hal. 54

pada port 3, sinyal itu akan dibagi merata pada beban port 1 dan 2 dengan hubungan phase output yang sama. Bentuk rangkaian ini bukan merupakan hybrid yang benar. Munculnya sinyal yang terpantul oleh salah satu beban output yang tidak sepadan (mismatch), akan mengalami redaman 6-dB pada output disebelahnya. Ini adalah kurang tepat bila kedua port output disambungkan dengan dua peralatan pendorong (driver). Interaksi diantara dua peralatan itu akan mudah terjadi. Untuk meningkatkan isolasi pada batas yang tinggi, dibentuk dua buah rangkaian serupa yang disambungkan seperti gambar 3.12b. Isolasi diantara dua output diperoleh dari hasil kompensasi hubungan phase yang berlawanan dari sinyal yang terpantul pada output yang bersebelahan.

Ada dua pengopeasian yang dapat dilakukan pada ring hybrid. Pertama, jika sinyal dimasukkan pada port 4, daya akan dibagi merata pada dua beban yang sama di port 1 dan 2, dengan hubungan phase output keduanya berbeda 180° (gambar 3.13a). Kedua, jika sinyal dimasukkan pada port 3 daya akan dibagi merata pada kedua beban yang sama pada port 1 dan 2, dengan hubungan phase keduanya sama (gambar 3.13b).

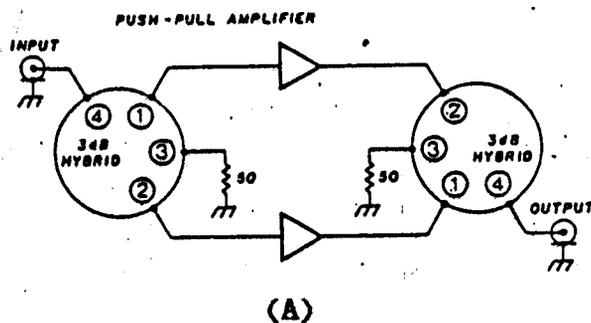
Ring hybrid merupakan peralatan yang timbal balik (reciprocal) sehingga dapat digunakan sebagai power combiner dengan hubungan amplitudo dan phase yang sama dengan output power divider seperti diatas.



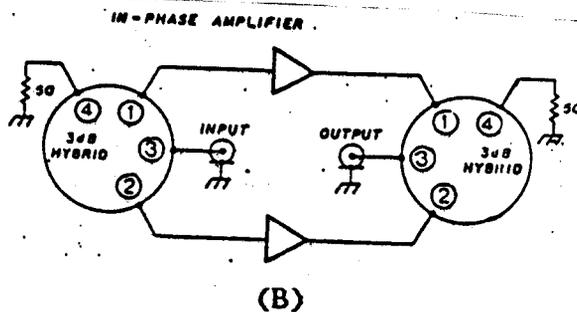
GAMBAR 3.13¹⁷

PENGOPERASIAN RING HYBRID POWER DIVIDER

(A) PENCATUAN PADA PORT 4 (B) PENCATUAN PADA PORT 3



(A)



(B)

GAMBAR 3.14¹⁸

PENGGUNAAN RING HYBRID

(A) PADA AMPLIFIER PUSSE-PULL (B) PADA AMPLIFIER SEPHASE

¹⁷ Ibid, hal. 57

¹⁸ Ibid, hal. 56

3.1.3.2 Penggunaan dalam sistem penguat daya RF

Ada dua penggunaan ring hybrid yang pokok, untuk perencanaan power divider dan power combiner pada sebuah amplifier, baik untuk n-jalur maupun biner, yaitu :

- a. sebagai power divider dan power combiner pada amplifier push-pull (gambar 3.14a) yang dilakukan dengan dua phase yang berbeda 180° .
- b. Sebagai power divider dan power combiner pada amplifier yang sephase seperti gambar 3.14b.

3.2 POWER DIVIDER/COMBINER N-JALUR

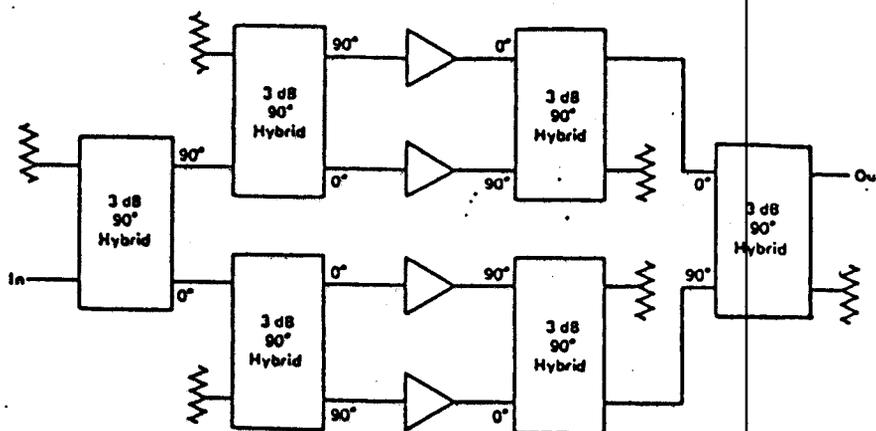
Apabila kebutuhan daya tidak dapat dipenuhi oleh divider/combiner biner, maka diperlukan peralatan yang dapat membagi/menggabung daya untuk n output/input. Peralatan ini dapat berupa susunan dari beberapa power divider/combiner biner, ataupun bentuk divider/ combiner yang langsung dapat membagi / menggabungkan daya ke n keluaran atau dari n masukan dalam satu tingkat.

Power divider/combiner yang dibentuk dalam satu tingkat pembagian/penggabungan, mempunyai beberapa kelebihan jika dibandingkan dengan pembagian/penggabungan yang dilakukan secara bertingkat. Hal tersebut karena VSWR, bandwidth, efisiensi dan keseimbangan kopling seluruhnya akan mengalami penurunan bila power divider/combiner tiga port yang sederhana dipasang secara bertahap untuk sejumlah keluaran/masukan yang banyak.

3.2.1 Power Divider/Combiner Corporate

Susunan corporate banyak digunakan untuk perencanaan amplifier dengan kombinasi yang tinggi pada daerah VHF. Dalam sistem ini diperlukan n modul amplifier yang berdaya sama dan mempunyai phase sama atau berbeda 90° , tergantung divider/combiner biner penyusunnya.

Keuntungan rangkaian ini mampu dioperasikan pada daya yang besar, karena perencanaan terminator sebagai tempat disipasi daya oleh penggabungan yang tidak seimbang terletak terisolasi dari rangkaian kopling utama. Dan juga bandwidth rangkaian penggabungan corporate dapat diperlebar dengan merencanakan pusat frekuensi operasi dari tiap-tiap power divider/combiner penyusunnya pada kanal berbeda.



GAMBAR 3.15¹⁰

AMPLIFIER 4-JALUR MENGGUNAKAN
POWER DIVIDER/COMBINER CORPORATE

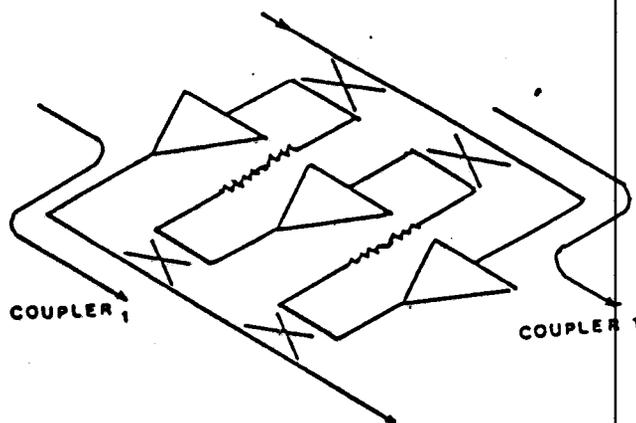
¹⁰ Tri T. Ha, op cit, hal. 270

Contoh penggunaan susunan power divider/combiner corporate dalam sistem amplifier seperti ditunjukkan pada gambar 3.15. Rangkaian ini memerlukan empat buah modul amplifier yang dirangkai dengan perbedaan phase 90° .

3.2.2 Power Divider/Combiner Chain

Susunan ini dapat dibentuk dari power divider/combiner hybrid 2-jalur, baik yang mempunyai hubungan phase sama maupun yang berbeda 90° .

Keuntungan dari susunan chain adalah kemudahannya dalam hal penambahan tahap. Tetapi efisiensi dan bandwidth yang dapat dicapai adalah relatif rendah yang disebabkan oleh rugi-rugi koplingnya.



