UNJUK KERJA SOFT HANDOFF DAN PENERIMA RAKE TERHADAP PESAT GALAT BIT CDMA

Tugas Akhir

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat

Untuk Mendapat Gelar Sarjana Teknik Elektro

Disusun Oleh :

Nama : Muchammad Alfian

No. Mahasiswa : 99 524 091

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2007

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

UNJUK KERJA SOFT HANDOFF DAN PENERIMA RAKE TERHADAP PESAT GALAT BIT CDMA

TUGAS AKHIR

Oleh :

Nama : **Muchammad Alfian**

No. Mahasiswa : **99 524 091**

Yogyakarta, 20 September 2007

Pembimbing I	Pembimbing II
Ir. Hj. Budi Astuti, MT	Eka Indarto, ST

MOTTO

"Sesungguhnya shalatku ibadatku,hidupku, dan matiku semata hanya untuk Allah seru sekalian alam"

(Doa Iftitah)

Tasawuf itu dibangun dengan diatas kerangka landasan yang yang kokoh pada delapan yakni: 1) kedermawanan; 2) ridho/pasrah, merasa senang menghadapi kegetiran qodo dan qodar; 3) sabar; 4) isyarat/memberi petunjuk; 5) mengembara; 6) berbusana sederhana; 7) pelintas rimba belantara; 8) fakir, bersahaja.

(wasiat Syekh Abdul Qodir Jaelani kepada anaknya Abdul Rozak)

Bila kamu berkumpul dengan orang kaya, perlihatkan kegagahan dan keberanian kamu, namun sebaliknya perlihatkan kerendahan hatimu dengan orang miskin.

(wasiat Syekh Abdul Qodir Jaelani kepada anaknya Abdul Rozak)

Layani dan selalu perhatikan para fakir miskin, terutama dalam tiga hal yakni: 1) bersikap tawadhu; 2) berbudi pekerti yang baik dan mulia; 3) kebeningan hati, dan mengekang hawa nafsu, agar kelak kau hidup

(wasiat Syekh Abdul Qodir Jaelani kepada anaknya Abdul Rozak)

HALAMAN PERSEMBAHAN

Kupersembahkan karya ini buat:

Ayahku dan ibu tercinta

... yang telah melimpahkan rasa kasih sayangnya serta kesabaran mereka

Yang telah membesarkanku dari tidak bisa apa-apa hingga bisa berjalan

Serta doa mereka dan doa-Nya yang selalu mengiringi setiap langkahku

Adikku tercinta

Dan Mursyidku Abah Anom

Yang telah membimbing dalam memberikan ilmu dunia dan akhirat

Serta kekasihku Sari Rosalinda

Yang selalu memberikan semangat dan dukungannya

KATA PENGANTAR

Bismillaahir RahmaanirRohiim

Alhamdulillah, puji syukur yang tak terhingga ke Hadirat Allah SWT, atas limpahan Rahmat, Hidayah, Inayah serta bimbingan-Nya sehingga laporan tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik. Sholawat serta salam semoga senantiasa tercurahkan kepada junjungan Nabi besar Muhammad SAW.sebagai pembawa risalah dan pembawa rahmah yang telah mengentaskan umat manusia dari kebodohan dan kegelapan, juga semoga sholawat serta salam tercurahkan kepada keluarganya, para sahabatnya dan seluruh pengikut setianya sampai akhir zaman. Dalam rangka menyelesaikan studi di Fakultas Teknologi Industri Jurusan Teknik Elektro maka penyusun telah menyelesaikan tugas akhir dengan judul **"UNJUK KERJA SOFT HANDOFF DAN PENERIMA RAKE TERHADAP PESAT GALAT BIT".**

Dalam menyelesaikan tugas akhir ini banyak sekali bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak, sehingga dengan sangat besar hati kiranya penyusun mengucapkan banyak terima kasih kepada pihak-pihak sebagai berikut :

1. Pangersa Abah Anom sebagai mursyid TQN (thareqat qodiriyah naqsabandiyah) yang telah memberikan doa serta restu kepada saya sebagai ikhwan Suryalaya.
2. Ibu Ir.Hj.Budi Astuti selaku dosen pembimbing I yang telah membimbing saya dalam menyelesaikan skripsi saya.

