

**MODULATOR SPREAD SPECTRUM DENGAN TEKNIK
HYBRID**

SKRIPSI

*Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik*



Disusun oleh :

DANY CHRISTIAWAN PS

NIM. 0001060293-63

**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2007**

Modulator *Spread Spectrum* dengan Teknik *Hybrid*

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

DANY CHRISTIAWAN PS

NIM. 0001060293-63

DOSEN PEMBIMBING :

Ir. Erfan Achmad Dahlan
NIP. 131 124 663

Dwi Fadilla K, ST., MT
NIP. 132 258 187

MODULATOR SPREAD SPECTRUM DENGAN TEKNIK HYBRID

Disusun oleh :

DANY CHRISTIAWAN PS

NIM. 0001060293-63

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada tanggal
4 Mei 2007

DOSEN PENGUJI

Ir. Wahyu Adi Priyono, M.Sc
NIP. 131 759 602

Rudi Yuwono, ST
NIP. 132 206 465

Ir. Endah Budi P., MT
NIP. 131 839 362

Tibyani, ST
NIP. 132 135 200

Mengetahui
Kepala Jurusan Teknik Elektro

Ir. Purwanto, MT.
NIP. 131 574 847

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT yang telah mencurahkan rahmah dan hidayah-Nya hingga terselesaikannya skripsi ini. Hanya semata-mata karena pertolongan-Nya penulis mampu menghadapi segala masalah selama dalam penyusunan skripsi. Skripsi berjudul “Modulator *Spread Spectrum* dengan Teknik *Hybrid*” ini disusun sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.

Penulis menyadari bahwa selama penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan, bimbingan, dukungan dan doa dari berbagai pihak. Oleh sebab itu, dengan segala kerendahan hati penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

- ❖ Kedua orangtuaku, Bapak Gatut dan Mami Yuyun, yang telah mencurahkan segenap kasih sayang, doa serta kesabarannya dalam mendorong penulis untuk terus maju dalam menghadapi kesulitan apapun,
- ❖ Saudara-saudaraku yang tercinta Mbak opie, Pak Pri, Mas Aan, Adik Gysta dan tak lupa Dinie yang paling berpengaruh dalam pengerjaan skripsi ini baik dalam susah dan senang,
- ❖ Bapak Ir. Purwanto, MT selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro dan Bapak Ir. Hery Purnomo selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro,
- ❖ Bapak Ir. Wahyu Adi P, MSc selaku KKDK konsentrasi Telekomunikasi Jurusan Teknik Elektro,
- ❖ Bapak Ir. Erfan Achmad Dahlan selaku dosen Pembimbing I dan Bapak Dwi Fadilla K, ST., MT selaku dosen Pembimbing II,
- ❖ Teman-teman Kembang Turi, imam atas bantuannya yang banyak memberikan masukan,
- ❖ Semua pihak yang telah banyak membantu penulis selama ini.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa skripsi ini masih belum sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan. Penulis berharap semoga skripsi ini bisa bermanfaat bagi masyarakat.

Malang, April 2007

Penulis



DAFTAR ISI

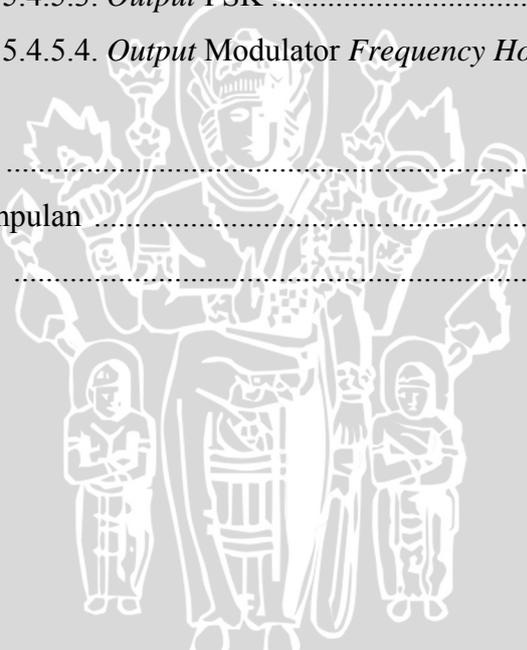
KATA PENGANTAR	i
ABSTRAKSI	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv
BAB I : PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	1
1.3. Tujuan	2
1.4. Batasan Masalah	2
1.5. Sistematika Penulisan	2
BAB II : TEORI PENUNJANG	4
2.1. Sistem <i>Spread Spectrum</i>	4
2.1.1. <i>Direct Sequence</i>	5
2.1.2. <i>Frequency Hopping</i>	7
2.1.3. <i>Hybrid</i>	9
2.1.3.1. Karakteristik <i>Hybrid FH/DS</i>	9
2.1.3.2 <i>Process Gain</i>	11
2.2. <i>Pseudorandom Generator (PRG)</i>	12
2.2.1. Karakteristik Sinyal Acak Semu	13
2.2.2. Teknik Pembangkitan Sinyal Acak Semu	14
2.3. <i>Frequency Shift Keying (FSK)</i>	15
2.3.1. Modulator FSK	16
2.4. <i>Voltage Control Oscilator (VCO)</i>	16
2.5. <i>Frequency Synthesizer</i> (pembangkit frekuensi)	17
2.6. <i>Digital to Analog Converter (DAC)</i>	18
2.7. <i>Balanced Modulator (BM)</i>	18

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN.....	20
3.1. Studi Pustaka	20
3.2. Pemodelan.....	20
3.3. Perencanaan Alat	21
3.4. Pengujian Alat	21
3.4. Penarikan Kesimpulan	21
 BAB IV : PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT	 22
4.1. Rancangan Blok Diagram dan Prinsip Kerja.....	22
4.2. Diagram Rangkaian	23
4.2.1. Rangkaian <i>clock</i>	23
4.2.2. Rangkaian <i>Pseudorandom Generator</i> (PRG)	24
4.2.3. <i>Digital to Analog Converter</i> (DAC).....	25
4.2.4. <i>Voltage Control Oscillator</i> (VCO)	25
4.2.5. <i>Frequency Shift Keying</i> (FSK).....	26
4.2.6. <i>Balanced Modulator</i> (BM).....	27
 BAB V : PENGUJIAN DAN ANALISIS	 29
5.1. Pendahuluan.....	29
5.2. Pengujian <i>Spread Spectrum</i> dengan Teknik <i>Hybrid</i>	29
5.2.1. Tujuan	29
5.2.2. Peralatan yang Digunakan	29
5.2.3. Blok Diagram Rangkaian	29
5.2.4. Prosedur Pengujian	30
5.2.5. Hasil Pengujian	30
5.2.5.1. <i>Output Clock</i> Dan PRG.....	30
5.2.5.2. Pengukuran DAC dan PLL	31
5.2.5.3. <i>Output Modulator Hybrid</i>	32
5.3. Pengujian <i>Spread Spectrum</i> dengan Teknik <i>Direct</i> <i>Sequence</i>	33
5.3.1. Tujuan	33
5.3.2. Peralatan yang Digunakan	33
5.3.3. Blok Diagram Rangkaian	33
5.3.4. Prosedur Pengujian	34

5.3.5. Hasil Pengujian	34
5.3.5.1. <i>Output Clock</i> Dan PRG	34
5.3.5.2. <i>Output Modulator Direct Sequence</i>	35
5.4. Pengujian <i>Spread Spectrum</i> dengan Teknik <i>frequency hopping</i>	35
5.4.1. Tujuan	33
5.4.2. Peralatan yang Digunakan	35
5.4.3. Blok Diagram Rangkaian	36
5.4.4. Prosedur Pengujian	36
5.4.5. Hasil Pengujian	37
5.4.5.1. <i>Output Clock</i> Dan PRG	37
5.4.5.2. Pengukuran DAC dan PLL	37
5.4.5.3. <i>Output FSK</i>	38
5.4.5.4. <i>Output Modulator Frequency Hopping</i>	39
 BAB VI: PENUTUP	 40
6.1. Kesimpulan	40
6.2. Saran	40

DAFTAR PUSTAKA

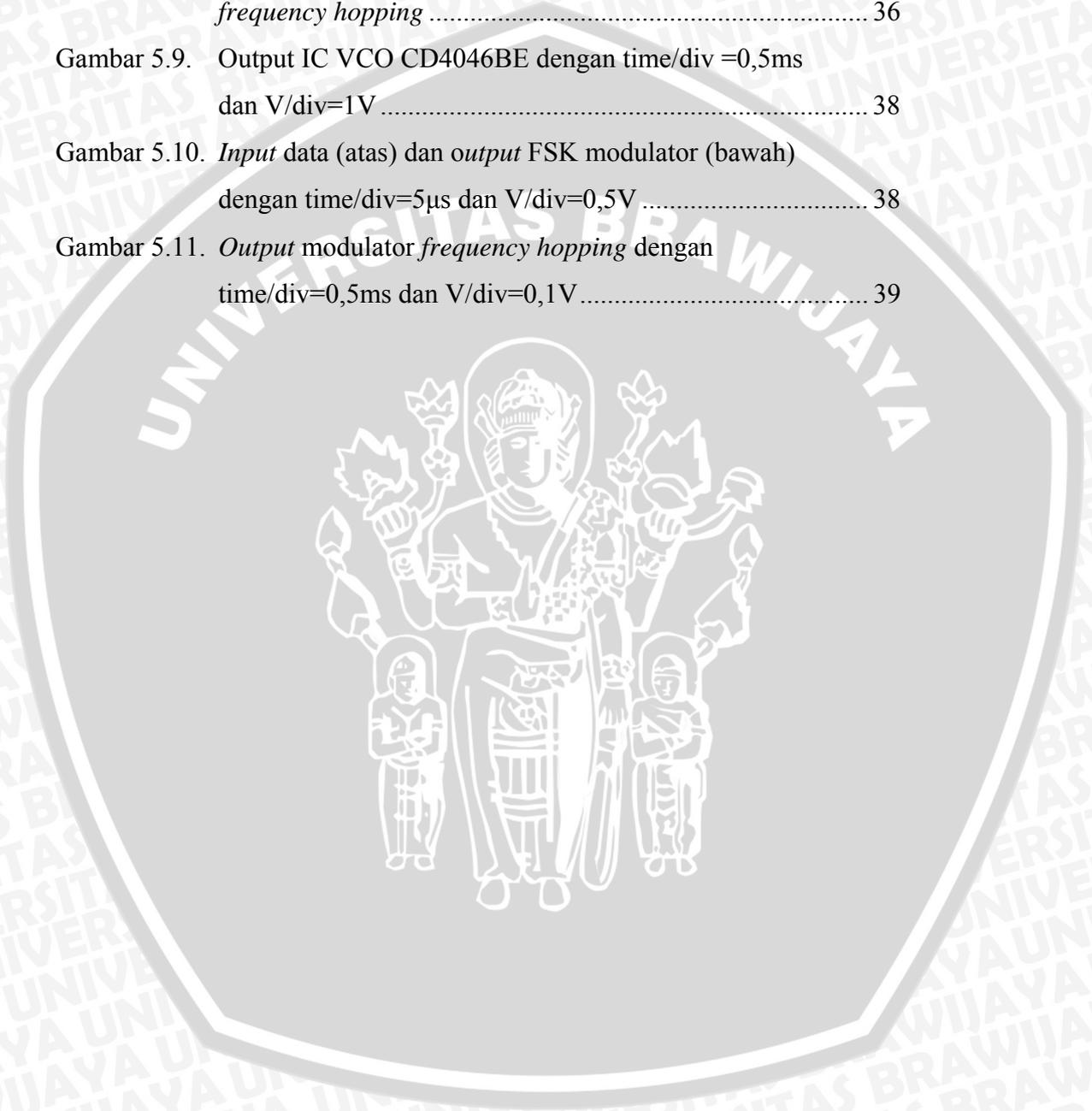
LAMPIRAN



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Sinyal data terspreading pada <i>direct sequence</i>	5
Gambar 2.2.	Blok diagram <i>direct sequence</i>	6
Gambar 2.3.	Spectrum data biner	7
Gambar 2.4.	Blok diagram <i>frequency hopping</i>	8
Gambar 2.5.	Konsep <i>spectrum frequency hopper</i> (loncatan frekuensi)	8
Gambar 2.6.	Skema <i>spreading DS-FH</i>	9
Gambar 2.7.	Blok diagram modulasi dan demodulasi FH/DS	10
Gambar 2.8.	Sinyal yang bekorelasi	13
Gambar 2.9.	Blok diagram Pembangkit Sinyal Acak	15
Gambar 2.10.	Gambar sinyal <i>input</i> dan <i>output</i> (a) dan <i>time sequence</i> (b)	16
Gambar 2.11.	Karakteristik VCO	17
Gambar 2.12.	<i>Frequency synthesizer</i> menggunakan PLL	17
Gambar 2.13.	Rangkaian DAC	18
Gambar 2.14.	<i>Balance modulator</i>	19
Gambar 3.1.	Blok diagram <i>modulator hybrid</i>	20
Gambar 4.1.	Blok diagram lengkap pada box <i>modulator hybrid</i>	23
Gambar 4.2.	Rangkaian clock menggunakan kristal 2MHz	24
Gambar 4.3.	PRG <i>circuit</i>	24
Gambar 4.4.	Rangkaian DAC	25
Gambar 4.5.	Rangkaian IC CD4046	26
Gambar 4.6.	Modulator FSK menggunakan IC TCM3015JE	27
Gambar 4.7.	<i>Balanced modulator</i> menggunakan IC MC1496	28
Gambar 5.1.	Modulator <i>spread spectrum</i> dengan teknik <i>hybrid</i>	29
Gambar 5.2.	<i>Output clock</i> dengan <i>frequency</i> 1MHz dengan time/div=5 μ s dan V/div=0,5V	31
Gambar 5.3.	<i>Output PRG</i> dengan time/div=5 μ s dan V/div=0,5V	31
Gambar 5.4.	<i>Output IC VCO CD4046BE</i> dengan time/div =0,5ms dan V/div=1V	32
Gambar 5.5.	<i>Output modulator spread spectrum</i> dengan teknik <i>hybrid</i> dengan time/div =20ms dan V/div=0,2V	33

Gambar 5.6. Modulator <i>spread spectrum</i> dengan teknik <i>dircet sequence</i>	33
Gambar 5.7. Sinyal data (atas) dan output XOR(bawah) dengan $time/div=2\mu s$ dan $V/div=5V$	35
Gambar 5.8. Modulator <i>spread spectrum</i> dengan teknik <i>frequency hopping</i>	36
Gambar 5.9. Output IC VCO CD4046BE dengan $time/div=0,5ms$ dan $V/div=1V$	38
Gambar 5.10. <i>Input data</i> (atas) dan <i>output FSK</i> modulator (bawah) dengan $time/div=5\mu s$ dan $V/div=0,5V$	38
Gambar 5.11. <i>Output modulator frequency hopping</i> dengan $time/div=0,5ms$ dan $V/div=0,1V$	39



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Distribusi *run* untuk Deretan $2^8 - 1$ 14



ABSTRAKSI

Dany Christiawan Puguh Sanyoto, 2007, *Modulator Spread Spectrum dengan Teknik Hybrid*. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Dosen Pembimbing: Ir. Erfan Achmad Dahlan dan Dwi Fadilla K, ST., MT.

Seiring berkembangnya berbagai macam teknik modulasi yang akan mengirimkan sinyal informasi dari satu tempat ke tempat yang lain maka dituntut pula keamanan data informasi selama proses pengirimannya. *Spread spectrum* adalah salah satu teknik modulasi yang memperhatikan tingkat keamanan ini.

Aplikasi ini merupakan salah satu bentuk sistem keamanan dalam mengirimkan sinyal informasi dan menjaganya agar tidak mudah untuk di-*jamming*. Dengan menggunakan teknik modulasi *hybrid* ini diharapkan agar sinyal informasi lebih sulit untuk di interferensi dan bahkan untuk dideteksi. Karena level daya yang rendah menyerupai *noise* dan *frequency* yang berpindah-pindah.



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Teknologi *Spread Spectrum* merupakan teknik transmisi dengan memperlebar pita frekuensi dari *bandwidth* minimum yang dibutuhkan untuk mentransmisikan sinyal informasi. Sampai saat ini teknologi *spread spectrum* diaplikasikan pada beberapa bidang, antara lain pada sistem komunikasi selular dan sistem keamanan militer. Ada lima teknik dalam sistem *spread spectrum* yaitu *direct sequence*, *frequency hopping*, *hybrid*, *time hopping*, dan *pulsed FM (chirp) systems*.

