

# Pemancar Modulasi Frekuensi dengan Modul GRF-3300

Budihardja Murtianta<sup>1</sup>, Deddy Susilo<sup>2</sup>, Rizky Salenda<sup>3</sup>

Program Studi Teknik Elektro,  
Fakultas Teknik Elektronika dan Komputer,  
Universitas Kristen Satya Wacana, Salatiga  
<sup>1</sup>budihardja.murtianta@staff.uksw.edu, <sup>2</sup>deddy.susilo@staff.uksw.edu,  
<sup>3</sup>612011053@students.uksw.edu

## Ringkasan

Dalam era teknologi telekomunikasi, sistem pemancar (*transmitter*) dan sistem penerima (*receiver*) merupakan hal yang sangat mendasar. Pada tulisan ini dibahas sistem pemancar yang berperan untuk mengirim suatu sinyal informasi. Pengiriman informasi bisa lewat beberapa media transmisi, seperti serat optik, *microwave*, udara dan sebagainya. Pemancar ini mengirimkan sinyal informasi lewat udara dan terdiri dari : *Modulator, mixer, PLL, preamplifier, attenuator*, penguat daya dan antena. Pada tulisan ini dijelaskan cara kerja prinsip dasar sistem pemancar dengan dengan modul GRF-3300. Penguat daya mempunyai faktor penguatan daya yang jauh lebih besar dari pada *preamplifier*. Sinyal informasi yang dikirim lewat pemancar akan diterima kembali seperti bentuk semula.

**Kata kunci:** *transmitter, mixer, modulator*

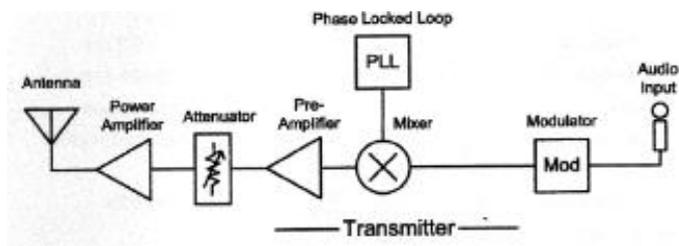
## 1. Pendahuluan

Teknik telekomunikasi merupakan salah satu cabang ilmu pengetahuan yang mempelajari cara pembangkitan, pengolahan, penyaluran, dan penyebaran data atau informasi menggunakan media kabel (*wire*) atau tanpa kabel (*wireless*) untuk jarak jauh. Di era sekarang ini, telekomunikasi merupakan hal yang sangat dekat dengan manusia, dikarenakan mobilitas masyarakat yang berpindah-pindah ke tempat yang jauh. Dengan alasan itu, perkembangan teknik telekomunikasi saat ini terbilang laku dipasaran, oleh karenanya banyak orang yang tertarik untuk mempelajari lebih lagi mengenai teknik telekomunikasi. Pada tulisan ini akan dibahas tentang pemancar modulasi frekuensi dengan modul GRF-3300 yang merupakan salah satu alat untuk menganalisa bagian *transmitter* dan *receiver* frekuensi tinggi pada aplikasi nirkabel. Meski begitu, aplikasi *transmitter* tidaklah mudah untuk dimengerti begitu saja, perlu adanya penjelasan yang lebih mendalam akan bagian-bagian dari sebuah struktur sistem pemancar. Pada tulisan ini akan dijelaskan prinsip kerja dan komponen yang digunakan pada bagian-bagian dari sebuah sistem pemancar sehingga bisa membantu menjelaskan hal-hal terkait pada sebuah *transmitter*.

## 2. Dasar Teori

Pemancar (*Transmitter*) adalah sebuah alat untuk memancarkan suatu sinyal. Cara kerja pemancar secara sederhana yaitu menguatkan dan memodulasikan sinyal masukan

lalu dialirkan ke antenna untuk di ubah menjadi gelombang elektromagnetik. Parameter dari sebuah pemancar berupa : Rentang frekuensi, daya, efisiensi, dan derau. Struktur dasar transmisi ini berupa : Masukan, *Modulator*, *PLL*, *preamplifier*, penguat daya dan antenna pemancar. Pada Gambar 1 adalah bagan kotak pemancar modul GRF-3300. *Modulator* berfungsi untuk memodulasikan frekuensi sinyal masukan menjadi frekuensi sinyal yang tepat. *Mixer* bertugas untuk mentransformasikan beberapa frekuensi. *PLL* (*Phase Lock Loop*) dipakai untuk menghasilkan frekuensi sinyal keluaran yang diinginkan dari frekuensi sinyal masukan. *Preamplifier* berfungsi sebagai penguat sinyal sebelum masuk *attenuator*. *Attenuator* merupakan komponen *RF* yang melemahkan aras sinyal. Penguat daya adalah penguat akhir sebelum dipancarkan lewat antenna.