GAMBAR 3.16²

SISTEM AMPLIFIER MENGGUNAKAN
POWER DIVIDER/COMBINER CHAIN

² Morse Alfred W., "Modify Combiner Design to Teams High Power Amplifier", Microwave Journal, Jan. 1978, hal. 78

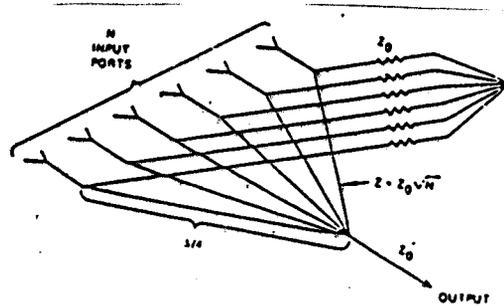
Contoh penggunaan susunan chain dalam sistem amplifier dapat ditunjukkan seperti gambar 3.16. Sistem amplifier ini menggunakan tiga buah modul amplifier dan empat power divider/combiner tiga port. Jumlah tahap menentukan koefisien kopling yang dibutuhkan bagi tahap tersebut. Untuk suatu susunan yang tanpa rugi-rugi, koefisien kopling yang dibutuhkan adalah $10 \log n$ (dalam dB), dimana n menunjukkan jumlah dari tahap yang digunakan.

3.2.3 Power Divider/Combiner N-Jalur Satu Tahap

Power divider/combiner jenis ini mampu membagi/menggabungkan daya secara langsung dalam satu tahap. Rangkaian seperti ini keuntungannya dapat memiliki *insertion loss* kecil, sehingga memiliki efisiensi yang tinggi. Power divider/combiner Wilkinson n-jalur adalah salah satu contoh peralatan ini.

Seperti ditunjukkan pada gambar 3.17, Wilkinson n-jalur dibuat dengan impedansi input-output standard 50Ω . Impedansi karakteristik saluran transmisi transformasi impedansi seperempat gelombang adalah sebesar $50 \sqrt{n}$, dimana n adalah jumlah port input/outputnya.

Power divider/combiner Wilkinson n-jalur mempunyai penggunaan yang baik dengan amplitudo yang seimbang pada semua port outputnya. Kesulitan utama dalam teknik ini adalah membuat resistor kesimbangan terhubung seperti pada gambar 3.17, untuk n lebih dari 2, jika digunakan rangkaian planar.

GAMBAR 3.17²¹

POWER DIVIDER/COMBINER WILKINSON N-JALUR

3.3 EFFISIENSI

Untuk power combiner hybrid 2-jalur, hubungan daya output terhadap daya dan phase sinyal input dapat didekati dengan persamaan berikut :

$$P_o = \frac{1 + 10^{(D/10)} + (2 \cos \theta) 10^{(D/20)}}{2} \quad (3.10)$$

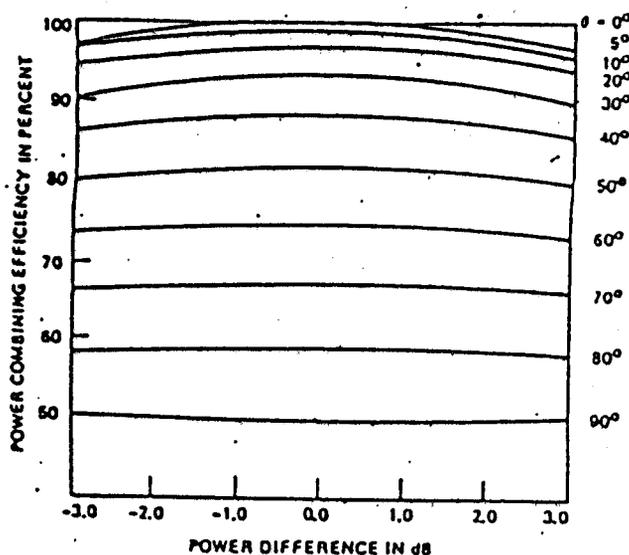
Maka efisiensi dari power combiner adalah :

$$\eta = \frac{P_o}{P_{in}} = \frac{1 + 10^{(D/10)} + (2 \cos \theta) 10^{(D/20)}}{2 (1 + 10^{(D/10)})} \quad (3.11)$$

dimana : P_o = Daya output normalisasi
 η = Efisiensi power combiner
 D = Perbedaan daya input (decibel)
 θ = Beda phase sinyal input

²¹ Kenneth J. Russel, op cit, hal. 476

Dari persamaan 3.11 dapat diplot gambar 3.18 yang melukiskan efisiensi power combiner hybrid terhadap perbedaan daya dan phase sinyal input. Dari gambar 3.18 terlihat bahwa perbedaan phase dari sinyal input lebih berpengaruh terhadap efisiensi, dari pada daya sinyal input yang tidak balance. Besarnya efisiensi penggabungan daya dapat mencapai lebih dari 90 % oleh ketidaksamaan amplitudo pada daerah yang lebar, selama perbedaan phase tidak lebih dari 30° .



GAMBAR 3.18²²

EFFISIENSI POWER COMBINER HYBRID 2-JALUR

22

Kai Chang, Cheng Sun, "Millimeter Wave Power Combining Techniques", IEEE Trans. On Microwave Theory and Techni-
ques, Vol.21, No.2, Febr. 1973, hal. 27

Kenyataan diatas dapat memberikan petunjuk bagi perencanaan sebuah power combiner hybrid yang baik agar diperoleh efisiensi yang tinggi. Amplitudo yang balance dan hubungan phase yang paling tepat harus diberikan pada masing-masing sumber dengan frekuensi yang sama.

Apabila power divider/combiner hybrid dipasang secara bertahap untuk sejumlah n keluaran/masukan, maka efisiensi keseluruhan akan mengalami penurunan. Hal tersebut merupakan batasan praktis pada sejumlah port keluaran/masukan yang boleh dibangun untuk dapat memperoleh karakteristik keseluruhan yang baik.

Effisiensi untuk susunan power divider/combiner corporate dapat dinyatakan sebagai :

$$\eta = 10^{-xL/10}$$

dimana : $x = \log_2 (N)$ (3.12)

N = jumlah power divider/combiner 2-jalur

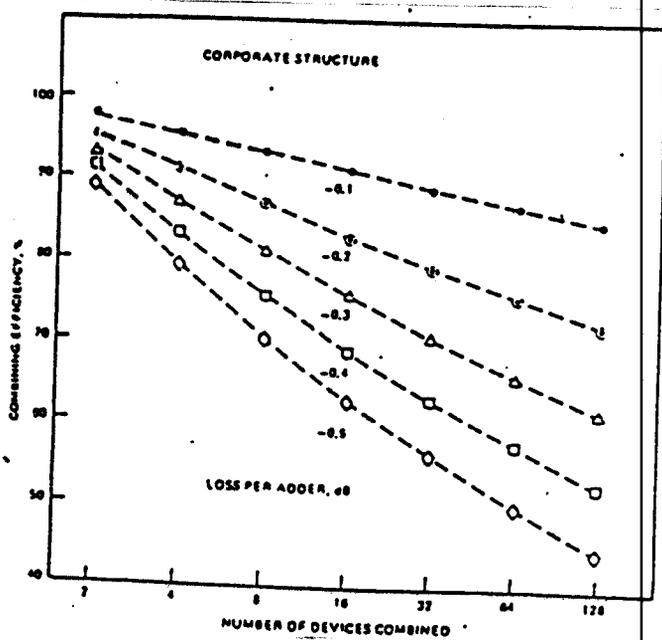
L = rugi-rugi pada tiap divider/combiner (dB)

Sedangkan untuk susunan power divider/combiner chain dinyatakan sebagai :

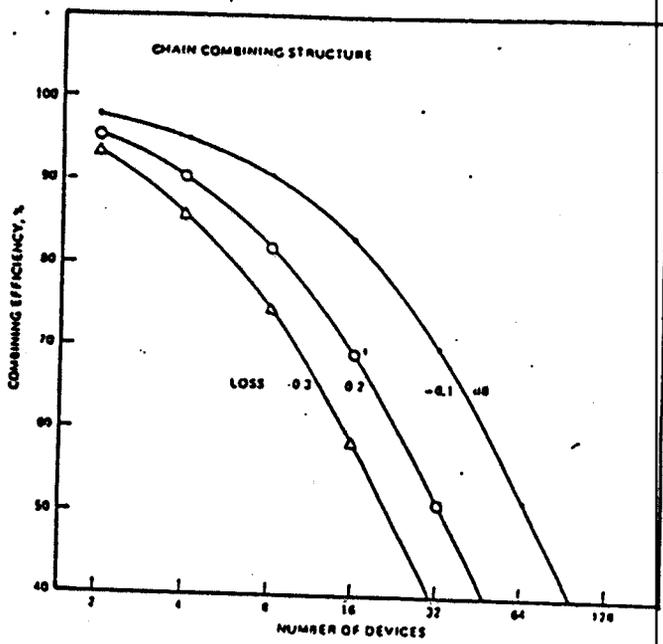
$$\eta = \frac{1}{N} \left[10^{(N-1)L/10} + \sum_{k=0}^{N-2} 10^{(1+k)L/10} \right] \quad (3.13)$$

dimana L adalah rugi-rugi kopling per tahap.