Keunggulan metode modulasi *spread spectrum* dengan teknik *hybrid* adalah mempunyai karakteristik yang tidak dipunyai pada modulasi tunggal, yaitu selain sinyal *output* hasil modulasi menjadi lebih sulit dideteksi frekuensi yang dihasilkan juga akan berpindah-pindah. Dengan demikian, keunggulan-keunggulan yang terdapat pada teknik *direct sequence*, yaitu noisanya kecil, lebih tahan *jamming*, sulit dideteksi dan paling baik mengatasi multipath dan *frequency hopping* yaitu waktu akuisisi relative pendek, efek *near/far* kecil dan jumlah penebaran paling besar akan didapat pada teknik *hybrid* ini.

Pada dunia telekomunikasi yang memerlukan tingkat kerahasiaan yang tinggi sangat tepat dengan memakai modulasi teknik *hybrid*. Karena sifatnya yang sulit untuk diinterferensi dari luar, sehingga keamanan sangat terjamin.

Pada tugas akhir ini dikhususkan untuk membuat dan merancang *modulator spread spectrum* dengan teknik *hybrid* yang merupakan gabungan dari dua teknik diatas yaitu *direct sequence* dan *frequency hopping*.

1.2. Rumusan Masalah

Mengacu permasalahan dari Tugas Akhir ini, maka perumusan masalah dititikberatkan pada:

1. Bagaimana perancangan rangkaian modulasi sinyal dengan teknik *direct sequence*, *frequency hopping* dan teknik *hybrid*?
2. Bagaimana pengujian dan analisis hasil rancangan rangkaian Modulator *Spread Spectrum* dengan teknik *direct sequence*, *frequency hopping* dan teknik *hybrid*?

3. Bagaimana menguji blok rangkaian sebagai berikut :

- a. *Clock*
- b. PRG
- c. *Frequency synthesizer*
- d. FSK

1.3. Tujuan

Tujuan penulisan Tugas Akhir ini adalah membandingkan keluaran modulator *spread spectrum* dengan memakai teknik *sequence*, *frequency hopping* maupun teknik *hybrid*.

1.4. Batasan Masalah

Batasan-batasan yang diberikan dalam penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Peralatan ini merupakan miniatur dari kondisi yang sebenarnya,
2. Media transmisinya melalui kabel penghubung,
3. Pada sistem *spread spectrum* dengan teknik *hybrid* yang dibuat ini dengan memperhitungkan proses *sinkronisasi*,
4. Pada peralatan ini level tegangan berada pada range tegangan 5V,
5. *Bandwidth* dari modulator ini berkisar antara $\pm 5\text{MHz}$.

1.5. Sistematika Penulisan

Dalam skripsi ini, untuk memudahkan pembahasan permasalahan penelitian tentang Modulator *Spread Spectrum* dengan Teknik *Hybrid*, maka penyusun membuat sistematika penulisan sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Memuat latar belakang, rumusan masalah, ruang lingkup, tujuan, metodologi dan sistematika penulisan.

BAB II TEORI PENUNJANG

Membahas teori-teori yang mendukung dalam perencanaan dan pembuatan piranti seperti sistem *spread spektrum*, Teknik *direct sequence*, *frequency hopping*, *Pseudorandom Generator* (PRG), *Frequency Shift Keying* (FSK), *Voltage Control*

Oscillator (VCO), Frequency Synthesizer (pembangkit frekuensi), DAC dan Balanced Modulator.

BAB III METODOLOGI PENULISAN

Menjelaskan tahap-tahap dan metode yang dilakukan dalam perencanaan pembuatan alat.

BAB IV PERENCANAAN DAN PEMBUATAN ALAT

Menjelaskan spesifikasi, diagram blok, dan prinsip kerja rangkaian dari alat yang dirancang.

BAB V PENGUJIAN DAN ANALISIS

Menjelaskan pengujian alat dan analisis terhadap data hasil pengujian menggunakan teori yang ada.

BAB VI PENUTUP

Berisi kesimpulan yang dapat diambil dan saran terhadap hasil yang diperoleh dalam tugas akhir.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



BAB II TEORI PENUNJANG

2.1. Sistem *Spread Spectrum*

Suatu sistem dapat dikatakan sebagai sistem *spread spectrum* bila sistem tersebut memiliki rangkaian penyebar (*spreading*) yang berfungsi untuk mengkodekan sinyal informasi dengan suatu kode tertentu dan menyebarkannya ke dalam pita frekuensi yang jauh lebih lebar dari pita frekuensi yang diperlukan untuk mengirimkan sinyal informasi data. Besar kelebihan dari pita frekuensi ini diperlukan untuk mengatasi *interferensi* yang dijumpai dalam pengiriman informasi *digital* melalui kanal radio.

Dasar dari teknologi *spread spectrum* adalah kapasitas kanal yang dirumuskan oleh C.E. Shannon dalam bentuk matematis sebagai berikut: (www.maxim-ic.com)

$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \quad (2-1)$$

Dengan : C = kapasitas kanal dalam *bit per second* (bps)

B = *bandwidth* dalam Hertz

$\frac{S}{N}$ = *signal-to-noise ratio* (*power ratio*)

Karena $\ln = \log_e$, maka persamaan diatas dapat diubah menjadi:

$$C/B = (1/\ln 2) \ln(1+S/N) = 1.443 \ln(1+S/N) \quad (2-2)$$

Dengan memakai MacLaurin series development untuk $\ln(1+x) = x - x^2/2 + x^3/3 - x^4/4 + \dots + (-1)^{k+1} x^k/k + \dots$:

$$C/B = 1.443 (S/N - 1/2 (S/N)^2 + 1/3 (S/N)^3 - \dots) \quad (2-3)$$

Bila pada persamaan diatas S/N kecil ≤ 0.1 , maka persamaan tersebut menjadi :

$$C/B \approx 1.433 S/N \quad (2-4)$$

ekspansi logaritma. Dari sini didapatkan :

$$C/B \approx S/N \quad (2-5)$$

atau

$$N/S \approx B/C \quad (2-6)$$

Dari persamaan (2-5) , berapapun nilai S/N yang diberikan, bisa didapatkan *error* yang kecil dengan meningkatkan *bandwidth* yang digunakan untuk mengirim informasi. Sebagai contoh diinginkan suatu sistem yang beroperasi di kanal yang

mempunyai $S/N = 0.01$ untuk mengirimkan pesan dengan kecepatan 2400 bps tanpa didapat *error*, sehingga *bandwidth* kanal yang seharusnya adalah :

$$B = \frac{2.4 \times 1000 \times 100}{1.44} = 170 \text{ kHz}$$

Jadi dalam sistem *spread spectrum* memiliki 2 kriteria yaitu :

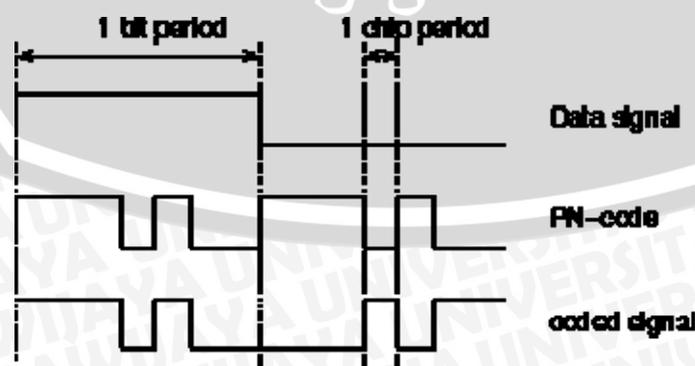
1. *Bandwidth* yang ditransmisikan harus lebih besar dari *bandwidth* atau kecepatan informasi yang dikirimkan.
2. Informasi yang dikirim digunakan untuk menentukan hasil dari *bandwidth* RF termodulasi.

Sedangkan secara umum karakteristik dari sistem *spread spectrum* adalah :

1. Memiliki rangkaian penyebar yang berfungsi untuk mengkodekan sinyal-sinyal informasi data dengan pola tertentu dan menyebarkannya ke dalam pita frekuensi yang jauh lebih besar daripada lebar pita frekuensi minimum yang diperlukan untuk mengirimkan sinyal informasi data.
2. Proses penyebaran spektrum frekuensi dilakukan oleh sinyal penyebar yang berbentuk kode biner (*digital*) dengan pola *pseudorandom*.

2.1.1. Direct Sequence

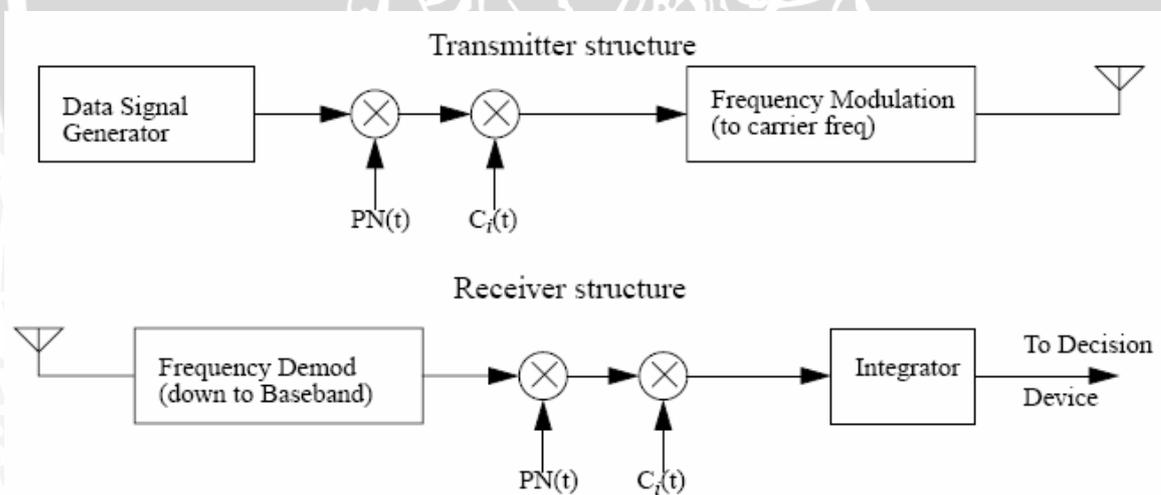
Direct Sequence adalah salah satu teknik dalam sistem *spread spectrum* yang sering digunakan, hal ini dikarenakan bentuknya yang sangat sederhana. Modulasi *direct sequence* adalah sinyal *carrier* yang termodulasi oleh *code sequence* yang dibangkitkan secara acak oleh PRG (*Pseudorandom Generator*). BPSK (*BiPhase Shift Keying*) adalah bentuk dasar dari modulasi *direct sequence*. Gambar 2.1. menunjukkan data sinyal terspreeding *Direct Sequence*.



Gambar 2.1. Sinyal data terspreeding pada *direct sequence*

Sumber : Glas, 1996

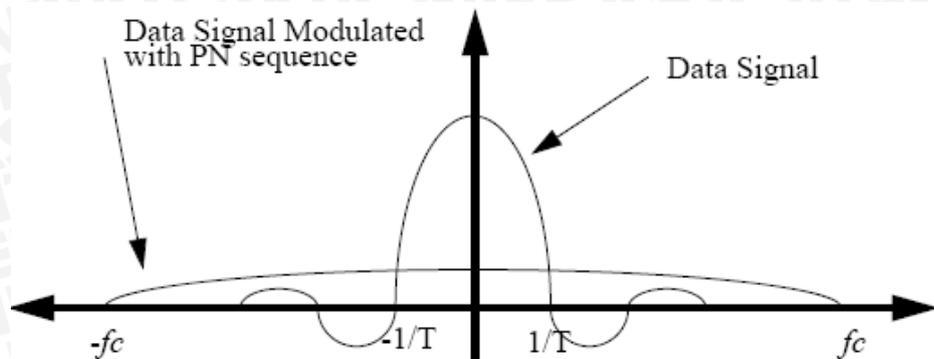
Pada teknik DS-SS, di sisi *demodulator*, apabila sinyal yang tidak sesuai dengan kode referensi pada *modulator* (contoh : *jaming*, *noise*) akan melebar (*spreading*) sampai dengan *bandwidth*-nya dijumlah dengan *bandwidth* referensi. Sedangkan sinyal yang sesuai dengan kode *referensi* akan menyempit sehingga *amplitudo* menjadi jauh lebih tinggi. Konfigurasi dasar dari *direct sequence* ditunjukkan oleh Gambar 2.2. Dengan prinsip *balanced mixer* diatas, data biner mengalami proses *spreading* oleh *code sequence* yang dibangkitkan oleh *pseudorandom generator* dan data biner yang sudah tersebar (*spreading*) dalam *spectrum* dipancarkan dengan dibawa oleh frekuensi *carrier* yang berasal dari lokal osilator. Pada sisi penerima (*demodulator*) data biner yang sudah diacak oleh PRG didapatkan dengan menghilangkan frekuensi *carrier*-nya melalui proses *mixer* dengan frekuensi lokal osilator. Untuk mendapatkan data biner seperti semula maka data biner yang ter-*spreading* harus di *despreading*, yaitu dengan melalui proses *balanced mixer* dengan kode acak dari PRG, dimana *balanced mixer* mempunyai prinsip yang sama dengan BPSK. Karena terdapat frekuensi IF (*intermediate frekuensi*) maka sinyal *output* dari *balanced mixer* di-*bandpass filter* (BPF) untuk mendapatkan data biner yang diinginkan.



Gambar 2.2. Blok diagram *direct sequence*
Sumber : IEEE Transactions on Communications.com

Proses *spreading* dalam pembangkitan sinyal DS-SS memegang peranan penting, dimana terjadi penyebaran sinyal informasi ke suatu pita frekuensi yang jauh lebih lebar daripada *bandwidth* sinyal informasi itu sendiri. Pada Gambar 2.3. menunjukkan *spectrum* data biner (informasi) sebelum dan sesudah mengalami proses *spreading*. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa semakin lebar *bandwidth*-nya

(semakin cepat laju kode R_c) maka semakin rendah *level* daya dari sinyal tersebut, sehingga sinyal data biner yang semula mempunyai *level* daya yang tinggi akan menjadi rendah menyerupai *level noise* dan oleh karena itu akan sulit untuk terdeteksi.



Gambar 2.3. *Spectrum* data biner

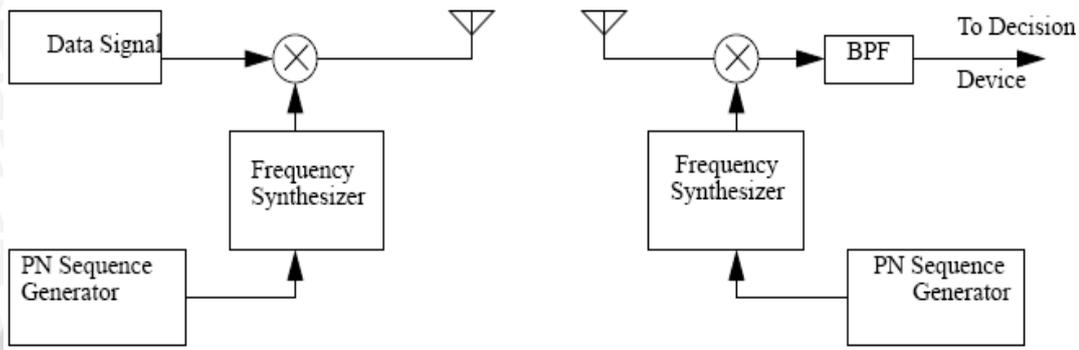
Sumber : Pickholtz, 1982

Proses *spreading* ini dilakukan oleh pengkombinasian *pseudorandom binary sequence* dengan sinyal informasi binernya. Sinyal *pseudorandom* sebagai sinyal *spreading* yang dihasilkan PRG merupakan sinyal yang berupa deretan kode *digital* dengan pola acak (*random*). Suatu pola yang acak menyebabkan *spectrum* frekuensinya juga acak atau tidak *deterministik*, hal ini merupakan kemampuan khusus dari sistem *spread spectrum*.