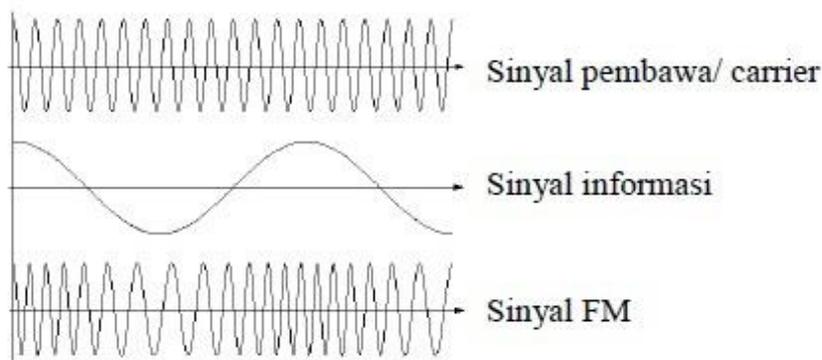
Gambar 1. Bagan kotak pemancar [1]

### 3. Bagian-Bagian Pemancar

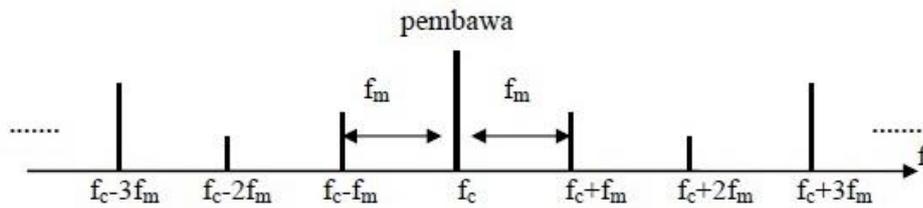
Pada bagian ini akan dijelaskan bagian-bagian pembentuk pemancar dan fungsi dari tiap-tiap bagian. Selain itu juga diberikan rangkaian dari tiap bagian tersebut. Pemancar yang dibahas ini berupa modulasi frekuensi dan terdiri dari: *modulator*, *mixer*, *PLL*, *preamplifier*, *attenuator*, penguat daya dan antenna. Gambar bagan kotak pemancar dapat dilihat pada Gambar 1.

#### 3.1. Modulator

Fungsi *modulator* adalah untuk memodulasikan isyarat pembawa dengan frekuensi tinggi oleh isyarat informasi dengan frekuensi rendah. Tujuan utama modulasi adalah untuk membawa isyarat informasi yang mempunyai frekuensi rendah ke frekuensi tinggi tertentu sehingga tidak terjadi interferensi antara isyarat-isyarat dengan frekuensi rendah. Proses Modulasi Frekuensi (*Frequency Modulation, FM*) ditunjukkan pada Gambar 2 dan spektrum frekuensi ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 2. Proses Modulasi Frekuensi[2]



Gambar 3. Spektrum sinyal Modulasi Frekuensi[2]

Persamaan sinyal *FM* dapat dituliskan sebagai berikut:

$$E_{fm} = E_c \sin(\omega_c t + m_f \sin \omega_m t) \quad (1)$$

dimana,

$E_{fm}$  = nilai sesaat sinyal *FM*

$E_c$  = amplituda maksimum sinyal pembawa

$\omega_c = 2\pi f_c$  dengan  $f_c$  adalah frekuensi sinyal pembawa

$\omega_m = 2\pi f_m$  dengan  $f_m$  adalah frekuensi sinyal pemodulasi

Pada modulasi frekuensi kita mengenal istilah indeks modulasi ( $m_f$ ). Indeks modulasi ini didefinisikan sebagai perbandingan antara simpangan frekuensi maksimum dengan frekuensi sinyal pemodulasi, dengan persamaan seperti berikut ini:

$$m_f = \Delta f / f_m \quad (2)$$

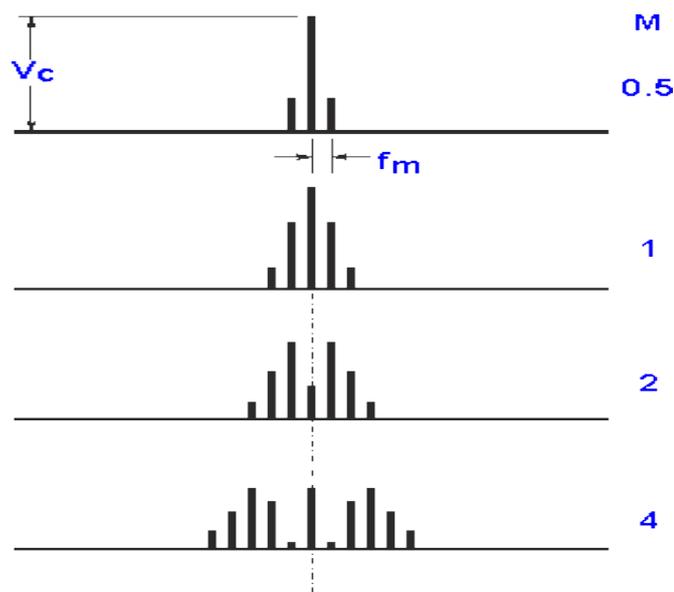
dimana,

$m_f$  = indeks modulasi frekuensi

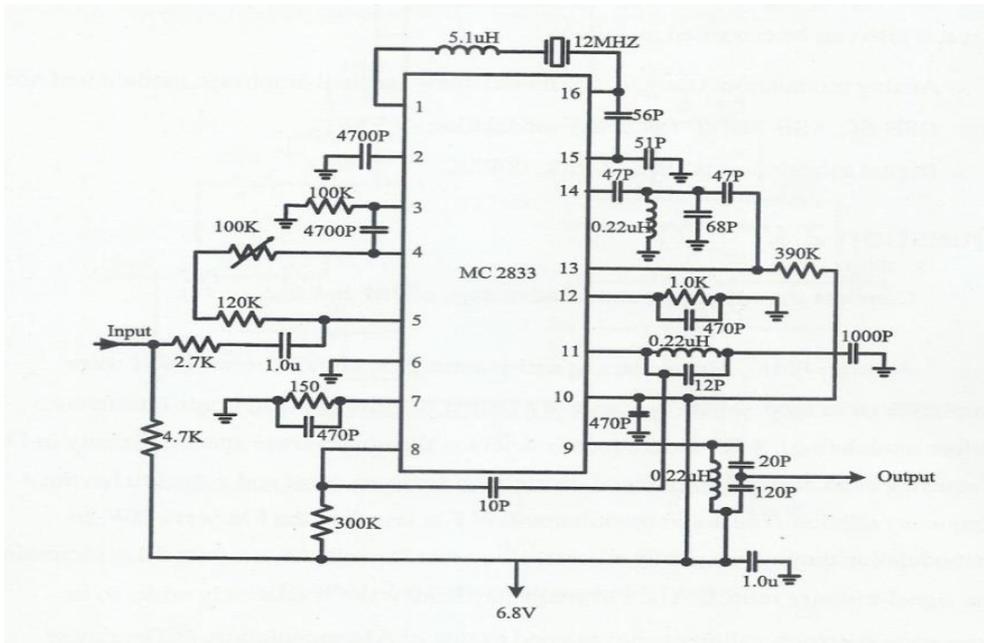
$\Delta f$  = deviasi frekuensi

$f_m$  = frekuensi sinyal pemodulasi

Gambar 4 menunjukkan spektrum sinyal Modulasi Frekuensi dengan indeks modulasi ( $m_f$ ) yang divariasikan dari 0,5 sampai 4. Gambar 5 adalah rangkaian *modulator* yang dipergunakan.



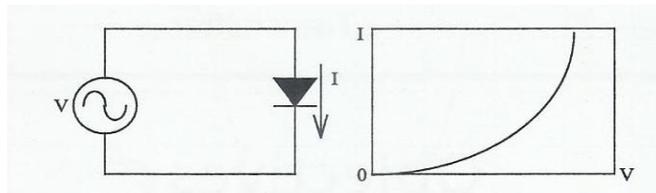
Gambar 4. Spektrum sinyal Modulasi Frekuensi dengan  $m_f$  berbeda[2]



Gambar 5. Rangkaian modulator[1]

### 3.2. Mixer

Tujuan dari sebuah *mixer* adalah untuk mentransformasikan frekuensi. Sebagai contoh dalam sebuah sistem penerima, sebuah sinyal *RF* akan dialihkan ke dalam sinyal *intermediate* untuk ditangani dalam rangkaian pita dasar. Dalam sistem pengirim sinyal pita dasar dialihkan ke sinyal *RF* dan dikirim lewat antena, didorong oleh penguat daya. Sebuah *mixer* menggunakan komponen *non-linier* untuk mendapatkan efek transformasi frekuensi yang persis untuk rangkaian diode, dimana tegangan-arus *DC* mempunyai karakteristik *non-linier* yang ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Tegangan DC – arus diode

Hubungan ini bisa dinyatakan dengan penjelasan Taylor :[2]

$$I = a_0 + a_1V + a_2V^2 + a_3V^3 + a_4V^4 + \dots \quad (3)$$

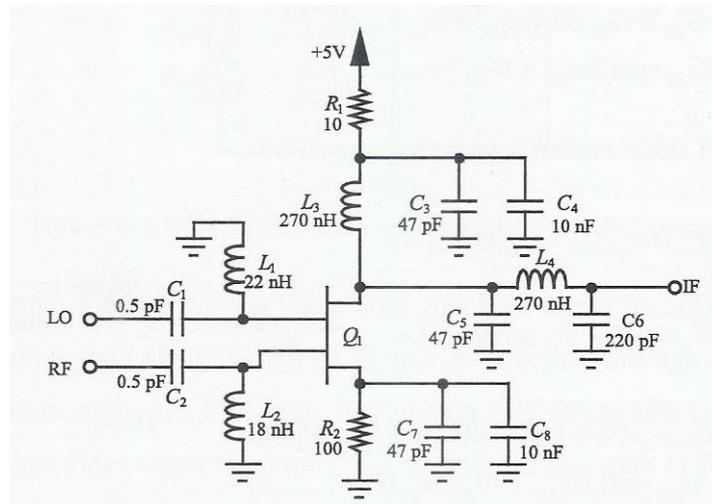
Jika frekuensi masukan adalah  $\omega_1$  dan  $\omega_2$ , maka frekuensi keluaran akan menjadi  $\pm n\omega_1$  atau  $\pm n\omega_2$ . Persamaan dibawah ini mengilustrasikan hubungan antara  $\omega_1$  dan  $\omega_2$ .

$$V = A_1 \cos(\omega_1 t) + A_2 \cos(\omega_2 t) \quad (4)$$

Maka

$$\begin{aligned} I = & a_0 + a_1\{A_1 \cos(\omega_1 t) + A_2 \cos(\omega_2 t)\} \\ & + a_2\{[A_1^2 \cos^2(\omega_1 t) + A_2^2 \cos^2(\omega_2 t) \\ & + A_1 A_2 [\cos((\omega_1 + \omega_2)t) + \cos((\omega_1 - \omega_2)t)]]\} + \dots \end{aligned} \quad (5)$$

