

# Studi Perbandingan Kinerja Direct Sequence Spread Spectrum Code Division Multiple Acces ( DS-SS CDMA ) dengan Kode Penebar Walsh, Gold,dan Kasami

Tataq Ajie R<sup>1</sup>, Yoedi Moegiharto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Jurusan Teknik Telekomunikasi

<sup>2</sup>Dosen Politeknik Elektronika Negeri Surabaya Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Kampus ITS, Surabaya 60111

e-mail : [kataQ\\_ijo\\_safari@yahoo.com](mailto:kataQ_ijo_safari@yahoo.com) e-mail : [yoeigiharto@eepis-its.edu](mailto:yoeigiharto@eepis-its.edu)

## Abstrak

Dalam CDMA sinyal data di korelasikan dengan *pn code* sehingga menjadi acak sebelum di transmisikan ke udara. Hal ini mempunyai beberapa keunggulan, yaitu lebih kebal *noise*, susah di sadap, dan lebih hemat daya.

Ada bermacam-macam *pn code*, salah satunya adalah *gold*, *kasami*, dan *walsh*. Tiap *pn code* mempunyai karakteristik berbeda-beda, seperti *auto korelasi* dan *cross korelasi* yang berbeda-beda. Hal ini sangat berpengaruh terhadap kinerja sistem keseluruhan.

Dengan membandingkan tiap *pn code* kita dapat menilai kinerja sistem, dan mencari *pn code* mana yang paling efektif untuk diterapkan. Walsh mempunyai kinerja yang paling baik diantara ketiga *pn code* yang dibandingkan (*gold*, *kasami*, *walsh*). Panjang chip juga menentukan performa sistem. Makin panjang chip yang digunakan, performasinya akan makin baik.

*Kata kunci* : *pn code*, *multiple access*, *cross korelasi*, *auto korelasi*, *walsh*, *gold*, *kasami*.

## 1. Pendahuluan

Pada saat ini, sistem komunikasi digital dituntut untuk dapat mentransmisikan data maupun suara dengan kecepatan tinggi, memiliki efisiensi bandwidth yang baik, serta memiliki performansi yang handal pada kondisi kanal yang selalu berubah-ubah akibat adanya multipath fading. Oleh karena itu digunakan sistem multiple access CDMA yang mampu mengakomodasi banyak pengguna pada frekuensi yang sama dan waktu yang sama, mampu mentransmisikan data maupun suara dengan kecepatan yang tinggi serta memiliki bandwidth yang cukup lebar. Sistem multiple

akses CDMA ini sendiri terdiri dari 2 jenis yaitu frekuensi Hopping CDMA (FH-CDMA) dan Direct-Sequence CDMA (DS-CDMA)

Pada sebuah sistem DS-CDMA, semua pengguna ditransmisikan pada band RF yang sama, hal ini menimbulkan adanya interferensi. Oleh karena itu untuk mencegah interferensi bersama, maka digunakan kode penebar. Kode penebar ini digunakan untuk memisahkan pengguna secara individu, ketika mereka bersamaan menduduki band RF yang sama. Tetapi kemudian muncul masalah yaitu sering terjadi korelasi antar kode penebar yang digunakan oleh setiap pengguna. Untuk itu diperlukan penggunaan kode penebar yang tepat, yaitu kode yang memiliki nilai auto-korelasi yang tinggi dan nilai cross-korelasi yang kecil. Sehingga interferensi bersama antar pengguna dapat diminimalisir.

## 2. Teori Penunjang

### Teknik Spread Spectrum

*Spread spectrum* adalah teknik memancarkan sinyal pada pita frekuensi yang jauh lebih lebar dari pita frekuensi yang dibutuhkan pada transmisi standar.

Sebuah sistem spread-spectrum harus memenuhi kriteria sebagai berikut:

1. Sinyal yang dikirimkan menduduki bandwidth yang jauh lebih lebar daripada bandwidth minimum yang diperlukan untuk mengirimkan sinyal informasi
2. Pada pengirim terjadi proses spreading yang menebarkan sinyal informasi dengan bantuan sinyal kode yang bersifat independen terhadap informasi
3. Pada penerima terjadi proses despreading yang melibatkan korelasi antara sinyal yang diterima dan replika sinyal kode yang dibangkitkan sendiri oleh suatu generator lokal.