2.1.2. *Frequency Hopping*

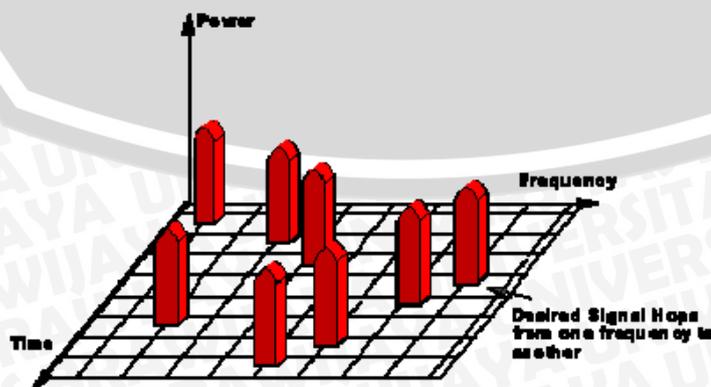
Dibanding dengan teknik lain dalam sistem *spread spectrum* modulasi *Frequency Hopping* (FH) lebih akurat dalam hal “multi frekuensi”, yaitu seleksi kode serta pergeseran frekuensi. Secara prinsip, cara kerja FH sama dengan FSK (*Frequency Shift Keying*) yaitu pergeseran frekuensi dalam suatu pita frekuensi. Dalam FSK, frekuensi digeser hanya pada dua frekuensi, yaitu frekuensi *mark* dan frekuensi *space*, sedangkan pada FH pergeseran frekuensi dilakukan sampai pada ratusan frekuensi yang berbeda. Dengan pergeseran frekuensi *carrier* tersebut maka kepadudukan *spectrum* dari data termodulasi *carrier* diperlebar dan kecepatan pergeseran frekuensinya disebut kecepatan *hopping*. Dalam sistem yang sesungguhnya sinyal informasi dibawa oleh frekuensi terpilih secara *random* dalam suatu pita frekuensi.

Secara sederhana sistem *frequency hopping* terdiri dari pembangkit acak semu (PRG) dan pembangkit banyak frekuensi (*frequency synthesizer*), dimana setiap kode yang dibangkitkan akan dikonversikan ke dalam frekuensi tertentu oleh *frequency synthesizer*. Sehingga ragam kode akan menentukan banyak ragam frekuensi yang dibangkitkan.



Gambar 2.4. Blok diagram *frequency hopping*
Sumber : IEEE Transactions on Communications.com

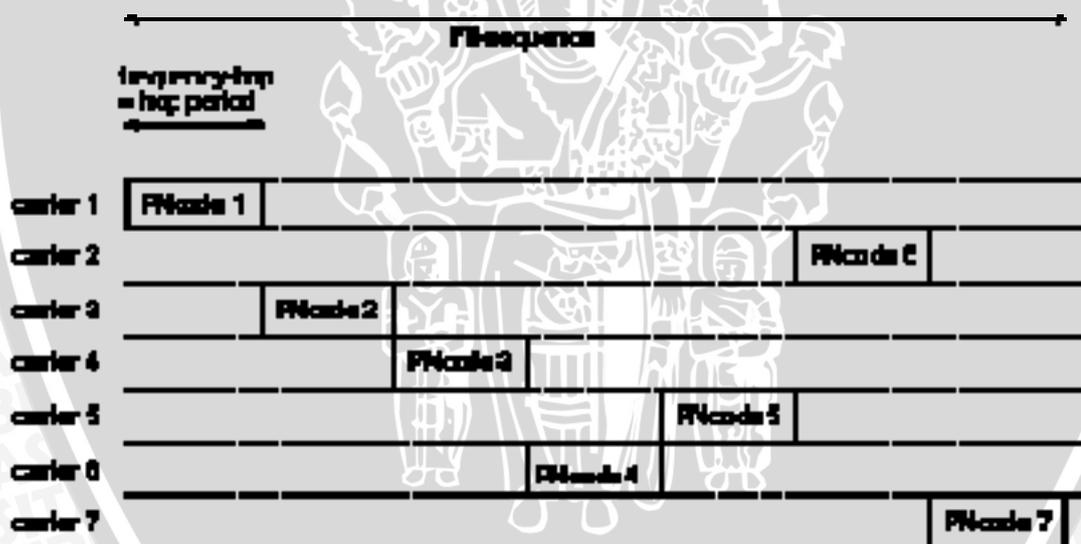
Pada Gambar 2.4. menunjukkan blok diagram dari *frequency hopping* yang sederhana sedangkan Gambar 2.5. menunjukkan konsep *spectrum* yang ideal dari *frequency hopper* (loncatan frekuensi). Selama periode tertentu, secara ideal *spectrum frequency hopping* akan mendistribusikan frekuensi yang diinginkan secara merata ke semua kanal frekuensi yang memungkinkan. Data biner yang telah termodulasi FSK di-mixer dengan frekuensi *carrier* terpilih yang dihasilkan oleh *frequency synthesizer* sebelum dipancarkan. Pada sisi penerima sinyal *frequency hopping* yang diterima di-mixer dengan *frequency synthesizer* yang harus sinkron dengan pemancar.



Gambar 2.5. konsep *spectrum frequency hopper* (loncatan frekuensi)
Sumber : Glas,1996

2.1.3. Hybrid

Bentuk lain dari modulasi *spread spectrum* yang juga sering digunakan adalah *hybrid* kombinasi modulasi yang mempunyai beberapa keuntungan. Kombinasi yang umum digunakan adalah teknik *direct sequence* dan *frequency hopping*. Keuntungan dalam kombinasi dari dua metode modulasi *spread spectrum* adalah mempunyai karakteristik yang tidak dipunyai pada modulasi tunggal. Pada kombinasi antara modulasi *Frequency Hopping / Direct Sequence* (FH/DS) sinyal *output* hasil modulasi *direct sequence* akan dibawa oleh frekuensi (*center*) yang dihasilkan oleh modulasi *frequency hopping* secara periodik. Gambar 2.6. mengilustrasikan proses tersebut dalam spektrum frekuensi, dimana sinyal informasi yang sudah mengalami proses modulasi *direct sequence* akan ter-cover dalam suatu *bandwidth* yang frekuensi tengahnya akan berpindah-pindah secara periodik ke kanal alternatif lain yang memungkinkan. Proses perpindahan frekuensi tengah secara periodik ini dilakukan oleh modulasi *frequency hopping*.



Gambar 2.6. Skema spreading DS-FH
Sumber : Glas,1996

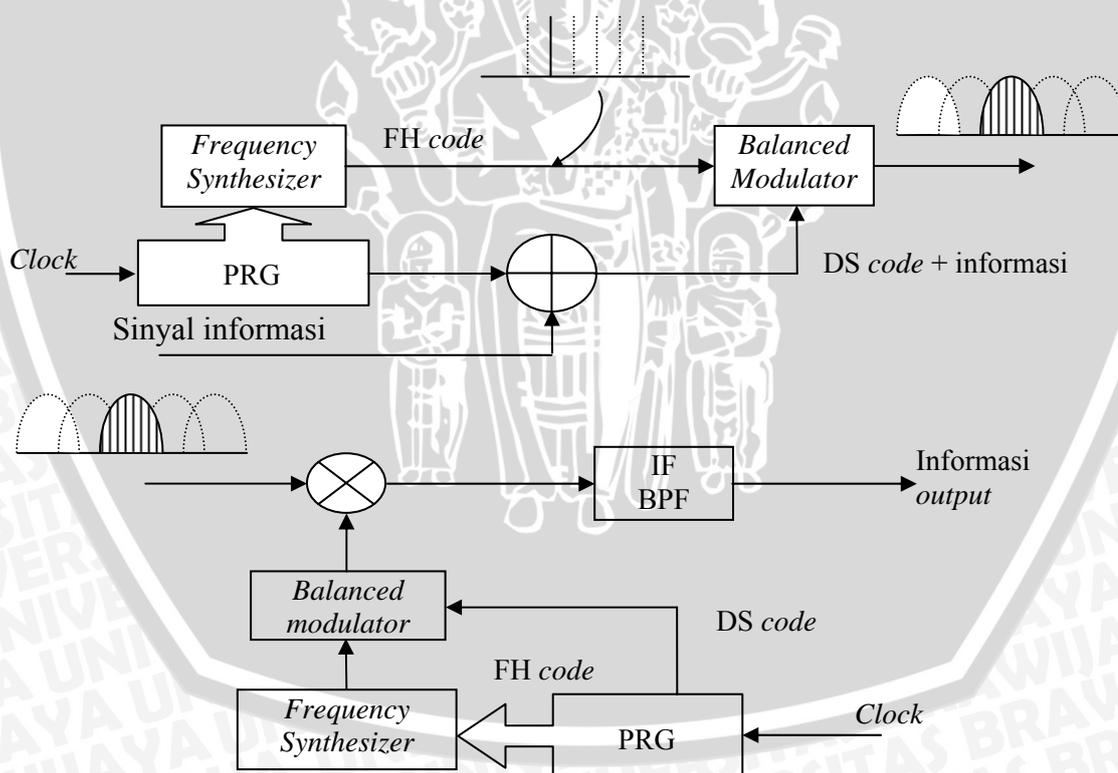
2.1.3.1. Karakteristik Hybrid FH/DS

Kelebihan *hybrid* FH/DS dari metode *spread spectrum* yang lain adalah sebagai berikut :

- Kemampuan dalam penyebaran/ pelebaran spektrum yang lebih baik.
- Akses lebih banyak.

- Sebagai *multiplexing*.

Blok diagram *modulator* dan *demodulator* untuk teknik *hybrid FH/DS spread spectrum* ditunjukkan pada Gambar 2.7. dimana sinyal informasi diproses melalui modulasi *direct sequence* dan sinyal *output* dari modulasi ini akan di *balanced modulator* dengan sinyal *output* dari modulasi FH tanpa sinyal informasi dan hanya menghasilkan frekuensi-frekuensi yang dihasilkan oleh *frequency synthesizer*. Frekuensi yang dihasilkan oleh *frequency synthesizer* pada modulasi FH berfungsi sebagai frekuensi *carrier* yang membawa sinyal *output* dari modulasi DS dimana terkandung sinyal informasi. Pada sisi penerima sinyal *output* dari modulasi *hybrid FH/DS* yang dihasilkan oleh *balanced modulator* pada sisi *modulator* akan di-*mixer* dengan sinyal *output* dari *balanced modulator* pada sisi *demodulator* yang merupakan percampuran dari modulasi FH dan DS tanpa sinyal informasi, dan untuk mendapatkan sinyal informasi yang diinginkan sinyal hasil perkalian (*mixer*) tersebut di-*filter* dengan *bandpass filter (BPF)*.



Gambar 2.7. Blok Diagram Modulasi dan Demodulasi FH/DS

Sumber : meel, 1999

2.1.3.2. Process Gain

Parameter yang penting dalam sistem *spread spectrum* adalah *processing gain* dan jaming margin. *Processing gain* sistem ini berasal dari operasi *spreading* dan *despreading* yaitu sinyal dipancarkan setelah mengalami proses *spreading*, kemudian sinyal *spread spectrum* ini diterima dengan *despreading* (menyempit) setelah dikorelasikan dengan sinyal referensi lokal (seperti jamming, noise, dll) sehingga tidak mengganggu sinyal *spread spectrum* itu sendiri. Sedangkan *processing gain* itu sendiri dapat diartikan sebagai perbandingan antara lebar sinyal *spread spectrum* yang dipancarkan dengan laju informasi data yang dikirimkan. Secara matematis persamaan *processing gain* dapat di-presentasi-kan sebagai berikut : (Pickholtz, 1982)

$$\text{Processing gain (Gp)} = \frac{BW_{\text{RF}}}{BW_{\text{info}}} \quad (2-7)$$

atau :

$$\text{Processing gain (Gp)} = \frac{f_c}{f} \quad (2-8)$$

dengan :

BW_{RF} = lebar pita SS yang dipancarkan (Hz)

BW_{info} = lebar pita minimum untuk mentransmisi data (Hz)

f_c = laju transmisi PN *sequence* (Hz)

f = frekuensi data (Hz)

Processing gain diatas adalah untuk teknik *direct sequence*, sedangkan pada *frequency hopping processing gain* dipresentasikan sebagai berikut :

$$Gp = \frac{BW_{\text{RF}}}{BW_{\text{info}}} = N \quad (2-9)$$

dengan :

N = jumlah kanal frekuensi yang mungkin

Dan *processing gain* pada *hybrid FH/DS* adalah gabungan dari dua *processing gain* diatas, sedangkan bentuk matematisnya dalam dB adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Gp_{(\text{FH/DS})} &= Gp_{(\text{FH})} + Gp_{(\text{DS})} \\ &= 10 \log (N) + 10 \log \frac{BW_{\text{RF}}}{BW_{\text{info}}} \end{aligned} \quad (2-10)$$

Jamming margin adalah jumlah yang dikehendaki di dalam spesifikasi sinyal *spread spectrum* dan besarnya selalu lebih kecil dari *processing gain* sistem. *Jamming margin* dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Jamming Margin (MJ)} = G_p - [L_{\text{sys}} + \left(\frac{S}{N}\right)_{\text{out}}] \quad (2-11)$$

dengan: L_{sys} = *system implementation loses* (dB).

$\left(\frac{S}{N}\right)_{\text{out}}$ = *signal-to-noise ratio informasi output (power ratio)*.

2.2. Pseudorandom Generator (PRG)

Pseudorandom generator atau pembangkit sinyal acak semu adalah pembangkit sinyal biner dengan acak dan dibentuk dari elemen tunda yang dihubungkan dengan kombinasi elemen *linier* pada umpan baliknya, hubungan ini sedemikian rupa sehingga *state* dari *generator* merupakan fungsi dari panjangnya elemen tunda serta kombinasi tertentu dari umpan baliknya.

Ada 2 cara yang dapat dilakukan untuk membangkitkan sinyal acak semu yaitu pembangkitan secara *periodik* dan *non-periodik*. Pembangkitan kode secara *periodik* memiliki urutan pengacakan yang sama untuk setiap *periode* panjang kode, sedangkan pembangkitan secara *non-periodik* memiliki urutan pengacakan yang tidak selalu sama untuk setiap *periode* panjang kode.

Dalam penerapannya pada sistem *spread spectrum*, pembangkit sinyal acak secara *periodik* lebih banyak digunakan pada teknik *spread spectrum*, karena teknik pembangkitannya cukup sederhana. Perubahan waktu terkecil pada urutan kode dengan durasi t_1 disebut sebagai satu *chip* dan untuk setiap satu *periode* pengkodean terdiri dari L *chip*. Pengkodean terpanjang yang dapat dibangkitkan oleh suatu *shift register* atau elemen penunda, yang disebut sebagai deretan pengkodean maksimal yang dinyatakan dengan $L = 2^n - 1$, dimana n menyatakan jumlah deretan *shift register*. Deretan kode diatas disebut dengan kode *linear feedback shift register* (LFSR) maksimal. Pada deretan maksimal tersebut suatu deretan kode L beranggotakan n maka vektor kode $L = \{L_1, L_2, L_3, \dots, L_n\}$ dan jumlah kombinasi *vektor* L dapat membentuk *variasi* deretan kode sebanyak 2^n . Dengan demikian untuk harga n yang semakin besar akan semakin sulit mendeteksi sinyal data yang diacak.

2.2.1. Karakteristik Sinyal Acak Semu

Pola acak yang dibangkitkan tidak benar-benar acak, tetapi merupakan pola semi acak atau yang kita kenal sebagai *pseudo random*, sehingga bagian penerima dapat melakukan pembangkitan ulang untuk *me-recover* informasi. Dengan teknik pembangkitan sinyal acak semu *maximal-length shift register sequence* akan dihasilkan sebuah pola pengacakan yang maksimum. Sinyal acak yang dihasilkan oleh *shift register* dari pemilihan tapping yang dilakukan akan menyebabkan bentuk kode-kode yang berlainan untuk masing-masing tapping.

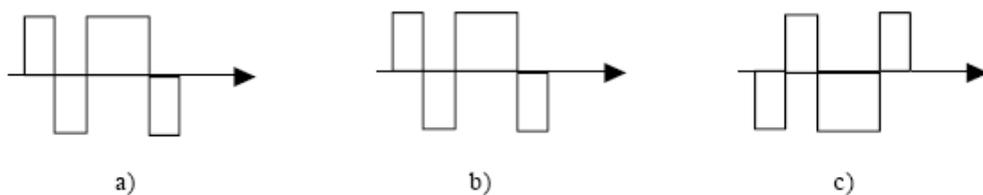
Deretan sinyal acak semu yang dibangkitkan oleh PRG tidak didasarkan atas bentuk deretan pulsa itu sendiri tetapi berdasarkan cara deretan pulsa itu dibentuk. Untuk mengetahui sifat semu PRG maka kita dapat melihat karakteristik dasar berikut ini :

1. *Balanced Property*

Kondisi balance (seimbang) untuk sekuen biner yang baik men-syaratkan jumlah bit 1 dan jumlah bit 0 yang muncul sama. Beda yang diijinkan maksimum adalah 1 *digit*.