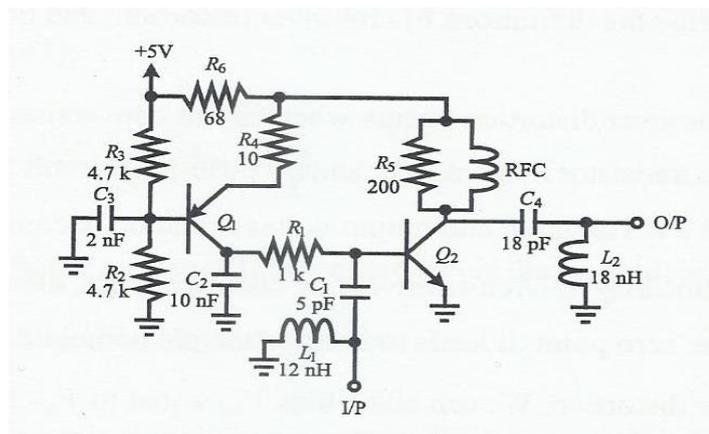
Persamaan di atas termasuk semua elemen frekuensi dari sinyal keluaran dalam komponen *non-linier* orde kedua. Gambar 7 menunjukkan diagram rangkaian nyata dari *mixer dual gate FET*. Model *dual gate FET* adalah 3SK241.  $R_1$  dan  $R_2$  adalah resistor *bias*,  $C_3$ ,  $C_4$ ,  $C_7$ , dan  $C_8$  adalah kapasitor *bypass*,  $L_3$  adalah induktor *choke* RF,  $C_5$ ,  $L_4$ , dan  $C_6$  adalah *low pass filter* IF.



Gambar 7. Diagram rangkaian dari 900 MHz *mixer dual gate FET*[1]

### 3.3. Preamplifier

*Preamplifier* adalah rangkaian *driver stage* dari penguat daya. Tujuan dari *preamplifier* adalah untuk meningkatkan amplitudo tegangan sinyal RF. Penguatan tegangan pada *preamplifier* lebih diutamakan dari pada penguatan daya. Setelah sinyal frekuensi menengah di transformasikan ke sinyal RF, penguat daya mengirim sinyal RF untuk ditransmisikan melalui antena. Gambar 8 berikut adalah rangkaian *preamplifier*.



Gambar 8. Diagram rangkaian dari *preamplifier active-bias*[1]

$R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$ ,  $R_6$ , dan BJT  $Q_1$  meliputi rangkaian aktif-bias untuk BJT  $Q_2$ ; kapasitor  $C_1$  dan induktor  $L_1$  adalah *input matching network*; kapasitor  $C_4$  dan induktor  $L_2$  adalah *output matching network*. RFC (*Radio Frequency Choke*) biasa terdapat pada penguat frekuensi tinggi yang berfungsi sebagai peredam frekuensi tinggi yang dihasilkan oleh osilator dan penguat frekuensi tinggi sehingga dapat mencegah timbulnya RFI (*Radio Frequency Interference*) yang dapat menginterferensi perangkat lain.[3]

### 3.4. Attenuator

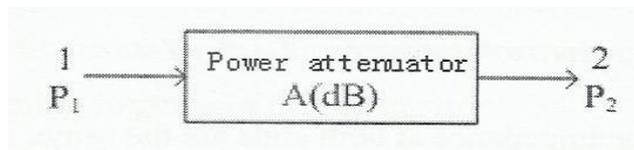
Sebuah *attenuator* daya adalah sebuah komponen *RF* yang melemahkan energi. Resistor adalah contoh dari *attenuator* sederhana, dan jaringan atenuasi dibentuk dari beberapa resistor disebut *sum parameter attenuator*. Kegunaan *attenuator* di sini yaitu :

- a. Pengatur tingkat daya – memperoleh *noise figure* optimal dan rugi-rugi konversi frekuensi dari pengaturan daya keluaran akan osilasi lokal dalam penerima.
- b. Perangkat pemisah – memisahkan osilator dan beban.

Sebuah *attenuator* bisa digambarkan seperti jaringan dua *port* tanpa memperdulikan mekanisme dan struktur, seperti pada Gambar 9.  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $A(\text{dB})$  berdiri sebagai daya sinyal masukan, daya sinyal keluaran, atenuasi daya, secara berurutan. Jika  $P_1$  dan  $P_2$  dinyatakan dalam satuan dBm, maka relasi secara keseluruhan dapat digambarkan sebagai berikut :