Ada beberapa jalan untuk menyebarkan bandwidth dari sebuah sinyal:

1. Frequency hopping. Sinyal akan berpindah-pindah frekuensi (hopping) dengan cepat dalam beberapa periode waktu tertentu.
2. Time hopping.
3. Direct sequence. Data digital di kodekan oleh bit-bit yang mempunyai kecepatan lebih tinggi dari kecepatan data. Kode dibangkitkan secara random, pada sisi penerima dengan kode yang sama sinyal data diperoleh kembali.

### Direct Sequence Spread Spectrum

Dalam sistem direct sequence spread spectrum, sebuah sinyal ditransmisikan melalui beberapa tahap:

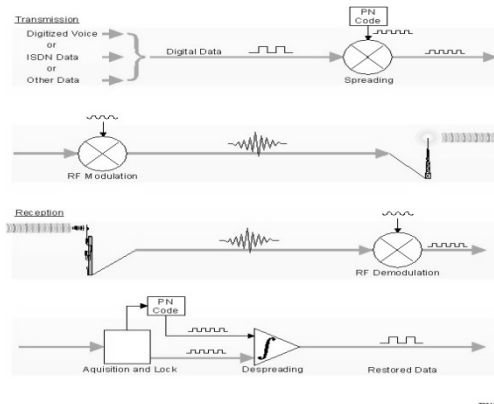
1. Sebuah kode random (pseudo random code) atau PN code dibangkitkan. Kode yang dibangkitkan selalu berbeda untuk tiap pengguna satu dengan yang lain.
2. Data informasi di modulasi oleh pseudo random code (proses spreading).
3. Hasil spreading kemudian dimodulasi lagi oleh frekuensi carrier.
4. Hasil modulasi tersebut akan dikuatkan dayanya oleh amplifier dan kemudian akan ditransmisikan melalui udara

Pada sisi penerima akan dilakukan langkah-langkah sebagai berikut:

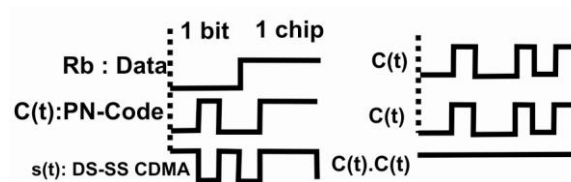
1. Sinyal akan diterima dan dikuatkan kembali oleh amplifier
2. Sinyal yang diterima akan didemodulasi oleh lokal carrier untuk mendapatkan sinyal tersebar (spreading signal).
3. Pseudo random akan dibangkitkan. Kode random yang dibangkitkan harus sama dengan yang digunakan di sisi pengirim.
4. Setelah itu dilakukan proses sinkronisasi untuk mendapatkan waktu yang tepat kapan proses *despreading* dimulai.
5. Kemudian akan dilakukan proses *despreding* untuk mendapatkan data informasi kembali.

Dalam proses spreading, sinyal data informasi di XNOR dengan sebuah PN code. Setelah proses ini akan didapatkan sinyal tersebar (spreading signal). Pada sisi penerima untuk mendapatkan data kembali sinyal tersebar (spreading signal) di XNOR kembali dengan

PN code yang sama dengan yang digunakan pada pengirim.



Gambar 1 Proses spreading dan despreading



Gambar 2. Proses spreading

### Pseudonoise Code (PN Code)

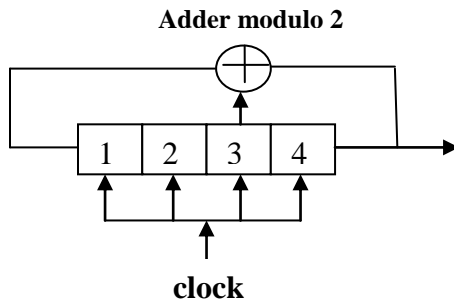
Dalam CDMA kanal komunikasi tidak dibagi-bagi berdasarkan waktu atau frekuensi. Pemisahan atau pembagian kanal didasarkan pada kode-kode tertentu yang dibangkitkan secara acak semu (tidak benar-benar acak, melainkan mempunyai pola tertentu). Dan di sisi penerima kode yang sama seperti yang digunakan pada pengirim digunakan untuk mendapatkan kembali sinyal data informasi. Untuk itu kode-kode random ini harus mempunyai sifat-sifat sebagai berikut:

1. Harus berbeda antara satu dengan yang lain, tetapi yang digunakan pada sisi pengirim dan pada sisi penerima harus sama.
2. Harus acak, tetapi memiliki pola tertentu.
3. Cross korelasi di antara dua kode yang berbeda harus kecil
4. Kode harus mempunyai periode yang panjang.