2. *Correlation Property*

Jika suatu periode pada sekuen dibandingkan secara *term by term* dengan suatu siklus yang digeser terhadap dirinya sendiri, akan didapat periode dimana sinyal itu akan memiliki perulangan. Pada dua sinyal dengan periode yang sama, *to s/d tn*, maka keduanya benar-benar mirip. Kondisi ini dalam bentuk ternormalisasi memiliki nilai korelasi 1. Untuk suatu kondisi dimana bentuk sinyal pertama bertolak belakang dengan sinyal kedua, maka dinyatakan memiliki korelasi -1 . Gambaran korelasi dua sinyal secara sederhana seperti Gambar 2.8. berikut ini. Gambar a dan b memiliki korelasi 1, sedangkan gambar a dengan c memiliki korelasi -1 .



Gambar 2.8. Sinyal yang bekorelasi
Sumber : anonymous www.spreadspectrum.com

3. *Run Property*

Deretan chip dari logika yang sama dalam satu periode kode biner acak. Pada setiap setengah dari jumlah chip untuk logika yang sama(m) dalam satu periode memiliki rentang run $1/2$ dari jumlah chip (0.5m) sebanyak satu, memiliki rentang run $1/4$ jumlah chip (0.25m) sebanyak dua, memiliki rentang.

Rentang <i>run</i> (chip)	Jumlah <i>run</i>		Jumlah <i>chip</i> keseluruhan
	"1"	"0"	
1	32	32	64
2	16	16	32
3	8	8	16
4	4	4	8
5	2	2	4
6	1	1	2
7	1	0	1
8	0	1	1
Total	64	64	128

Tabel 2.1. Distribusi *run* untuk Deretan $2^8 - 1$

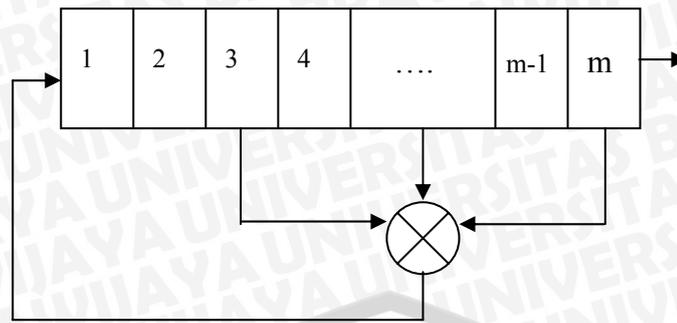
Sumber : www.ies.eepis-its.edu

2.2.2. Teknik Pembangkitan Sinyal Acak Semu

Untuk membangkitkan sinyal acak semu dapat dilakukan dengan beberapa cara, yaitu :

1. Dengan menggunakan *shift register*.
2. Dengan menggunakan perangkat lunak atau *software*.
3. Dengan menggunakan PROM (*Programable Read Only Memory*).

Dari ketiga teknik diatas yang sering dipakai adalah rangkaian *shift register* dengan umpan balik melalui operasi *modulo-2* yang berupa operasi dari gerbang XOR, dan secara diagram blok dapat ditunjukkan seperti Gambar 2.9.



Gambar 2.9. Blok Diagram Pembangkit Sinyal Acak

Sumber : meel,1999

Konfigurasi dari LFSR ini akan memberikan urutan panjang kode maksimal sebesar $2^n - 1$. Keuntungan dari urutan panjang kode maksimal ini adalah memiliki sifat *korelasi* diri yang sangat baik, sehingga mempermudah proses pembentukan kembali sinyal informasi (*despreading*). Adapun kerugian dari urutan kode maksimal ini apabila ada keinginan untuk mengubah urutan kode maksimal, maka perlu dilakukan perubahan pada perangkat kerasnya, sehingga dari permasalahan ini dikembangkan teknik pembangkitan kode yang lain.

Pembangkitan kode dengan menggunakan perangkat lunak akan memberikan kemungkinan pengacakan kode dengan *variasi* yang sangat banyak, selain itu sangat mudah untuk mengubah urutan kode sesuai yang dikehendaki. Hal ini akan sangat sesuai untuk aplikasi pada telepon mobil selular, karena untuk setiap pemakai harus memiliki kode yang tergantung pada nomor teleponnya. Semuanya itu dapat dilakukan dengan komputer kecil yang mampu membangkitkan kode dengan laju data yang tinggi.

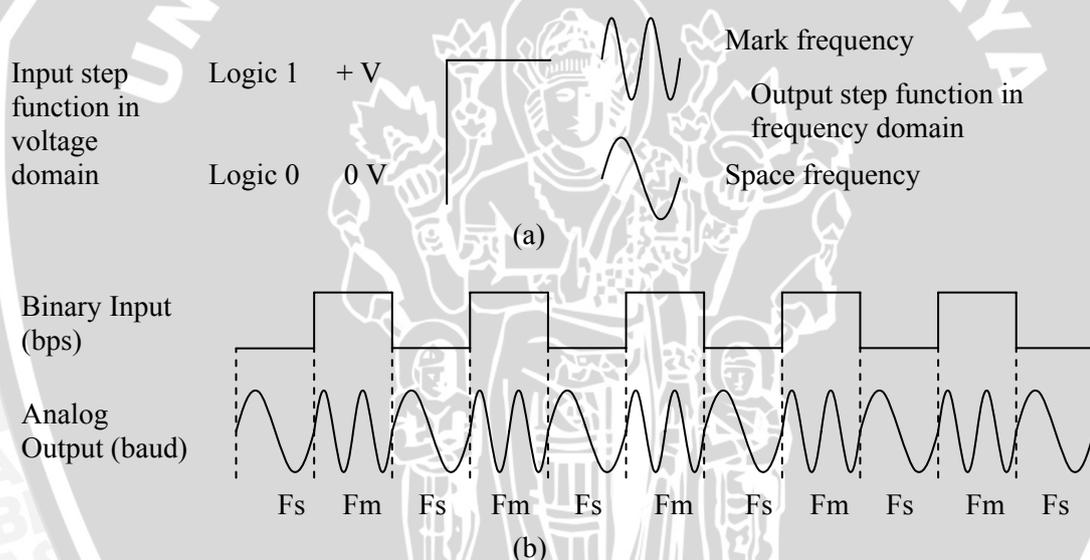
Teknik lain untuk membangkitkan kode pengacak adalah menggunakan PROM. Di dalam PROM kode-kode pengacak disimpan, sedangkan rangkaian elektronik dari kode dengan PROM ini lebih rumit dibandingkan dengan pembangkit kode *shift register*.

2.3. *Frequency Shift Keying (FSK)*

FSK adalah modulasi *digital* yang relatif sederhana. FSK adalah modulasi sudut yang mempunyai bentuk selubung (*envelope*) konstan yang mirip dengan modulasi frekuensi kecuali bahwa sinyal pemodulasinya berupa aliran pulsa biner yang berubah-ubah diantara dua *level* tegangan.

2.3.1. Modulator FSK

Dalam FSK, frekuensi *carrier* digeser (dideviasikan) oleh data *input* biner. Akibatnya, *output* modulator FSK berupa fungsi tunak (*step function*) dalam domain frekuensi. Selama sinyal *input* biner berubah dari *logic 0* ke *logic 1*, atau sebaliknya, frekuensi *output* FSK berpindah pindah diantara dua frekuensi : “*mark*” atau frekuensi *logic 1* dan “*space*” atau frekuensi *logic 0*. Dalam FSK, frekuensi *output*-nya berubah setiap kali kondisi *input* biner berubah, hal ini mengakibatkan kecepatan perubahan *output* sama dengan kecepatan perubahan sinyal *input*. Kecepatan perubahan *input modulator* disebut kecepatan *bit* (*bit rate*) dan mempunyai satuan *bit per second* (bps). Sedangkan kecepatan perubahan *output modulator* disebut *baud rate* dan sama dengan kebalikan dari waktu satu *output* elemen penyelisihan (*signaling*). Pada FSK kecepatan *bit* dan kecepatan *baud* selalu sama. Modulasi FSK dapat dilihat pada Gambar 2.10.

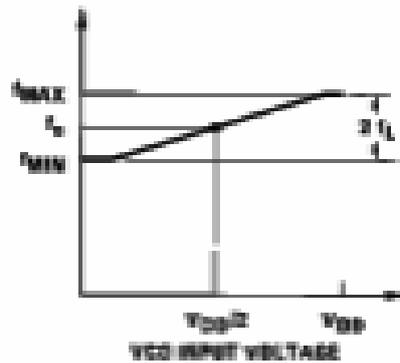


Gambar 2.10. Sinyal *input* dan *output* (a) dan *time sequence* (b)

Sumber : Komunikasi data, 2001

2.4. Voltage Control Oscillator (VCO)

Prinsip kerja dari VCO adalah mengubah *level* tegangan dari sinyal *input* ke dalam frekuensi, dimana frekuensi yang dihasilkan harus lebih besar dari frekuensi “*free running*”. Frekuensi *free running* $w_f (= 2\pi f_f)$ dan pergeseran frekuensi Δw yang sebanding dengan tegangan *input* V_d seperti ditunjukkan pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11. Karakteristik VCO
Sumber : National Semiconductor.com

Dan frekuensi *output* VCO dinyatakan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \omega_f &= \omega_f + k_o v_d \text{ (rad/s)} \\ &= \omega_f + \Delta\omega \end{aligned}$$

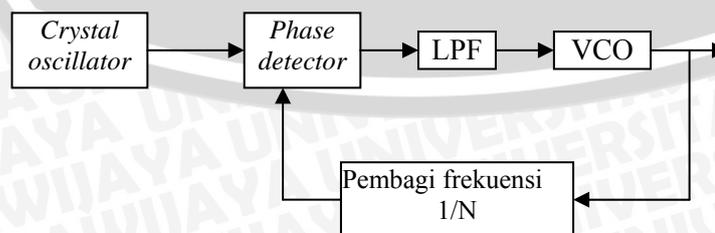
dengan $\Delta\omega = k_o v_d$

k_o = faktor penguat VCO (rad/sec/volt)

v_d = tegangan *input*

2.5. Frequency Synthesizer (pembangkit frekuensi)

Jika dibutuhkan suatu sumber sinyal yang stabil biasanya digunakan osilator kristal dan *mixer*. Untuk membangkitkan banyak macam sinyal-sinyal frekuensi maka harus disiapkan banyak kristal. Jika kita digunakan sistem PLL untuk membangkitkan suatu sinyal maka satu kristal saja sudah cukup untuk membangkitkan banyak sinyal-sinyal (frekuensi). Gambar 2.12. menunjukkan sistem ini. Pembagi yang bisa diprogram (“*programmable divider*”) digunakan untuk menghasilkan 1/N frekuensi dari sinyal *input* pembagi. Sinyal *input* ke PLL dikirim dari suatu osilator kristal yang stabil. Jika N diubah-ubah sesuai dengan *input* dari rangkaian *divider* maka akan menghasilkan frekuensi f_o yang berubah-ubah pula. Karena frekuensi *input* dan frekuensi *output* dari pembagi harus sama maka *output* VCO menjadi : $f_o = N f_i$

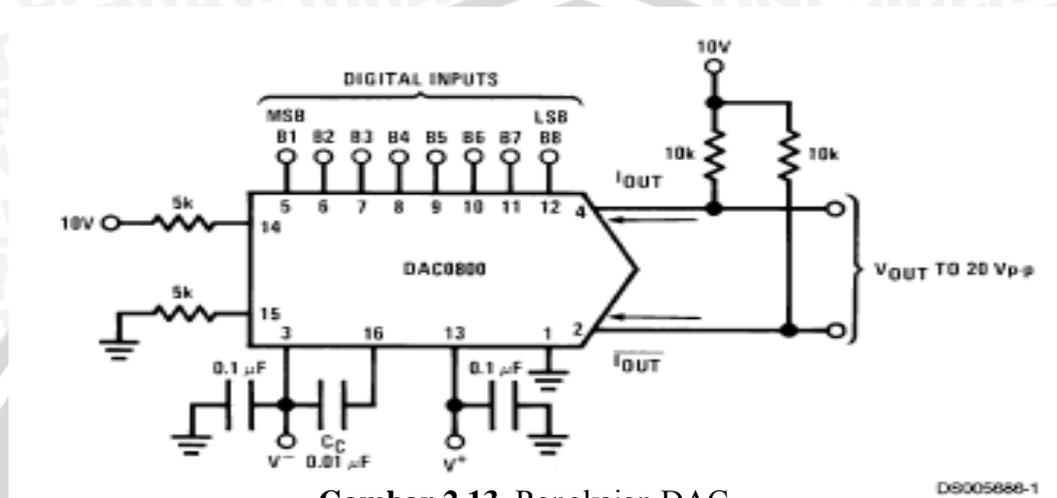


Gambar 2.12. Frequency Synthesizer menggunakan PLL

Sumber : Komunikasi Elektronika, 1984

2.6. Digital to Analog Converter (DAC)

Rangkaian DAC suatu rangkaian yang dapat mengkonversi data 8 bit digital ke suatu sinyal analog. Rangkaian DAC sederhana diperlihatkan pada Gambar 2.14, dimana dibuat dalam dua bagian. Sebelah atas merupakan input digital B1 sampai B8, dan outputnya berupa tegangan analog V_{out} . Setiap masukan digital akan dikonversi DAC menjadi analog V_{out} dengan resolusi 0,019 V tiap bit masukan.



