

**PERANCANGAN DAN REALISASI  
PENGUAT DAYA FREKUENSI RADIO 88 - 108 MHz**

**Oleh :**

**BUDI CHALIK**

**NIM : 92219003**

**N I R M : 923123700250017**



**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS DARMA PERSADA  
JAKARTA 1995**



PERANCANGAN DAN REALISASI  
PENGUAT DAYA FREKUENSI RADIO 88 - 108 MHz

Tugas Akhir

Diajukan untuk Melengkapi Tugas - tugas  
dan Memenuhi Syarat - syarat untuk Mencapai  
Gelar Sarjana Teknik Elektro

oleh

Budi Chalik

Nim : 9221 9003

Nirm : 923123700250017



JURUSAN TEKNIK ELEKTRO FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS DARMA PERSADA  
JAKARTA 1995

DISETUJUI DAN DISAHKAN OLEH



*Martomo*

Ir. A. Martomo M. Sc EE  
Pembimbing I

*Suherman*

Ir. Eri Suherman M. Eng  
Pembimbing II

*Suherman*

Ir. Eri Suherman M. Eng  
Ketua Jurusan Teknik Elektro

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS DARMA PERSADA  
JAKARTA 1995

## Pernyataan Keaslian Tugas Akhir


Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Budi Chalik  
NIM : 92219003  
NIRM : 923123700250017

Menyatakan sejauh yang saya ketahui, Tugas akhir ini bukan merupakan duplikasi Tugas Akhir yang pernah dipublikasikan atau diajukan untuk mendapat gelar kesarjanaan pada universitas lain, kecuali pada bagian dimana sumber informasi dicantumkan.

Jakarta, Agustus 1995

Yang menyatakan

   
Budi Chalik

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang atas berkah Rahmat Nya telah memberikan kesehatan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Pesawat radio FM sudah sejak lama dikenal karena kemampuannya dalam mereproduksi sinyal informasi lebih baik dibandingkan dengan sistem modulasi amplitudo. Meskipun bukan termasuk teknologi baru namun masih menarik untuk dibahas mengingat masih terbuka kemungkinan sistem FM dapat digunakan untuk keperluan selain komunikasi.

Penulis sangat menyadari bahwa sangat banyak kekurangan dalam penyajian tulisan ini, meskipun sudah diusahakan dengan sebaik mungkin, untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran untuk menyempurnakan tulisan ini.

Dalam penulisan tugas akhir ini penulis banyak menerima bantuan baik moril maupun materil dari berbagai pihak. Oleh karenanya perkenankanlah penulis mengucapkan terima kasih sedalam-dalamnya kepada :

1. Kedua orang tua Bapak dan Ibu yang telah sangat berjasa hingga selesainya tugas akhir ini.
2. Bapak Ir. A. Martomo M.Sc EE yang telah membimbing penulisaan tugas akhir ini.
3. Bapak Ir. Eri Suherman M.Eng sebagai Ketua Jurusan Teknik Elektro dan pembimbing tulisan pada tugas akhir ini.
4. Karyawan Laboratorium Teknik Elektro yang telah menyediakan sarana dan prasarana pada alat tugas akhir.

5. Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro (HIMELDA) yang telah memberikan sarana dan sumbang pikiran.
6. Rekan-rekan mahasiswa khususnya di Universitas Darma Persada yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Akhir kata penulis mengharapkan semoga Tugas Akhir ini ada manfaatnya bagi pembaca, khususnya rekan-rekan mahasiswa fakultas teknik elektro Universitas Darma Persada.



Jakarta, Agustus 1995

Penulis

## ABSTRAK

Dalam skripsi ini dibahas tentang perancangan Penguat Daya RF (Radio Frequency) untuk digunakan pada pemancar FM (FM Broadcast) yang bekerja pada band frekuensi 88 - 108 MHz. Penguat dirancang dengan menggunakan transistor sebagai komponen aktifnya dengan konfigurasi common emitter. Sistem penguat direalisasikan dengan 4 tingkat penguat transistor. Tiap tingkat dioperasikan dengan penguat daya kelas C. Rangkaian penyesuai impedansi ditala pada frekuensi tengah yang sama (synchronous tuned). Rangkaian penyesuaian impedansi ini menggunakan komponen terpusat (lumped element).

