

## RANCANG BANGUN PENGUAT DAYA RF

Sapto Nugroho<sup>1</sup>, Dwi P. Sasongko<sup>2</sup>, Isnaen Gunadi<sup>1</sup>

1. Lab. Elektronika dan Instrumentasi, Jurusan Fisika, UNDIP Semarang

2. Lab. Fisika Atom & Nuklir, Jurusan Fisika, UNDIP Semarang

### Abstract

*The RF power amplifier has been designed and realized to operate at the frequency of 100 MHz with 1000 mW of power output at 12 V supply voltage in this research. Based on this design, it will be used to design of the RF power amplifier with large output power at desired frequency operation. The RF power amplifier consist of three stages amplification, with first amplifier is operated in class A, second and third amplifier are operated in fixture mode class C. Class A amplifier is designed with using the procedure that presented by Purdie, while fixture mode class C amplifier is designed by using of large signal transistor impedance. Realizing of the RF power amplifier can be able to used for amplifying signal of 100 MHz. The measurement of the RF power amplifier at 12 V supply voltage; maximal output power of 1148,15 mW; second harmonic distortion of 0,07 %; bandwidth 8 MHz and signal power are larger then noise that generated by the amplifier.*

### PENDAHULUAN

Sistem komunikasi radio digunakan untuk membawa pesan atau informasi dari suatu titik ke titik lain. Informasi yang dibawa dalam bentuk sinyal listrik dapat berupa pembicaraan, musik, gambar, data ilmiah, data bisnis, dan sebagainya. Oleh karena itu, pada dasarnya sistem komunikasi radio terdiri dari tiga elemen utama, yaitu informasi yang akan dibawa, pengirim (*transmitter*), dan penerima (*receiver*).

*Transmitter* dibangun dari beberapa komponen, yaitu osilator, modulator, penguat daya RF (*Radio Frequency*), saluran transmisi, dan antena. Osilator digunakan sebagai penghasil gelombang sinus frekuensi tinggi yang digunakan sebagai frekuensi pembawa ( $f_c$ ). Modulator digunakan untuk memodulasi informasi yang akan dibawa dengan frekuensi pembawa. Penguat daya RF digunakan untuk menguatkan daya keluaran osilator sampai suatu nilai yang dikehendaki. Keluaran penguat daya RF diumpungkan ke antena melalui saluran transmisi.

Daya keluaran dari suatu pemancar ditentukan oleh penguat daya

RF yang digunakan, sehingga pemancar berdaya kuat akan dapat diperoleh apabila penguat daya RF yang digunakan mampu menghasilkan daya keluaran yang besar. Pemancar yang umum dipasarkan adalah pemancar dengan daya keluaran kecil. Pemancar berdaya besar, selain sulit diperoleh harganya juga sangat mahal. Selain itu, penggunaan pemancar komersial terbatas pada daya keluaran dan frekuensi kerja yang telah dispesifikasikan. Pemancar dengan spesifikasi daya keluaran 1000 mW pada frekuensi kerja 100 MHz tidak akan dapat menghasilkan daya keluaran 1000 mW apabila dikerjakan pada frekuensi 200 MHz.

### DASAR TEORI

#### Komponen-Komponen Pasif Rangkaian Penguat

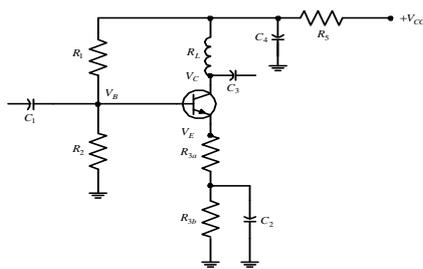
Rangkaian penguat dapat terdiri dari satu komponen aktif dan beberapa komponen pasif. Komponen aktif dapat berupa transistor atau IC, sedangkan komponen pasif dari suatu rangkaian penguat terdiri dari resistor, kapasitor, dan induktor.