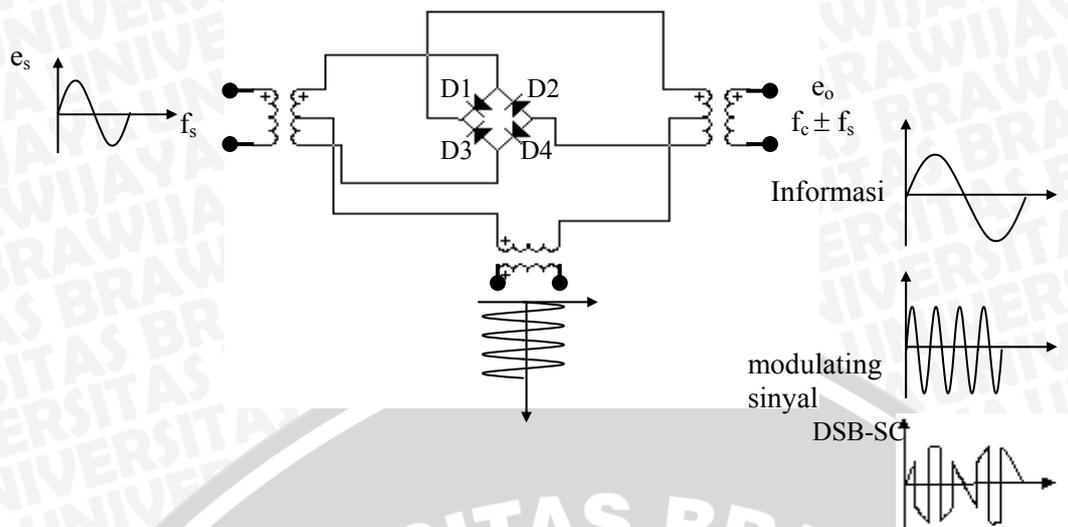
Gambar 2.13. Rangkaian DAC

Sumber : National semiconductor, 1999

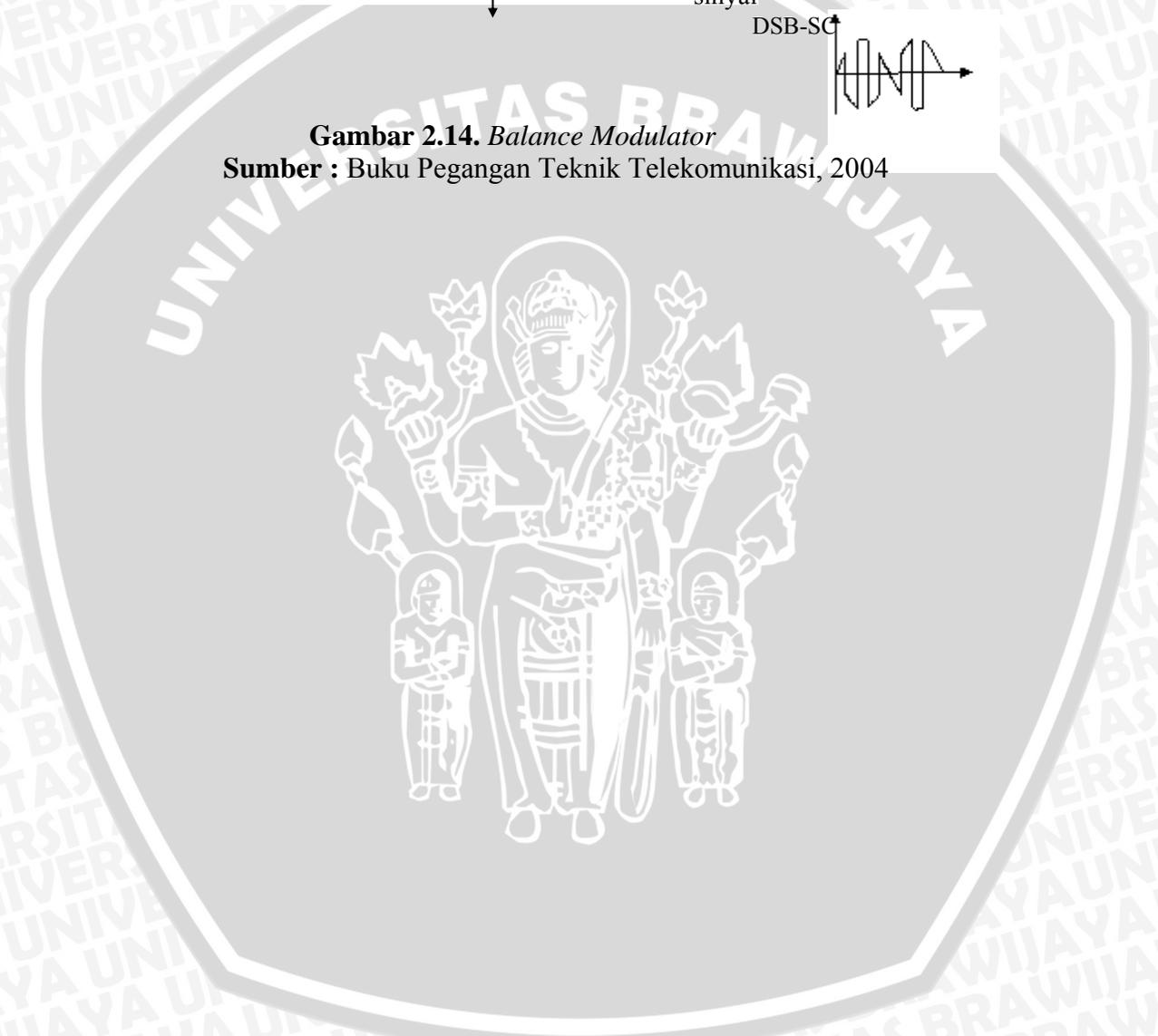
2.7. Balanced Modulator (BM)

Balance modulator merupakan rangkaian untuk sinyal pemodulasi dan sinyal dimodulasi. Rangkaian Balance modulator ini menggunakan empat buah diode yang disusun melingkar untuk itu rangkaian ini juga disebut “Ring Modulator”. Gambar 2.14. merupakan balanced modulator.

Dari hasil penataan ulang diasumsikan amplitudo sinyal pemodulasi cukup besar untuk men-switch diode dan amplitudo sinyal pemodulasi tidak sebesar dibandingkan dengan amplitudo. Jika amplitudo carrier positif maka diode D_1 dan D_3 akan ON dan diode yang lainnya OFF. Jika amplitudo negatif maka D_2 dan D_4 akan ON dan diode yang lainnya OFF. Sehingga balanced modulator ganda ini akan men-switching dengan kecepatan yang sesuai dengan kecepatan periode .



Gambar 2.14. Balance Modulator
Sumber : Buku Pegangan Teknik Telekomunikasi, 2004



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

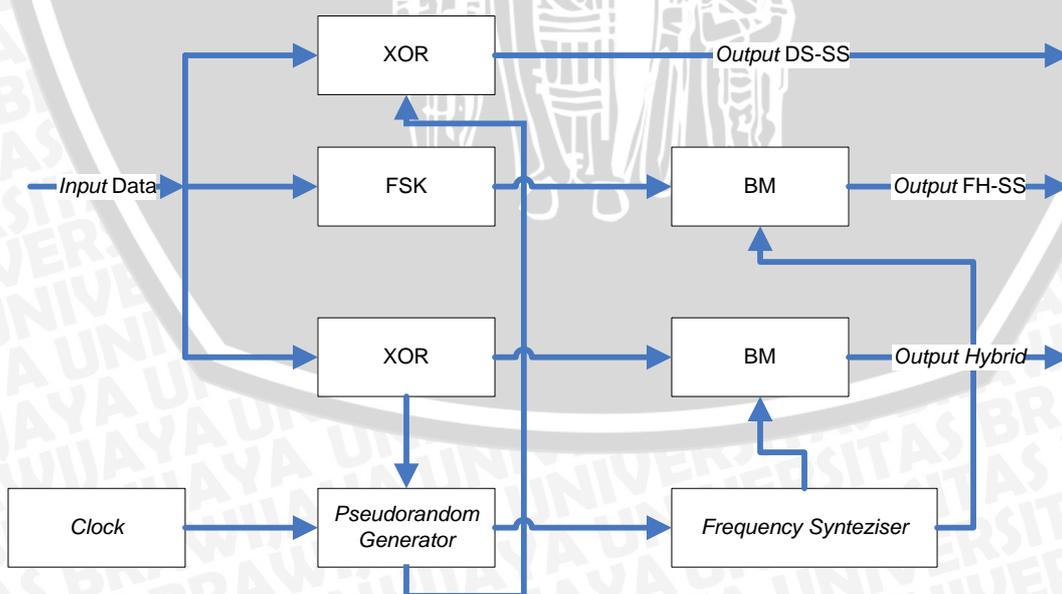
Pada skripsi ini pembuatan Modulator *Spread Spectrum* dengan Teknik *Hybrid* ini menggunakan metodologi sebagai berikut :

3.1. Studi Pustaka

Studi pustaka dilakukan untuk mempelajari hal-hal mengenai modulator spread spectrum. Studi pustaka yang dilakukan meliputi Teknik *Spread Spectrum*, *Pseudorandom Generator* (PRG), *Frequency Shift Keying* (FSK), *Voltage Control Oscillator* (VCO), *Frequency Synthesizer* (pembangkit frekuensi), DAC dan *Balanced Modulator*.

3.2. Pemodelan

Sebelum merencanakan alat pemodelan merupakan salah satu langkah yang penting. Di dalam skripsi ini, pemodelan dilakukan tiap blok rangkaian yaitu pemodelan pada blok *clock Pseudorandom Generator* (PRG), *Frequency synthesizer* (pembangkit frekuensi), *Frequency shift keying* (FSK), dan *Balanced modulator*. Pemodelan pada skripsi ini dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Blok diagram *modulator hybrid*

3.3. Perencanaan Alat

Untuk merealisasikan alat ini dilakukan langkah-langkah sebagai berikut:

- a. Pembuatan blok-blok diagram sistem.
- b. Pembuatan rangkaian pada tiap-tiap blok.
- c. Menyusun tiap-tiap blok menjadi satu sistem secara keseluruhan dalam *board-board*.

3.3. Pengujian Alat

Pengujian dilakukan pada tiap blok rangkaian *Modulator* dan pengujian untuk seluruh sistem. Dalam pengujian ini dilakukan pada blok-blok sebagai berikut :

- Pengujian Blok rangkaian *clock*

Pengujian blok rangkaian *clock* dilakukan dengan menggunakan osiloskop, apakah rangkaian *clock* yang dibuat mampu menghasilkan gelombang sesuai yang diinginkan.

- Pengujian Blok rangkaian PRG

Pengujian blok rangkaian PRG dilakukan dengan menggunakan osiloskop, apakah rangkaian *clock* yang dibuat mampu menghasilkan gelombang sesuai yang diinginkan

- Pengujian Blok *Frequency synthesizer*

Pengujian blok ini dilakukan dengan jalan memberi masukan kode biner yang berbeda-beda pada input DAC dan mengukur keluaran DAC dengan menggunakan multimeter digital, kemudian mengamati output VCO dengan menggunakan osiloskop.

- Pengujian keseluruhan sistem.

Pengujian keseluruhan sistem dilakukan dengan menyambungkan blok perangkat keras dan mengoperasikan sistem kemudian dapat diketahui apakah alat ini bekerja sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan.

3.4. Penarikan Kesimpulan

Setelah melakukan pemodelan, perencanaan, pembuatan, dan pengujian sistem *Modulator Spread Spectrum* dengan Teknik *Hybrid* serta menganalisis sistem, maka dapat ditarik kesimpulan.

BAB IV

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

Bab ini menjelaskan mengenai spesifikasi alat, diagram blok rangkaian, penjelasan per blok rangkaian serta cara kerja sistem secara keseluruhan..

4.1. Rancangan Blok Diagram dan Prinsip Kerja

Rancangan dari peralatan ini dapat dilihat pada blok diagram pada gambar 4.1., dimana prinsip kerjanya adalah sebagai berikut:

Pada blok *modulator spread spectrum* terdapat tiga macam saklar *input*, masing-masing saklar mempresentasikan tiga teknik *modulator* dalam sistem *spread spectrum* yaitu saklar pertama (S1) untuk mengaktifkan *modulator spread spectrum teknik direct sequence* (DS-SS), saklar kedua (S2) untuk mengaktifkan *modulator spread spectrum teknik frequency hopping* (FH-SS), sedangkan untuk saklar ketiga (S3) mengaktifkan *modulator spread spectrum teknik hybrid* (h-SS).

1. Kondisi saat S1 (DS-SS) on

Saklar *power on* akan mengaktifkan *clock*, PRG, DAC, dan VCO. Dan saat S1 on sinyal *input* (*data digital*) masuk pada gerbang XOR bersama dengan *output* PRG pada *bit* terakhir (LSB). Kedua *input* tersebut dijumlahkan oleh XOR dan dihasilkan sinyal dengan *bandwidth* yang melebar dengan *level* daya yang kecil. Proses penjumlahan ini dikenal dengan proses *spreading*. Dan pada *demodulator*, sinyal yang diterima diuraikan kembali menjadi sinyal dengan *bandwidth* menyempit dan *level* daya naik dikenal dengan proses *despreading*.

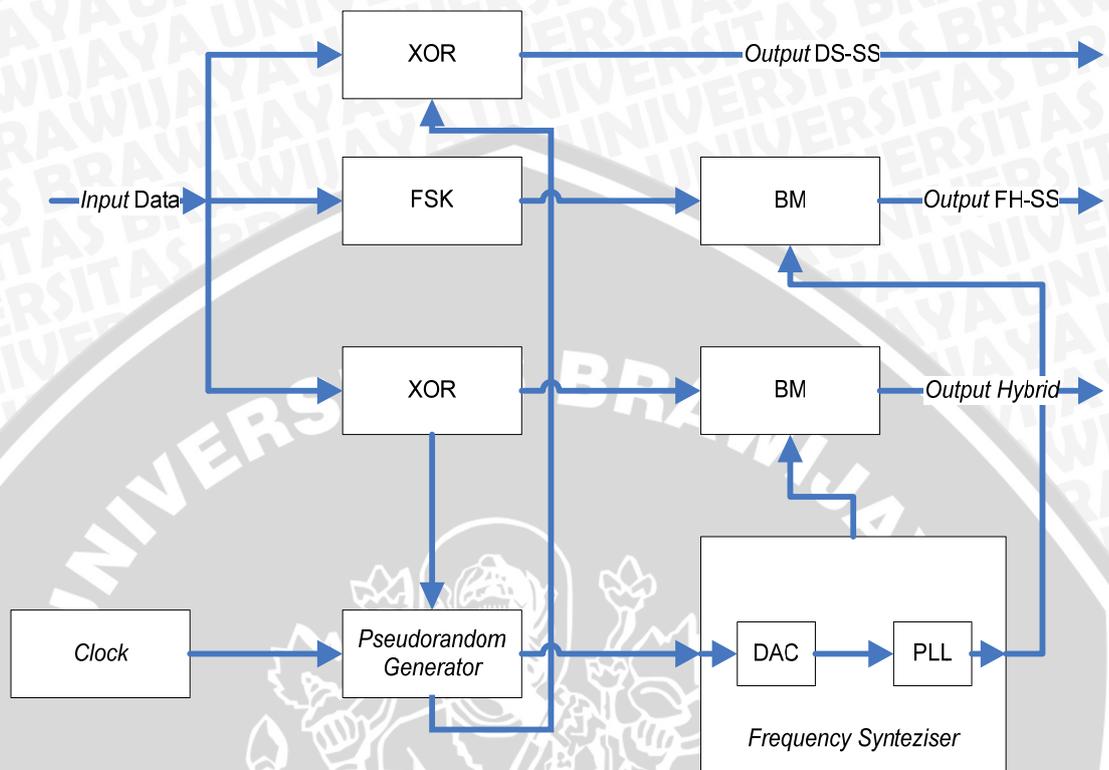
2. Kondisi saat S2 (FH-SS) on

Saklar *power on* akan mengaktifkan *clock*, PRG, DAC, dan VCO. Dan saat S2 (FH-SS) on akan mengaktifkan FSK dan BM (*Balanced Modulator*). Sinyal *input* akan mengalami *modulasi* FSK sebelum masuk ke *balance modulator*, dan pada *balance modulator* akan dicampur dengan sinyal dari *frequency synthesizer* dan menghasilkan sinyal dengan frekuensi *carrier* yang berpindah – pindah yang merupakan *output* dari *frequency hopping*.

3. Kondisi saat S3 (Hybrid –SS) on

Saklar *power on* akan mengaktifkan *clock*, PRG, DAC, dan VCO. Dan saklar S3 (Hyrid-SS) akan memutus FSK dan mengaktifkan BM. Sinyal *input* dijumlahkan dengan *bit* terakhir *output* PRG (LSB) yang kemudian dicampur dengan *output*

frequency synthesizer pada BM sehingga dihasilkan sinyal DS-SS dengan frekuensi *center* yang berpindah-pindah.