Sistem penguat dioperasikan pada frekuensi tengah 98 MHz dengan bandwidth 4 MHz dan direncanakan mempunyai daya keluaran 30 W dan efisiensi total 65 %.

# DAFTAR ISI

Kata Pengantar	v
Abstrak	vii
Daftar Isi	viii
Daftar Gambar	xi
Daftar Tabel	xiii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Persamaan Sinyal FM	2
1.3 Spektrum Sinyal FM	3
1.4 Lebar Bidang Frekuensi FM	7
1.5 Pembatasan Masalah	8
1.6 Sistematika Penulisan	9
<b>BAB II PENGUAT DAYA FREKUENSI RADIO</b>	<b>11</b>
2.1 Pendahuluan	11
2.2 Konfigurasi dan Kelas Penguat	11
2.3 Penguat Daya Kelas C	16
2.4 Analisa Matematis	18
2.5 Temperatur Operasi Transistor	25
2.6 Gain Bandwidth Product	30
2.7 Impedansi Input dan Output	32
<b>BAB III PENYESUAI IMPEDANSI</b>	<b>34</b>
3.1 Transfer Daya Maksimum	34
3.2 Resonansi Paralel	36





3.3	Penyesuai Impedansi, Pendekatan Matematis .....	39
3.3.1	Penyesuai dengan 2 reaktansi .....	41
3.3.2	Penyesuai dengan 3 reaktansi .....	45
<b>BAB IV</b>	<b>PERENCANAAN DAN REALISASI .....</b>	<b>51</b>
4.1	Perencanaan .....	51
4.2	Pemilihan Transistor .....	51
4.3	Pemakaian Tegangan Catu .....	53
4.4	Pemberian Prategangan .....	55
4.5	Blok Sistem dan Rangkaian Penguat .....	55
4.6	Rangkaian Penyesuai Impedansi .....	56
4.6.1	Perhitungan perencanaan .....	57
4.7	Perencanaan Pendingin .....	60
4.7.1	Perhitungan luas pendingin blok II .....	63
4.7.1	Perhitungan luas pendingin blok I .....	64
4.8	Realisasi .....	65
4.8.1	Realisasi rangkaian prategangan ..	66
4.8.2	Pemberian catu tegangan .....	66
4.8.3	Pendingin .....	67
4.8.4	Rangkaian lengkap .....	67
4.8.5	Penyesuai impedansi .....	69
<b>BAB V</b>	<b>PENGUKURAN .....</b>	<b>71</b>
5.1	Pengukuran Respon Frekuensi dengan Generator Sinyal FM .....	71
5.2	Pengukuran Arus Kolektor .....	73
5.3	Analisa .....	74

BAB VI KESIMPULAN ..... 76

DAFTAR PUSTAKA ..... 77

LAMPIRAN



## DAFTAR GAMBAR

Gbr. 1.1	Grafik Fungsi Bessel.....	5
Gbr. 1.2	Spektrum Relatif Sinyal FM dengan Pemodulasian Sinyal Sinusoida .....	7
Gbr. 2.1	Kurva Penguat Daya Terhadap Frekuensi .....	13
Gbr. 2.2	Titik Kerja dari Penguat Daya a) Kelas A    b) Kelas B    c) Kelas C .....	16
Gbr. 2.3	Cara mendapatkan Prategangan Mundur .....	17
Gbr. 2.4	Arus Kolektor dari Penguat Daya Kelas C ....	18
Gbr. 2.5	Efisiensi sebagai Fungsi dari Sudut Konduksi	21
Gbr. 2.6	Rangkaian Penguat Daya Kelas C .....	21
Gbr. 2.7	Hubungan antara $I'_M$ dan $\theta$ .....	24
Gbr. 2.8	Hubungan $P_d/P_o$ dengan $\theta$ .....	25
Gbr. 2.9	Model Transistor dan Pendingin .....	26
Gbr. 2.10	Analogi Rangkaian Termis dengan Rangkaian Listrik .....	28
Gbr. 2.11	Grafik Penguat Arus terhadap Frekuensi .....	32
Gbr. 2.12	Impedansi Input Fungsi dari Frekuensi .....	32
Gbr. 3.1	Transfer Daya pada Beban .....	34
Gbr. 3.2	Penetapan Rangkaian Penyesuai Impedansi ....	36
Gbr. 3.3	Resonansi Paralel .....	37
Gbr. 3.4	Induktor dengan Resistansi Paralel .....	38
Gbr. 3.5	Transformasi Seri dan Paralel .....	39
Gbr. 3.6	Penyesuai Impedansi dengan 2 Reaktansi .....	41
Gbr. 3.7	Rangkaian Ekuivalen saat Resonansi .....	43
Gbr. 3.8	Penyesuai Impedansi Kompleks .....	44

