

PENGEMBANGAN PERANGKAT KERAS SISTEM MODULASI DIGITAL 8-QAM MENGGUNAKAN MODULASI FM

Yuli Christyono^{*)}, dan Yunianto Panji Nugroho

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jln. Prof. Sudharto, Tembalang, Semarang, Indonesia

^{*)} E-mail : mrjully@gmail.com

Abstrak

Quadrature Amplitude Modulation merupakan salah satu modulasi digital yang menumpangkan sinyal informasi berupa data biner ke sinyal pembawa berupa sinyal sinusoidal. Teknik modulasi ini memanfaatkan perubahan fase dan amplitudo sinyal pembawa dengan frekuensi tetap. Modulasi QAM terbagi lagi menjadi beberapa jenis antara lain 8-QAM, 16-QAM, 64-QAM dan seterusnya. Pengelompokan ini didasarkan atas banyaknya bit dalam satu symbol. Pada sistem modulasi 8-QAM satu simbol merepresentasikan data sebanyak tiga bit. Penelitian ini mengembangkan penelitian yang terdahulu sehingga pengiriman sinyal 8-QAM antara modulator dan demodulator dibuat menjadi sistem nirkabel. Pengiriman sinyal 8-QAM ini menggunakan modulasi frekuensi. Modulator FM diatur bekerja pada frekuensi 87 MHz sehingga tidak mengganggu siaran radio dari pemancar-pemancar radio FM komersial. Modulasi frekuensi dipilih karena kelebihan dibandingkan dengan modulasi amplitudo dalam hal ketahanannya terhadap interferensi. Osilator pada bagian modulator juga dikembangkan menggunakan osilator kristal agar dapat menghasilkan sinyal dengan frekuensi yang stabil. Pada hasil pengujian, osilator kristal dapat menghasilkan sinyal dengan frekuensi 38 KHz dengan pergeseran frekuensi dibawah 1%. Pemancar FM bekerja stabil dengan frekuensi 87 MHz dan lebar pita sebesar 300 KHz. Penerima FM dapat menerima sinyal gabungan yang terdiri dari sinyal 8-QAM dan sinyal pembawa 19 KHz sesuai dengan yang dikirimkan pada bagian modulator.

Kata Kunci : Modulasi, 8-QAM, Transmisi FM

Abstract

Quadrature Amplitude Modulation is one type of digital modulation. This modulation technique uses phase and amplitude changing of carrier signal with constant frequency. There are many types of QAM such as 8-QAM, 16-QAM, 64-QAM etc. based on the number of bits in one symbol. On 8-QAM system, one symbol representate three bit data. This research is developing the previous research by changing the process of 8-QAM signal transmission between the modulator and demodulator into a wireless system. Transmitting of 8-QAM signal using frequency modulation system that works at 87 MHz so as not to interfere with commercial broadcasts radio. Modulation frequency was chosen because of its advantages compared with amplitude modulation in resistance to interference. The QAM modulator oscillator section is also developed by using crystal oscillator to generate a stable frequency. The testing result shows that there is delay time of 70 μ s between the modulator and demodulator caused by the accumulation of components and signal transmission by FM transmitter.

Keyword : Modulation, 8-QAM, FM Transmition.

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi informasi yang sangat cepat telah merubah metode pengiriman data yang semula serba analog menjadi sistem digital. Sistem digital dianggap memiliki banyak kelebihan dibandingkan sistem analog[5].

Salah satu cara menumpangkan data digital ke sinyal sinusoidal adalah dengan modulasi 8-QAM. Teknik

modulasi ini memanfaatkan perubahan amplitudo dan fasa pada sinyal pembawa pada pergantian simbol[1]. Perangkat keras 8-QAM yang ada pada laboratorium KPS (Komunikasi dan Pengolahan Sinyal) tidak menggunakan transmisi udara untuk mengirimkan sinyal 8-QAM dari modulator dan demodulatornya[7].

Perangkat keras 8-QAM hasil penelitian terdahulu terdiri dari dua bagian utama, yaitu modulator dan demodulator. Pada perangkat tersebut sinyal 8-QAM, serta sinyal

pembawa sinus dan cosinus yang dihasilkan oleh modulator dikirim ke bagian demodulator menggunakan media transmisi kabel. Sehingga pada proses pentransmisi sinyal tersebut hampir tidak ada kendala-kendala yang biasanya ditemui pada sistem pengiriman informasi dengan media tak terbimbing.

Oleh karena itu pada penelitian ini, perangkat keras 8-QAM tersebut dikembangkan lagi agar transmisi sinyal 8-QAM antara modulator dan demodulator dapat dikirimkan melalui media tak terbimbing yaitu udara. Pengiriman sinyal QAM tersebut menggunakan modulasi FM[3].

Salah satu hal yang harus diperhatikan dalam transmisi dengan media tak terbimbing adalah ukuran antena yang digunakan. Ukuran antena pada band VHF cukup memadai[8].