3. Serta Bapak Eka Indarto selaku dosen pembimbing II yang telah bersedia meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingannya dalam meyelesaikan skripsi saya.
4. Bapak Tri Hardono Pembina pesantren Inabah XIII serta ikhwan dan akhwat TQN Yogyakarta yang telah mendoakan saya untuk menyelesaikan skripsi saya.
5. Sari Rosalinda yang tiap hari menyuruh saya untuk menyelesaikan skripsi saya dengan omelan-omelannya.
6. Kedua orangtua, Saudara-saudaraku atas segala kasih sayang dan cintanya, bantuan moril dan materi serta do'anya.
7. Teman- teman saya satu kost : mang Udin, kang Sukir, warung KKN, si Mbok. Serta teman seperjuangan dari awal kuliah Yudi andrianto yang sampai sekarang belum selesai –selesai juga serta mba Melly dan Rekha.

Penulis menyadari bahwa dalam laporan tugas akhir ini masih banyak kekurangan, oleh karenanya penyusun memohon maaf kepada segenap yang bersangkutan karena keterbatasannya pengetahuan yang dimiliki oleh penyusun.

Akhirnya, penyusun mengucapkan banyak terima kasih semoga karya ini dapat bermanfaat bagi para pembaca yang membutuhkannya.

Yogyakarta,17 September 2007

Penyusun

Muchammad Alfian

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL.....i
HALAMAN PENGESAHAN.....ii
HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI.....iii
HALAMAN MOTTO.....iv
HALAMAN PERSEMBAHAN.....v
KATA PENGANTAR.....vi
DAFTAR ISI.....viii
DAFTAR GAMBAR.....x
DAFTAR TABEL.....xii
ABSTRAKS.....xiii
BAB I. PENDAHULUAN.....1
1.1. Latar Belakang.....1
1.2. Rumusan Masalah.....3
1.3. Tujuan Penulisan.....3
1.4. Batasan Masalah.....4
1.5. Sistematika Penulisan.....4
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....6
2.1. Pendahuluan.....6
2.2. Spread Spektrum.....9
2.3. Runtun Pseudorandom Noise (PN).....18
2.4. Soft Handoff.....33
2.5. Multiuser Pada Arah Forward.....36

2.6. Level Daya.....37
2.7. Rake Receiver.....38
BAB III. PERANCANGAN SISTEM.....44
3.1. Perhitungan Pesat Galat Bit.....44
3.1.1. Perhitungan Dengan Pendekatan Gauss.....44
3.2. Penjelasan Program Simulasi.....49
3.2.1. Gambaran Umum.....49
3.2.2. Penjelasan Struktur Program.....52
BAB IV. PEMBAHASAN.....62
4.1. Hasil Simulasi dan Pembahasan.....62
4.1.1. Analisis Pengaruh Pencabangan Penerima Rake.....62
4.1.2. Analisis Pengaruh Jumlah Lintasan Jamak.....64
4.2. Analisis Pengaruh Parameter Lain.....67
4.2.1. Analisis Pengaruh Perolehan Pengolahan.....67
4.2.2. Analisis Pengaruh Daya pancar Sinyal.....70
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN.....73
5.1. Kesimpulan.....73
5.2. Saran.....74
DAFTAR PUSTAKA.....75
LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 2.1 Proses *Spreading* dan *Despreading*.....8

Gambar 2.2 Proses Transmisi Sinyal CDMA.....9

Gambar 2.3 Jumlah Kanal.....14

Gambar 2.4 *Short Code*.....17

Gambar 2.5 Kode Panjang.....18

Gambar 2.6 Pembangkit Register Geser Sederhana.....21

Gambar 2.7 Register Geser Umpan Balik 4 Penyimpan.....22

Gambar 2.8 Diagram Blok Pengirim Spektrum Tersebar Runtun Lang Sung.....26

Gambar 2.9 Diagram Blok Penerima Spektrum Tersebar Runtun Lang Sung.....27

Gambar 2.10 Diagram Blok Pengirim dan PenerimaSpektrum Tersebar Lompatan Frekuensi.....29