Gbr. 3.9	Rangkaian Penyesuai Impedansi dengan 3 Reaktansi .....	45
Gbr. 3.10	Pemotongan dan Pemisahan Resistansi Virtual .....	46
Gbr. 3.11	Rangkaian Tipe A .....	46
Gbr. 3.12	Rangkaian Tipe B .....	47
Gbr. 3.13	Rangkaian Tipe C <sub>1</sub> .....	48
Gbr. 3.14	Rangkaian Tipe C <sub>2</sub> .....	49
Gbr. 3.15	Rangkaian Tipe D .....	49
Gbr. 4.1	Diagram Blok Tingkat-tingkat Penguat .....	53
Gbr. 4.2	Diagram Blok Penguat Pertama .....	55
Gbr. 4.3	Diagram Blok Penguat Kedua .....	55
Gbr. 4.4	Gambar Rangkaian Penguat RF Pertama .....	56
Gbr. 4.5	Gambar Rangkaian Penguat RF Kedua .....	56
Gbr. 4.6	Rangkaian Tipe A .....	57
Gbr. 4.7	Resistansi Panas Total .....	61
Gbr. 4.8	Resistansi Panas yang Direncanakan .....	62
Gbr. 4.9	Pendingin Transistor Tingkat IV .....	63
Gbr. 4.10	Rangkaian Prategangan .....	66
Gbr. 4.11a	Rangkaian Filter I .....	66
Gbr. 4.11b	Rangkaian Filter II .....	67
Gbr. 4.12	Rangkaian Blok Pertama .....	67
Gbr. 4.13	Rangkaian Blok Kedua .....	68
Gbr. 5.1	Rangkaian Pengukuran .....	71
Gbr. 5.2	Daya Output Terhadap Frekuensi .....	73

## DAFTAR TABEL

Tabel	II - 1	Analogi Parameter Rangkaian Listrik dengan Rangkaian Termis .....	29
Tabel	IV - 1	Besar Harga $V_{CC}$ yang Dipilih .....	54
Tabel	IV - 2	Perencanaan Pendingin Tingkat I s/d III.	65
Tabel	IV - 3	Luas Pendingin Penguat Tingkat I s/d III	67
Tabel	IV - 4	Induktor yang Digunakan .....	68
Tabel	IV - 5	Kapasitor yang Digunakan .....	69
Tabel	IV - 6	Pendingin Hasil Perhitungan Dengan Hasil Realisasi .....	70
Tabel	V - 1	Daya Keluaran Sebagai Fungsi Frekuensi Pada Daya Masukan 10 mW .....	72
Tabel	V - 2a	Besar Arus Kolektor Pada Blok I .....	73
Tabel	V - 2b	Besar Arus Kolektor Pada Blok II .....	74

## DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN I	: DATA TRANSISTOR 1	L - 1
LAMPIRAN II	: DATA TRANSISTOR 2	L - 2
LAMPIRAN III	: DATA TRANSISTOR 3	L - 3
LAMPIRAN IV	: DATA TRANSISTOR 4	L - 7



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Sistem komunikasi yang menggunakan Modulasi Frekuensi pada saat ini sebenarnya bukan merupakan teknologi baru, namun bila dibandingkan dengan sistem modulasi kontinuis lainnya seperti Modulasi Amplituda dan Modulasi Phasa, Modulasi Frekuensi lebih sering digunakan karena kelebihan-kelebihannya dalam berbagai hal.