Ada beberapa kode penyebar yang sering digunakan dalam system DS-CDMA antara lain M-sequence, walsh code, gold code, kasami code.

**Maximum Length Sequence (M-sequence)**

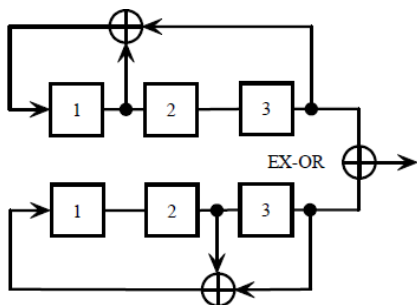
M-sequence adalah salah satu kode penyebar (PN code) yang sering digunakan dalam sistem cdma. M-sequence dapat dibangkitkan dari sebuah Linear Feedback Shift Register.



**Gambar 3.** M-sequence

**Gold code**

Gold code adalah salah satu non orthogonal code yang merupakan turunan dari M-Sequence. Gold code disusun oleh dua buah M-Sequence yang masing-masing outputnya ditambahkan (adder modulo 2). Kedua output dari M-Sequence ditambahkan (XOR) secara chip per chip menggunakan puls-pulsa clock yang sinkron. Kedua M-Sequence mempunyai panjang yang sama.



**Gambar 4.** Gold sequence

Panjang maksimal (maximal length) yang dapat dihasilkan adalah  $2^n + 1$  (M-sequence itu sendiri dan  $2^n - 1$  dari kombinasi yang

dihasilkan dari pergeseran posisi chip), atau bisa disebut sebagai periode sequence. Apabila dipilih M-sequence khusus atau yang disebut preferred pair, maka Gold code yang dibangkitkan mempunyai 3 nilai cross correlation, yaitu  $-1, -2^{[(n+2)/2]} - 1, 2^{[(n+2)/2]} + 1$ .

$$\text{diamana } (n) = \begin{cases} 2^{(n+1)/2} + 1 \text{ for odd } n ; \\ 2^{(n+2)/2} + 1 \text{ for even } n ; \end{cases}$$

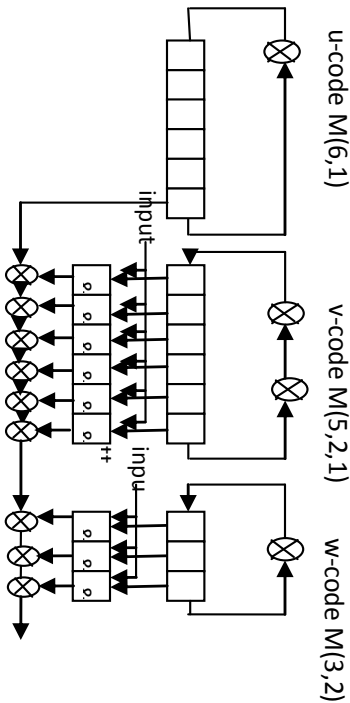
Panjang n	Jumlah chip	Pasangan preferred channel m-sequence	Nilai cross correlation n
5	31	[5,3][5,4,3,2]	7 -1 -9
6	63	[6,1][6,5,2,1]	15 -1 -17
7	127	[7,3][7,3,2,1] [7,3,2,1][7,5,4,3,2,1]	15 -1 -17
8	255	[8,7,6,5,2,1][8,7,6,1]	31 -1 -17
9	511	[9,4][9,6,4,3] [9,6,4,3][9,8,4,1]	31 -1 -33

**Tabel 1.** Preferred pair Gold sequence

**Kasami code**

Selain gold code, kasami code juga merupakan turunan dari M-sequence. Kasami code mempunyai nilai 'correlation properties' sama dengan gold code, perbedaannya terletak pada panjang kode yang dapat dibuat. Kasami dapat di kategorikan menjadi dua, yaitu small set dan large set. Untuk large set kasami panjang kode maksimal sama dengan  $2^{n/2}(2^n+1)$ .

Gambar dibawah adalah salah satu contoh kasami generator, yang dibentuk dari 3 m-



Gambar 5. kasami sequence

sequence. 2 buah dibentuk dari preferred pair  $M(6,1)$  dan  $M(6,5,2,1)$ , dan  $M(3,2)$ . Disini  $n$  adalah even dan sama dengan panjang dari shift register yang digunakan untuk membuat  $u$  dan  $v$ ,  $u$  adalah  $m$ -sequence dengan feedback  $(6,1)$  dan  $v$  adalah  $m$ -sequence dengan feedback  $(6,5,2,1)$ .