Adapun tujuan penelitian ini adalah :

1. Pengembangan modul 8-QAM
2. Perancangan modul 8-QAM dengan transmisi tak terbimbing.
3. Pengembangan transmisi sinyal 8-QAM

Agar tidak menyimpang jauh dari permasalahan, maka penelitian ini mempunyai batasan masalah sebagai berikut :

1. Sistem transmisi yang dibahas merupakan sistem transmisi FM.
2. Sistem komunikasi yang digunakan merupakan satu arah.
3. Sinyal informasi yang digunakan berupa sinyal digital yang dihasilkan pembangkit data acak dan tidak melibatkan variabel dari luar sistem.
4. Perancangan perangkat keras modulator dan demodulator 8-QAM serta penerima FM tidak dibahas secara mendetail.
5. Perangkat penerima FM tidak dibahas secara mendetail.

2. Metode

2.1. Komunikasi Radio

Sistem komunikasi radio merupakan sistem komunikasi yang tidak menggunakan kawat dalam proses perambatannya, melainkan menggunakan gelombang radio dengan udara atau ruang angkasa sebagai bahan penghantar. Secara garis besar sistem ini terdiri dari sebuah pemancar Tx yang memancarkan dayanya menggunakan antena ke arah tujuan. Pada penerima, gelombang elektromagnetik ini diterima oleh sebuah antena yang sesuai. Sinyal yang diterima kemudian diteruskan ke sebuah pesawat penerima Rx.

2.2. Modulasi

Modulasi dalam telekomunikasi berarti mengatur suatu parameter dari suatu sinyal pembawa yang memiliki

frekuensi tinggi dengan bantuan sinyal informasi yang berfrekuensi lebih rendah. Gelombang pembawa selalu berbentuk sinusoida.

2.3. Modulasi QAM

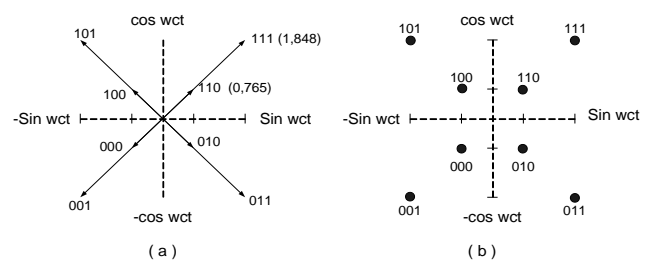
Pada modulasi amplitudo kuadratur atau *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM), modulasi yang dilakukan meliputi modulasi amplitudo dan modulasi fase atau dapat dikatakan merupakan gabungan ASK dan PSK. Bentuk modulasi ini sering disebut juga dengan *Amplitude Phase Keyed* (APK).

Bentuk sinyal M-ary QAM didefinisikan sebagai berikut :

$$S_1(t) = A \sin(\omega_c t + \theta_1) \quad (2.4)$$

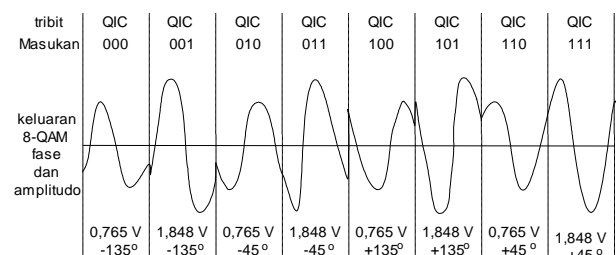
$$S_2(t) = A \cos \theta_1 \sin \omega_c t + A \sin \theta_1 \cos \omega_c t \quad (2.5)$$

Diagram fasor dan diagram konstelasi pada modulator 8-QAM dapat ditunjukkan pada Gambar 1. Hubungan sinyal keluaran 8-QAM terhadap waktu dapat ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 1. Modulator 8-QAM : (a) diagram fasor, (b) diagram konstelasi.

Pada modulator 8-QAM ada dua keluaran amplitudo dan empat fase yang mungkin terjadi.

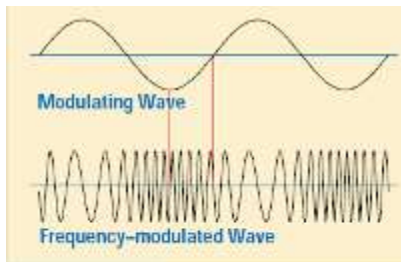


Gambar 2. Keluaran amplitudo dan fase terhadap waktu.

Laju pengiriman data merupakan salah satu hal yang penting dalam pentransmisi data digital. Pada sistem 8-QAM, laju data masukan dibagi menjadi 3 yaitu Q, I dan C yang masing-masing laju datanya $R/3$ (R = laju bit data). Setiap perubahan pada sinyal keluaran yang meliputi fase, amplitudo atau keduanya terjadi untuk setiap 3 bit data masukan sehingga baud (laju simbol/bit per detik) = $R/3$ sama dengan minimum lebar pitanya.