Gambar 2.11 Bentuk Gelombang Lompatan Waktu.....30

Gambar 2.12 Diagram Blok Pengirim Spektrum Tersebar DS/FH.....31

Gambar 2.13 Sel Jamak.....32

Gambar 2.14 Daerah *Soft Handoff*.....34

Gambar 2.15 Penerima *RAKE*.....38

Gambar 2.16 Implementasi M Cabang *Rake Receiver*.....39

Gambar 3.1 a. Model Pengguna Sebanyak K Dalam Spektrum Tersebar CDMA.....45

Gambar 3.2 b. Struktur Penerima Untuk Pengguna ke-1.....45

Gambar 3.3 Sistem Secara Umum.....49

Gambar 4.1 Jumlah Cabang *RAKE*.....63

Gambar 4.2 Jumlah Lintasan Jamak.....65

Gambar 4.3 Perolehan Pengolahan.....68

Gambar 4.4 Perolehan Pengolahan terhadap BER.....69

Gambar 4.5 Pengali Daya Pancar.....71

Gambar 4.6 Pengali Daya Pancar Sinyal Terhadap BER.....71

DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 1 Perbandingan Operasi Teknik akses Jamak.....10

Tabel 2 Penyebaran Runtun Chip.....23

Tabel 3 Penyebaran Aliran Untuk $2^4 - 1$ Runtun Maksimal.....25

Tabel 4 Pengontotrolan Daerah Soft Handoff Menggunakan Nilai Threshold.....35

ABTRAKS

Program simulasi ini mensimulasikan sistem CDMA yang dipengaruhi oleh efek *Soft Handoff* jamak dan jumlah pencabangan (finger) pada penerima *RAKE* terhadap pesat galat bit yang ditinjau dengan pendekatan perhitungan dan juga penjelasan program simulasi yang dibuat dengan bahasa Delphi. Penghitungan nilai pesat galat bit pada sistem CDMA dapat dilakukan dengan cara pendekatan *Gauss (Gauss Approximation)*. Namun untuk keadaan yang melibatkan pudaran lintasan jamak diperlukan perhitungan yang melibatkan faktor lintasan jamak dan jumlah pencabangan penerima *RAKE*. Dalam simulasi ini, Data masukan dari satu pengguna dibangkitkan secara acak. Masing- masing bit data acak dari pengguna kemudian disebarkan menggunakan runtunh PN. Runtun PN yang digunakan dalam simulasi ini adalah sandi Walsh, yang merupakan baris –baris dalam matrik *Hadamard-64*. Bit – bit hasil pengaburan dengan sandi *Walsh* dari semua pengguna kemudian di jumlahkan. Dipenerima, data yang diterima merupakan data yang berasal dari pengguna. Untuk memperoleh data bagi pengguna tertentu, dilakukan proses peraupan untuk pengguna yang diinginkan. Untuk memperoleh data aslinya, maka hasil perkalian harus dintergalkan selama satu periode bit. Setelah dilakukan proses pengintegralan ini, maka data yang dikirimkan telah dipulihkan kembali. Data yang telah dipulihkan kembali. Data yang telah dipulihkan kemudian dibandingkan dengan data asalnya untuk mengetahui apakah terjadi kesalahan atau tidak. Banyaknya kesalahan (galat) yang terjadi direkam, dan digunakan untuk melakukan perhitungan BER. Dalam pengamatan yang dilakukan mengubah –mengubah parameter – parameter yang ada pengaruh di jumlah pencabangan rake yang pada saat pencabangan telah sampai pada 4 dan 5 penurunan pesat galat semakin sedikit Keadaan ini berlaku untuk lintasan jamak 20,30, dan 40 buah yang ditujukan yaitu semakin banyak jumlah lintasan jamak yang muncul menyebabkan pesat galat bit semakin besar. Jika nilai perolehan pengolahan bertambah maka menghasilkan grafik penurunan pesat galat bit yang hampir logaritmis yaitu semakin besar nilai perolehan pengolahan yang diberikan, maka pesat galat bit yang muncul semakin kecil. Apalagi saat nilai perolehan pengolahan mencapai 32 terlihat bahwa nilai pesat galat bit yang diperoleh sangat kecil dan hampir 0. Dengan pemberian nilai perolehan pengolahan 64 pada sistem DS-CDMA sangat efektif menekan pesat galat bit sampai seminimal mungkin. Perhitungan pendekatan Gauss dengan hasil simulasi program tidak sama. Secara hasil program simulasi plot grafik berbentuk eksponensial dan matematis berbentuk logaritmis terhadap pesat galat bit dalam pengaruh daya pancar sinyal