**Perilaku Komponen Pasif pada Frekuensi Radio**

Wedlock dan Roberge<sup>[1]</sup> telah menyatakan bahwa suatu resistor dapat mulai bersifat seperti kapasitor atau induktor pada daerah *RF*. Perilaku tersebut disebabkan oleh adanya kapasitansi *stray* atau induktansi *stray*. Karena kedua hal tersebut pada umumnya tidak diinginkan dan membatasi unjuk kerja komponen-komponen pada frekuensi tinggi, maka mereka dinamakan juga sebagai *parasitic effects*.

**Penguat Kelas A**

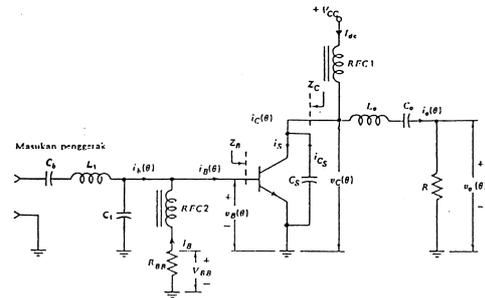
Purdie<sup>[2]</sup> telah mendefinisikan penguat kelas A sebagai suatu penguat yang mempunyai kemampuan terbesar dalam mereproduksi masukan dengan distorsi yang terkecil, dengan atau tanpa rangkaian umpan balik negatif. Namun demikian, efisiensi penguat kelas A adalah paling kecil dibandingkan dengan penguat daya kelas lainnya. Rangkaian penguat kelas A dengan umpan balik emitor diperlihatkan pada gambar 2.1.



Gambar 2.1. Rangkaian penguat kelas A dengan umpan balik emitor (Purdie<sup>[3]</sup>).

**Penguat Mode Campuran Kelas C**

Penguat daya mode campuran kelas C mempunyai efisiensi yang lebih besar dan rangkaian yang lebih sederhana dibandingkan dengan penguat daya kelas A. Rangkaian penguat daya mode campuran kelas C ditunjukkan pada gambar 2.2.



Gambar 2.2. Rangkaian penguat daya mode campuran kelas C (Krauss et al<sup>[4]</sup>).

Krauss et al<sup>[4]</sup> telah menyatakan bahwa perencanaan penguat daya mode campuran kelas C pada umumnya dilakukan dengan menggunakan impedansi sinyal kuat transistor. Impedansi sinyal kuat merupakan parameter transistor yang dapat diukur dan atau diperkirakan. Impedansi sinyal kuat yang terukur hanya berlaku pada tingkat frekuensi dan tingkat daya dimana mereka diukur. Karena harga-harga tersebut merupakan hasil dari beberapa penguat tidak linier dalam rangkaian, maka harga-harga tersebut diperkirakan akan sangat berubah menurut frekuensi, penggerak, daya keluaran, dan tegangan sumber. Meskipun demikian, impedansi sinyal kuat dapat dianggap sebagai suatu pendekatan yang bermanfaat dalam melakukan perencanaan tahap pertama.

Impedansi keluaran sinyal kuat  $Z_C$  dari transistor daya *HF* dan *VHF bipolar* umumnya diperkirakan dengan menganggap sebagai hasil kombinasi paralel antara kapasitansi keluaran kolektor  $C_{ob}$  dan resistansi beban kolektor  $R_L$ . Menurut Hejhall<sup>[5]</sup>, resistansi beban kolektor ditentukan dengan persamaan

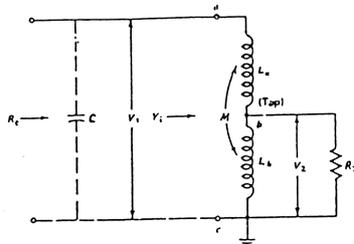
$$R_L = \frac{V_{CC}^2}{2P_{out}}$$

dengan  $V_{CC}$  adalah tegangan catu yang diberikan, dan  $P_{out}$  adalah daya keluaran yang diinginkan.