Radio FM (Frekuensi Modulasi) yang populer di masyarakat adalah yang digunakan untuk siaran (Broadcast). Sistem FM Mono telah berubah dengan sistem FM Stereo dimana terdapat perbaikan dalam hal kualitas suara yang dihasilkan, sehingga orang yang sedang mendengarkan siaran FM Stereo seolah-olah sedang mendengarkan konser musik secara langsung. Hal tersebut disebabkan karena pada sistem FM terdapat perbaikan S/N (Signal to Noise) yang memperbaiki mutu suara yang dihasilkan.

ITU (International Telecommunication Union) sebagai badan telekomunikasi internasional telah menetapkan frekuensi untuk siaran FM yaitu 88 MHz sampai 108 MHz. Untuk Indonesia sesuai dengan Peraturan Pemerintah no.55 Tahun 1970 Pasal 5 Ayat 2, telah ditetapkan bahwa siaran FM Mono atau FM Stereo Radio Siaran non Pemerintah menempati 100 MHz sampai 108 MHz.

Keuntungan sistem yang menggunakan Modulai Frekuensi dibandingkan dengan yang menggunakan Modulasi Amplitudo yaitu:

- Komunikasi dapat dilakukan dengan noise yang lebih kecil.
- Dapat dilakukan komunikasi dengan kualitas yang sama dengan

AM, tetapi dengan daya yang lebih kecil.

- Tidak terjadi perubahan level sinyal oleh perubahan amplitudo akibat fading mengingat sinyal informasi yang ditumpangkan terdapat di frekuensi sinyal pembawa.

## 1.2 Persamaan Sinyal FM

Frekuensi sesaat dari sinyal FM dapat dituliskan sebagai berikut :

$$f_i = f_c + c e_m t \quad (1-1)$$

dimana :

$f_i$  adalah frekuensi sesaat sinyal FM.

$f_c$  adalah frekuensi gelombang pembawa.

$e_m(t)$  adalah sinyal pemodulasi.

$c$  adalah konstanta.

Untuk sinyal pemodulasi yang sinusoida, maka  $e_m(t)$  dapat ditulis sebagai berikut :

$$e_m(t) = E \cos \omega_m t \quad (1-2)$$

di mana :

$E$  adalah amplitudo  $e_m(t)$

$\omega_m$  adalah frekuensi  $e_m(t)$

Substitusi persamaan (1-2) ke persamaan (1-1) menghasilkan :

$$\begin{aligned} f_i &= f_c + c E \cos \omega_m t \\ &= f_c + \Delta f \cos \omega_m t. \end{aligned} \quad (1-3)$$

maka :

$$\omega_i = \omega_c + 2\pi \Delta f \cos \omega_m t \quad (1-4)$$

di mana :



$\Delta f = c E$  , disebut sebagai deviasi frekuensi maksimum gelombang pembawa.

$\omega_i$  adalah frekuensi sudut FM.

$\omega_c$  adalah frekuensi sudut gelombang pembawa.

Persamaan sinyal FM dapat dituliskan sebagai :

$$e_{FM}(t) = A_c \cos (\theta (t)), \quad (1-5)$$

dimana :

$e_{FM}(t)$  adalah harga sesaat sinyal FM.

$A_c$  adalah amplitudo sinyal FM.

$\theta(t)$  adalah sudut fasa sesaat sinyal FM.

Mengingat :

$$\theta(t) = \int \omega_i dt \quad (1-6)$$

maka sudut fasa sesaat sinyal FM tersebut adalah :

$$\begin{aligned} \theta(t) &= \int (\omega_c + 2\pi\Delta f \cos \omega_m t) dt. \\ &= \omega_c t + \frac{\Delta f}{f_m} \sin \omega_m t + \theta_0 \end{aligned} \quad (1-7)$$

anggap  $\theta_0 = 0$  , maka persamaan sinyal FM ditulis :

$$\begin{aligned} e_{FM}(t) &= A_c \cos \left( \omega_c t + \frac{\Delta f}{f_m} \sin \omega_m t \right) \\ &= A_c \cos (\omega_c t + \beta \sin \omega_m t) \end{aligned} \quad (1-8)$$