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Masalah yang dihadapi dunia komunikasi selular saat ini adalah semakin meningkatnya jumlah pengguna yang menggunakan pita frekuensi yang terbatas secara bersama-sama. Untuk mengatasi masalah ini harus dicari bagaimana meningkatkan kapasitas tanpa harus mengulangi kualitas pelayanan secara berlebihan.

Sistem selular sekarang ini menggunakan sistem pengkanalan dengan pita 30Khz setiap kanalnya, sistem ini dikenal sebagai sistem *FDMA (Frekuensi Division Multiple Acces)*. Untuk memaksimalkan kapasitas, sistem selular *FDMA* menggunakan antena berarah dan dan sistem reuse frekuensi yang rumit.

Untuk lebih meningkatkan lagi kapasitas, digunakan sistem akses jamak digital yang disebut *TDMA (Time Division Multiple Access)*. Sistem ini menggunakan pengkanalan dan reuse frekuensi yang sama dengan sistem *FDMA* dengan tambahan elemen time sharing. Setiap kanal dipakai secara bersama oleh beberapa pengguna menurut slot waktunya masing –masing.

Sedangkan *CDMA (Code Division MultiPle Access)* adalah teknik akses berdasarkan teknik komunikasi spektrum tersebar, pada kanal frekuensi yang sama dan dalam waktu yang sama digunakan kode – kode unik untuk mengidentifikasikan masing- masing pengguna. *CDMA* menggunakan kode – kode korelatif untuk membedakan satu pengguna dengan pengguna lain. Sinyal

CDMA yang dipancarkan oleh pengirim, sewaktu perambatannya akan mengalami pudaran *(Fading)* yang disebabkan karena sinyal *CDMA* asli yang dikirim mengalami pantulan oleh beberapa benda sebelum sampai di penerima. Sehingga di penerima *CDMA* akan muncul beberapa sinyal yang mirip aslinya namun dengan daya sinyal dan tunda waktu *(Delay)* yang berbeda-beda.

Masalah yang sering muncul dalam sistem *CDMA* adalah adanya pengaruh dari faktor geografi tempat perambatan sinyal. Keadaan geografis yang mempunyai banyak penghalang seperti gedung –gedung maupun dataran tinggi yang tidak rata, maka akan menyebabkan sinyal yang terkirim menjadil terpantul –pantul dan menyebabkan distrosi sinyal pada penerima. Distrosi sinyal yang disebabkan adanya efek pudaran ini ditujukan dengan adanya variasi tunda waktu, fase dan level sinyal pada penerima. Untuk mengatasi efek pudaran ini maka penerima system *CDMA* diterapkan sistem peragaman *(Diversity)* dengan menggunakan penerima *RAKE (Rake Receiver)*.

Dan *Rake Receiver* adalah adanya *Multipath* maka diperoleh tambahan noise pada sistem apabila *Delay Spread* lebih besar dari waktu *Chip*. Peningkatan performansi dapat dilakukan apabila lintasan – lintasan yang tiba pada penerima dapat dideteksi secara terpisah dan kemudian digabungkan secara koheren(disamakan phasanya).