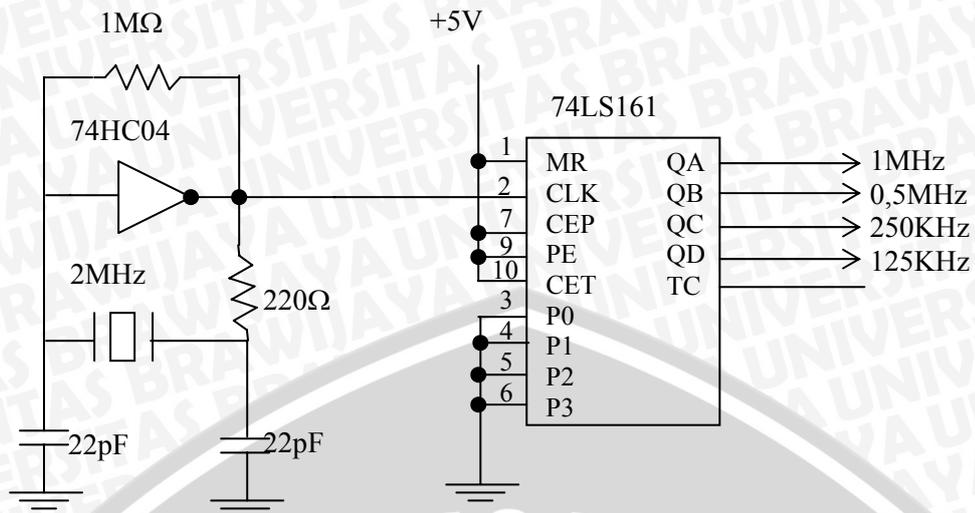


Gambar 4.1. Blok diagram lengkap pada box modulator

4.2. Diagram Rangkaian

4.2.1. Rangkaian clock

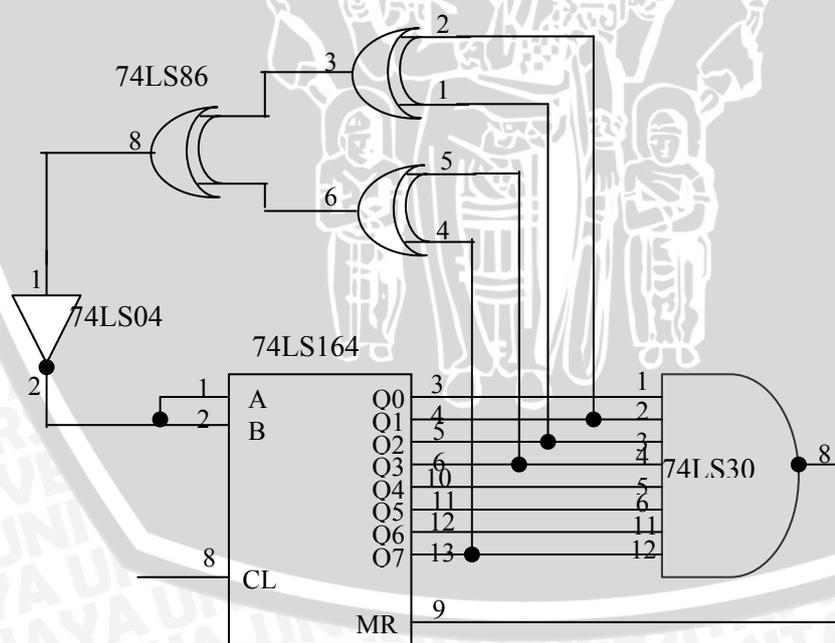
Pada Gambar 4.2. menunjukkan rangkaian *clock* yang digunakan kristal 2 Mhz serta IC 74LS161 sebagai pembagi frekuensi yang dihasilkan oleh kristal. Bagian ini merupakan bagian yang sangat penting dari seluruh blok rangkaian yang ada, karena sinyal acak yang dihasilkan PRG akan tergantung dari *clock*. Pada *modulator spread spectrum*, clock yang direncanakan adalah 1MHz Karena kristal 1 MHz sulit didapat maka IC 74LS161 digunakan sebagai pembagi frekuensi untuk mendapatkan frekuensi yang dibutuhkan ini.



Gambar 4.2. Rangkaian *clock* menggunakan kristal 2MHz

4.2.2. Rangkaian Pseudorandom Generator (PRG)

Bagian terpenting dari *spread spectrum* adalah PRG karena merupakan salah satu ciri khas dari sistem *spread spectrum*. Blok PRG ini akan menghasilkan sinyal acak yang berupa *bit 0* dan *bit 1*.



Gambar 4.3. PRG *circuit*

Gambar 4.3. menunjukkan PRG *circuit* yang Komponen utama dari rangkaian ini adalah IC 74LS164 dimana pada IC ini tersusun dari 8 *shift register (D-flip flop)* yang masing-masing *ouput shift register* akan masuk ke DAC. IC 74LS164 ini

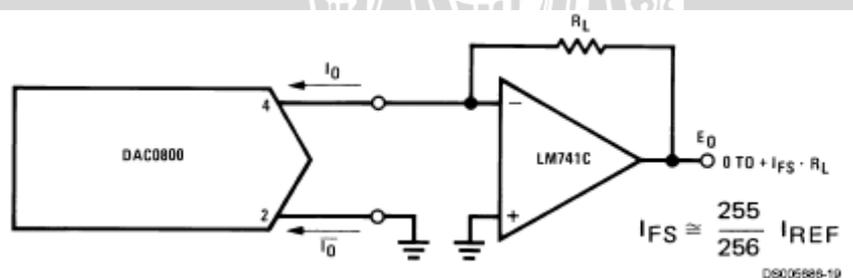
digunakan karena dalam perancangan ini kode yang ditentukan adalah 255 kode sehingga untuk mendapatkan kode tersebut harus memakai 8 *shift register* pada IC 74LS164, sedangkan prinsip kerja dari PRG adalah sebagai berikut :

Q0-Q7 akan di NAND (74LS30) dan *output*-nya akan digunakan untuk mengaktifkan *reset* pada 74LS164, sedangkan yang masuk pada XOR (74LS86) tergantung dari *tapping* yang digunakan. Untuk mendapatkan jumlah kode maksimal (255 kode) maka digunakan *tapping* {[8,4,3,2][8,6,5,3][8,6,5,2][8,5,3,1][8,6,5,1][8,7,6,1]} misalnya digunakan *tapping* [8,4,3,2] maka yang masuk pada XOR adalah Q7+Q3 dan Q2+Q1. Selanjutnya output dari gerbang NOT yang berubah-ubah akan digunakan sebagai *input shift register* yang pertama sehingga menyebabkan *output* masing-masing *shift register* juga berubah-ubah (*random*).

4.2.3. Digital to Analog Converter (DAC)

Untuk mengkonversi sinyal *digital* dari PRG menjadi sinyal *analog* digunakan DAC, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.4., sehingga didapat suatu level tegangan DC yang berubah-ubah sesuai dengan input digital yang diterima. Pada bagian ini dirancang suatu DAC 8 bit dengan *level* tegangan *output* minimal 3V yaitu pada saat kondisi 00000001 hal ini dikarenakan VCO membutuhkan tegangan minimal 1V untuk dapat menghasilkan frekuensi tertentu. DAC ini dipilih karena, selain mudah didapatkan juga harganya yang murah.

Sedangkan tegangan maksimal untuk aplikasi pada umumnya adalah 5 V. Oleh karena itu diperlukan tegangan referensi (-) 1V dan tegangan referensi (+) 5V.



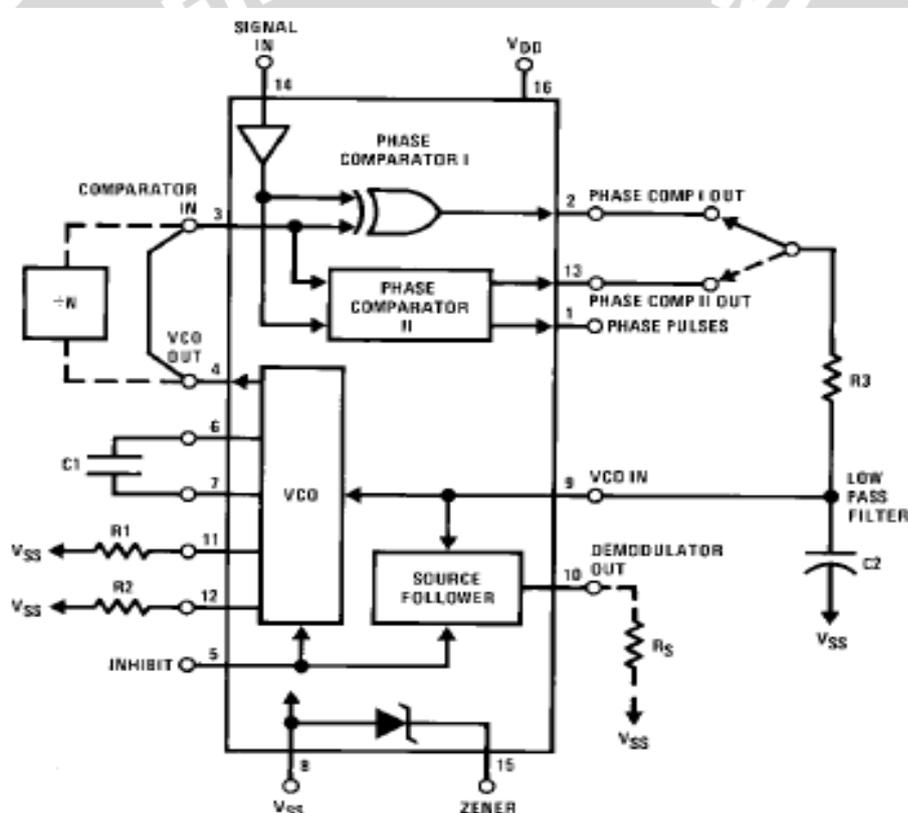
Gambar 4.4. Rangkaian DAC

4.2.4. Voltage Control Oscillator (VCO)

Pada FH-SS diperlukan suatu frekuensi *carier* yang berubah-ubah (*hopping*), sehingga diperlukan VCO yang akan mengkonversi tegangan ke frekuensi, dimana *level* tegangannya didapat dari *output* DAC. Agar *frequency* yang dihasilkan stabil maka

VCO ini dirangkai dengan metode *Phase Locked Loop* (PLL). *Frequency carrier* yang dibutuhkan adalah sekitar 1MHz maka kami menggunakan IC CD4046BE. Pada perancangan alt ini keluaran VCO haruslah lebih dari 1MHz karena clock yang dipilih adalah 1MHz. Pada IC CD4046BE frekuensi yang dihasilkan adalah dapat mencapai 1MHz kemudian dengan menggunakan pembagi frekuensi sebesar lima kali maka keluaran dari PLL dapat mencapai 5MHz. Adapun IC CD4046BE dapat dilihat pada gambar 4.5. dibawah.

Pada rangkaian VCO dibawah kami menggunakan *external* kapasitor (C1 dan C2) sebesar 50pF, R1 dan R3 sebesar 10K Ω sehingga frekuensi yang dihasilkan sekitar 0MHz-1,6MHz dengan tegangan *input* minimum untuk dapat menghasilkan frekuensi ber-*orde* MHz adalah $\pm 5V$.

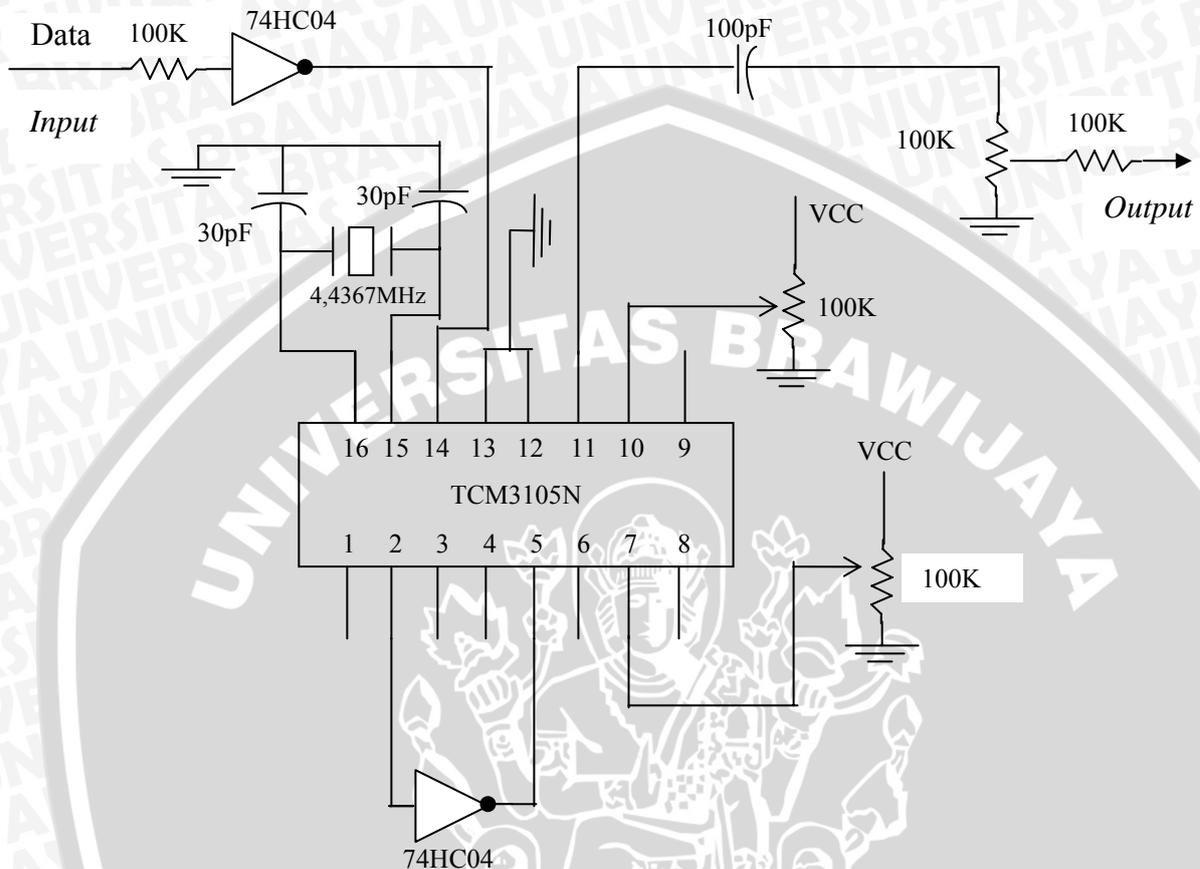


Gambar 4.5. Rangkaian IC CD4046

4.2.5. *Frequency Shift Keying* (FSK)

Frequency shift keying ini direncanakan mempunyai frekuensi *mark* sebesar 2200 Hz dan frekuensi *space* sebesar 1200 Hz sehingga frekuensi sinyal *input* bisa sampai 2200 Hz. Rangkaian FSK ini menggunakan IC TCM3105N dengan *carier input* yang berasal dari sebuah kristal sebesar 4,4367 MHz, Pemilihan IC ini karena IC

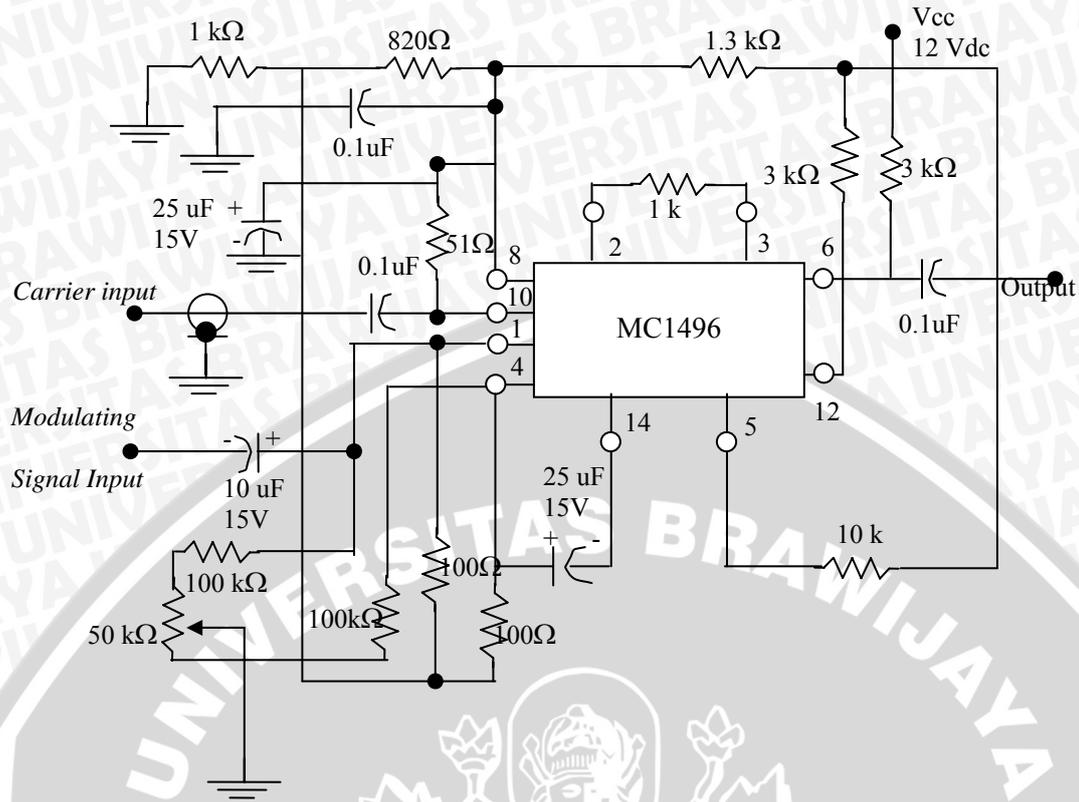
TCM3105N merupakan IC FSK *modem*. adapun rangkaiannya ditunjukkan pada Gambar 4.6. dibawah:



Gambar 4.6. Modulator FSK menggunakan IC TCM3015JE

4.2.6. *Balanced Modulator (BM)*

Rangkaian *balanced modulator* ini akan mendapat 2 *input* yaitu dari VCO dan sinyal termodulasi FH-SS atau DS-SS. Rangkaian ini menggunakan IC MC1496 yang juga dapat difungsikan sebagai *demodulator* BM, adapun rangkaiannya ditunjukkan pada Gambar 4.7. dibawah:



Gambar 4.7. *Balanced Modulator* menggunakan IC MC1496

BAB V

PENGUJIAN DAN ANALISIS

5.1. Pendahuluan

Pada bab ini akan dilakukan pengujian dan analisis dari rangkaian per-blok yang telah direncanakan dan dibuat. Untuk mengetahui karakteristik dari alat ini, pengukuran dilakukan terhadap tiga teknik *modulator spread spectrum*, yaitu teknik *Hybrid*, *Direct Sequence* dan *Frequency Hopping*.