dimana :

$$\beta = \frac{\Delta f}{f_m} , \text{ disebut sebagai indeks modulasi.}$$

### 1.3 Spektrum sinyal FM

Persamaan (1-8) dapat ditulis kembali sebagai berikut:

$$e_{FM}(t) = A_c \cos(\omega_c t + \beta \sin \omega_m t)$$

Ambil  $A_c = 1$ , maka :

$$e_{FM}(t) = \cos(\omega_c t + \beta \sin \omega_m t) \quad (1-9)$$

tetapi :

$$\begin{aligned} \cos(\omega_c t + \beta \sin \omega_m t) &= \\ \cos \omega_c t \cdot \cos(\beta \sin \omega_m t) - \sin \omega_c t \cdot \sin(\beta \sin \omega_m t) & \dots(1-10) \end{aligned}$$

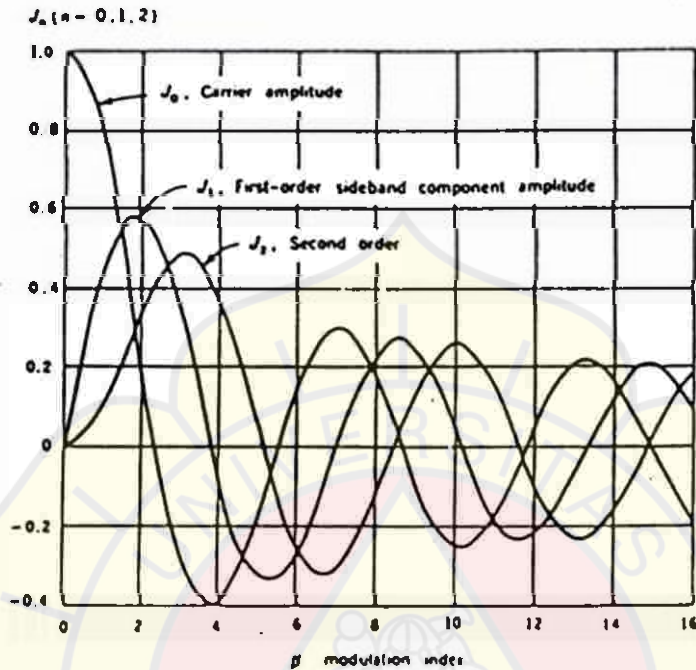
$\cos(\beta \sin \omega_m t)$  adalah fungsi genap dan  $\sin(\beta \sin \omega_m t)$  adalah fungsi ganjil. Kedua fungsi tersebut dapat diuraikan menurut deret Fourier sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \cos(\beta \sin \omega_m t) &= J_0(\beta) + 2J_2(\beta) \cos 2\omega_m t + \dots + \\ & 2J_{2n}(\beta) \cos 2n \omega_m t \quad (1-11) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sin(\beta \sin \omega_m t) &= 2J_1(\beta) \sin \omega_m t + 3J_3(\beta) \sin \omega_m t \\ & + \dots + 2J_{n-1}(\beta) \sin(2n-1) \omega_m t \\ & \dots(1-12) \end{aligned}$$

dimana  $J_n(\beta)$  adalah fungsi Bessel tingkat satu orde ke  $n$

yang harganya ditabelkan atau digambarkan dalam grafik.



Gbr. 1.1 Grafik fungsi Bessel

Substitusikan persamaan (1-10) kedalam persamaan (1-9) sehingga didapatkan :

$$e_{FM}(t) = \cos \omega_c t \cdot \cos (\sin \omega_m t) - \sin \omega_c t \cdot \sin (\sin \omega_m t). \quad (1-13)$$