Dari persamaan 3.12 dan 3.13 diatas, efisiensi power divider/combiner untuk sejumlah masukan dapat diplot masing-masing untuk struktur corporate dan chain seperti pada gambar 3.19a dan 3.19b.



(A)



(B)

GAMBAR 3.19²⁹

EFFISIENSI POWER DIVIDER/COMBINER N-JALUR
 TERHADAP SEJUMLAH MASUKAN
 (A) STRUKTUR CORPORATE (B) STRUKTUR CHAIN

²⁹ Kenneth J. Russel, op cit hal 478

3.4 ISOLASI DAN VSWR INPUT

Penjumlahan daya, oleh dua atau lebih transistor (penguat aktif) yang diparalel secara langsung pada satu masukan dan satu keluaran, problem yang sering terjadi adalah ketidakseimbangan impedansi input dan output dari masing-masing penguat. Situasi ini akan menurunkan bandwidth, menambah sensitivitas temperatur dan menurunkan stabilitas. Jika salah satu transistor memiliki penguatan arus yang lebih tinggi, phenomena ini dikatakan sebagai "power hogging", dimana kondisi ketidakstabilan ini muncul oleh adanya pergeseran beban yang tak seimbang sehingga salah satu atau lebih transistor akan berusaha menerima semua yang dibangkitkan oleh pendorong disebelahnya.

Untuk mengatasi hal ini, diantara modul amplifier yang digabungkan harus memiliki isolasi masukan yang cukup untuk menjaga interaksi diantara peralatan dan menjaga kestabilan operasi.

Dalam operasi yang normal, VSWR input divider/combiner adalah lebih penting dari pada isolasi diantara keluaran/masukan, karena isolasi tingkat tinggi terutama dibutuhkan untuk mengoptimasi unjuk kerja oleh beberapa modul yang tidak match sama sekali. Sedangkan VSWR input yang jelek akan mempengaruhi rugi-rugi sisipan (insertion loss) peralatan yang dapat memampatkan modul amplifier yang digabungkan sehingga harus diperhatikan. Efek pemampatan (detuning effect) dapat dihindari dengan memberikan circulator pada keluaran modul amplifier.



3.5 KAPASITAS DAYA

Walaupun secara skematik power divider dan power combiner adalah dua peralatan yang identik, namun dalam praktis, seringkali dijumpai pembatasan unjuk kerja pada power combiner. Misalnya pembatasan dalam daerah daya yang dapat dicakup.

Untuk menentukan besarnya kapasitas daya yang dapat dicakup, perencanaan thermal harus betul-betul diperhatikan sebelum memprogram satu sistem amplifier penggabung yang berdaya besar. Namun hal tersebut tidak akan dijelaskan secara terinci pada bagian ini.

Daya rata-rata yang dapat dicakup oleh power combiner biasanya dipengaruhi oleh tiga faktor yaitu :

- a. Laju kenaikan temperatur total penggabungan.
- b. Kekuatan daya terminator.
- c. Kekuatan saluran transmisi.

Kenaikan temperatur total adalah jumlahan dari semua rugi-rugi penggabungan, daerah permukaan total untuk konduksi dan besarnya udara yang digunakan untuk pendinginan. Faktor ini mencakup perencanaan thermal secara menyeluruh.

Kekuatan daya dari terminator digunakan apabila rangkaian penggabungan memberikan sebuah faktor penggabungan yang kurang sempurna. Daya yang didisipasikan oleh terminator terjadi jika port input tidak dicatu oleh sinyal yang tidak identik. Juga daya akan didisipasikan oleh beban terminator oleh deviasi kopling penggabung yang tidak seimbang. Bentuk yang paling buruk akan terjadi jika

salah satu atau lebih input tidak menerima daya. Kejadian seperti ini, terminator akan mendisipasikan daya pada kondisi yang terberat.

BAB IV PERENCANAAN DAN PEMBUATAN

Pada dasarnya power divider dan power combiner adalah suatu peralatan yang bersifat *reciprocal*, yaitu peralatan yang dapat dibalik fungsinya hanya dengan mempertukarkan fungsi masukan dan keluarannya. Dengan demikian untuk merealisasikan kedua peralatan tersebut sebenarnya cukup dibuat hanya salah satu dari peralatan saja. Namun dalam tugas akhir ini ini akan direncanakan dan dibuat dua buah peralatan pembagi/penggabung daya identik yang dapat dipakai pada daerah VHF dengan menggunakan saluran microstrip.

4.1 PERENCANAAN

Dalam perencanaan power divider/combiner ada beberapa hal yang harus diperhatikan, yaitu :

- a. Peralatan power divider/combiner harus mempunyai rugi-rugi yang rendah supaya tingkat daya keluarannya mendekati tingkat daya yang dimasukkan.
- b. Peralatan power divider/combiner harus mempunyai isolasi yang cukup besar diantara port keluaran/masukannya untuk mencegah terjadinya interaksi antara sinyal-sinyal yang dikeluarkan/dimasukan.
- c. Peralatan Power divider / combiner sebaiknya dibuat dengan impedansi masukan dan keluaran yang sama untuk

memudahkan pengukuran.

- d. Jika digunakan pada sistem amplifier, peralatan power divider/combiner tidak boleh mengubah karakteristik, keandalan dan stabilitas dari sinyal dan modul amplifier yang digabungkan.

Untuk membuat peralatan yang sesuai dengan kriteria diatas diperlukan langkah-langkah perencanaan sebagai berikut :

1. Menentukan frekuensi operasi dari peralatan yang akan dibuat.

Power divider/combiner yang akan dibuat direncanakan bekerja pada frekuensi 145 MHz, yang mana merupakan frekuensi tengah dari range frekuensi pesawat pemancar (2 meter band) yang digunakan .

2. Menentukan jenis power divider/combiner yang akan dibuat.
3. Menentukan bahan yang akan dipakai.
4. Menentukan bentuk dan ukuran peralatan.

4.1.1 Pemilihan Jenis Power Divider/Combiner

Pemilihan jenis power divider/ combiner yang akan digunakan dalam perencanaan untuk daerah VHF dapat ditentukan dari beberapa pertimbangan, yaitu : jumlah port keluaran/masukan yang diinginkan, besarnya daya operasi, lebar bidang yang dibutuhkan serta dimensi peralatan.

Banyaknya keluaran yang diinginkan dari power divider atau banyaknya masukan yang akan digabungkan oleh power

combiner akan menentukan apakah akan digunakan divider/combiner biner untuk dua keluaran/masukan, ataukah harus menggunakan divider/combiner n-jalur jika diinginkan port output/input yang banyak.

Sedangkan besarnya daya yang akan dioperasikan juga menentukan dalam hal pemilihan jenis divider/combiner, baik biner maupun n-jalur. Dalam hal ini, jenis divider/combiner hybrid saluran bercabang dan ring hybrid banyak digunakan untuk operasi yang berdaya tinggi, sedangkan tipe Wilkinson n-jalur biasanya digunakan untuk daya operasi yang relatif rendah karena sulitnya membuat resistor keseimbangan yang sempurna untuk daya tinggi.

Divider/combiner Wilkinson unggul dalam hal ketersediaan bandwidth. Tipe Wilkinson satu tingkat mampu digunakan untuk prosentase bandwidth sampai 40 %. Sedangkan jenis hybrid saluran bercabang satu tingkat digunakan untuk prosentase bandwidth yang tidak lebih dari 10 persen.

Dimensi peralatan yang akan dibuat merupakan pertimbangan tersendiri untuk power divider/combiner yang bekerja pada daerah VHF. Hal tersebut mengingat bahwa panjang gelombang udara untuk daerah frekuensi tersebut berkisar antara 1 sampai 10 meter. Sehingga untuk peralatan yang dibuat dengan saluran microstrip dimana dimensinya merupakan ukuran tertentu dari pada panjang gelombangnya, maka bentuk hybrid saluran bercabang maupun hybrid ring menjadi kurang praktis.

Dengan beberapa pertimbangan diatas, pemilihan jenis power divider/combiner yang akan dibuat adalah jenis divider/combiner Wilkinson hybrid 2-jalur dengan perbandingan amplitudo dan hubungan phase yang sama. Dengan karakteristik tersebut diharapkan pada pengukuran diperoleh hasil yang baik dengan memakai peralatan yang ada.

4.1.2 Pemilihan Bahan Microstrip

Pada Tugas Akhir ini akan dibuat peralatan power divider/combiner dengan menggunakan saluran microstrip. Penggunaan microstrip sangat menguntungkan terutama pada frekuensi yang amat sangat tinggi, karena penempatannya yang kompak dengan komponen-komponen diskrit, terutama setelah dikembangkannya rangkaian microwave terpadu (MICs)

Sebagaimana dijelaskan pada teori penunjang, impedansi saluran microstrip dengan mudah dapat ditentukan dengan menetapkan ukuran lebar dari strip konduktornya. Demikian pula bentuk dan ukuran panjang salurannya dibuat dengan fraksi tertentu dari panjang gelombangnya sehingga dapat berfungsi sebagai komponen dalam suatu rangkaian.