2.4. Modulasi Frekuensi

Modulasi Frekuensi adalah suatu bentuk modulasi dimana frekuensi sinyal pembawa divariasikan secara proposional berdasarkan amplitudo sinyal input dengan amplitudo sinyal pembawa tetap konstan. Sinyal pemodulasi digunakan untuk merubah frekuensi pembawa. Contoh dari modulasi frekuensi dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Modulasi frekuensi.

Dapat kita lihat bahwa frekuensi dari sinyal pembawa mengayun seiring dengan perubahan amplitudo sinyal pemodulasi.

2.4.1. Modulasi Gelombang Kompleks

Dalam proses modulasi frekuensi ada yang juga terbentuk hasil intermodulasi yaitu frekuensi-frekuensi selisih akan terjadi diantara berbagai frekuensi sisi bila sinyal modulasinya bukan berbentuk sinuoida atau kosinusoida. Persyaratan lebar jalur ditentukan oleh deviasi maksimum dan frekuensi modulasi tertinggi (harmonisa) yang ada di dalam gelombang modulasi kompleks. Perbandingan dari deviasi maksimum dan komponen frekuensi tertinggi dinamakan perbandingan deviasi (deviation ratio). Dengan mendefinisikan perbandingan deviasi M , maka

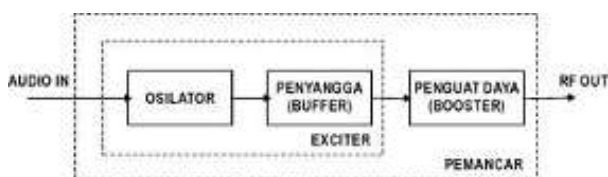
$$M = \frac{\Delta F}{F_m} \quad (1)$$

dimana ΔF adalah deviasi maksimum dan F_m komponen frekuensi tertinggi dalam sinyal modulasi. Maka persamaan untuk mendapatkan lebar jalur adalah :

$$\begin{aligned} B_{maks} &= 2(M + 1)F_m \\ B_{maks} &= 2(\Delta F + F_m) \end{aligned} \quad (2)$$

2.5. Pemancar FM yang Dimodulasi Langsung^[2]

Pemancar FM yang dimodulasi langsung secara umum terdiri dari blok – blok bagian seperti gambar 4.



Gambar 4. Blok pemancar.

2.5.1. Osilator

Inti dari sebuah pemancar adalah osilator. Untuk dapat membangun sistem komunikasi yang baik harus dimulai dengan osilator yang dapat bekerja dengan sempurna. Pada sistem komunikasi, osilator menghasilkan gelombang sinus yang dipakai sebagai sinyal pembawa. Sinyal informasi kemudian ditumpangkan pada sinyal pembawa dengan proses modulasi.

2.5.2. Penyangga

Semua jenis osilator membutuhkan penyangga. Penyangga berfungsi untuk menstabilkan frekuensi atau amplitudo osilator akibat dari pembebanan tingkat selanjutnya. Osilator yang dilengkapi dengan penyangga biasanya disebut sebagai exciter.

2.5.3. Penguat Daya

Sinyal yang didapat dari exciter masih relatif lemah. Untuk mendapatkan daya yang lebih besar dibutuhkan penguat daya frekuensi radio. Parameter-parameter yang perlu diperhatikan pada penguat daya frekuensi radio adalah:

- Bandwidth dan faktor kualitas
- Penguatan tiap tingkat dan daya input output tiap tingkat
- Impedansi input dan output tiap tingkat
- Linearitas dan Effisiensi

2.6. Antena

Antena adalah perangkat yang berfungsi untuk memindahkan energi gelombang elektromagnetik dari media kabel ke udara atau sebaliknya dari udara ke media kabel. Karena merupakan perangkat perantara antara media kabel dan udara, maka antena harus mempunyai sifat yang sesuai (*match*) dengan media kabel pencatunya.

2.7. Filter Aktif

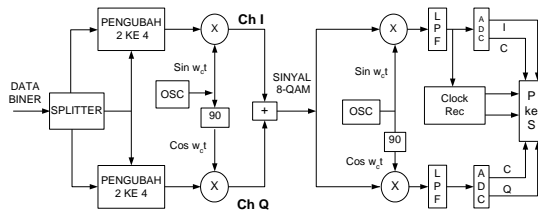
Filter pada rangkaian listrik sering disebut rangkaian penyeleksi frekuensi untuk melewati frekuensi dengan pita frekuensi tertentu dan menahannya dari frekuensi diluar pita frekuensi itu.

Filter aktif mempunyai keuntungan dibandingkan filter pasif yaitu :

1. Penguatan dan frekuensinya mudah diatur, selama op-amp masih memberikan penguatan.
2. Tidak ada masalah beban, karena impedansi input tinggi dan impedansi output rendah.
3. Filter aktif umumnya lebih ekonomis daripada filter pasif.