Krauss et al<sup>[4]</sup> telah menyatakan bahwa impedansi masukan sinyal kuat dari transistor *bipolar (BJT)* khususnya merupakan tahanan beberapa ohm yang seri dengan reaktansi induktif beberapa ohm, dan perolehan daya transistor *bipolar* khususnya berkisar dari 5 sampai 14 dB.

### Induktor Tersadap Sebagai Rangkaian Transformasi Impedansi

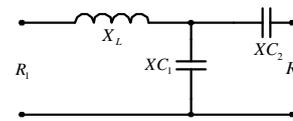
Rangkaian induktor tersadap, yang ditunjukkan pada gambar 2.3, sering digunakan dalam rangkaian-rangkaian penguat. Digunakan satu induktor, dengan kedudukan sadapan (titik *b*) yang dipilih untuk mengubah  $R_2$  menjadi  $R_1$ . Kalau induktor dililitkan pada inti ferit sehingga koefisien kopling  $k$  mendekati satu, maka kumparan akan berlaku sebagai transformator ideal. Dengan kumparan yang berintikan udara, koefisien kopling  $k$  amat kecil ( $k \approx 0,1$ ), sehingga pendekatan transformator ideal tidak berlaku (Krauss et al<sup>[4]</sup>).



Gambar 2.3. Induktor tersadap sebagai rangkaian transformasi impedansi (Krauss et al<sup>[4]</sup>).

### Jaringan Penyesuai Impedansi (Impedance Matching Network)

Suatu bentuk jaringan penyesuai elemen diskrit yang sering digunakan diperlihatkan pada gambar 2.4. Jaringan penyesuai terdiri dari tiga buah reaktansi, yaitu sebuah induktor dan dua buah kapasitor. Jaringan penyesuai digunakan untuk membawa  $R_2$  ke  $R_1$  atau  $R_1$  ke  $R_2$ .



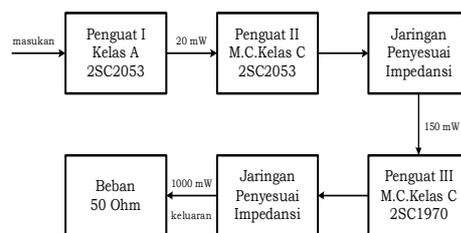
Gambar 2.4. Jaringan penyesuai impedansi tiga reaktansi (Becciolini<sup>[6]</sup>).

## PERANCANGAN

### Perancangan Penguat Daya RF

Penguat daya RF dirancang untuk dioperasikan pada frekuensi ( $f_c$ ) 100 MHz, dengan daya keluaran ( $P_{out}$ ) 1000 mW pada tegangan catu ( $V_{CC}$ ) 12 V. Frekuensi kerja ditetapkan karena berhubungan dengan transistor dan nilai komponen yang akan digunakan, yaitu induktor dan kapasitor. Tegangan catu ditetapkan untuk menentukan resistansi beban kolektor ( $R_L$ ) yang dibutuhkan untuk menghasilkan daya keluaran yang diharapkan.

Penguat daya RF dirancang untuk menghasilkan keluaran sebesar 1000 mW dengan sinyal masukan 7,94 mW (daya keluaran osilator pada sistem  $50\Omega$ ). Penguat daya RF akan dibuat dari tiga tingkatan penguat, yaitu penguat I, penguat II, dan penguat III. Penguat I akan dioperasikan pada kelas A, sedangkan penguat II dan penguat III akan dioperasikan pada mode campuran kelas C. Perolehan daya transistor bipolar untuk penguat daya mode campuran kelas C khususnya adalah 5-14 dB (Krauss et al, 1990). Diagram blok akhir dari penguat daya RF yang dirancang ditunjukkan pada gambar 3.1.



Gambar 3.1. Diagram blok akhir dari penguat daya RF yang dirancang.

Rangkaian lengkap penguat daya *RF* hasil rancangan diperlihatkan pada gambar 3.2.