Microstrip biasanya diproduksi dengan melapiskan konduktor (cumumnya tembaga atau perak) pada lembaran substrat dielektrik dengan teknik fotografi sehingga diperoleh pola strip tertentu. Sedangkan pada tugas akhir ini saluran microstrip akan dibuat pada lembaran PCB (*Printed Circuit Board*) double layers dimana salah satu sisinya dimanfaatkan sebagai ground plane sedang sisi yang

lainnya sebagai strip konduktor dengan melarutkan bagian tembaga yang tidak terpakai.

Dipasaran terdapat PCB dengan dua jenis bahan isolator yang berfungsi sebagai lapisan dielektriknya :²⁴

1. *Printed Circuit Board* untuk frekuensi rendah dan medium (sekitar 3 MHz) yang berwarna coklat. Biasanya digunakan oleh laboratorium telepon dan switching.
2. *Printed Circuit Board* untuk frekuensi tinggi (diatas 3 MHz) yang berwarna hijau, umumnya digunakan oleh laboratorium microwave.

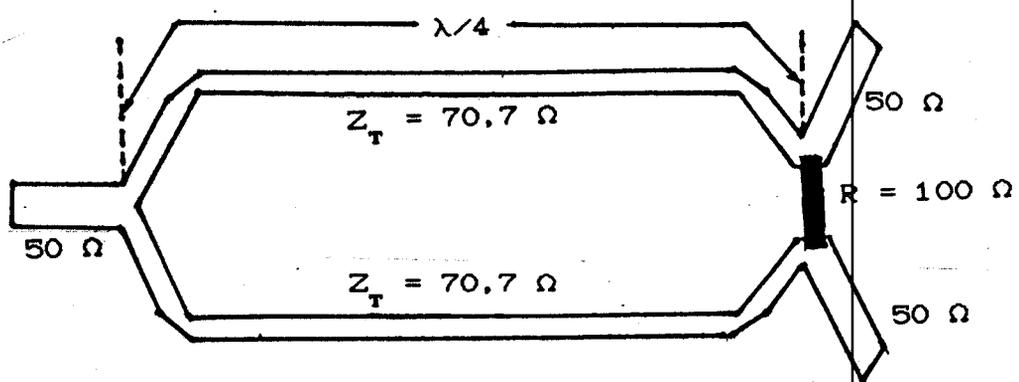
Yang menyebabkan isolator tersebut mempunyai kemampuan kerja berbeda adalah adanya perbedaan bahan baku. Dimana pada isolator yang hanya mampu pada daerah kerja frekuensi rendah, sebagian besar berupa senyawa-senyawa phenolic, sehingga mempunyai konstanta dielektrik sekitar 3,5 dan losses lebih dari 0.08. Sedangkan untuk yang frekuensi tinggi terdiri dari senyawa-senyawa epoxy yang juga mempunyai konstanta dielektrik \pm 3,5 dengan losses yang kecil yaitu sekitar 0,050 sampai dengan 0,065. Kedua jenis PCB tersebut mempunyai tebal substrat dielektrik sekitar 1,5 mm dan tebal konduktornya sekitar 0,02 mm.

4.1.3 Bentuk Dan Ukuran Power Divider/Combiner

Power divider/combiner Wilkinson 2-jalur yang akan

²⁴

Ny. E.S. Baronani Sudrajat, Arief Lakoni, "Pembuatan Printed Circuit Board, Buletin LEN, Vol.1, No.3, Jan/ Feb/Mar 1980, hal. 174



GAMBAR 4.1
POWER DIVIDER/COMBINER WILKINSON

dibuat berbentuk seperti pada gambar 4.1. Divider/combiner tersebut mempunyai dua impedansi karakteristik, yaitu impedansi masukan/keluaran 50 Ω dan impedansi transformer 70,7 Ω. Dalam perencanaan, dua saluran Z_T harus dijaga terpisah secukupnya sedemikian hingga coupling tepi di antara kedua saluran tersebut bisa diabaikan. Namun demikian untuk mengurangi efek diskontinuitas yang terjadi akibat adanya penyudutan pada saluran harus dilakukan pemangkasan sebagaimana telah dijelaskan pada bab 2.

Ukuran fisik saluran microstrip dapat dihitung apabila parameter-parameter yang diperlukan telah diketahui. Namun dari persamaan-persamaan pada bab 2 terlihat bahwa untuk menghitung suatu besaran tertentu memerlukan besaran lain yang sebenarnya belum diketahui pula. Untuk itu diperlukan suatu proses iterasi yang akan efektif jika memakai bantuan komputer.

Dengan memakai program komputer seperti pada appendix A dapat dihitung ukuran-ukuran yang diperlukan.

Panjang saluran

Panjang saluran yang diperlukan untuk transformasi impedansi seperempat panjang gelombang pada frekuensi pusat 145 MHz ($\lambda_0 = 2,0689$ m) adalah 31,97 cm.

Lebar saluran

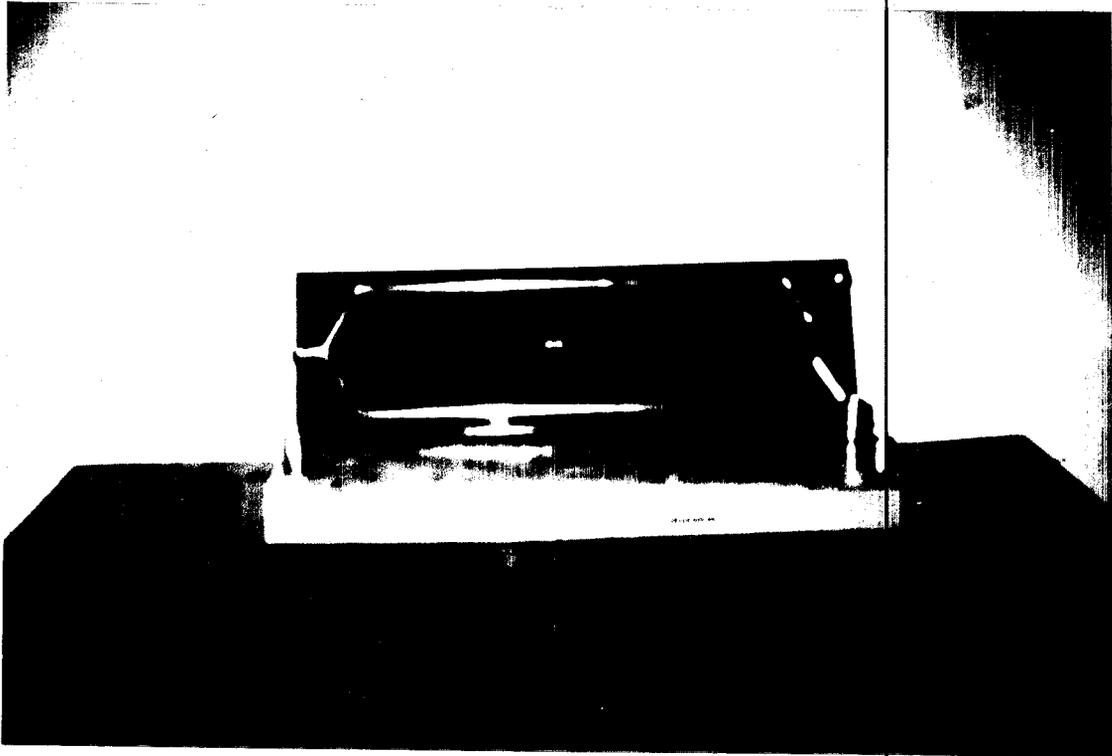
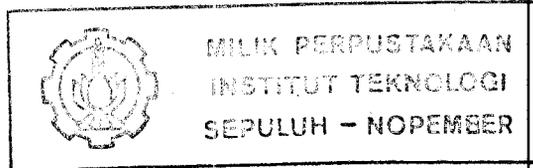
Terdapat dua variasi lebar saluran yang diperlukan pada rangkaian power divider/combiner yang akan dibuat, yaitu untuk impedansi saluran 50 Ω dan 70,7 Ω .

Untuk impedansi 50 Ω lebar saluran yang diperlukan sebesar 3,42 mm, sedangkan untuk impedansi 70,7 Ω selebar 1,85 mm.

4.2 PEMBUATAN

Power divider/combiner Wilkinson dibuat pada selembat PCB double layers berukuran 9,5 X 32,5 cm, dimana pada salah satu sisinya digambar pola saluran transmisi yang diinginkan dengan teknik pemotretan, sedang sisi lainnya dibiarkan sebagai ground plane.

Tahanan yang digunakan sebagai balance resistor adalah resistor karbon 100 Ω /3 Watt, yang dianggap cukup memenuhi untuk mendisipasikan daya apabila terjadi unbalance antara daya keluarannya. Sedangkan untuk menghubungkan port input/outputnya dengan saluran coaxial luar digunakan connector 3 mm.