2.8. Diagram Blok Sisi Pemancar

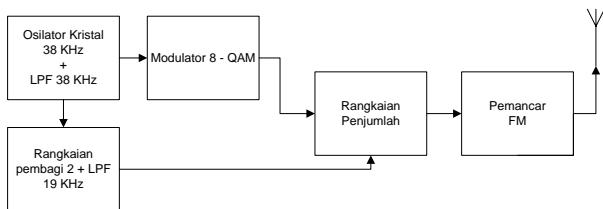
Pada perangkat keras modem 8-QAM eksisting terdiri dari dua bagian utama yaitu modulator dan demodulator. Dalam perangkat keras ini, pengiriman sinyal antara bagian modulator dan demodulator masih menggunakan tiga buah kabel. Kabel pertama digunakan untuk mengirimkan sinyal 8-QAM. Kabel kedua dan ketiga digunakan untuk mengirimkan sinyal sinus dan cosinus yang akan digunakan sebagai ganti dari carrier recovery.



Gambar 5. Modulator dan demodulator 8-QAM.

2.8.1. Diagram Blok Pengembangan Perangkat Modulator 8-QAM

Gambar 6 menunjukkan diagram blok sistem pengembangan modulator 8-QAM. Pengembangan perangkat modulator 8-QAM terletak pada bagian osilator, serta penambahan rangkaian penjumlah pada bagian akhir rangkaian modulator 8-QAM yang berfungsi untuk menjumlahkan sinyal 8-QAM dan sinyal pembawa 19 KHz sebelum dipancarkan oleh pemancar FM.

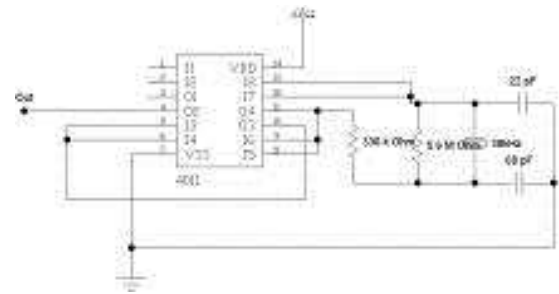


Gambar 6. Diagram blok sistem pada sisi pemancar.

Pada rangkaian modulator 8-QAM yang lama, rangkaian osilator menggunakan IC XR2206 sebagai komponen utamanya. Akan tetapi frekuensi yang dihasilkan oleh osilator ini kurang stabil.

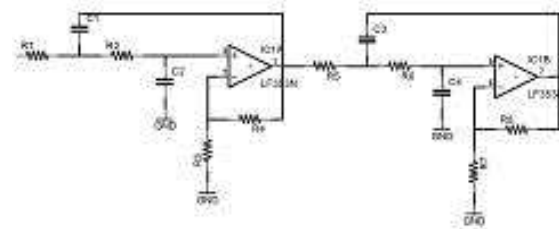
2.8.2. Osilator Kristal 38 KHz Dan Tapis Pelolos Bawah 38 KHz

Karena ketidakstabilan frekuensi yang dihasilkan oleh XR2206 maka pada penelitian ini komponen tersebut diganti dengan osilator kristal untuk membangkitkan sinyal pembawa dan detak. Osilator kristal tersebut menggunakan IC4011 dan kristal 38KHz sebagai komponen utamanya. Rangkaian dari osilator ini dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7. Rangkaian osilator Kristal.

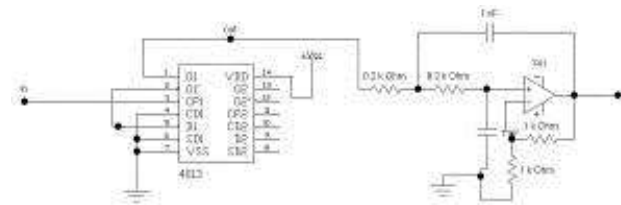
Sinyal yang dihasilkan oleh osilator ini berupa sinyal kotak dan sinyal yang dibutuhkan sebagai sinyal pembawa adalah sinyal sinus, maka dibutuhkan tapis pelolos bawah. Rangkaian tapis pelolos bawah dapat dilihat pada gambar 8 berikut.



Gambar 8. Tapis pelolos bawah.

2.8.3. Rangkaian Pembagi Dua Dan Tapis Pelolos Bawah 19 KHz

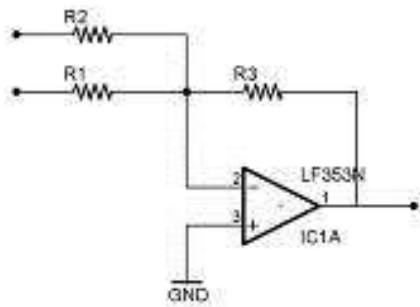
Sinyal keluaran osilator kristal yang memiliki frekuensi 38 KHz dibagi menjadi 19 KHz. Sinyal yang masih berupa sinyal kotak ini kemudian dilewatkan melalui tapis pelolos bawah 19 KHz sehingga dihasilkan sinyal sinus dengan frekuensi 19 KHz. Sinyal sinus inilah yang nanti akan ikut dikirimkan dan berfungsi untuk carrier recovery pada bagian demodulator.