5.2. Pengujian *Spread Spectrum* dengan Teknik *Hybrid*

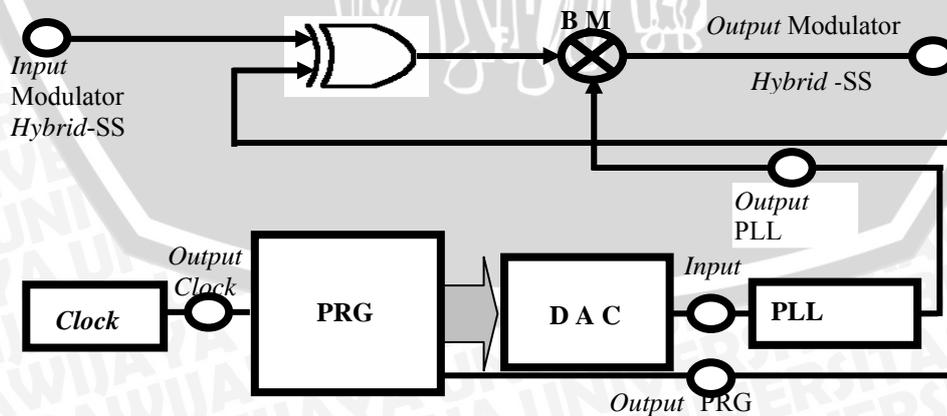
5.2.1. Tujuan

Untuk mengetahui karakteristik modulator *spread spectrum* dengan teknik *hybrid*, dengan melakukan pengukuran pada tiap blok.

5.2.2. Peralatan yang Digunakan

- | | |
|---|--------|
| 1. Modulator <i>Spread Spectrum</i> dengan Teknik <i>Hybrid</i> | 1 buah |
| 2. Function Generator EFG-3210 | 1 buah |
| 3. Oscilloscope GOS-622G 20 MHz | 1 buah |
| 4. Multimeter Digital | 1 buah |
| 5. Kabel penghubung | |

5.2.3. Blok Diagram Rangkaian



Gambar 5.1. Modulator *spread spectrum* dengan teknik *hybrid*

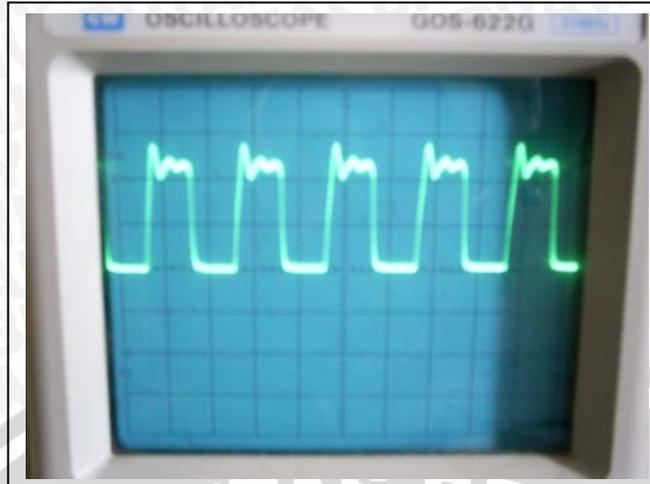
5.2.4. Prosedur Pengujian

1. Periksa agar semua saklar dalam kondisi *off*.
2. Hubungkan *modulator spread spectrum* menggunakan kabel data yang telah tersedia.
3. Berikan catu daya AC 220 Volt pada sisi *modulator* dan nyalakan *modulator spread spectrum* dengan merubah saklar *power* pada posisi *on*.
4. Set *clock* pada *modulator* pada frekuensi 1MHz.
5. Ubahlah saklar *modulator Hybrid-SS* ke posisi *on* untuk mengaktifkan *hybrid spread spectrum*.
6. Berikan *input data digital* dari *function generator* (frek. info < frek *clock*).
7. Hubungkan CH1 *oscilloscope* pada *output clock* dan CH2 pada *output PRG modulator* untuk mengetahui *output clock* dan PRG.
8. Amati bentuk gelombang yang didapatkan dan berikan analisa dan kesimpulan anda dari data yang didapatkan.
9. Hubungkan multimeter digital pada *input VCO* dan set multimeter pada penunjuk tegangan DC dan hubungkan CH1 *oscilloscope* pada *output VCO*.
10. Amati perubahan tegangan *input VCO (output DAC)* dan bentuk gelombang dari *output VCO*. Dan berikan analisa dan kesimpulan anda dari data yang didapatkan.
11. Hubungkan CH1 *oscilloscope* pada *output modulator hybrid*.
12. Amati bentuk gelombang *input dan output modulator hybrid* serta berikan analisa dan kesimpulan anda.

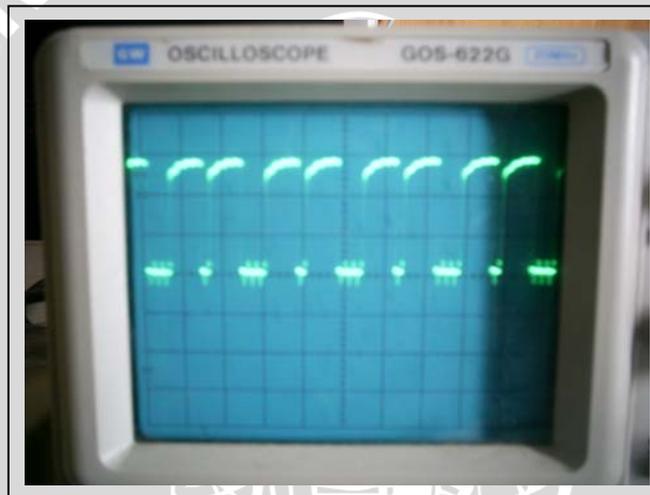
5.2.5. Hasil Pengujian

5.2.5.1. Output Clock Dan PRG

Gambar 5.2 menunjukkan *output clock* dan Gambar 5.3 menunjukkan *output PRG*. Pada Gambar 5.2. di atas *clock* yang digunakan adalah 1MHz, dan *output PRG* yang merupakan kode acak dihasilkan oleh rangkaian PRG yang terdiri *shift register*. Frekuensi *clock* akan mempengaruhi kecepatan acak dari PRG, semakin besar frekuensi *clock* maka kecepatan acak dari PRG akan semakin cepat. *Output PRG* pada *modulator hybrid* diambil 8-bit berfungsi untuk menentukan banyaknya frekuensi yang dihasilkan oleh *frequency synthesizer* dan 1-bit terakhir untuk dijumlahkan dengan *data input*.



Gambar 5.2. Output clock dengan frequency 1MHz dengan time/div=5 μ s dan V/div=0,5V

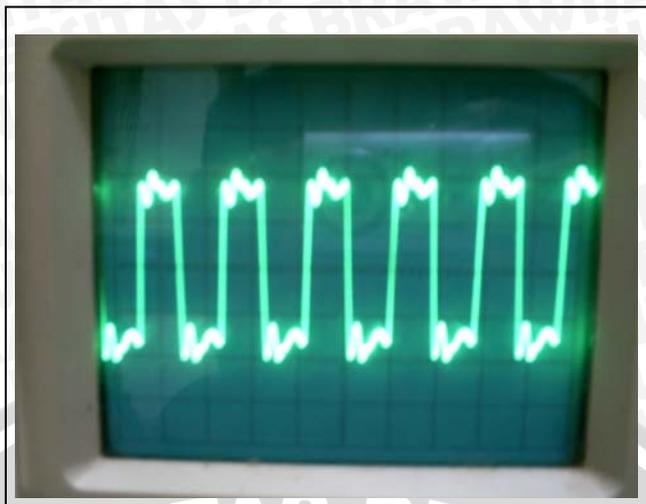


Gambar 5.3. Output PRG dengan time/div=5 μ s dan V/div=0,5V

5.2.5.2. Hasil Pengukuran DAC dan PLL

Pada bagian ini akan dibahas tentang (DAC) serta karakteristik *Phase Locked Loop* (PLL), sebagai bagian dari *frequency synthesizer*, yang akan mengkonversi tegangan *input* dc menjadi frekuensi. Pengukuran *Digital to Analog Converter* (DAC) dilakukan dengan cara menyambungkan output DAC dengan multimeter digital. Dari perlakuan ini diketahui bahwa tegangan yang ditunjukkan berubah-ubah yaitu antara 10V sampai dengan 13V. Hal ini menunjukkan bahwa DAC bekerja dengan baik.

IC VCO CD4046BE mempunyai karakteristik frekuensi *ouput* berkisar 0,8MHz–1,6MHz dengan *range* tegangan *input* 5V sampai dengan 15 V. Berikut Gambar 5.4. pengukuran dari PLL dengan menggunakan IC CD4046BE.

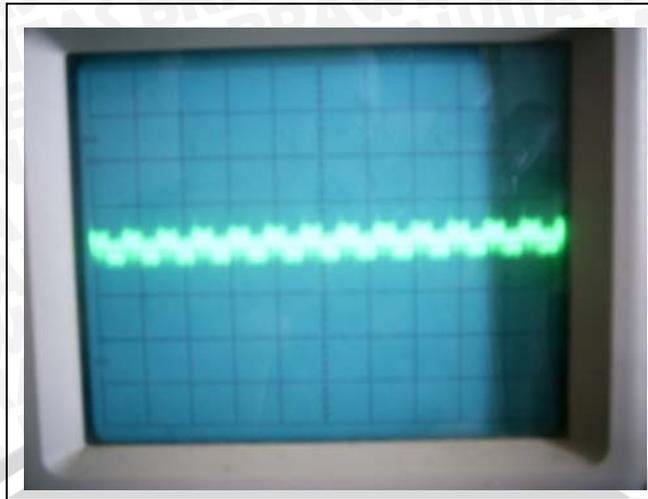


Gambar 5.4. *Output PLL* menggunakan IC CD4046BE dengan $\text{time/div} = 0,1\mu\text{s}$ dan $\text{V/div} = 1\text{V}$

Pengukuran PLL dilakukan dengan cara memberi *input* PLL berupa *level* tegangan DC yang berubah-ubah dan *Level* tegangan DC yang berubah-ubah ini didapat dari output DAC. *Input* tegangan DC yang berubah-ubah tersebut akan menyebabkan perubahan frekuensi *output* PLL. Dari Gambar 5.3 diatas dapat dilihat bahwa frekuensi *output* PLL adalah sekitar $\pm 5\text{MHz}$ dengan tegangan 4V.

5.2.5.3. *Output Modulator Hybrid*

Pengukuran *output* modulator *hybrid* dilakukan untuk mengetahui dan mengamati bentuk sinyal *output* pada *oscilloscope*. Modulator *hybrid* yang dibuat merupakan kombinasi *direct sequence* dan *frequency hopping*. Dari Gambar 5.5 dapat diketahui bahwa *output hybrid* berupa *output direct sequence* dengan frekuensi *center* yang berpindah-pindah, dengan range level tegangan sekitar 0,1V sampai dengan 0,2V dan range frekuensi sekitar 50Hz sampai dengan 41,67Hz. Perpindahan frekuensi *center* ini dilakukan oleh frekuensi *hopping*. Sehingga *hybrid* mempunyai keuntungan berupa sinyal *output* dengan level daya yang rendah dan frekuensi *center* yang berpindah-pindah dan merupakan keuntungan dua teknik, yaitu *direct sequence* dan *frequency hopping*, yang digabungkan.



Gambar 5.5. Output modulator *spread spectrum* dengan teknik *hybrid* dengan $time/div = 20ms$ dan $V/div = 0,2V$

5.3. Pengujian *Spread Spectrum* dengan Teknik *Direct Sequence*

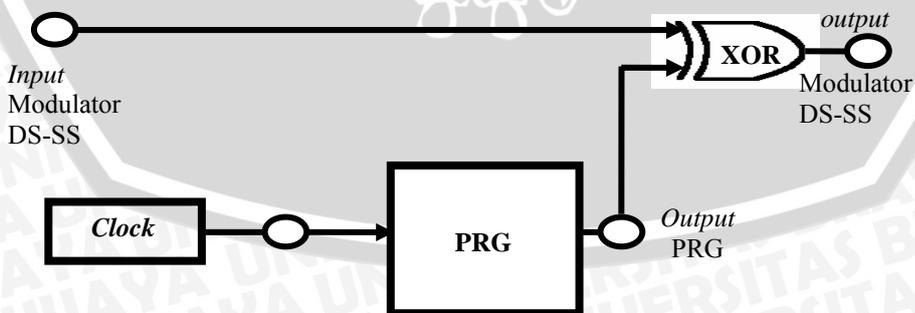
5.3.1 Tujuan

Untuk mengetahui karakteristik modulator *spread spectrum* dengan teknik *direct sequence*, dengan melakukan pengukuran pada tiap blok

5.3.2. Peralatan yang Digunakan

- | | |
|---|--------|
| 1. Modulator <i>Spread Spectrum</i> dengan Teknik <i>Hybrid</i> | 1 buah |
| 2. Function Generator EFG-3210 | 1 buah |
| 3. Oscilloscope GOS-622G 20 MHz | 1 buah |
| 4. Kabel penghubung | |

5.3.3. Blok Diagram Rangkaian



Gambar 5.6. Modulator *spread spectrum* dengan teknik *direct sequence*

5.3.4. Prosedur Pengujian

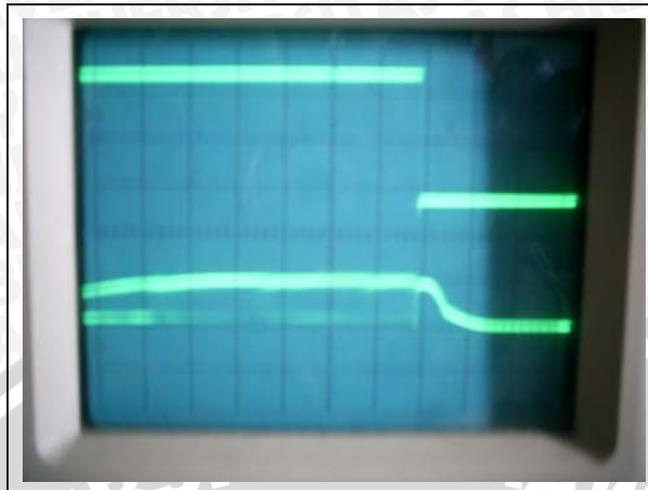
1. Periksa agar semua saklar dalam kondisi *off*.
2. Hubungkan modulator *spread spectrum* menggunakan kabel data yang telah tersedia.
3. Berikan catu daya AC 220 Volt pada sisi *modulator* dan nyalakan *modulator spread spectrum* dengan merubah saklar *power* pada posisi *on*.
4. Set *clock* pada *modulator* 1MHz.
5. Ubahlah saklar DS-SS modulator ke posisi *on* untuk mengaktifkan *direct sequence spread spectrum*.
6. Berikan *input data digital* dari *function generator* (frek. Info < frek. *clock*).
7. Hubungkan CH1 *oscilloscope* pada *output clock* dan CH2 pada *output PRG modulator* untuk mengetahui *output clock* dan PRG.
8. Gambarkan bentuk gelombang yang didapatkan dan berikan analisa dan kesimpulan anda dari data yang didapatkan.
9. Hubungkan CH1 pada *input data* dan CH2 pada *output XOR*.
10. Amati sinyal *output* yang dihasilkan oleh XOR sebagai proses *spreading* serta berikan analisa dan kesimpulan anda berdasarkan pengamatan.
11. Hubungkan CH1 *oscilloscope* pada *input data* dan CH2 pada *output modulator direct sequence*.
12. Amati *input* dan *output modulator direct sequence*, serta berikan analisa dan kesimpulan anda.