Ketika mengurangi  $M(6,1)$  sequence  $w$  didapatkan,  $w$  adalah juga  $m$ -sequence  $M(3,2)$ .

### Walsh code

Walsh code dihasilkan dari hasilkan dari transformasi hadamard matrik.

Ini adalah salah satu contoh hadamard matrik :

$$H_1 = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$H_2 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix} \quad (2)$$

Secara umum setiap level hadamard matrik yang lebih besar di bangkitkan dari transformasi hadamard sebelumnya.

$$H_{N+1} = \begin{pmatrix} H_N & H_N \\ H_N & \overline{H_N} \end{pmatrix} \quad (3)$$

Dimana  $\overline{H_N}$  adalah invers dari  $H_N$

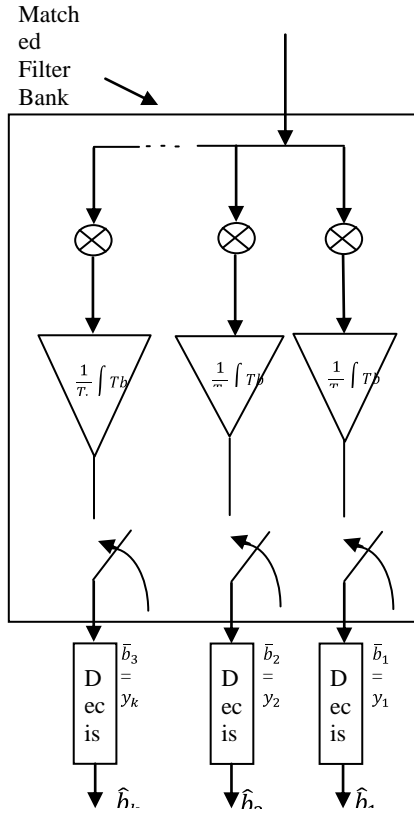
### Code Divison Multiple Access (CDMA)

CDMA mengubah mengubah sistem komunikasi yang berbasis analog menjadi sistem komunikasi yang berbasis digital. Pada komunikasi konvensional pembagian kanal komunikasi menggunakan proses pemfilteran didalam domain frekuensi atau yang biasa disebut dengan frekuensi multiple access (FDMA), atau pembagian kanal komunikasi berdasarkan waktu atau Time Division Mulpile access (TDMA). Pengguna pada CDMA menggunakan waktu dan frekuensi secara bersamaan. Untuk membedakan setiap kanal atau pengguna maka digunakan kode yang unik yang juga digunakan untuk melebarkan sinyal, sehingga dapat menghemat penggunaan kanal komunikasi dibawah ini adalah beberapa kelebihan sistem CDMA.

- CDMA dapat mengakomodasi lebih banyak pengguna karena lebih hemat spectrum frekuensi.
- Kualitas suara yang lebih baik dan mengeleminasi efek dari multipath fading
- Dapat mengurangi *drop call* yang di akibatkan kegagalan hand off, karena sistem CDMA menggunakan sistem soft handoff.
- Meningkatkan reabilitas mekanisme transport komunikasi data, seperti fax, dan trafik internet.
- Mengurangi daya rata-rata dalam transmisi sinyal, sehingga lebih efisien dalam pemakaian daya.
- Biaya yang lebih rendah
- Mengurangi interferensi yang disebabkan oleh noise dan pengguna lain.
- Dapat menghindari penyadapan karena menggunakan kode unik yang mirip noise dengan spektrum frekuensi yang amat lebar.
- Dapat bertahan dalam kondisi dengan tingkat noise yang tinggi

**Penerima Konvensional (Conventional Receiver)**

Dalam sistem CDMA, penerima yang paling awal diterapkan adalah penerima konvensional atau yang lebih dikenal sebagai *Conventional Receiver*. Pada penerima konvensional ini digunakan sekelompok *Matched Filter* (MF). Gambar dari blok diagram detektor konvensional *Matched Filter* ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



**Gambar 6.** Blok Diagram Conventional Receiver MF

Detektor konvensional *Matched Filter* menggunakan metode deteksi pengguna tunggal (*single user*), yaitu masing-masing pengguna dideteksi secara terpisah, tanpa mempertimbangkan pengguna lain.

**Gangguan Dalam Kanal (AWGN)**

AWGN (Additive White Gaussian Noise) merupakan suatu proses stokastik yang terjadi pada kanal dengan karakteristik memiliki rapat daya spectral noise merata di sepanjang range frekuensi.