Gambar 9. Pembagi dua dan LPF 19 KHz.

2.8.4. Penjumlah

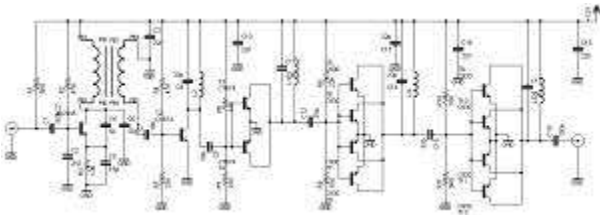
Penjumlah sinyal ini digunakan untuk menjumlahkan sinyal pembawa 19 KHz dan sinyal 8-QAM sebelum masuk ke pemancar FM. Rangkaiannya seperti ditunjukkan gambar 10.



Gambar 10. Penjumlah sinyal.

2.8.5. Pemancar Frekuensi Modulasi

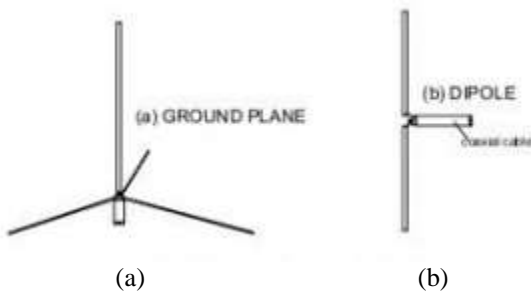
Pemancar FM ini terdiri dari tiga bagian utama, yaitu osilator, penyangga dan penguat daya. Osilator berfungsi sebagai pembangkit sinyal pembawa, penyangga berfungsi untuk menstabilkan frekuensi dan/atau amplitude osilator akibat dari pembebanan di tingkat selanjutnya, dan penguat untuk menguatkan daya yang masih lemah dari *exciter*.



Gambar 11. Pemancar FM.

2.8.6. Antena Ground Plane

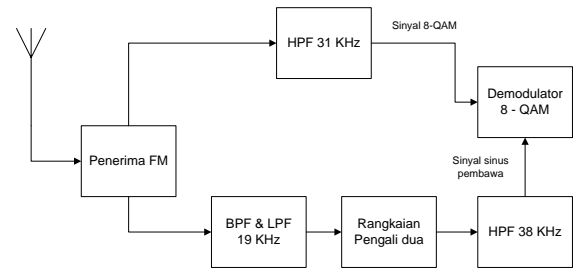
Antena yang digunakan adalah antena ground plane dengan panjang setiap elemennya $\frac{1}{4} \lambda$. Antena ini bersifat *omni directional*.



Gambar 12. (a) antena *ground plane*; (b) antena dipole.

2.9 Diagram Blok Pengembangan Demodulator 8-QAM

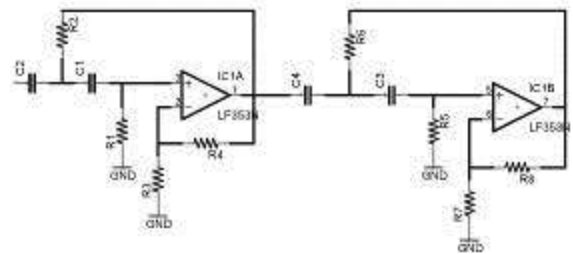
Pada penelitian ini, pengembangan bagian demodulator 8-QAM terdapat pada beberapa bagian. Diagram blok pengembangan pada bagian demodulator 8-QAM dapat dilihat pada gambar 13.



Gambar 13. Diagram blok sistem pada sisi penerima.

2.9.1. Tapis Pelolos Tinggi 31 KHz

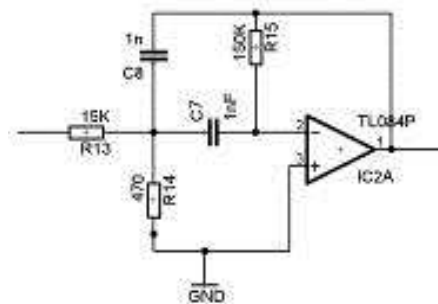
Rangkaian tapis pelolos tinggi 31 KHz berfungsi untuk melewati sinyal 8-QAM dan menghilangkan sinyal pembawa yang memiliki frekuensi 19 KHz.



Gambar 14. Tapis pelolos tinggi 31 KHz.