Bila persamaan (1-11) dan (1-12) disubstitusikan ke dalam persamaan (1-13), maka didapat :

$$e_{FM}(t) = \cos \omega_c t \cdot \left\{ J_0(\beta) + 2J_2(\beta) \cos 2\omega_m t + \dots + 2J_{2n}(\beta) \cos 2n \omega_m t + \dots \right\} -$$

$$\begin{aligned} \sin \omega_c t \cdot \left\{ 2J_1(\beta) \sin \omega_m t + 3J_3(\beta) \sin 3\omega_m t \right. \\ \left. + \dots + 2J_{n-1}(\beta) \sin (2n-1) \omega_m t + \dots \right\} \\ \dots\dots\dots(1-14) \end{aligned}$$

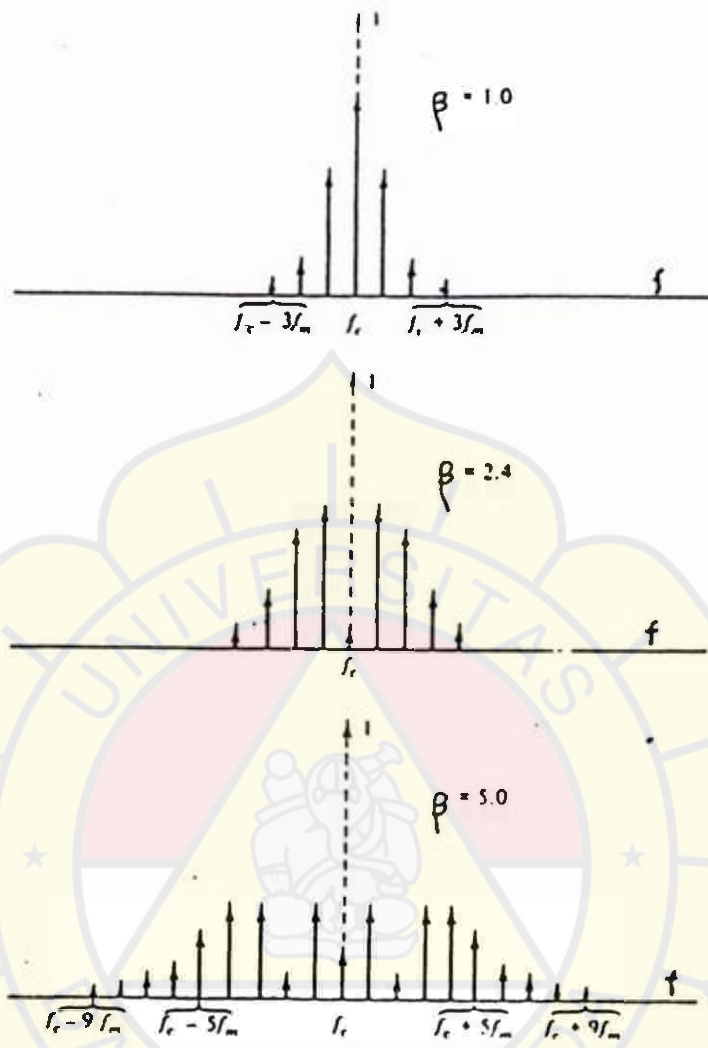
Gunakan sifat :

$$\begin{aligned} \cos a \cdot \cos b &= \frac{1}{2} \left\{ \cos (a - b) + \cos (a + b) \right\} \\ \sin a \cdot \sin b &= \frac{1}{2} \left\{ \cos (a - b) - \cos (a + b) \right\} \end{aligned}$$

Maka persamaan (1-14) dapat ditulis kembali sebagai persamaan berikut :

$$\begin{aligned} e_{FM}(t) &= J_0(\beta) \cos \omega_c t - \\ &J_1(\beta) \left\{ \cos (\omega_c - \omega_m)t - \cos (\omega_c + \omega_m)t \right\} + \\ &J_2(\beta) \left\{ \cos (\omega_c - 2\omega_m)t - \cos (\omega_c + 2\omega_m)t \right\} - \\ &J_3(\beta) \left\{ \cos (\omega_c - 3\omega_m)t - \cos (\omega_c + 3\omega_m)t \right\} + \\ &\dots \qquad \qquad \qquad (1-15) \end{aligned}$$

Berdasarkan persamaan (1-15) dapat digambarkan spektrum relatif sinyal seperti yang dinyatakan pada gambar 1.2.