GAMBAR 4.2
POWER DIVIDER/COMBINER WILKINSON HYBRID 2-JALUR
YANG TELAH DIBUAT

BAB V

PENGUKURAN

Untuk mengetahui unjuk kerja dari peralatan yang telah dibuat, maka perlu dilakukan pengukuran-pengukuran terhadap beberapa karakteristik dari power divider dan power combiner.

Pada bab ini akan ditunjukkan metode serta hasil pengukuran yang dilakukan terhadap power divider/combiner yang meliputi pengukuran VSWR, isolasi, dan efisiensi. Adapun peralatan yang digunakan untuk keperluan pengukuran tersebut adalah :

- Power supply
- Pemancar 2 m band ICOM IC-2N
- VSWR dan power meter, merek Diamond Antena type SX 200 dan SX 400 serta merek Daiwa model CN-103
- Beban standard 50Ω
- Kabel coaxial dan connector

5.1 PENGUKURAN ISOLASI

5.1.1 Metode

Isolasi dari power divider/combiner ditunjukkan oleh redaman antara port input yang satu terhadap port input yang lainnya, apabila port outputnya diterminasikan pada

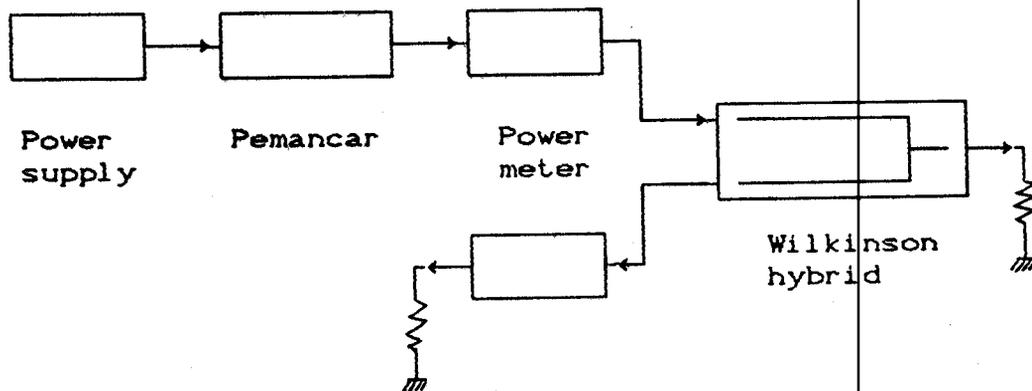
beban yang sepadan. Besarnya isolasi dapat diukur dengan mencatatkan daya RF pada salah satu port input kemudian mengukur daya yang keluar dari port input yang lain. Perbandingan daya yang terukur terhadap daya yang dimasukkan menunjukkan besarnya isolasi.

Pengukuran isolasi power divider/combiner Wilkinson dapat dilakukan seperti pada gambar 5.2. Pengukuran dilakukan pada range frekuensi dari 140,0 sampai 149,5 MHz dengan step 0,5 MHz.



GAMBAR 5.1

PERALATAN YANG DIGUNAKAN UNTUK PENGUKURAN



GAMBAR 5.2

BLOK DIAGRAM PENGUKURAN ISOLASI

5.1.2 Hasil Pengukuran

Pada pengukuran isolasi input power combiner, tidak ada daya yang terdeteksi pada port input yang tidak dipakai untuk mencatu daya, untuk semua range frekuensi pengukuran. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa : pada seluruh range frekuensi, isolasi antar port inputnya mendekati tidak berhingga.

5.2 PENGUKURAN RETURN LOSS DAN VSWR INPUT**5.2.1 Metode**

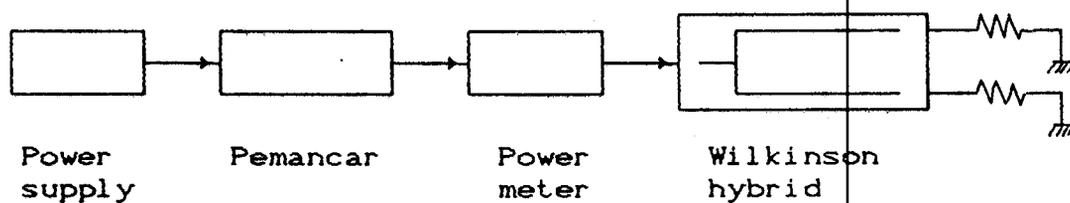
Return loss input menunjukkan perbandingan daya yang dimasukkan terhadap daya yang terpantul. Hubungan

return loss dan VSWR input adalah :

$$VSWR = \frac{10^{RL/20} + 1}{10^{RL/20} - 1}$$

dimana, RL = Return Loss (dB)

Pengukuran return loss input dapat dilakukan dengan memasukkan daya pada port input divider/combiner Wilkinson dan mengukur daya yang terpantul pada port yang sama, seperti pada gambar 5.3. Pengukuran dilakukan pada range frekuensi dari 140,0 sampai 149,5 MHz dengan step 0,5 MHz.



GAMBAR 5.3

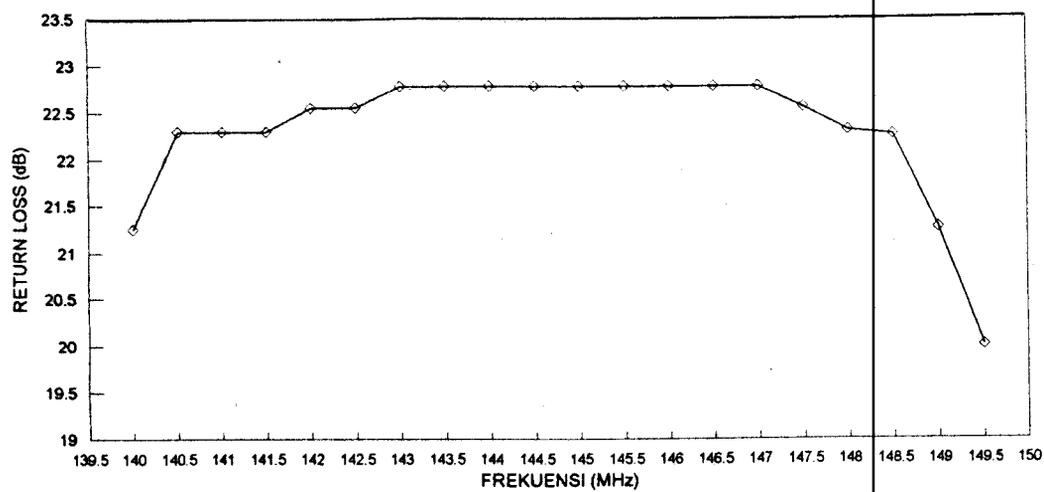
BLOK DIAGRAM PENGUKURAN RETURN LOSS DAN VSWR

5.2.2 Hasil Pengukuran

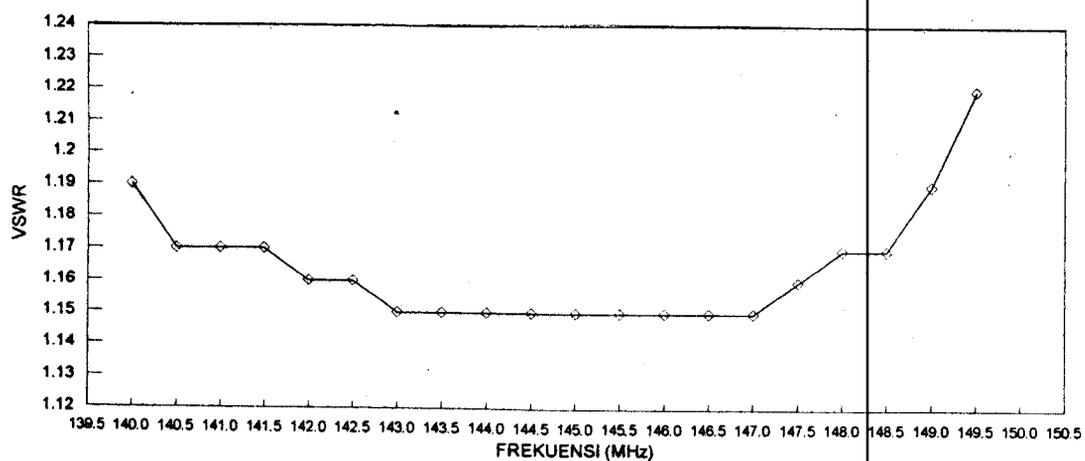
Hasil dari pengukuran VSWR power divider/combiner Wilkinson dapat dilihat pada tabel 5.1 dan secara grafis dapat digambarkan seperti pada gambar 5.4.