2.9.2. Band Pass Filter 19 KHz

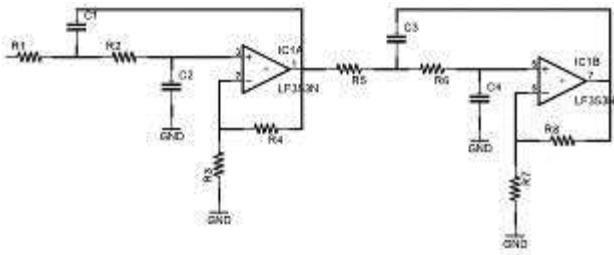
Rangkaian band pass filter diperlukan karena pada keluaran penerima FM terdapat derau pada rentang frekuensi 0-1 KHz. Selain itu rangkaian ini digunakan untuk mengurangi level sinyal 8-QAM yang menduduki pita frekuensi 31-45 KHz



Gambar 15. Band pass filter 19 KHz.

2.9.3. Tapis Pelolos Rendah 19 KHz

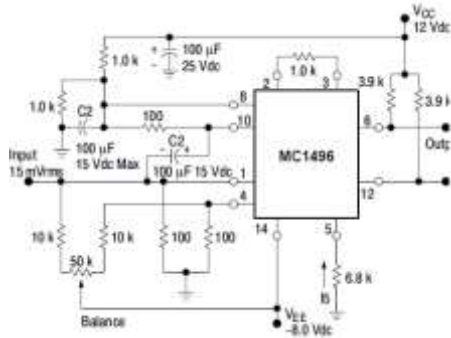
Rangkaian tapis pelolos rendah 19 KHz berfungsi untuk melewati sinyal pembawa 19 KHz dan menghilangkan sinyal 8-QAM yang memiliki frekuensi antara 34.833,33-41.167.67 KHz.



Gambar 16. Tapis pelolos rendah 19 KHz.

2.9.4. Rangkaian Pengali Dua

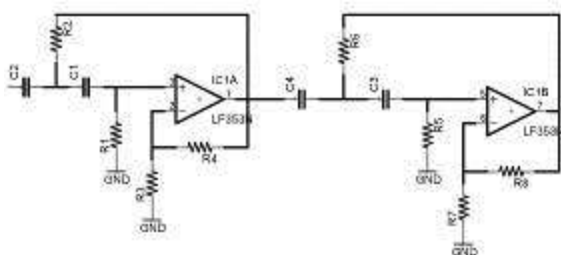
Rangkaian pengali dua digunakan untuk memperoleh sinyal pembawa yang nanti akan digunakan untuk dikalikan dengan sinyal 8-QAM pada saat proses demodulasi.



Gambar 17. Rangkaian pengali dua frekuensi.

2.9.5. Tapis Pelolos Tinggi 38 KHz

Tapis pelolos tinggi ini diperlukan karena sinyal keluaran dari rangkaian pengali frekuensi belum murni sinyal sinus 38 KHz tetapi masih mengandung sinyal sinus frekuensi aslinya sebesar 19 KHz.



Gambar 18. Tapis pelolos tinggi 38 KHz.

3. Hasil dan Analisa

3.1. Pengujian Osilator 38 KHz

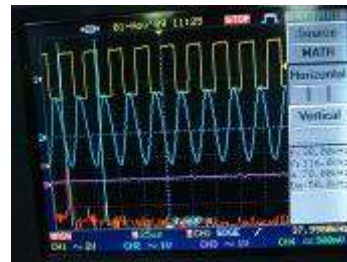
Blok osilator kristal 38 KHz menggunakan rangkaian dengan komponen utama IC 4011 dan kristal 38 KHz. Rangkaian ini menghasilkan keluaran sinyal berupa gelombang kotak dengan frekuensi 38 KHz.



Gambar 19. Keluaran osilator kristal 38 KHz.

3.2. Pengujian LPF 38 KHz

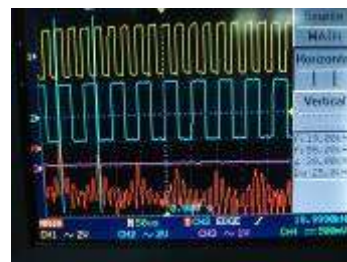
Tapis pelolos bawah 38 KHz merupakan rangkaian yang berfungsi untuk menghasilkan gelombang sinus dari gelombang kotak 38 KHz. Prinsip kerjanya, tapis pelolos rendah ini hanya melewatkan sinyal fundamental dari sinyal kotak 38 KHz. Karena yang dilewatkan hanya sinyal fundamentalnya saja, maka didapatkan sinyal sinus dengan frekuensi sebesar 38 KHz.



Gambar 20. Keluaran sinyal LPF 38 KHz.

3.3. Pengujian Pembagi Dua

Rangkaian pembagi dua berfungsi untuk membagi dua frekuensi dari suatu gelombang kotak. Pada penelitian ini, masukan rangkaian pembagi dua adalah sinyal keluaran dari osilator kristal 38 KHz.

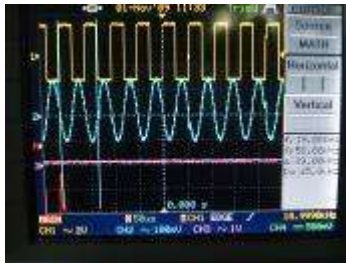


Gambar 21. Keluaran sinyal pembagi dua.