5.3.5. Hasil Pengujian

5.3.5.1. Output Clock Dan PRG

Gambar 5.2 dan Gambar 5.3 menunjukkan *output clock* dan PRG. *Clock* yang digunakan pada Gambar 5.2. tersebut adalah 1MHz, dan *output PRG* yang merupakan kode acak dihasilkan rangkaian PRG yang terdiri *shift register*. Frekuensi *clock* akan mempengaruhi kecepatan acak dari PRG, semakin besar frekuensi *clock* maka kecepatan acak dari PRG akan semakin cepat. *Output PRG* diambil 1-bit terakhir (LSB) yang akan dijumlahkan dengan data informasi pada XOR sebagai proses *spreading*.

5.3.5.2 Output Modulator Direct Sequence



Gambar 5.7. Sinyal data (atas) dan *output XOR*(bawah) dengan $\text{time/div}=2\mu\text{s}$ dan $\text{V/div}=5\text{V}$

Gambar 5.7. adalah sinyal data sebelum *spreading* (atas) dan sesudah *spreading* (bawah). Proses *spreading* dilakukan oleh XOR, dan dari Gambar 5.7. di atas dapat diamati, Sinyal data dari 20KHz, pada output menjadi 500Khz dan level tegangannya menurun dari 10V menjadi 5V. Pada proses *spreading* frekuensi yang dihasilkan adalah frekuensi terbesar yang dari dua sinyal yang dijumlahkan oleh XOR, dan pada data ini frekuensi tersebut didapat dari PRG. Dan proses inilah yang membuat *bandwidth* sinyal melebar dan menyebabkan *level* daya dari sinyal turun. Semakin lebar *bandwidth* yang dihasilkan, *level* daya yang dihasilkan akan makin rendah, dan memungkinkan lebih rendah dari *level noise*.

5.4. Pengujian Spread Spectrum dengan Teknik *frequency hopping*

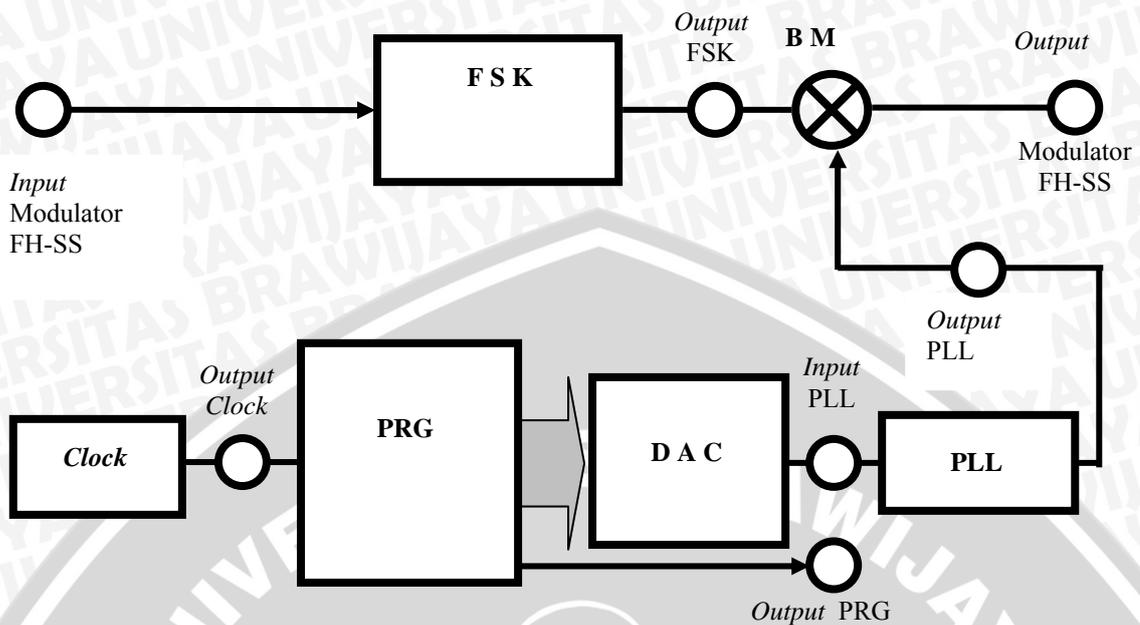
5.4.1 Tujuan

Untuk mengetahui karakteristik modulator *spread spectrum* dengan teknik *frequency hopping*, dengan melakukan pengukuran pada tiap blok

5.4.2. Peralatan yang Digunakan

- | | |
|---|--------|
| 1. Modulator <i>Spread Spectrum</i> dengan Teknik <i>Hybrid</i> | 1 buah |
| 2. Function Generator EFG-3210 | 1 buah |
| 3. Oscilloscope GOS-622G 20 MHz | 1 buah |
| 4. Multimeter Digital | 1 buah |
| 5. Kabel penghubung | |

5.4.3. Blok Diagram Rangkaian



Gambar 5.8. Modulator *spread spectrum* dengan teknik *frequency hopping*

5.4.4. Prosedur Pengujian

1. Periksa agar semua saklar dalam kondisi *off*.
2. Hubungkan *modulator* menggunakan kabel data yang telah tersedia.
3. Berikan catu daya AC 220 Volt pada sisi *modulator* dan nyalakan *modulator spread spectrum* dengan merubah saklar *power* pada posisi *on*.
4. Set *clock* pada *modulator* dan *demodulator* pada frekuensi 1MHz.
5. Ubahlah saklar *modulator FH-SS* ke posisi *on* untuk mengaktifkan *frequency hopping spread spectrum*.
6. Berikan *input data digital* dari *function generator* (frek. Info < frek.clock).
7. Hubungkan CH1 *oscilloscope* pada *output clock* dan CH2 pada *output PRG* *modulator* untuk mengetahui *output clock* dan PRG.
8. Gambarkan bentuk gelombang yang didapatkan dan berikan analisa dan kesimpulan anda dari data yang didapatkan.
9. Hubungkan multimeter digital pada *input VCO* (*output DAC*) dan set multimeter pada penunjuk tegangan DC dan hubungkan CH1 *oscilloscope* pada *output VCO*.

10. Amati perubahan tegangan *input* (*output* DAC) dan bentuk gelombang dari *output* VCO. Dan berikan analisa dan kesimpulan anda dari data yang didapatkan.
11. Hubungkan CH1 pada *input* dan CH2 pada *output modulator* FSK.
12. Amati dan gambarkan bentuk gelombang pada CH1 dan CH2, serta berikan analisa dan kesimpulan anda.
13. Hubungkan CH1 pada *output modulator frequency hopping*.
14. Amati bentuk gelombang *input* dan *output modulator frequency hopping* serta berikan analisa dan kesimpulan anda.

5.4.5. Hasil Pengujian

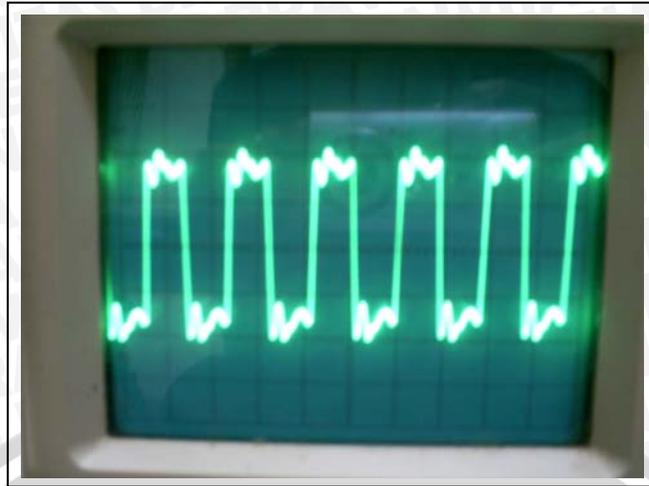
5.4.4.1. Output Clock dan PRG

Gambar 5.2 dan Gambar 5.3 menunjukkan *output clock* dan PRG. *Clock* yang digunakan pada Gambar 5.2. tersebut adalah 1MHz, dan melalui rangkaian PRG yang terdiri *shift register* akan menghasilkan kode seperti pada Gambar 5.3. di atas. Frekuensi *clock* akan mempengaruhi kecepatan acak dari PRG, semakin besar frekuensi *clock* maka kecepatan acak dari PRG akan semakin cepat.. Kode acak yang dihasilkan PRG pada *frequency hopping* digunakan untuk menentukan banyaknya ragam frekuensi yang dihasilkan oleh *frequency synthesizer*.

5.4.5.2. Pengukuran DAC dan PLL

Pada bagian ini akan dibahas tentang *Digital to Analog Converter* (DAC) serta karakteristik *Phase Locked Loop* (PLL), sebagai bagian dari *frequency synthesizer*, yang akan mengkonversi tegangan *input* dc menjadi frekuensi. Pengukuran *Digital to Analog Converter* (DAC) dilakukan dengan cara menyambungkan output DAC dengan multimeter digital. Dari perlakuan ini diketahui bahwa tegangan yang ditunjukkan berubah-ubah yaitu antara 10V sampai dengan 13V. Hal ini menunjukkan bahwa DAC bekerja dengan baik.

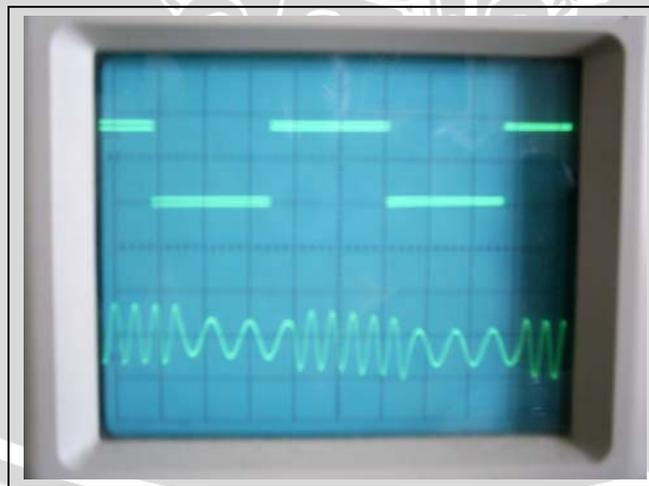
Output IC VCO CD4046BE yang mempunyai karakteristik frekuensi *ouput* berkisar 0,8MHz–1,6MHz dengan *range* tegangan *input* 5V sampai dengan 15V.



Gambar 5.9. Output PLL menggunakan IC VCO CD4046BE dengan $\text{time/div}=0,1\mu\text{s}$ dan $\text{V/div}=1\text{V}$

Pengukuran PLL dilakukan dengan cara memberi *input* PLL berupa *level* tegangan DC yang berubah-ubah dan *Level* tegangan DC yang berubah-ubah ini didapat dari output DAC. *Input* tegangan DC yang berubah-ubah tersebut akan menyebabkan perubahan frekuensi *output* PLL. Dari Gambar 5.3 diatas dapat dilihat bahwa frekuensi *output* PLL adalah sekitar $\pm 5\text{MHz}$ dengan tegangan 4V.

5.4.5.3. Output FSK



Gambar 5.10. *Input* data (atas) dan *output* FSK modulator (bawah) dengan $\text{time/div}=5\mu\text{s}$ dan $\text{V/div}=0,5\text{V}$

Gambar 5.10. merupakan *output* FSK modulator, dengan *input* berupa data *digital* akan menghasilkan *output* berupa sinyal *analog* dengan dua frekuensi yang bergantian. Pada saat sinyal data ber-logic "1" *output* FSK akan merapat menghasilkan

frekuensi “mark” dan saat sinyal data ber-logic “0” output FSK akan merenggang menghasilkan frekuensi “space”.

5.4.5.4. Output Modulator Frequency Hopping



Gambar 5.11. Output modulator *frequency hopping* dengan $\text{time/div}=2\text{ms}$ dan $\text{V/div}=0,1\text{V}$

Pengamatan Gambar 5.11. dilakukan dengan menggunakan *oscilloscope*. Gambar 5.11. adalah *output modulator* FH-SS yang merupakan sinyal FSK yang dicampur dengan *frequency synthesizer* pada *balanced modulator*. Pada gambar 5.11. tersebut dapat dilihat bahwa frekuensi yang dihasilkan berubah-ubah antara 500Hz sampai dengan 454,55Hz .

. Modulasi *frequency hopping* mempunyai prinsip yang sama dengan FSK, pada FSK hanya terjadi dua perpindahan frekuensi , yaitu frekuensi “mark” dan “space” , namun pada FH terjadi banyak perpindahan frekuensi. Banyak frekuensi yang ada pada FH dihasilkan oleh *frequency synthesizer*, dan tergantung dari ragam kode yang ada. *Bandwidth* dari FH adalah banyaknya kanal frekuensi yang ada. *Frequency hopping* menghasilkan sinyal dengan frekuensi *center* yang berpindah-pindah .

BAB VI PENUTUP

6.1. KESIMPULAN

Pada modulator *spread spectrum*, telah dilakukan pengukuran dan didapatkan data beserta analisa pada bab V. Dan berdasarkan data dan analisa yang ada tersebut maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada *Modulator direct sequence* dapat diamati, bahwa Sinyal data dari 20KHz, pada output menjadi 500KHz dan level tegangannya menurun dari 10V menjadi 5V. Hal ini menunjukkan sinyal data mengalami pelebaran *bandwidth* dengan *level* daya yang sangat kecil hingga menyerupai *noise*.
2. Pada *Modulator frequency hopping* menghasilkan sinyal dengan frekuensi *center* yang berpindah-pindah antara 454,55Hz sampai dengan 500Hz. Hal ini dikarenakan oleh *frequency synthesizer*.
3. Pada *Modulator hybrid* kombinasi *direct sequence* dan *frequency hopping* menghasilkan range level tegangan sekitar 0,1V sampai dengan 0,2V dan range frekuensi sekitar 50Hz sampai dengan 41,67Hz. Hal ini menunjukkan bahwa *output* mempunyai *level* daya yang rendah dengan frekuensi *center* yang berpindah-pindah.
4. Pada Rangkaian *Clock* output data yaitu 1MHz, Pada PRG output yang dihasilkan adalah sinyal acak antara 90,91KHz sampai 100KHz dan *Frequency synthesizer* menghasilkan sinyal dengan level tegangan antara 1V sampai dengan 5V.

6.2. SARAN – SARAN

Dari alat yang telah dibuat pada skripsi ini, masih terdapat banyak kekurangan serta perlu pengembangan agar nantinya sistem *spread spectrum* dapat dipelajari lebih baik, baik secara teoritis dan praktis. Adapun perbaikan-perbaikan dan pengembangan yang perlu dilakukan :

1. Penggunaan *clock* yang berbeda-beda pada *modulator*.
2. Penggunaan alat *frequency counter* pada pengukuran *output* VCO agar perubahan *frequency* dapat diamati lebih jelas.

3. Penggunaan alat *spectrum analyzer* pada pengukuran modulator *spread spectrum* dengan teknik *direct sequence* dan *frequency hopping* agar perubahan *spectrum* sinyal dapat terlihat lebih jelas.



DAFTAR PUSTAKA

- Dr. Ir. Suhana dan Shigeki Shoji. 2004. "Buku Pegangan Teknik Telekomunikasi". Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Dennis, Roddy. Kamal Idris dan John Coolen. 1984. "Komunikasi Elektronika". Erlangga.
- H. Simanjuntak. 2004. "Sistem Komunikasi Satelit". PT. Alumni.
- Maxim. 2003. *An Introduction to Direct-Sequence Spread-Spectrum Communications*. <http://www.maxim-ic.com/an1890>.
- Ir. J. Meel 6 Oktober 1999. Belgium. *Spread Spectrum*. <http://www.denayer.be>.
- Raymond, L. Pickholtz. Donald L. Schilling dan Laurence B. Milstein. 1982. *Theory of Spread-Spectrum Communications-A Tutorial*. <http://www.IEEE Transactions on Communications.Com>.
- Glas, Jack. 29 Agustus 1996. *The principles of Spread Spectrum communication*. <http://www.alldatasheet.com>.
- Solichuccin, Achmad. Widya Yeniari. Akuwan Saleh dan Tri Budi Santoso. *Modul Simulator Pembangunan Sinyal Pseudo Random Generator pada Sistem Komunikasi Spread Spectrum Memanfaatkan Microcontroller*. www.ies.eepis-its.edu