TABEL 5.1
HASIL PENGUKURAN RETURN LOSS DAN VSWR

FREKUENSI (MHz)	RETURN LOSS (dB)	VSWR
140,0	21,25	1,19
140,5	22,3	1,17
141,0	22,3	1,17
141,5	22,3	1,17
142,0	22,55	1,16
142,5	22,55	1,16
143,0	22,78	1,15
143,5	22,78	1,15
144,0	22,78	1,15
144,5	22,78	1,15
145,0	22,78	1,15
145,5	22,78	1,15
146,0	22,78	1,15
146,5	22,78	1,15
147,0	22,78	1,15
147,5	22,55	1,16
148,0	22,3	1,17
148,5	22,3	1,17
149,0	21,25	1,19
149,5	20,0	1,22



(A)



(B)

GAMBAR 5. 4

GRAFIK HASIL PENGUKURAN RETURN LOSS DAN VSWR

TERHADAP PERUBAHAN FREKUENSI

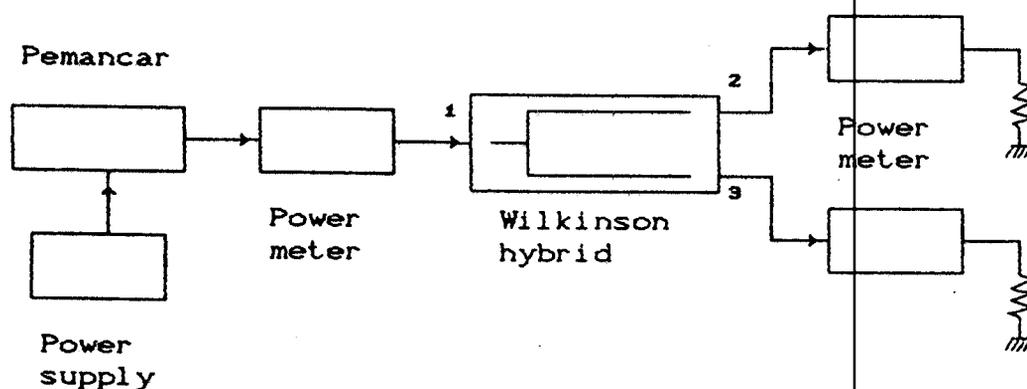
(A) RETURN LOSS (B) VSWR

5.3 PENGUKURAN KOPLING

5.3.1 Metode

Kopling power divider menunjukkan kemampuan peralatan itu untuk menyalurkan daya input pada tiap port outputnya. Apabila peralatan power divider digunakan sebagai power combiner, besarnya kopling menunjukkan perbandingan daya yang harus dicatu pada setiap port inputnya untuk mendapatkan efisiensi penggabungan yang optimal. Besarnya kopling peralatan power divider/combiner dapat diukur dengan mengoperasikannya sebagai power divider.

Pengukuran kopling power divider/combiner Wilkinson hybrid dilakukan seperti pada gambar 5.5. Pada pengukuran ini besarnya kopling dari port 2 dan 3 ditentukan dari perbandingan daya output pada port 2 dan 3 terhadap daya input pada port 1.



GAMBAR 5.5

BLOK DIAGRAM PENGUKURAN KOPLING

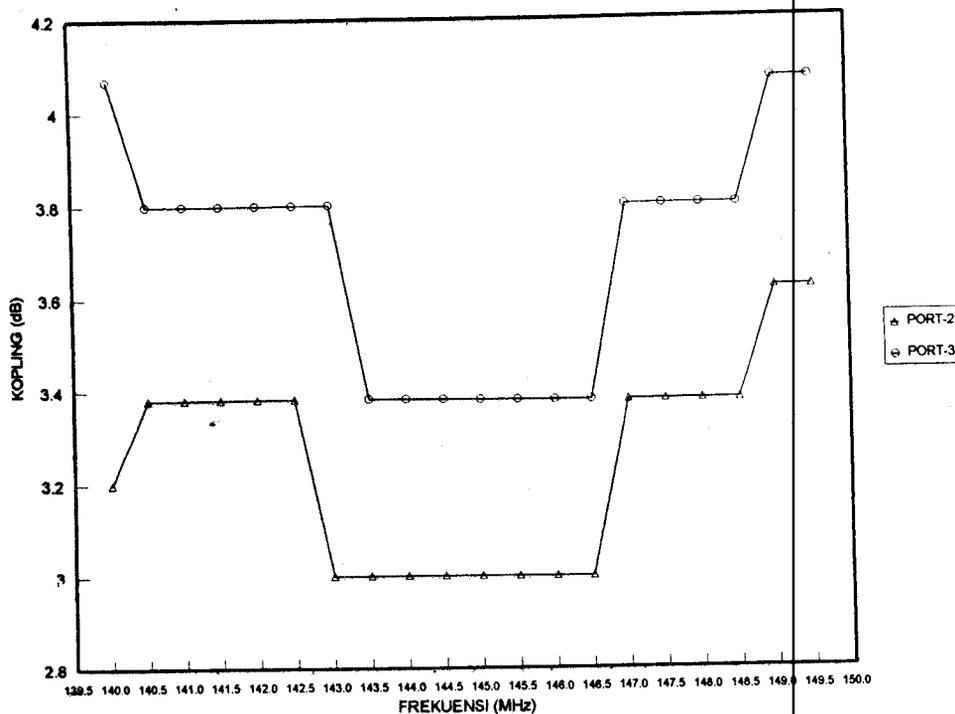
5.3.2 Hasil Pengukuran

Hasil pengukuran kopling power divider/combiner Wilkinson ditunjukkan pada tabel 5.2 dan secara grafik pada gambar 5.6.

TABEL 5.2
HASIL PENGUKURAN KOPLING

FREKUENSI (MHz)	KOPLING (dB)	
	PORT 2	PORT 3
140,0	3,2	4,07
140,5	3,38	3,8
141,0	3,38	3,8
141,5	3,38	3,8
142,0	3,38	3,8
142,5	3,38	3,8
143,0	3,0	3,8
143,5	3,0	3,38
144,0	3,0	3,38
144,5	3,0	3,38
145,0	3,0	3,38
145,5	3,0	3,38
146,0	3,0	3,38
146,5	3,0	3,38
147,0	3,38	3,8
147,5	3,38	3,8
148,0	3,38	3,8
148,5	3,38	3,8
149,0	3,62	4,07
149,5	3,62	4,07





GAMBAR 5.6

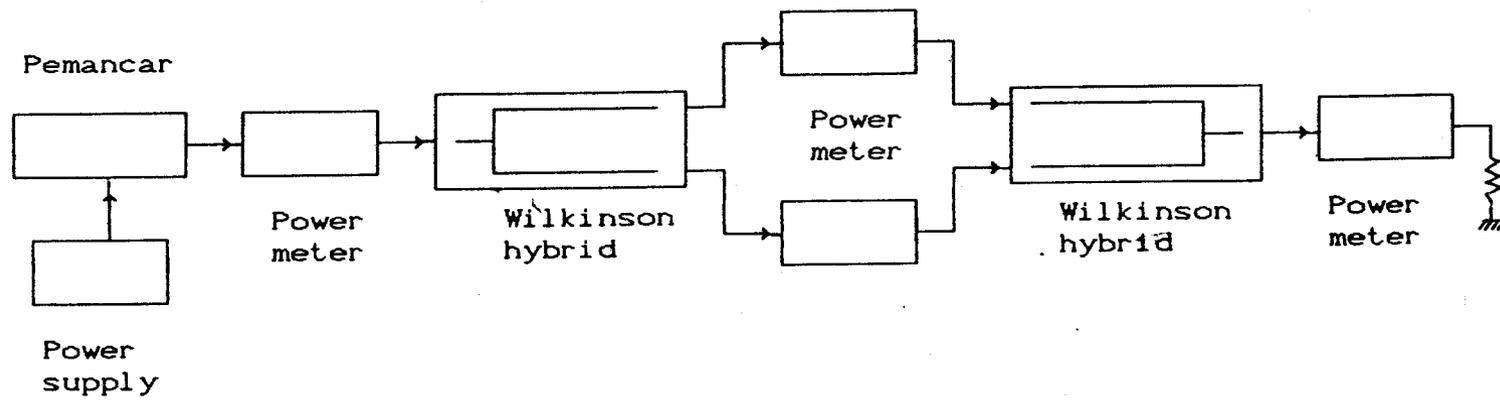
GRAFIK HASIL PENGUKURAN KOPLING
TERHADAP PERUBAHAN FREKUENSI

5.4 PENGUKURAN EFFISIENSI

5.4.1 Metode

Effisiensi dari power divider menunjukkan besarnya daya yang dapat disalurkan kepada port-port outputnya. Sedangkan effisiensi power combiner, menunjukkan seberapa besar daya yang bisa digabung dari sejumlah daya yang dimasukkan.

Effisiensi power divider diperoleh dari perbandingan jumlah daya yang keluar dari kedua port output terhadap daya yang dimasukkan. Sedangkan effisiensi power combiner dapat diukur dengan membandingkan daya yang masuk pada tiap-tiap port input terhadap daya yang keluar pada port penjumlahan. Blok diagram pengukuran effisiensi power divider dan power combiner ditunjukkan pada gambar 5.7.