**Perancangan Power Supply**

*Power supply* digunakan untuk memberikan tegangan dan arus searah yang dibutuhkan oleh rangkaian penguat. Perancangan *power supply* dimulai dengan menentukan daya masukan searah, dan arus searah minimal yang dibutuhkan oleh rangkaian penguat.

Efisiensi penguat daya kelas A maksimal adalah 50 %, sedangkan efisiensi penguat mode campuran kelas C maksimal adalah 70 % (Krauss et al, 1990). Oleh karena itu, daya masukan searah minimal yang dibutuhkan oleh rangkaian penguat dihitung sebagai berikut:

1. Daya searah minimal penguat I adalah 2 x 20 mW.
2. Daya searah minimal penguat II adalah 1,43 x 150 mW.
3. Daya searah minimal penguat III adalah 1,43 x 1000 mW.

Total daya masukan searah minimal ( $P_{i-min}$ ) yang dibutuhkan adalah;

$$P_{i-min} = (2 \times 20) + (1,43 \times 150) + (1,43 \times 1000) = 1680 \text{ mW}$$

atau 1,68 W. Pada tegangan catu 12 V, arus minimal ( $I_{dc-min}$ ) yang harus dapat diberikan oleh catu daya adalah 0,14 A.

**REALISASI**

**Pembuatan Induktor**

Induktor yang dibuat adalah induktor satu lapis dengan inti udara. Persamaan yang digunakan adalah

$$L = \frac{0,39r^2n^2}{9r + 10p}$$

Karena nilai induktansi merupakan fungsi dari beberapa parameter (*n*, *r*, dan *p*), maka untuk memperoleh induktansi yang diinginkan dan mudah

direalisasikan, langkah-langkah yang dilakukan adalah:

1. Menentukan diameter kawat email.
2. Menentukan diameter induktor.
3. Menentukan induktansi untuk setiap jumlah lilitan pada beberapa variasi parameter.
4. Memilih jumlah lilitan, diameter lilitan, dan diameter kawat email dengan induktansi yang diharapkan.

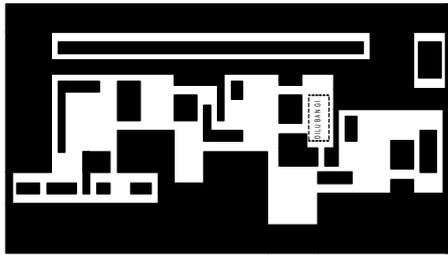
Untuk mengurangi perbedaan nilai induktansi yang dipilih dengan induktansi yang diinginkan, maka diameter kawat email dan radius induktor yang digunakan bervariasi. Diameter kawat email yang dipilih adalah: 0,5 mm; 0,85 mm; dan 1 mm. Diameter induktor yang dipilih adalah 5 mm dan 10 mm.

**Pembuatan jalur PCB**

*PCB* yang digunakan adalah *PCB* satu lapis (*single layer*) dengan ukuran 71 x 196 mm. Beberapa pertimbangan yang diperhatikan dalam pembuatan jalur *PCB* adalah:

1. Jarak antar komponen tidak terlalu dekat, agar komponen yang digunakan tidak saling mempengaruhi.
2. Susunan tingkatan penguat dibuat berurutan, agar mudah membedakan antar tingkat penguat dan untuk memudahkan pengecekan apabila terjadi kerusakan.
3. Induktor-induktor yang berdekatan tidak dipasang sejajar, untuk meminimalkan kopling magnetik yang ditimbulkan antar induktor.
4. Jalur penghubung antar komponen tidak terlalu panjang, untuk meminimalkan kehadiran resistansi, kapasitansi, dan induktansi liar.

Pola jalur *PCB* hasil rancangan ditunjukkan pada gambar 4.1.



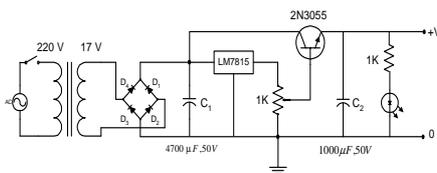
Gambar 4.1. Pola jalur PCB hasil rancangan.