Didalam komunikasi bergerak, para pelanggan memiliki tingkat mobiltas yang tinggi. Ada kemungkinan pelanggan bergerak dari satu sel menuju kesel lain yang memakai pasangan frekuensi berbeda ketika sedang terjadi percakapan. Untuk menjamin pembicara akan terus tersambung diperlukan fasilitas *handoff*

yaitu proses otomatis pergantian frekuensi ketika mobile station bergerak kedalam daerah atau sel yang mempunyai kanal dengan frekuensi berbeda dengan sel sebelumnya, sehingga pembicaran tersambung tanpa pemanggilan ulang atau inisialisasi ulang.

1.2. Rumusan Masalah

Dari latar belakang masalah yang telah dipaparkan, maka identifikasikan masalah ini yang berkaitan dengan unjuk kerja pengaruh dari efek *Soft Handoff* dan penerima *RAKE* terhadap pesat galat bit, yaitu:

1. Bagaimana pengaruh jumlah lintasan yang dikaitkan dengan pengaruh jumlah pencabangan *RAKE* terhadap BER
2. Bagaimana pengaruh dari parameter yang lain yaitu pengaruh perolehan pengolahan dan pengaruh daya pancar sinyal terhadap *BER*

1.3. Tujuan penulisan

Penulisan yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui

1. Seberapa besar pengaruh jumlah pencabangan penerima *RAKE* didalam pesat galat bit terhadap sistem *Soft Handoff* pada sistem *DS-CDMA*.
2. Pengaruh jumlah lintasan terhadap pesat galat yang muncul, selain itu pengaruh jumlah lintasan jamak yang dikaitkan dengan pengaruh jumlah pencabangan *RAKE* dalam hal besarnya kecilnya pesat galat bit yang terjadi.
3. Pengaruh parameter yang lain yaitu: pengaruh perolehan pengolahan dan pengaruh daya pancar sinyal

1.4. Batasan Masalah

Agar pembahasan pada skripsi ini tidak terlalu lebar, maka perlu adanya batasan masalah. Program ini mensimulasikan sistem *CDMA* yang dipengaruhi oleh efek *Soft Handoff* jamak dan jumlah pencabangan *(Finger)* pada penerima *RAKE*. Dari pesat galat bit *(Bit Error Rate, BER)* yang muncul di penerima, akan diperoleh gambaran kualitatif pengaruh-pengaruh dari beberapa parameter yang ada. Permasalahan yang akan dibahas adalah:

1. Program simulasi ini dilakukan dengan mengubah –ubah nilai parameter pencabangan *RAKE*, sedangkan nilai –nilai parameter yang lain seperti perolehan pengolahan, daya pancar sinyal, dan jumlah lintasan jamak dibuat tetap. Dengan memasukkan nilai jumlah bit yang dikirimkan =5000, perolehan pengolahan =8, pengali daya sinyal =1 dan jumlah lintasan jamak =20, 30, 40.
2. Pengaruh jumlah pencabangan *RAKE* dalam hal ini besar kecilnya galat pesat galat bit yang terjadi, dengan melakukan mengubah –ubah nilai parameter jumlah lintasan jamak, sedangkan nilai parameter perolehan pengolahan =4, pengali daya pancar sinyal =1, jumlah pencabangan *RAKE*= 3,4,5 dan jumlah bit =5000

1.5. Sistematika Penulisan

BAB I. PENDAHULUAN

Berisi latar belakang masalah, tujuan penulisan, batasan masalah, dan sistematika penulisan

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Berisi landasan teori yang terdiri dari pendahuluan yang menggambarkan sistem spektrum tersebar *(Spread Spectrum)* dan penerima *RAKE* pada sistem *CDMA* serta *Soft Handoff*

BAB III. PERANCANGAN SISTEM

Pengaruh efek *Soft Handoff* dan jumlah pencabangan penerima *RAKE* terhadap pesat galat bit yang ditinjau dengan pendekatan perhitungan *Gauss* dan juga penjelasan program simulasi yang dibuat dengan bahasa pemogramam *Delphi*

BAB IV. HASIL SIMULASI DAN PEMBAHASAN

Berisi tentang hasil simulasi dan pembahasan

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi tentang kesimpulan dan juga saran –saran dari pembahasan sebelumnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pendahuluan