GAMBAR 5.7

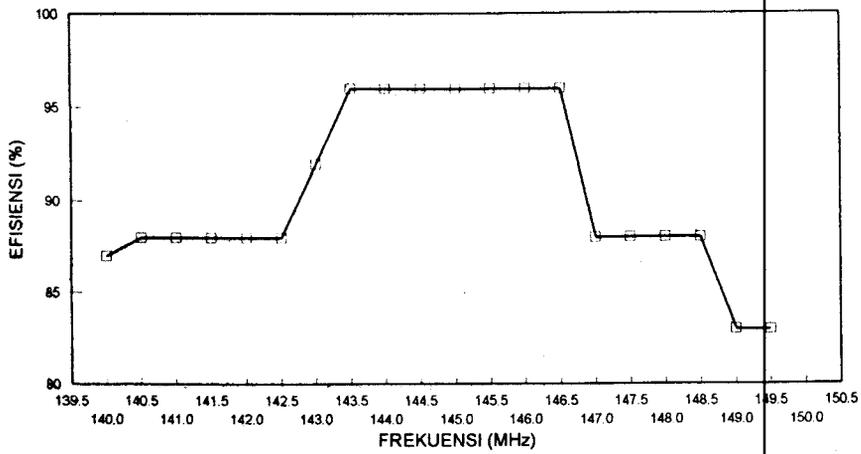
BLOK DIAGRAM PENGUKURAN EFFISIENSI

5.4.2 Hasil Pengukuran

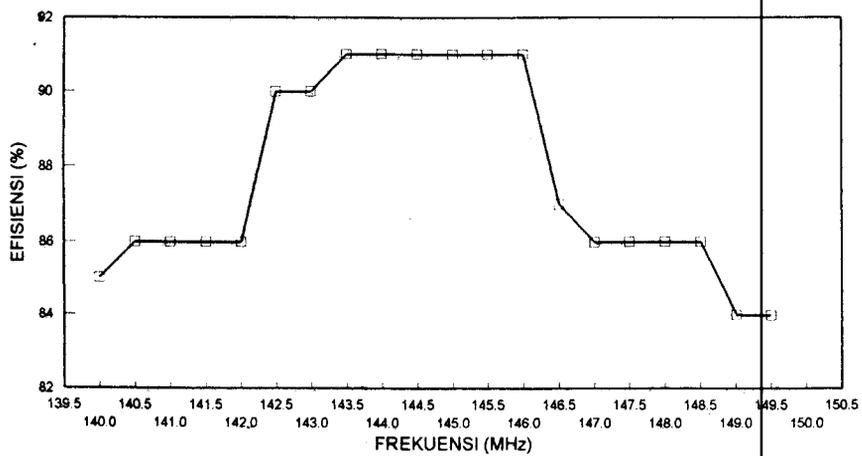
Hasil pengukuran efisiensi power divider dan power combiner diperlihatkan pada tabel 5.3 dan grafik gambar 5.8.

TABEL 5.3
HASIL PENGUKURAN EFISIENSI

FREKUENSI (MHz)	EFFISIENSI (%)	
	POWER DIVIDER	POWER COMBINER
140,0	87	85
140,5	88	86
141,0	88	86
141,5	88	86
142,0	88	86
142,5	88	90
143,0	92	90
143,5	96	91
144,0	96	91
144,5	96	91
145,0	96	91
145,5	96	91
146,0	96	91
146,5	96	87
147,0	88	86
147,5	88	86
148,0	88	86
148,5	88	86
149,0	83	84
149,5	83	84



(A)



(B)

GAMBAR 5. 8

GRAFIK HASIL PENGUKURAN EFISIENSI

TERHADAP PERUBAHAN FREKUENSI

(A) EFFISIENSI POWER DIVIDER

(B) EFFISIENSI POWER COMBINER

BAB VI

PENUTUP

6.1 KESIMPULAN

Dari pembahasan secara keseluruhan mengenai perencanaan dan pembuatan power divider/combiner untuk daerah VHF serta hasil yang telah diperoleh dari pengukurani-pengukuran yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan-kesimpulan sebagai berikut :

1. Pemanfaatan power divider/combiner untuk memperoleh daya yang cukup besar dari beberapa sumber tunggal merupakan cara yang cukup mudah dan sederhana serta menguntungkan dari segi teknis maupun ekonomis.
2. Susunan rangkaian power divider/combiner pada dasarnya dibentuk dari peralatan pembagi/penggabung daya tiga port yang dapat dibentuk dari sebuah directional coupler, baik sefase maupun berbeda fase 90° .
3. Dengan lebar dan panjang tertentu, saluran microstrip dapat digunakan sebagai komponen rangkaian menggantikan lumped elemen pada frekuensi tinggi.
4. Ada tiga jenis power divider/combiner yang dapat digunakan pada daerah VHF, yaitu divider/combiner Wilkinson, hybrid saluran bercabang dan hybrid ring.
5. Beberapa kriteria yang penting dalam perencanaan power divider/combiner adalah isolasi diantara port output/input, VSWR input, insertion loss dan hubungan

kopling diantara input dan outputnya.

6. Dari hasil pengukuran power divider/combiner yang dibuat dari bahan microstrip yang terbuat dari PCB double layers, diperoleh efisiensi penggabungan yang tidak lebih dari 91 %, lebih rendah dari pada efisiensi power divider. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain :
 - . Pencatuan daya input yang tidak sesuai dengan kopling peralatan.
 - . Hubungan fase daya input yang tidak tepat sama.
 - . Rugi-rugi yang disebabkan oleh bahan microstrip.
7. VSWR input power divider/combiner memberikan kenaikan yang landai terhadap perubahan frekuensi pada seluruh range pengukuran. Ini menunjukkan bahwa peralatan yang dibuat dapat mempunyai bandwidth yang lebar.
8. Power divider/combiner yang dibuat ternyata mempunyai isolasi yang cukup tinggi, sehingga sangat sesuai digunakan untuk aplikasi yang sensitif terhadap interaksi antara modul yang digabung/dibagi.

DAFTAR PUSTAKA

1. Chang Kai, Sun Cheng, "Millimeter Wave Power Combining Techniques", IEEE Trans. On Microwave Theory and Techniques, Vol.31, No.2, Pebruari 1983, Hal. 91 - 107.
2. Chon S. B., "A Class of Broadband Three-Port TEM mode hybrids", IEEE Trans. On Microwave Theory and Techniques, Vol. 16, No. 2, Pebruari 1968, Hal. 110 - 116.
3. Dennis Roddy, "Microwave Technology", Printice Hall, Inc, Englewood Cliff, New Jersey, 1986.
4. Fooks E. H., Zakarevicius R. A., "Microwave Engeneering Using Microstrip Circuit", Printici Hall, Sidney, 1990.
5. Franke Ernie, "The Hybrid Ring", Ham Radio, Agustus 1983, Hal. 50 - 60.
6. Franke Ernie, "The Branch-Line Hybrid Part I", Ham Radio, April 1984, Hal. 107 - 111.
7. Franke Ernie, "Wilkinson Hybrids", Ham Radio, Januari 1982, Hal. 12 - 18.
8. Kenneth J. R., "Microwave Power Combining Techniques" IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, Vol. 27, No. 5, Mei 1979, Hal. 472 - 478.
9. Krauss, "Bostian, Herbert L., Solid state Radio Engineering", John Wiley & Sons, 1983
10. Kurokawa K., "Design Theory of Balance Transistor Amplifier", The Bell Technical Journal, Oktober 1965, Hal. 1675 - 1698.

11. Luzzatto G., "A New Lumped Element Bridge Hybrid Combiner", IEEE Trans. on Broadcasting, Vol. 22, No.2, Juni 1976, Hal. 33 - 39.
12. Morse Alfred W., "Modify Combining Design to Teams High Power Amplifier", Microwave Journal, Januari 1978, Hal. 70 - 79.
13. Nagai N., Maekawa E., "New N-Way Hybrid Power Divider", IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, Vol. 25, No. 12, Desember 1977, Hal. 1008 - 1012.
14. Ny. Baronani E. S., Sudrajat, Arief Lakoni, "Pembuatan Printed Circuit Board", Bulletin LEN, Vol. 1, No. 3, Jan/Peb/Mar 1980, Hal. 174 - 179.
15. Parad L. I., Moynihan R. L., "Split Tee Power Divider" IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, Vol. 12, No. 6, Agustus 1978, Hal. 245 - 252.
16. Russel K. J., "Microwave Power Combining Techniques", IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, Vol. 27, No. 5, Mei 1979, Hal. 472 - 478.
17. Samuel Y. L., "Microwave Circuit Analysis and Amplifier Design", Printice Hall, Inc, New Jersey, 1987.
18. Shaleh Adel A.M., " Planar Multiport Quadrature Like Power Divider/Combiner", IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, Vol. 29, No. 4, April 1981, Hal. 332 - 337.
19. Tri T. Ha, "Solid State Microwave Amplifier Design", John Wiley & Sons, New York, 1981.