Gbr. 1.2 Spektrum relatif sinyal FM dengan pemodulasian sinyal sinusoida.

#### 1.4 Lebar Bidang Frekuensi Sinyal FM

Seperti yang dinyatakan pada persamaan (1-14). Jumlah side band sinyal FM secara teoritis tidak berhingga. Ini berarti secara teoritis lebar bidang frekuensi sinyal FM tidak berhingga pula. Akan tetapi menurut Carson lebar bidang frekuensi FM dapat dibatasi sebesar  $B$ , dimana :

$$B = 2(\beta + 1) f_m \tag{1-16}$$

atau

$$B = 2(\Delta f + f_m) \quad (1-17)$$

Persamaan (1-16) disebut sebagai hukum Carson mengenai lebar bidang frekuensi sinyal FM.

Dengan pembatasan lebar bidang frekuensi sebagai tersebut di atas, sinyal FM masih memiliki daya sebesar  $\pm 98\%$  dibanding bila lebar bidang frekuensi tidak dibatasi.

Sebagai contoh perhatikan sinyal FM dengan sinyal pemodulasi frekuensi 15 KHz serta frekuensi sinyal pembawa  $f_c$ . Jika deviasi maksimum sinyal pembawa adalah 75 KHz, maka menurut Carson lebar bidang frekuensi sinyal FM tersebut adalah :

$$\begin{aligned} B &= 2(75 + 15) \text{ KHz} \\ &= 180 \text{ KHz.} \end{aligned}$$

### 1.5 Pembatasan Masalah

Sistem FM tidak dipergunakan pada frekuensi di bawah HF (High Frequency) karena kelemahannya di bidang frekuensi yang di dudukinya, tetapi hanya digunakan pada frekuensi-frekuensi VHF (Very High Frequency), UHF (Ultra High Frequency) dan SHF (Super High Frequency).

Karena menggunakan frekuensi yang tinggi tersebut maka untuk mencapai jarak pancar yang jauh dibutuhkan beberapa tingkat penguat daya RF. Persyaratan utama dalam merancang penguat daya RF meliputi pemilihan komponen aktif, konfigurasi penguat, kelas penguat serta pembatasan lebar bidang frekuensi.

- Komponen aktif yang digunakan adalah jenis transistor karena memiliki penguatan yang lebih besar dari FET dan

catu dayanya lebih kecil dari tabung vakum.

- Konfigurasi Common Emitter umumnya digunakan untuk penguat pada jalur VHF dan UHF.
- Dipilih penguat daya Kelas C karena memiliki efisiensi paling tinggi diantara penguat Kelas A dan Kelas B yaitu dapat mencapai 100%.
- Bandwidth sistem rangkaian direncanakan sebesar 4 MHz dan bandwidth per kanal sebesar 200 KHz sesuai standar FCC.
- Rangkaian Penyesuai Impedansi (RPI) yang dihitung hanya pada penguat tingkat IV saja, sedangkan RPI untuk tingkat I sampai III berdasarkan coba-coba karena data transistor lengkap tidak diperoleh.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Dalam penulisan Tugas Akhir ini penulis membagi permasalahan dalam enam bab, pembahasan setiap bab meliputi :

### Bab I Pendahuluan

Keuntungan penggunaan FM terhadap AM, teori sinyal FM, lebar bidan frekuensi dan pembatasan masalah.

### Bab II Penguat Daya Frekuensi Radio

Konfigurasi penguat, kelas penguat, analisa matematis, temperatur operasi transistor, Gain Bandwidth Product dan impedansi input dan output penguat.

### Bab III Penyesuai impedansi

Transformasi daya maksimum, resonansi paralel, penyesuai impedansi pendekatan matematis, penyesui 2 reaktansi,

penyesuai 3 reaktansi.

#### Bab IV Perencanaan dan realisasi

Penguat daya RF yang direncanakan, pemilihan transistor, pemberian prategangan, blok sistem rangkaian penguat, rangkaian penyesuai impedansi, perencanaan pendingin, realisasi rangkaian.

#### Bab V Pengukuran

Pengukuran respon frekuensi, pengukuran arus kolektor.

#### Bab VI Kesimpulan.