Spektrum frekuensi adalah sumber daya yang terbatas sehingga penggunaan dari spektrum frekuensi ini harus benar –benar terkendali. Sistem komunikasi radio bergerak menggunakan berbagai teknik akses jamak supaya banyak pengguna dapat menggunakan spektrum frekuensi yang sama pada waktu yang sama pula. Pada kenyataannya, banyak sistem menggunakan beberapa teknik akses jamak secara simultan. Ada tiga akses jamak yang sering digunakan dalam komunikasi antara lain adalah sebagai berikut

1. Teknik akses jamak pembagian frekuensi *(Frequency division multiple acces, FDMA)*
2. Teknik akses jamak pembagian waktu *(Time Division Multiple Acces, TDMA)*
3. Teknik akses jamak pembagian Sandi *(Code Division Multiple Acces, CDMA)*

Sistem *FDMA* membagi lebar bidang yang ada menjadi beberapa kanal frekuensi. Lebar bidang masing –masing kanal tergantung tipe isyarat informasi yang akan ditransmisikan. Setiap pengguna akan mendapatkan alokasi dua kanal untuk komunikasi *uplink* dan *downlink*. Pengalokasian frekuensi pada *FDMA* bersifat eksklusif karena jika sepasang kanal telah digunakan oleh seorang pengguna maka pengguna lain tidak dapat menggunakan sepasang kanal tersebut. Untuk memaksimalkan kapasitas, sistem selular *FDMA* menggunakan antena berarah dan dan sistem reuse frekuensi yang rumit.

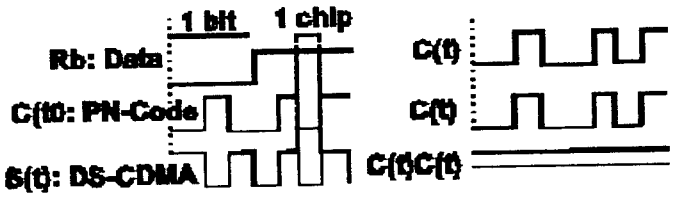
Dalam sistem *TDMA*, seluruh lebar bidang yang tersedia hanya digunakan oleh seorang pengguna, tetapi dalam periode waktu yang singkat. Kanal frekuensi dibagi menjadi beberapa *Time Slot* dan secara periodik, masing –masing pengguna akan menggunakan satu atau lebih *Time Slot* ini. Sebagai contoh, didalam teknologi *GSM* setiap kanal frekuensi dibagi menjadi delapan *Time Slot*.

Sementara itu, dalam sistem *CDMA*, seluruh pengguna menggunakan seluruh alokasi frekuensi yang tersedia pada waktu yang sama. Tidak ada penjadwalan waktu bagi masing –masing pengguna dalam sistem ini, isyarat satu pengguna dengan yang lain dipisahkan dengan penggunaan sandi –sandi khusus. Setiap pengguna menggunakan sebuah sandi yang melakukan modulasi kedua pada isyarat spektrum tersebar. Penerima yang dituju akan menggunakan sandi penyebar yang sama untuk memulihkan isyarat awal yang dikirimkan dari isyarat spektrum tersebar yang diterima. Sandi –sandi ini dipilih sehingga memiliki korelasi silang yang rendah dengan sandi yang lain sehingga isyarat yang disebarkan dengan sandi tertentu hanya dapat dikembalikan ke isyarat asalnya menggunakan sandi yang sama sedangkan isyarat dari pengguna lain tetap tersebar dalam lebar bidang yang luas. Hanya penerima yang menggunakan sandi penyebar yang sama dengan pengirim yang dapat memulihkan isyarat spektrum tersebar yang diterima.

Pada sistem *CDMA*, karena pengguna yang satu dengan yang lainnya menggunakan lebar bidang spektrum frekuensi dan waktu yang lama, maka sistem akan mengalami interferensi yang berupa *Multiple Access Interference* dan inter simbol interferensi. Selain itu, sangat sulit bagi penerima DS-CDMA untuk

menggunakan secara keseluruhan energi isyarat yang dihamburkan pada kawasan waktu.