$$P_2(\text{dBm}) = P_1(\text{dBm}) - A(\text{dB}) \quad (6)$$

$$A(\text{dB}) = 10 \log \frac{P_2(\text{mW})}{P_1(\text{mW})} \quad (7)$$



Gambar 9. Attenuator daya

### 3.5. Penguat Daya

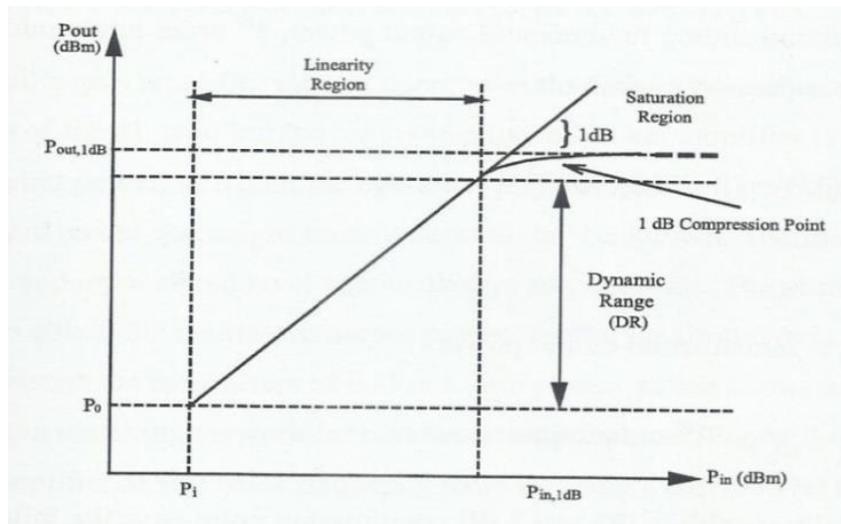
Dalam aplikasi komunikasi tanpa kabel (*wireless*), linearitas dan efisiensi adalah hal utama dari penguat daya. Linearitas menentukan kualitas keluaran sinyal. Efisiensi menentukan daya baterai dan waktu siaga komunikasi. Linearitas dan efisiensi adalah *trade-off*, jadi kita perlu menjaga keseimbangan untuk memenuhi keluaran yang optimum. Linearitas yang baik dihasilkan oleh penguat kelas A sedang efisiensi yang baik dihasilkan oleh penguat kelas C. Titik kompresi 1dB menunjukkan penguatan daya batas atas untuk komponen aktif. Dalam titik-titik tertentu, sebagai hasil komponen aktif yang terkena dampak dari linearitas, power gain menjadi lebih rendah dari linearitas sinyal kecil power gain ( $G_o$ ) dari 1 dB. Kita gunakan  $G_{1dB}$  untuk mengindikasikan 1 dB poin kompresi. Hubungan antara linearitas power gain adalah :

$$G_{1dB} = G_o (\text{dB}) - 1 \quad (8)$$

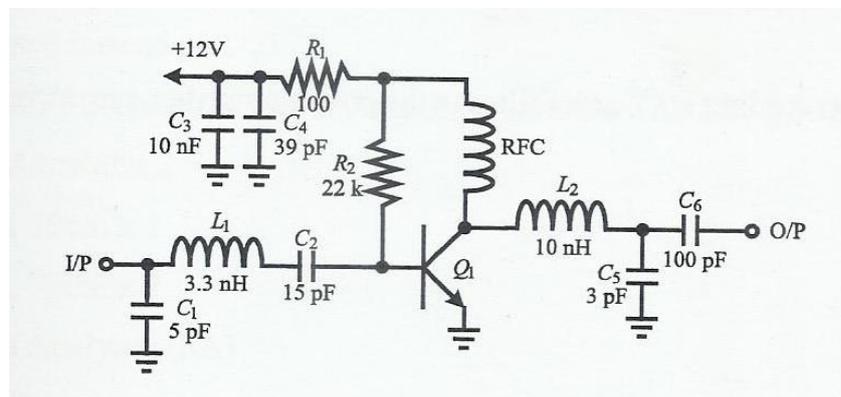
$$G_{pw} = P_{out} / P_{in} \quad (9)$$

Ekspresi dalam dB adalah  $P_{out} (\text{dBm}) = G_{pw} (\text{dB}) + P_{in} (\text{dBm})$ . Gambar 10 menunjukkan diagram karakteristik  $P_{out}$  dan  $P_{in}$ .

Tujuan utama penguat daya adalah memperoleh daya keluaran maksimal sehingga bati daya lebih utama dari pada bati tegangan dan penguat daya menggunakan kelas C agar efisien. Gambar 11 menunjukkan 100 mW penguat daya di 900 MHz pita frekuensi dengan menggunakan BFG540 BJT.  $R_1$ ,  $R_2$ , adalah resistor bias untuk BJT Q1; kapasitor  $C_1$ ,  $C_2$  dan induktor  $L_1$  adalah input matching network; kapasitor  $C_5$ ,  $C_6$  dan induktor  $L_2$ , adalah output matching network;  $C_3$ ,  $C_4$  adalah kapasitor bypass. Beberapa sistem meminta daya 2nd order harmonics harus lebih rendah 30 dB dari daya fundamental. Jadi, kita mungkin membutuhkan untuk merancang sebuah filter 2ndorder harmonics untuk meningkatkan perbandingan antara fundamental dan harmonisa.