AWGN mempunyai karakteristik respon frekuensi yang sama disepanjang frekuensi dan

variannya sama dengan satu. Pada kanal transmisi selalu terdapat penambahan derau yang timbul karena akumulasi derau termal dari perangkat pemancar, kanal transmisi, dan perangkat penerima. Derau yang menyertai sinyal pada sisi penerima dapat didekati dengan model matematis statistik AWGN. Derau AWGN merupakan gangguan yang bersifat Additive atau ditambahkan terhadap sinyal transmisi, dimodelkan dalam pola distribusi acak Gaussian dengan mean ( $m$ ) = 0, standar deviasi ( $\sigma$ ) = 1, power spectral density (pdf) =  $N_0/2$  (W/Hz), dan mempunyai rapat spektral daya yang tersebar merata pada lebar pita frekuensi tak berhingga. Distribusi AWGN dengan pdf :

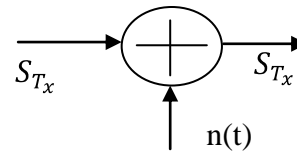
$$p(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp[-(x - m)^2 / 2\sigma^2] \tag{4}$$

dimana:  $p(x)$  = probabilitas kemunculan derau

$\sigma$  = standardeviasi

$m$  = rata-rata(mean)

$x$  = variable (tegangan atau daya sinyal)



**Gambar 7.** Blok Diagram AWGN sinyal

Pada gambar diatas, Jika sinyal yang kirim  $STx(t)$ , pada kanal akan dipengaruhi oleh derau  $n(t)$  sehingga sinyal yang diterima menjadi:  $SRx(t) = STx(t) + n(t)$ ,  $0 \leq t \leq T$  dimana  $n(t)$  merupakan noise yang terjadi selama proses transmisi sinyal kirim sampai diterima di bagian receiver.

**Transformasi Fourier**

Transformasi fourier ditemukan oleh ahli matematika dari Prancis, Joseph Fourier Pada tahun 1822. Joseph fourier menemukan bahwa setiap fungsi periodik (sinyal) dapat dibentuk dari penjumlahan gelombang-gelombang sinus/cosinus.

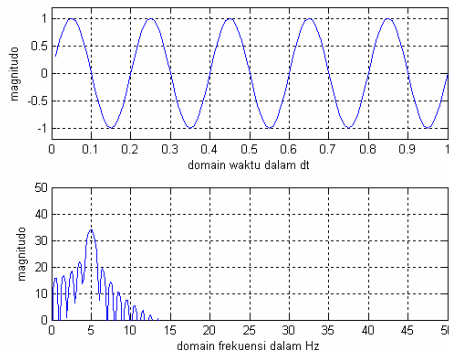
$$f(x) = \sin(x) + \sin(3x)/3 + \sin(5x)/5 + \sin(7x)/7 + \sin(9x)/9 \dots \tag{5}$$

Transformasi fourier adalah satu bentuk transformasi yang umum digunakan untuk merubah

sinyal dari domain waktu ke domain frekuensi. Berikut adalah bentuk umum dari persamaan fourier.

$$X(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j\omega t} dt \quad (2.10)$$

Persamaan ini merupakan bentuk transformasi Fourier yang siap dikomputasi secara langsung dari bentuk sinyal  $x(t)$ .



**Gambar 8.** Sinyal sinus dalam domain waktu dan domain frekuensi

Untuk menghitung frekuensi dari suatu sinyal, sebuah implementasi diskrit dari analisa Fourier dapat digunakan, yang kemudian lebih disempurnakan dengan suatu algoritma yang kita kenal sebagai *Fast Fourier transform* (FFT).

### Transformasi Fourier di Matlab

Dalam software matlab, kita dapat menggunakan transformasi fourier untuk menganalisa sebuah sinyal dalam domain frekuensi. FFT adalah diskrit transformasi fourier (DFT) dari sebuah vektor X. Untuk matriks, operasi FFT diaplikasikan untuk setiap kolom. Berikut adalah *syntax* dari fft dalam matlab.