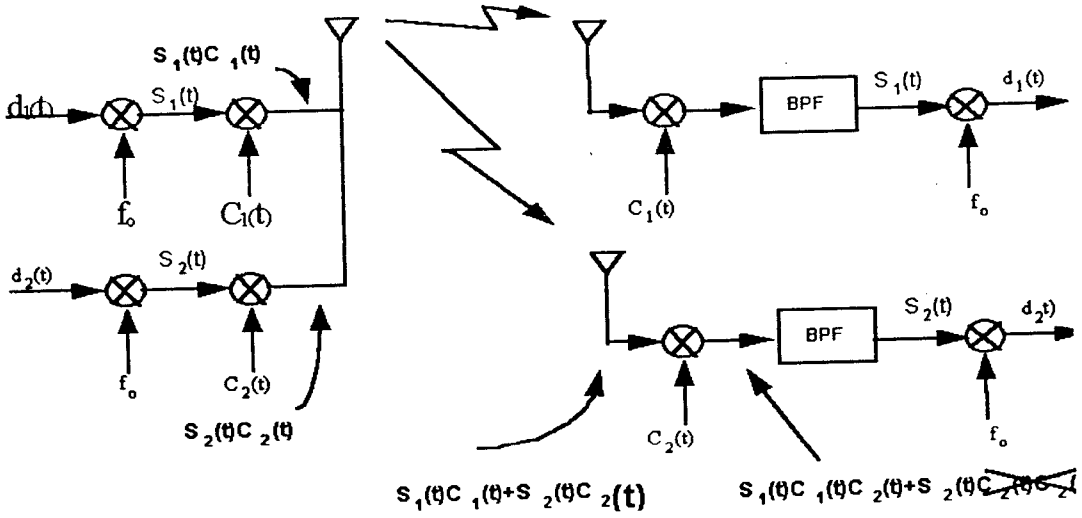
CDMA menggunakan *Spread Spectrum* dan konsep penerima *RAKE* untuk menimalisasikan error komunikasi yang berasal dari *Multipath Effect*. Secara umum penomoran sinyal *Multipath* dalam sinyal *Wireless* tidak diketahui dan sulit untuk diprediksi. Setiap kanal atau pengguna pada *CDMA* menggunakan waktu dan frekuensi yang sama. Untuk membedakan setiap kanal atau pengguna maka digunakan kode yang unik yang juga digunakan untuk melebarkan sinyal. Kode ini disebut *Pseudo Random Noise (PN Code)* yang merupakan deretan data berkecepatan tinggi yang berharga polar (-1 dan +1) atau non polar (0 dan 1). Proses dasar *Spreading* dan *Despreading* diperlihatkan pada gambar 2.1 dibawah ini :



Gambar 2.1 a. Proses spreading b. Proses despreading

Pada gambar diperlihatkan proses transmisi *CDMA* dengan sebuah *Base Stasion (BN)* dan dua buah kanal atau pengguna. Sinyal informasi d1(t) dan d2 (t) dimodulasi oleh frekuensi yang sama f0, kemudian sinyal termodulasi ini dikalikan dengan *PN Code* yang berbeda yaitu C1 (t) dan C2(t). Dengan dikalikan d(t) dengan C(t) maka pita frekuensi yang diperlukan akan menjadi lebar

Pada penerima, sinyal yang datang akan dikalikan dengan *PN-Code* yang sama yang melalui proses *EXNOR*. Dengan asumsi *PN-Code* yang diterima dan dibangkitan oleh penerima adalah sama tidak ada *Delay* maka hasil kedua perkalian PN Code ini C1(t) C2(t) adalah 1 yang berarti menghilangkan *PN Code* (perangkat yang melalui ini disebut *Correlator*). Sinyal ini kemudian dilewatkan melalui *Bandpass Filter* yang akan menghilangkan hasil perkalian *PN-Code* kanal dengan *PN-Code* kanal yang lain



Gambar 2.2 Proses transmisi sinyal CDMA

2.2 Spektrum Tersebar *(Spread Spectrum)*

Sistem transmisi spektrum tersebar adalah sebuah teknik yang mentransmisikan suatu isyarat dengan lebar bidang frekuensi tertentu menjadi suatu isyarat yang memiliki lebar bidang frekuensi yang jauh lebih besar. Aliran

data asal dikalikan dengan biner penyebar yang memiliki lebar bidang yang jauh lebih besar daripada isyarat asal. Proses ini bit –bit dalam sandi penyebar dikenal dengan *Chip* untuk membedakannya dengan bit- bit dalam aliran data yang dikenal dengan simbol.