3.4. Pengujian LPF 19 KHz

Tapis pelolos bawah 19 KHz merupakan rangkaian yang berfungsi untuk menghasilkan gelombang sinus dari gelombang kotak 19 KHz yang dihasilkan oleh rangkaian pembagi dua. Prinsip kerjanya, tapis pelolos rendah ini

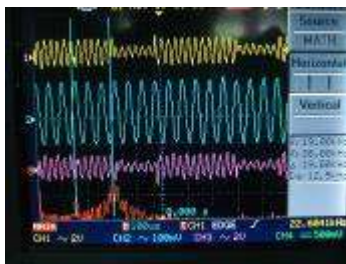
hanya melewati sinyal fundamental dari sinyal kotak 19 KHz.



Gambar 22. Sinyal keluaran LPF 19 KHz.

3.5. Pengujian Penjumlah

Rangkaian penjumlah ini memiliki dua masukan yaitu keluaran modulator 8-QAM dan sinyal pembawa 19 KHz.



Gambar 23. Keluaran penjumlah.

Pada gambar 23 sinyal berwarna kuning merupakan sinyal 8-QAM dan sinyal berwarna biru merupakan sinyal sinus 19 KHz. Sinyal keluaran dari rangkaian penjumlah pada gambar tersebut berwarna merah muda. Dari bentuk spektrum sinyal yang berwarna merah dapat dilihat bahwa sinyal merah muda mengandung sinyal 8-QAM dan sinyal sinus 19 KHz.

3.6. Pengujian Spektrum Analyzer

3.6.1. Pengujian Daya Keluaran Rangkaian FM

Pengujian ini dilakukan dengan cara menyentuh langsung probe spektrum analyzer dengan keluaran pada pemancar FM. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui daya keluaran dari rangkaian pemancar FM sebelum memasuki feeder line dan antenna.



Gambar 24. Pengujian Daya yang dikeluarkan rangkaian FM.

3.6.2. Pengujian Secara LOS di Dalam Lab. KPS

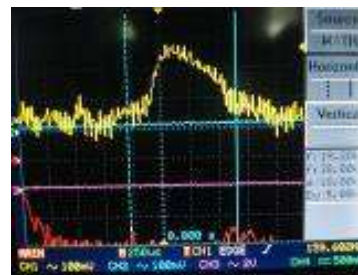
Pengambilan spektrum dilakukan dengan jarak 3 meter dengan pemancar di dalam Lab. KPS. Pengujian dilakukan dengan memancarkan sinyal 8-QAM dan sinyal pembawa 19 KHz. Spektrum hasil pengambilan data dengan jarak 3 meter di dalam Lab KPS seperti pada gambar 25 berikut ini:



Gambar 25. Spektrum dalam ruangan dengan jarak 3 meter.

3.7. Pengujian Blok Penerima FM

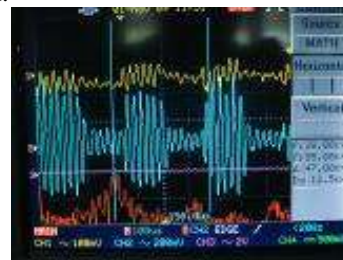
Hasil demodulasi penerima FM tersebut adalah sinyal yang mengandung gabungan sinyal 8-QAM dan sinyal pembawa 19 KHz. Hal ini bisa dilihat dari gambar FFT berwarna merah yang terdapat pada layar osiloskop.



Gambar 26. Pengujian keluaran penerima FM.

3.8. Pengujian Tapis Pelolos Tinggi 31 KHz

Tapis pelolos tinggi 31 KHz berfungsi untuk meloloskan sinyal 8-QAM yang menempati pita frekuensi antara 34.833,33-41.167.67 KHz dan menapis sinyal pembawa 19 KHz. Sehingga keluaran tapis ini adalah sinyal 8-QAM murni.



Gambar 27 Keluaran sinyal HPF 31 KHz.

3.9. Pengujian Tapis Pelolos Rendah 19 KHz

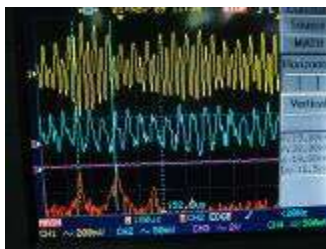
Sinyal pembawa 19 KHz yang ikut dikirimkan pada sisi pemancar berguna sebagai *carrier recovery* pada sisi penerima. Sehingga sinyal keluaran penerima FM yang masih mengandung sinyal 8-QAM perlu ditapis sehingga didapatkan sinyal 19 KHz murni.



Gambar 28. keluaran tapis pelolos bawah 19 KHz.

3.10. Pengujian Pengganda Frekuensi

Sinyal pembawa yang dikirimkan memiliki frekuensi sebesar 19 KHz maka digunakan rangkaian pengganda frekuensi agar didapatkan sinyal yang memiliki frekuensi dan fasa yang benar-benar sama dengan sinyal pembawa pada sisi modulator.