### Pemasangan Komponen pada PCB

Pemasangan komponen pada PCB dimulai dengan komponen-komponen yang berukuran kecil, kemudian diikuti dengan komponen-komponen yang berukuran besar. Penghantar yang terdapat pada setiap komponen dipotong sependek mungkin, untuk meminimalkan adanya resistansi, kapasitansi, dan induktansi liar yang dapat ditimbulkan. Transistor pada penguat II dan penguat III diberi pendingin untuk menyerap panas yang ditimbulkannya.

### Realisasi Power Supply

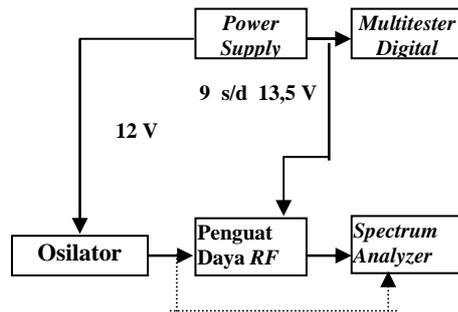
Power supply harus mampu mengeluarkan daya minimal 1,68 W. Untuk memenuhi hal itu, catu daya DC yang direalisasikan ditunjukkan pada gambar 4.2.



Gambar 4.2. Rangkaian power supply hasil rancangan.

### PENGUJIAN

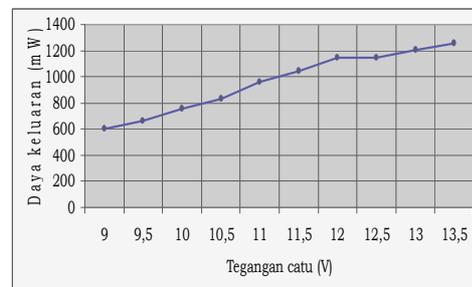
Skema pengujian yang dilakukan ditunjukkan pada gambar 5.1.



Gambar 5.1. Skema pengujian yang dilakukan

### Daya Keluaran Penguat Daya RF terhadap Tegangan Catu

Penguat daya RF dirancang pada tegangan catu 12 V, sehingga penalaan rangkaian resonansi dan jaringan penyesuai impedansi dilakukan pada tegangan catu 12 V. Sinyal masukan penguat daya RF diambil dari keluaran osilator pada frekuensi dasar 100 MHz. Variasi tegangan catu dimulai dari 12 V kemudian diturunkan tiap 0,5 V sampai tegangan catu 9 V. Kemudian dari 12 V dinaikkan tiap 0,5 V sampai tegangan catu 13,5 V. Penalaan rangkaian hanya dilakukan pada tegangan catu 12 V dan tidak dilakukan pada setiap variasi tegangan catu. Hal ini dimaksudkan agar resistansi beban yang dilihat dari kaki kolektor tiap tingkatan penguat adalah tetap. Grafik daya keluaran maksimal terhadap tegangan catu diberikan pada gambar 5.2.



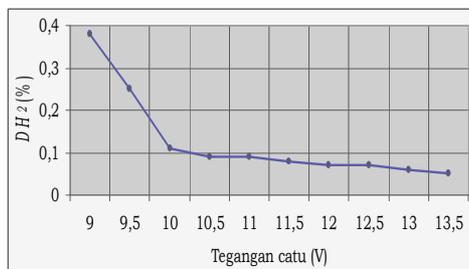
Gambar 5.2. Grafik daya keluaran maksimal penguat daya RF terhadap tegangan catu.

Daya keluaran sebesar 1000 mW atau resistansi beban kolektor  $72\Omega$

dapat diperoleh dengan cara melakukan penalaan kapasitor variabel pada jaringan penyesuai impedansi keluaran penguat III.