Gambar 10. Definisi dan jarak dinamik dari 1 dB titik kompresi[2]

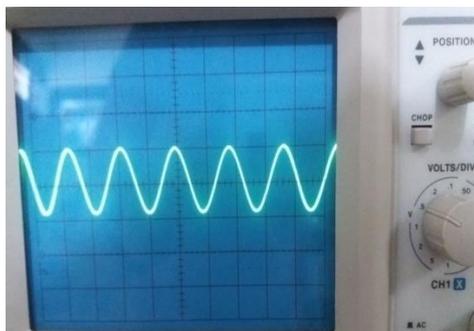


Gambar 11. Diagram rangkaian penguat daya 100 mW[1]

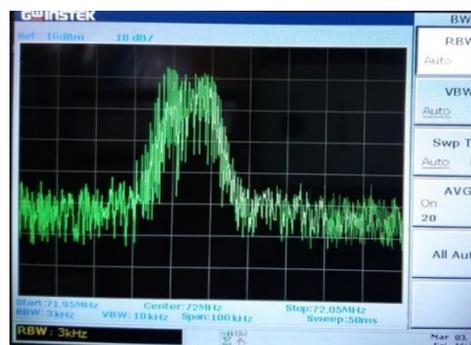
## 4. Hasil Pengukuran

### 4.1. Modulator

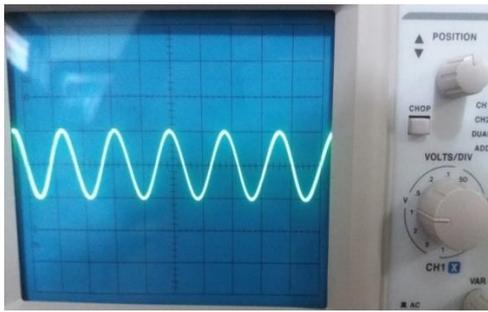
Dari hasil pengukuran (Gambar 12, 13, 14 & 15) tampak bahwa dengan perubahan amplitudo pada masukan akan mempengaruhi lebar pita pada keluaran, dimana lebar pita pada amplitudo  $1000\text{mV}_p$  lebih besar dibanding amplitudo  $500\text{mV}_p$ . Semakin besar amplitudo masukan akan menyebabkan semakin lebar lebar pita frekuensinya.



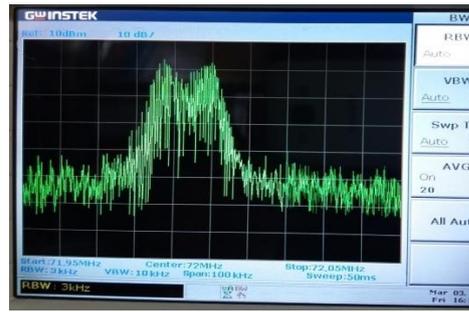
Gambar 12. Masukan  $500\text{mV}_p$



Gambar 13. Keluaran  $500\text{mV}$



Gambar 14. Masukan 1000mV<sub>p</sub>



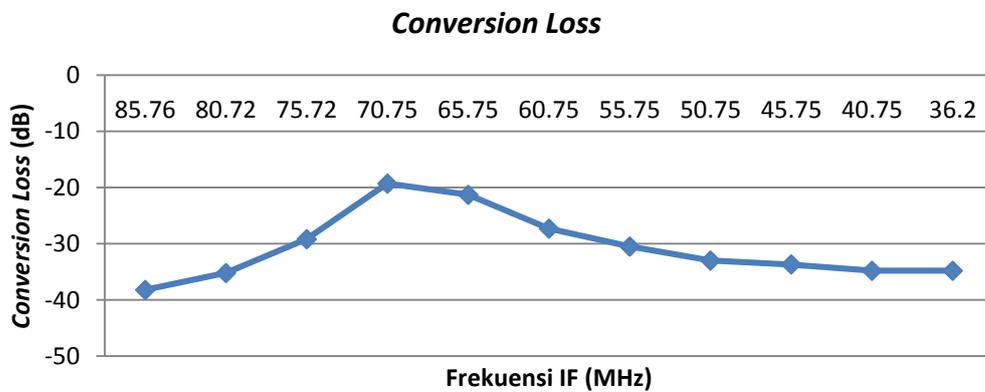
Gambar 15. Keluaran 1000mV<sub>p</sub>

#### 4.2. Mixer

Dari Tabel 1 bisa kita lihat bahwa *mixer* ini merupakan jenis *down mixer* yakni frekuensi pada *port IF (Intermediate Frequency)* dihasilkan dari frekuensi selisih antara frekuensi *LO* dan *RF*. Pada pengukuran *conversion loss* puncaknya berada pada frekuensi  $\pm 70.75$  MHz. Artinya frekuensi tersebut yang dilewatkan oleh bagian *IF*, sedang selain frekuensi tersebut akan diredam. Jadi dalam hal ini frekuensi pembawa  $f_1 = 809.3$  MHz yang diterima.

Tabel 1. Hasil *mixer*

f <sub>1</sub> (RF) (MHz)	f <sub>2</sub> (LO) (MHz)	Keluaran IF (MHz)	Daya IF (dBm)	Daya RF (dBm)	Conversion loss (dB)
794.3	880	85.76	-45.2	-7	-38.2
799.3	880	80.72	-42.2	-7	-35.2
804.3	880	75.72	-36.2	-7	-29.2
809.3	880	70.75	-26.3	-7	-19.3
814.3	880	65.75	-28.3	-7	-21.3
819.3	880	60.75	-34.3	-7	-27.3
824.3	880	55.75	-37.5	-7	-30.5
829.3	880	50.75	-40	-7	-33
834.3	880	45.75	-40.7	-7	-33.7
839.3	880	40.75	-41.8	-7	-34.8
844.3	880	36.2	-41.8	-7	-34.8