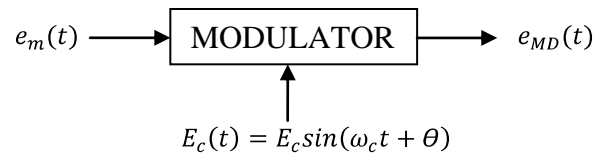
$FFT(X,N)$  : adalah N-point FFT, dengan zero padding jika X lebih kecil nilainya arau melebihi N

$FFT(X,N,DIM)$  : adalah operasi FFT dengan dimensi DIM

### Teknik Modulasi

Dalam pengiriman sinyal pada sistem selular adalah berupa pengiriman sinyal baseband (sekumpulan data biner yang tidak dapat secara langsung ditransmisikan ke kanal sistem radio. Harus

diubah dahulu menjadi sinyal bandpass, maka diperlukan sistem Modulasi untuk merubah sinyal tersebut. Sehingga Modulasi dapat diartikan sebagai proses pengubahan sinyal baseband menjadi sinyal bandpass atau lebih jelasnya Modulasi adalah proses perubahan (varying) suatu gelombang periodik sehingga menjadikan suatu sinyal mampu membawa suatu informasi. Secara singkat prinsip kerja modulasi diperlihatkan pada Gambar berikut ini.



**Gambar 9.** Blok Diagram Prinsip Kerja Modulasi

Dengan proses modulasi, suatu informasi (biasanya berfrekuensi rendah) bisa dimasukkan ke dalam suatu gelombang pembawa, biasanya berupa gelombang sinus berfrekuensi tinggi. Terdapat tiga parameter kunci pada suatu gelombang sinusioidal yaitu : amplitudo, fase dan frekuensi. Ketiga parameter tersebut dapat dimodifikasi sesuai dengan sinyal informasi (berfrekuensi rendah) untuk membentuk sinyal yang termodulasi. Maka hasil sinyal termodulasi, biasa dinyatakan dalam persamaan :

$$E_c(t) = E_c \sin(\omega_c t + \theta) \quad (2.11)$$

dimana,

$E_c(t)$  merupakan sinyal termodulasi

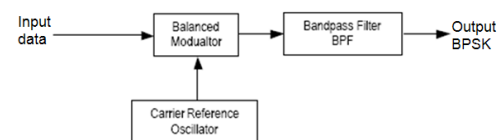
$E_c$  merupakan nilai besar amplitude dari sebuah sinyal

$\omega_c t$  merupakan nilai frekuensi sebuah sinyal

$\theta$  merupakan nilai fasa dari sebuah sinyal

### Binary Phase Shift Keying (BPSK)

BPSK yaitu Binary Phase Shift Keying merupakan Teknik modulasi dimana fase dari sinyal carrier di ubah-ubah diantara 2 nilai yang sesuai dengan 2 sinyal yang mewakili biner 1 dan 0 dengan beda fase keduanya sebesar  $180^\circ$ .

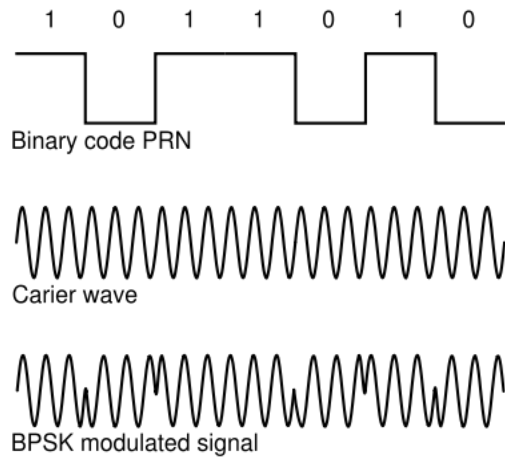


**Gambar 2.10.**Prinsip kerja modulator BPSK

Dari cara kerja modulasi BPSK, maka akan dihasilkan sinyal termulasi dengan persamaan sebagai berikut:

$$s_{\text{BPSK}}(t) = \begin{cases} A_c \cos(2\pi f_c t + \theta) & \text{Binary 1} \\ -A_c \cos(2\pi f_c t + \theta) & \text{Binary 0} \end{cases} \quad (6)$$

Dari persamaan tersebut, maka akan dihasilkan sinyal sebagai berikut:



Gambar 11. Sinyal termulasi BPSK

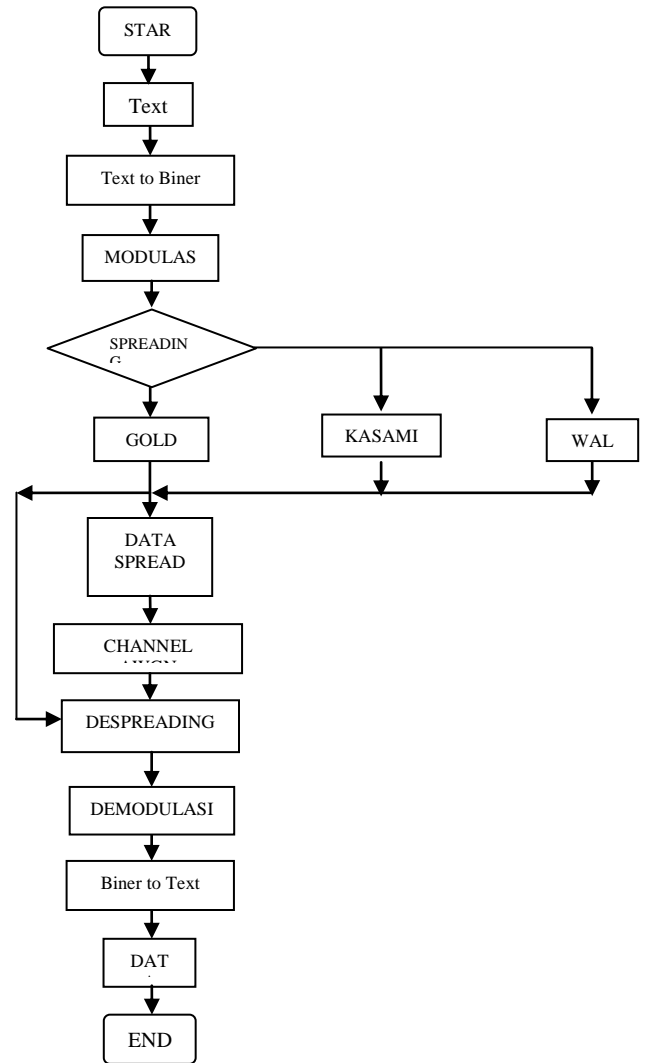
### 3. Metodologi

Untuk membuat proyek akhir ini (Studi Perbandingan Kinerja Direct Sequence Spread Spectrum Code Division Multiple Acces ( DS-SS CDMA ) dengan Kode Penebar Walsh, Gold,dan Kasami) maka dibutuhkan langkah-langkah sebagai berikut :

#### 1.5.1 Studi Literatur

Dalam pembuatan proyek akhir ini harus terlebih dahulu dilakukan studi literatur tentang hal-hal yang berkaitan dengan proyek akhir ini seperti teori tentang CDMA, spread spectrum, kode penebar walsh, gold dan kasami.

#### 1.5.2 Perancangan,dan Pembuatan Sistem



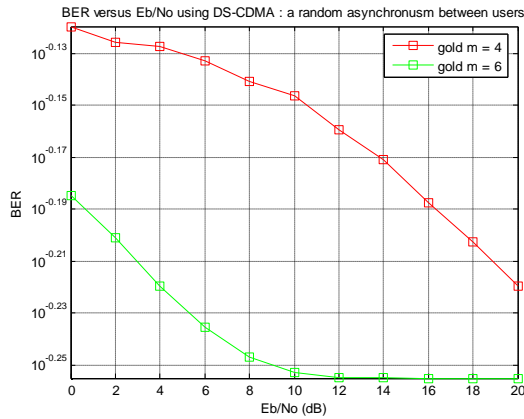
Gambar 12. Diagram alur sistem.

Data akan diubah menjadi biner, dan kemuadia di *modulasi*, dan di *spreading* dengan *pn code* tertentu. Setelah itu di transmisikan melalui kanal *AWGN*. Di penerima, data di *despreading* kembali dan di *demodulasi* sehingga di dapatkan data asli.

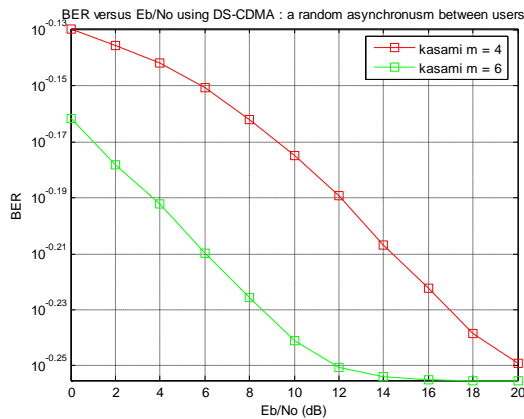
### 4. Pengujian dan analisa

#### Pengujian

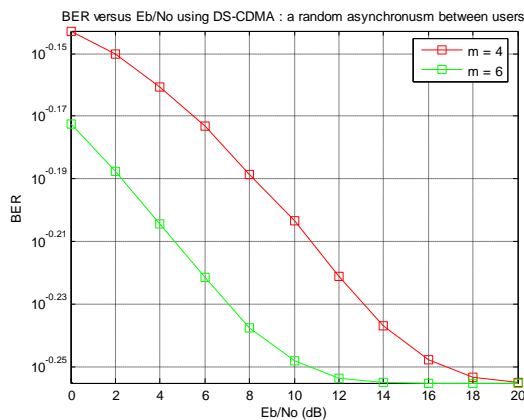
Setelah pembuatan sistem selesai dilakukan, maka sistem akan di uji dan di analisa. Dati pengujian tesebut didapatkan data-data sebagai berikut :