Gambar 29. sinyal keluaran pengganda frekuensi

3.11. Pengujian Tapis Pelolos Tinggi 38 KHz

Keluaran dari pengganda frekuensi masih mengandung sinyal asli yaitu sinyal sinus dengan frekuensi 19 KHz dan sinyal yang diperlukan adalah sinyal sinus 38 KHz maka diperlukan tapis pelolos tinggi 38 KHz pada keluaran pengganda frekuensi.



Gambar 30. sinyal keluaran HPF 38 KHz

3.12. Perbandingan Data yang Dikirim dengan Data yang Diterima

Suatu pengiriman informasi dikatakan berhasil jika sinyal yang diterima sama dengan sinyal yang dikirim. Untuk mengetahui benar tidaknya informasi yang dikirim oleh pemancar FM maka perlu diuji dengan cara membandingkan bentuk sinyal yang dikirim dan bentuk sinyal yang diterima.



Gambar 31. Perbandingan data yang dikirim dan data yang diterima.

4. Kesimpulan

Dari hasil pengukuran, pengamatan dan analisa terhadap sinyal-sinyal hasil keluaran pada blok modulator dan blok demodulator dapat disimpulkan sebagai berikut :

- 1 Dengan menggunakan sinyal *carrier* acuan dan sumber detak yang berasal dari satu sumber maka diperoleh sinyal yang sinkron antara keduanya dengan tundaan minimal sehingga diperoleh sinyal QAM yang dapat diamati dengan jelas pergeseran fasanya.
- 2 Penggunaan osilator kristal sebagai pembangkit sinyal pembawa acuan dan sumber detak menghasilkan gelombang dengan frekuensi 38 KHz dan memiliki pergeseran frekuensi sebesar 1 %.
- 3 Pemancar FM dapat bekerja dengan frekuensi yang stabil dengan frekuensi kerja 87 MHz dan lebar pita 300 KHz.
- 4 Keluaran penerima FM merupakan sinyal yang mengandung sinyal 8-QAM dan sinyal sinusoidal pembawa 19 KHz sesuai dengan yang dikirimkan oleh bagian modulator. Pada bagian demodulator 8-QAM kedua sinyal tersebut akan dipisahkan sehingga pendeteksian data yang terkandung di dalam sinyal 8-QAM dapat dilakukan.
- 5 Pengiriman sinyal 8-QAM menggunakan pemancar FM terdapat tundaan waktu sebesar 25 μ s antara sinyal yang dikirim dengan sinyal yang diterima oleh demodulator.
- 6 Penggunaan rangkaian pengganda frekuensi menggunakan IC MC1496 menghasilkan sinyal yang mengandung sinyal asli dan sinyal dengan frekuensi dua kali frekuensi sinyal asli.
- 7 Terjadi tundaan waktu sebesar 70 μ s antara masukan modulator dan keluaran demodulator yang disebabkan oleh akumulasi tundaan komponen dan pengiriman sinyal oleh pemancar FM..

Referensi

- [1]. Freeman, Roger L., Dwi, *Telecommunications Transmission Handbook*, John Wiley & Sons, Inc, Canada, 1998
- [2]. Hartanto, Dwi, *Pemancar FM 12 Watt (Bagian 1)*, <http://mirror.unpad.ac.id/orari/library/library-swh/community-broadcasting/FM12W-I.pdf>, Oktober 2009
- [3]. Kusuma, Aditya Angga, dan Frans Sugiharto, *Konsep AM dan FM*, Makalah, Universitas Diponegoro, Semarang, 2008.
- [4]. Pribowo, Arief Agung, *Perancangan Perangkat Keras Transmitter Pada Transmisi Data EKG (Elektrodiagnostik) Dengan Modulasi FSK (Frequency Shift Keying) dan FM (Frequency Modulation)*, Skripsi S-1, Universitas Diponegoro, Semarang, 2007
- [5]. Roddy, Dennis dan John Coolen, *Komunikasi Elektronika*, Erlangga, Jakarta, 1997.
- [6]. Setiawan, Aksto, Meisach Cristie, dan Rizal Ali, *Dasar Sistem Komunikasi Radio*, Makalah, Universitas Diponegoro, Semarang, 2008.
- [7]. Sidik, Purnomo, *Perancangan Perangkat Keras Sistem Modulasi Digital 8-Quadrature Amplitude Modulation (8-QAM)*, Skripsi S-1, Universitas Diponegoro, Semarang, 2003.
- [8]. -----, Perhitungan Gain, <http://kambing.ui.ac.id/onnopurbo/orari-diklat/teknik/elektronika/Perhitungan-Gain.pdf>, Januari 2010.
- [9]. -----, Teori Aplikasi Op-Amp, abonk.blog.unsoed.ac.id/files/2009/06/2_op-amp.pdf, September 2009