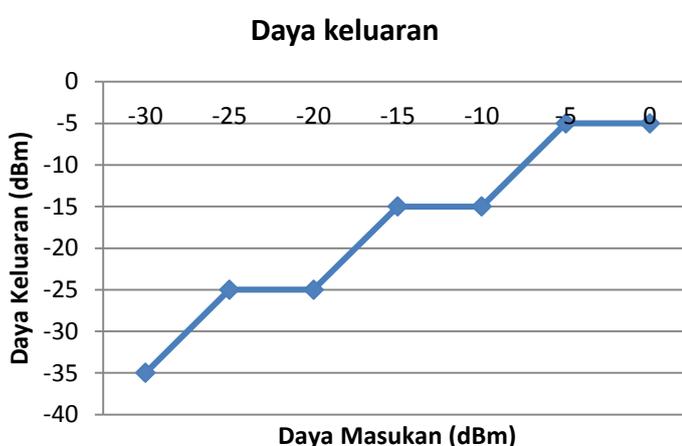
Gambar 16. Grafik *conversion loss*

### 4.3. Preamplifier

Untuk masukan yang terlalu kecil tampak penguatan *preamplifier* belum stabil dan untuk masukan minimal -25 dB penguatan daya *preamplifier* adalah 15 dB atau 31,6 kali

Tabel 2. Hasil *preamplifier*

Masukan atur (dBm)	<-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0
Masukan Terbaca (dBm)	-45	-45	-40	-40	-30	-30	-20	-20
Keluaran Terbaca (dBm)	-45	-35	-25	-25	-15	-15	-5	-5
Gain (dB)	0	10	15	15	15	15	15	15



Gambar 17. Grafik hasil *preamplifier*

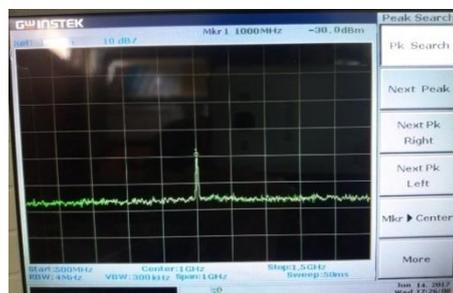
### 4.4. Attenuator

Dengan memberikan masukan dan mengukur hasil keluaran pada *attenuator* 10dB, 5dB dan 3 dB memberikan hasil pelemahan masing-masing sebesar 11,2 dB, 6dB dan 4,1dB. Jadi hasil pada percobaan ini ada perbedaan pelemahan sekitar 1 dB. Hal ini dapat disebabkan penggunaan konektor, *junper* atau kabel yang mempunyai pelemahan 1 dB.

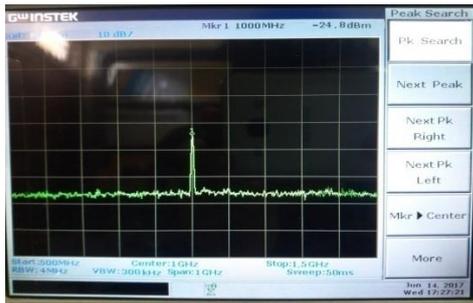
Masukan : -18,8 dBm



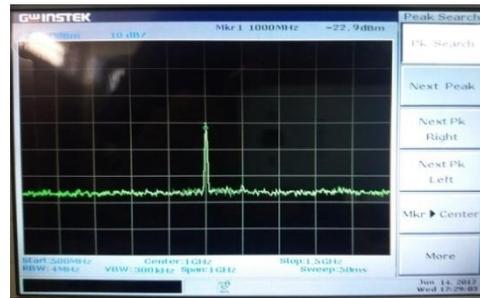
Gambar 18. Masukan *attenuator* = -18,8 dBm



Gambar 19. Keluaran *attenuator* 10dBm = - 30dB  
 Hasil A = -30dB - (-18,8dB) = - 11,2 dB



Gambar 20. Keluaran *attenuator* 5dBm = -24,8dB  
 Hasil A = -24,8dB - (-18,8dB) = - 6 dB



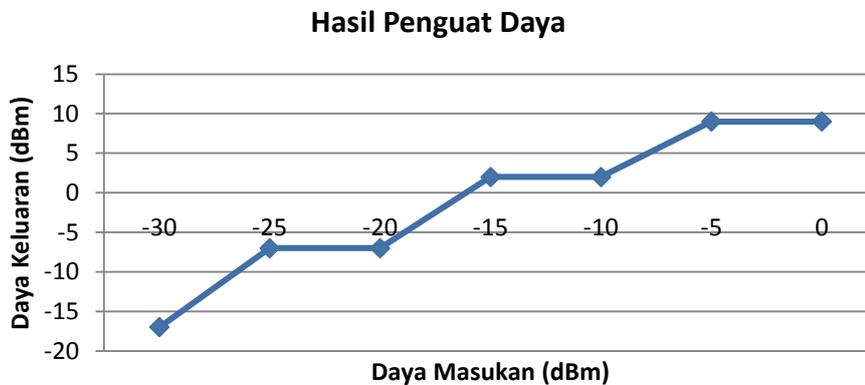
Gambar 21. Keluaran *attenuator* 3dBm = -22,9dB  
 Hasil A = -22,9dB - (-18,8dB) = - 4,1 dB

#### 4.1.5. Penguat Daya

Untuk masukan yang relatif kecil maupun besar penguatan dari penguat daya ini cukup satabil. Dari Tabel 3 dapat dilihat penguatan dari penguat daya ini sekitar 31 dB atau sebesar 1259 kali.