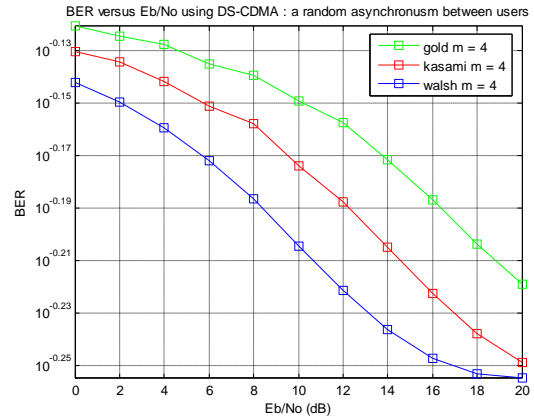
Gambar 13. Bit Error Rate gold m=4 dan gold m=6



Gambar 14. Bit Error Rate kasami m=4 dan kasami m=6



Gambar 15. Bit Error Rate walsh m=4 dan walsh m=6



Gambar 16. Bit Error Rate gold, kasami, walsh m = 4

### Analisa

Data teks akan di ubah menjadi bentuk biner. Data biner inilah yang akan di proses lebih lanjut dengan melakukan *modulasi*, dan *spreading* dengan pn code yang ditentukan. Dan di sisi terima, data akan di despreading, dan demodulasi, sehingga di dapatkan sinyal asli. Namun sinyal yang diterima tidak sama dengan yang dikirimkan. Terdapat beberapa kesalahan yang disebabkan pengaruh noise pada kanal. Walsh mempunyai kinerja yang paling baik di antara ketiga kode yang dibandingkan. Error yang dihasilkan jauh lebih sedikit dibandingkan menggunakan dua kode yang lain. Panjang jguga berpengaruh pada kinerja sistem. Makin panjang kode yang digunakan, makin baik kinerja sistem.

## 5. Kesimpulan dan saran

### Kesimpulan

1. Makin panjang kode yang digunakan, kinerja sistem akan makin baik.
2. Dengan panjang sama, jenis pn code yang mempunyai performasi lebih baik adalah walsh code, di antara tiga kode yang lain.

### Saran

Tugas akhir ini masih sangat mungkin untuk dikembangkan lagi, misal dengan menguji performsi kinerja kode penebar lain seperti *m-sequence*, atau juga *barker*. Atau juga dapat dikembangkan dengan menambahkan koding kanal seperti turbo code, dan diukur performasinya apabila diterapkan pada sistem CDMA, atau mengganti modulasi dengan jenis modulasi yang lain seperti QPSK, atau QAM. Atau bisa juga ditambahkan kanal reyleigh fading.



## 6. Daftar Pustaka :

- [1] <http://www.complextoreal.com>
- [2] Giunta G. " *Digital Signal Processing* of the Third University of Rome ", May 2000
- [3] <http://www.setyobudianto.com>
- [4] <http://www.UMTSWorld.com>
- [5] Garg, vijay kumar, 1938. " *IS-95 CDMA and CDMA 2000* "
- [6] Ojanpera, Tero, et al., "Comparison of Multiple Access Schemes for UMTS", *proceedings of IEEE VTC*, May 1997.
- [7] Proakis, J.G., *Digital Communications*, McGraw-Hill, New York, 1989.
- [8] <http://www.elektroindonesia.com/elektro/telkom12.html>
- [9] <http://www.planetanalog.com/features/rf/showArticle.jhtml?articleID=205100916>
- [10] L. W. Couch, "Digital and Analog Communication Systems", Prentice Hall, 1997.
- [11] Evans, B.G. et. al. "Multimedia Advanced CDMA Systems", the 4th IEE Conference on Telecommunications, 1993, pp11-16
- [12] <http://qualcomm.com/cdmatech/article.html>
- [13] Titch, Steven, "CDMA Crusades", *Global Telephony*, Oktober 1997, hal. 21-36.