Distorsi harmonik penguat daya *RF* digunakan untuk menyatakan perbandingan daya frekuensi harmonisa terhadap daya frekuensi dasar. Frekuensi harmonisa akan selalu muncul pada keluaran suatu penguat karena tidak ada penguat yang murni linier. Selain itu, munculnya frekuensi harmonisa juga disebabkan oleh adanya frekuensi harmonisa dari sinyal yang diinginkan pada bagian masukan penguat daya *RF*. Harmonisa-harmonisa yang muncul pada keluaran penguat daya *RF* tidak dapat dihilangkan, akan tetapi dapat ditekan sekecil mungkin dengan menggunakan rangkaian filter peredam harmonik. Filter peredam harmonik ini dapat berupa jaringan penyesuai impedansi.

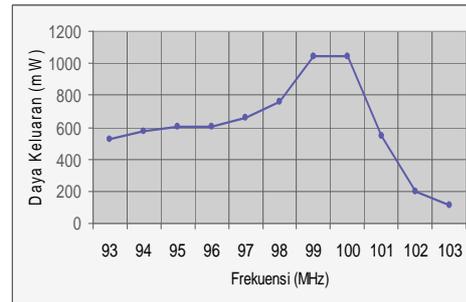
Grafik distorsi harmonik kedua terhadap tegangan catu diberikan pada gambar 5.3.



Gambar 5.3. Grafik distorsi harmonik kedua penguat daya *RF* terhadap tegangan catu.

### Daya Keluaran Penguat Daya *RF* terhadap Frekuensi Masukan

Grafik daya keluaran penguat daya *RF* terhadap frekuensi masukan pada tegangan catu 12 V diberikan pada gambar 5.4.



Gambar 5.4. Grafik daya keluaran penguat daya *RF* terhadap frekuensi masukan

Grafik daya keluaran penguat daya *RF* terhadap frekuensi masukan digunakan untuk menunjukkan bahwa rangkaian resonansi pada penguat daya *RF* dapat bekerja sebagaimana mestinya. Penguat daya *RF* dirancang untuk dioperasikan pada frekuensi 100 MHz, dan dari data yang diperoleh diketahui bahwa penguat daya *RF* beresonansi pada frekuensi 99 sampai 100 MHz, sedangkan untuk frekuensi-frekuensi diatas dan dibawahnya, daya keluaran menurun cukup tajam. Pada frekuensi resonansi, impedansi rangkaian resonansi yang dilihat adalah nyata murni (nilai impedansi minimal) sehingga daya yang dilewatkan adalah daya maksimal yang dihasilkan. Untuk frekuensi diatas dan dibawahnya, impedansi rangkaian resonansi yang dilihat mempunyai komponen-komponen reaktif sehingga akan terjadi penurunan daya keluaran.

### Kesimpulan

Berdasarkan pengujian yang dilakukan pada penguat daya *RF*, penulis mengambil kesimpulan sebagai berikut:

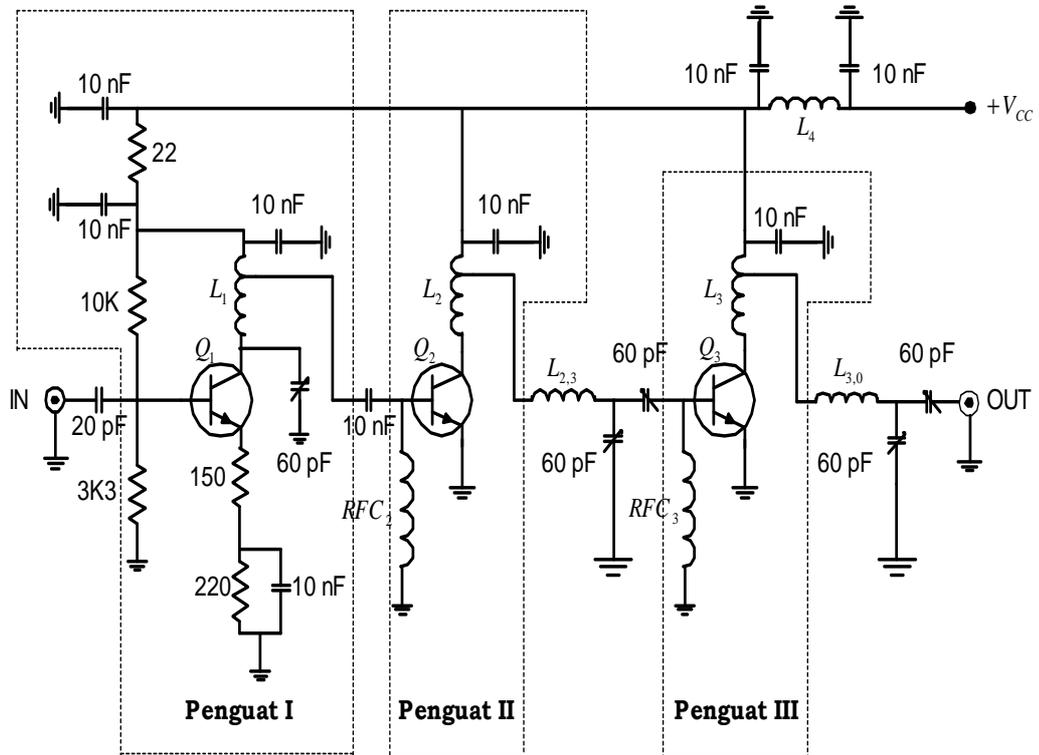
1. Penguat daya *RF* yang dirancang dapat digunakan untuk menguatkan sinyal 100 MHz, karena dengan daya masukan 0,40 mW penguat daya *RF* mampu menghasilkan daya keluaran 1000 mW.
2. Pada tegangan catu 12 V, daya keluaran maksimal 1148,15 mW, distorsi harmonik kedua 0,07%,

lebar pita 8 MHz, dan tingkat sinyal jauh lebih besar dari tingkat derau.

3. Distorsi harmonik kedua yang dihasilkan akan semakin kecil dengan bertambahnya tegangan catu. Nilai terkecil distorsi harmonik kedua adalah 0,05 % pada tegangan catu 13,5 V; sedangkan nilai terbesar distorsi harmonik kedua adalah 0,39 % pada tegangan catu 9 V.
4. Derau yang dihasilkan oleh penguat daya *RF* tidak dapat diamati, dan hal ini menunjukkan bahwa derau yang dihasilkan adalah sangat kecil dibandingkan dengan sinyal yang diinginkan (100 MHz).

#### **Daftar Pustaka**

1. Wedlock, B. D., dan Roberge, J. K., *Elektronik Components and Measurement*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J., 1969.
2. Purdie, I., *Small Signal Amplifier*, www.electronics-tutorials.com, 2002.
3. Purdie, I., *Emitter Degeneration*, www.electronics-tutorials.com, 2002.
4. Krauss, H. L., Bostian, C. W., Raab, F. H., *Teknik Radio Benda Padat*, UI-Press, Jakarta, 1990.
5. Hejhall, R., *Motorola Semikonduktor Application Note: Systemizing RF Power Amplifier Design*, Motorola, Inc., 1993.
6. Becciolini, B., *Motorola Semikonduktor Application Note: Impedance Matching Networks Applied to RF Power Transistors*, Motorola, Inc., 1993.



Gambar 3.2. Rangkaian lengkap penguat daya RF hasil rancangan.

Keterangan:

$Q_1 = 2SC2053$	$L_1 = 0,159 \mu H$	$L_{2,3} = 0,058 \mu H$	$RFC_2 = 0,672 \mu H$
$Q_2 = 2SC2053$	$L_2 = 0,068 \mu H$	$L_{3,0} = 0,139 \mu H$	$RFC_3 = 0,672 \mu H$
$Q_3 = 2SC1970$	$L_3 = 0,066 \mu H$		