Tabel 3. Hasil penguat daya

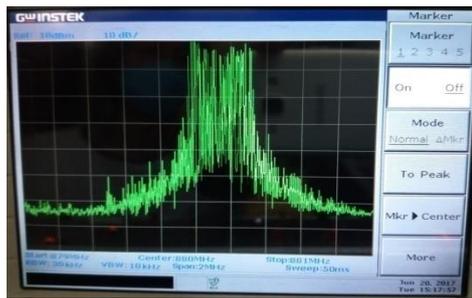
Masukan atur (dBm)	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0
Masukan terbaca (dBm)	-50	-50	-40	-40	-30	-30	-20	-20
Keluaran terbaca (dBm)	-18	-18	-8	-8	1	1	10	10
Gain (dB)	32	32	32	32	31	31	30	30



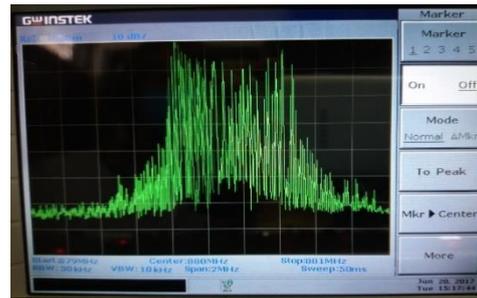
Gambar 22. Grafik hasil penguat daya

#### 4.6. Transmitter

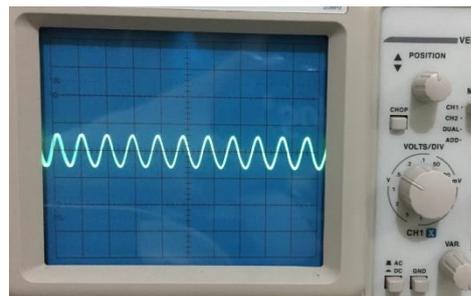
Pada modul *transmitter* ini, kita memberikan masukan berupa sinyal sinus dengan frekuensi 1 KHz dan amplitudo yang diubah. Dari Gambar 23 dan Gambar 24 terlihat hasil keluaran mirip dengan hasil modulasi, tapi pada modul *transmitter* ini lebih besar karena sudah melewati proses penguatan pada *preamplifier* dan penguat daya. Pada modul ini juga, kita akan melihat sinyal keluaran pada *receiver* setelah sinyal dikirim lewat *transmitter*. Dari Gambar 25 bisa kita lihat, sinyal keluaran *receiver* yang diamati lewat *osiloscope* memberikan hasil berupa gelombang sinus.



Gambar 23. Keluaran 500mV<sub>p</sub>



Gambar 24. Keluaran 1000mV<sub>p</sub>



Gambar 25. Keluaran dari receiver

## 5. Kesimpulan

1. Modulasi frekuensi mengubah frekuensi sinyal pembawa (*carrier*) mengikuti amplitudo pada sinyal masukan dimana kenaikan amplitudo sinyal masukan akan menyebabkan pelebaran spektrum frekuensi sinyal keluaran.
2. Pada percobaan *preamplifier* mendapatkan hasil penguatan sebesar  $\pm 15$  dB, atau 31,6 kali. Masukan pada *preamplifier* tidak boleh terlalu kecil karena akan memperoleh penguatan yang belum stabil. Pada percobaan penguat daya mendapatkan hasil penguatan sebesar  $\pm 31$  dB atau 1259 kali. Penguatan pada penguat daya untuk masukan relatif kecil maupun besar adalah cukup stabil. Rangkaian *preamplifier* dan penguat daya berfungsi dengan baik dan penguatan daya untuk penguat daya adalah jauh lebih besar dari pada *preamplifier*.
3. Rangkaian *attenuator* 10 dB mengalami atenuasi sebesar 11,2 dB, *attenuator* 5 dB mengalami atenuasi sebesar 6 dB, *attenuator* 3 dB mengalami atenuasi sebesar 4,1 dB. Berdasarkan hasil-hasil percobaan, sinyal keluaran mengalami tambahan atenuasi sekitar 1 dB yang bisa disebabkan pelemahan konektor, *jumper* atau kabel yang dipergunakan.
4. Sinyal keluaran *mixer* dihasilkan dari penjumlahan dan pengurangan antara frekuensi *LO* dan frekuensi *RF*, tapi karena dalam rangkaian menggunakan filter lewat bawah, maka frekuensi rendah yang dilewatkan. Pada percobaan *mixer* ini frekuensi pada keluaran sudah tepat, maka *mixer* sebagai selisih dua frekuensi masukan sudah berfungsi dengan baik.
5. Bentuk sinyal yang diterima *receiver* sesuai dengan sinyal informasi yang dikirim *transceiver*. Jadi sistem komunikasi ini sudah bekerja dengan baik.

## Daftar Pustaka

- [1] GWINSTEK, "RF Circuit Training System GRF-3300", Good Will Instrument Co., Ltd.

- [2] Krauss, L.H, Bostian,C.W, Raab,F.H, "Teknik Radio Benda Padat", UI-Press, Jakarta, 1990.
- [3] Shrader, Robert L, "Electronic Communication", McGraw-Hill Kogakusha, LTD, edisi ke - 4.