APPENDIX A

PROGRAM PERHITUNGAN LEBAR DAN PANJANG SALURAN MICROSTRIP

```

program Microstrip_Line;
uses crt;
var
    Er, Erel, Zo, Lo, L, Ere, w, h, Zo_iterasi, Zo_iterasil, fo,
    lambda
        :real;
    tekan:char;

begin
    clrscr;
    gotoxy(1,1);
    write(' *** PROGRAM MENGHITUNG LEBAR DAN PANJANG ***');
    gotoxy(1,2);
    write('          SALURAN MICROSTRIP          ');
    gotoxy(1,3);
    write('*****');
    gotoxy(1,5);
    write('Masukkan parameter-parameter yang diperlukan !');
    gotoxy(1,7);
    write('Konstanta Dielektrik Relatif Substrat, Er = ');
    readln(Er);gotoxy(45,7);write(Er:7:2);gotoxy(52,7);
    write(' ');gotoxy(1,8);
    write('Tebal Substrat Dielektrik, h = ');
    gotoxy(52,8);write(' mm');gotoxy(47,8);readln(h);
    gotoxy(45,8);write(h:7:2);
    gotoxy(52,8);write(' ');
    gotoxy(52,8);write(' mm');gotoxy(1,9);
    write('Impedansi Karakteristik Saluran, Zo = ');
    gotoxy(52,9);write(' ohm');gotoxy(46,9);readln(Zo);
    gotoxy(45,9);write(Zo:7:2);
    gotoxy(52,9);write(' ');
    gotoxy(52,9);write(' ohm');gotoxy(1,10);
    write('Frekuensi Operasi, fo = ');
    gotoxy(52,10);write(' MHz');gotoxy(45,10);readln(fo);
    Lo:=300/fo;gotoxy(45,10);write(fo:7:2);
    gotoxy(52,10);write(' ');
    gotoxy(52,10);write(' MHz');

    gotoxy(1,12);
    write('_____');

    write('_____');
    w:=0;
    repeat
        w:=w+0.001;
        Ere:=(Er+1)/2 + (Er-1)/2*((1/sqrt(1+12/w*h)+0.04*
            sqr(1-w/h)));
        Zo_iterasi:=60/sqrt(Ere)*ln(8/w*h+0.25*w/h);
        gotoxy(60,20);write(' w = ',w:6:3);
    
```

15 SEP 1993

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO - ITS

EE 1799 TUGAS AKHIR - 6 SKS

Nama Mahasiswa : AMIR DAHLAN
Nomor Pokok : 288 220 0994
Bidang Studi : Teknik Telekomunikasi
Tugas Diberikan : September 1993
Tugas Diselesaikan : Januari 1994
Dosen Pembimbing : Ir. Hang Suharto, MSc
Judul Tugas Akhir : PERENCANAAN DAN PEMBUATAN POWER
DEVIDER DAN POWER COMBINER UNTUK
DAERAH VHF

Uraian Tugas Akhir :

Power devider merupakan peralatan pasif yang menerima sebuah sinyal input dan membaginya menjadi beberapa sinyal output. Sedangkan power combiner bekerja sebaliknya, yaitu menerima beberapa sinyal input dan menggabungkannya menjadi sebuah sinyal output.

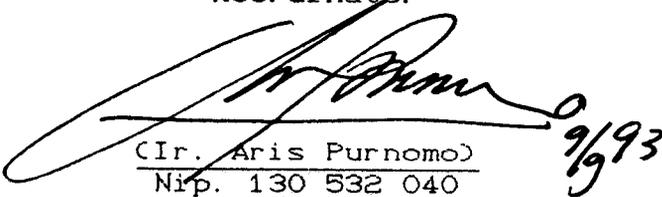
Power devider dan power combiner sering dibutuhkan dalam perencanaan dan pembuatan sistem penerima dan pemancar RF ataupun dalam aplikasi sistem komunikasi lainnya, dimana beberapa sub sistem membutuhkan level daya sinyal dengan karakteristik yang sama; atau dalam sistem yang memerlukan daya sinyal besar sehingga diperlukan penggabungan daya.

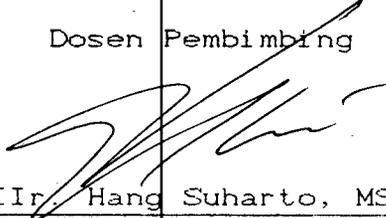
Dalam Tugas Akhir ini akan dibahas perencanaan dan pembuatan power devider dan power combiner pada salah satu kanal VHF dengan memakai microstrip.

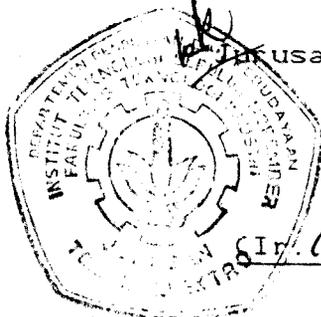
Surabaya, 2 September 1993

Mengetahui
Bidang Studi Teknik Telekomunikasi
Koordinator

Dosen Pembimbing


(Ir. Aris Purnomo)
Nip. 130 532 040


(Ir. Hang Suharto, MSc)
Nip. 130 520 753



Mengetahui
Jurusan Teknik Elektro FTI-ITS
Ketua


(Ir. Katjuk Astrowulan, MSEED)
Nip. 130 687 438

APPENDIX B
USULAN TUGAS AKHIR

- A. JUDUL TUGAS AKHIR : PERENCANAAN DAN PEMBUATAN POWER DIVIDER DAN POWER COMBINER UNTUK DAERAH VHF
- B. RUANG LINGKUP : - TRANSMISI GELOMBANG ELEKTROMAGNET
- ELEKTRONIKA TELEKOMUNIKASI
- RANGKAIAN DAN PERALATAN GELOMBANG MIKRO
- C. LATAR BELAKANG : Dalam perencanaan suatu sistem penerima dan pemancar RF, sering kali dibutuhkan 2 atau lebih daya input yang mempunyai karakteristik yang sama, atau sebaliknya dibutuhkan level daya tertentu yang dapat dipenuhi dengan penggabungan beberapa daya sinyal input.
- Untuk itu diperlukan suatu alat yang mampu membagi daya input menjadi beberapa daya output dan atau menggabungkan beberapa daya input menjadi satu output.
- Peralatan pembagi daya dan penggabung daya tersebut harus mempunyai impedansi match untuk memperoleh pemindahan daya maksimum,

serta isolasi antara terminalnya harus cukup tinggi untuk mencegah interaksi antara modul-modul yang digabung/dibagi.

Pada Tugas Akhir ini akan dibuat power divider dan power combiner yang memenuhi persyaratan diatas.

D. PENELAAHAN STUDI : Dalam Tugas Akhir ini akan dibahas:

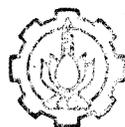
- dasar teori power divider dan power combiner
- microstrip
- perencanaan dan pembuatan power divider dan power combiner memakai microstrip pada daerah VHF

E. TUJUAN : Membuat peralatan power divider dan power combiner yang murah dan mudah dikerjakan, namun memenuhi persyaratan yang ditentukan.

F. LANGKAH-LANGKAH :

- Studi literatur
- Perencanaan alat
- Pembuatan alat
- Pengukuran
- Penyusunan TA

G. RELEVANSI : Diharapkan dengan dibuatnya TA ini, dapat digunakan sebagai salah satu



MILIK PERPUSTAKAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH - NOPEMBER

alternatif penyediaan daya RF pada pemancar dan penerima RF serta pada sistem komunikasi umumnya.

H. JADWAL KEGIATAN : Seluruh kegiatan diharapkan selesai dalam waktu lima bulan, dengan jadwal sebagai berikut :

No	Kegiatan	Bulan					
		I	II	III	IV	V	VI
1.	Studi Literatur	██████████	██████████	██████████			
2.	Perencanaan			██████████	██████████		
3.	Pembuatan				██████████	██████████	
4.	Pengukuran					██████████	██████████
5.	Penyusunan		██████████	██████████	██████████	██████████	██████████

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Nama : Amir Dahlan
Tempat lahir : Pamekasan
Tanggal Lahir : 09 Juli 1969
Agama : Islam
Nama ayah : Achmad Said Masyhuri
Nama ibu : Honaniyah

RIWAYAT PENDIDIKAN

1. SD Negeri Kolpajung I Pamekasan, tahun 1976 - 1982
2. SMP Negeri II Pamekasan, tahun 1982 - 1985
3. SMA Negeri I Pamekasan, tahun 1985 - 1988
4. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Jurusan Teknik Elektro, Bidang Studi Teknik Telekomunikasi, tahun 1988 sampai sekarang