Tabel 1 Perbandingan Operasi Teknik Akses Jamak

OPERASI	FDMA	TDMA	CDMA
Pita teralokasi	12.5MHz	12.5MHz	12.5MHz
Frequency reuse	7	7	1
Bw yang diperlukan kanal	0.03MHz	0.03MHz	12.5MHz
Jumlah kanal RF	12.5/0.03=416	12.5/0.03=416	12.5/0.03=416
Kanal/sel	416/7=59	416/7=59	416/7=59
Kanal kendali/sel	2	2	2
Kanal dipakai/sel	57	57	8
Panggilan perkanal RF	1	4*	40**
Kanal suara/sel	57x1=57	57x4=228	8x40=320
Sektor/sel	3	3	3
Panggilan voice/sektor	57/3=19	228/3=76	320
Kapasitas dibanding FDMA	1	4	16.8

*Tergantung pada jumlah slot

** Tergantung pada jumlah ragam sandi

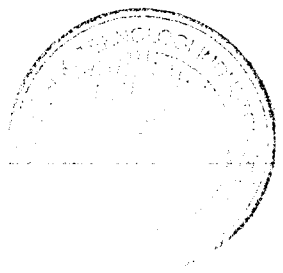
Setiap pengguna memiliki sandi penyebar yang berbeda dengan pengguna yang lain. Sandi yang sama digunakan pada kedua sisi kanal radio, menyebarkan

isyarat asal menjadi isyarat lebar, dan menyebarkan kembali isyarat bidang lebar menjadi isyarat bidang sempit asal. Nisbah antara lebar bidang transmisi dengan lebar bidang isyarat asal dikenal dengan istilah *Processing Gain*. Secara sederhana, *Processing Gain* menunjukan beberapa buah *Chip* yang digunakan untuk menyebarkan sebuah simbol data. Sandi – sandi penyebar bersifat unik, jika seorang pengguna telah menyebarkan isyarat bidang lebar yang diterima, isyarat yang disebarkan hanyalah isyarat dari pengirim yang memiliki sandi penyebar yang sama.

Sebuah sandi penyebar memiliki korelasi silang yang rendah dengan sandi penyebar lain. Jika sebuah sandi benar –benar *Orthogonal*, maka korelasi silang antara sebuah sandi dengan sandi lainnya adalah nol. Hal ini berarti beberapa isyarat bidang lebar dapat menggunakan frekuensi yang sama tanpa adanya interferensi satu sama lain. Energi isyarat bidang lebar disebarkan sepanjang lebar bidang yang amat besar sehingga dianggap sebagai derau jika dibandingkan isyarat aslinya atau dengan kata lain memiliki *Power Spectral Density* yang rendah. Ketika sebuah isyarat bidang lebar dikorelasikan dengan penyebar tertentu, hanya isyarat asal dengan penyebar yang sama yang akan disebarkan.

Sistem spektrum tersebar memiliki beberapa kelebihan dibandingkan sistem –sistem yang telah ada sebelumya yaitu sebagai berikut:

1. Dapat bertahan pada lingkungan dengan pudaran lintasan jamak yang tinggi karena isyarat *CDMA* bidang lebar memiliki sandi penyebar dengan korelasi diri yang baik.



2. Dapat mengirimkan informasi dengan daya yang kecil sehingga memungkinkan peralatan yang kecil sekaligus juga dengan daya baterai yang lebih tahan lama.
3. Dapat mengurangi interferensi dengan baik karena pada saat terjadinya proses penyebaran, pengganggu akan mengalami proses sebaliknya sehingga dayanya akan lebih kecil dibandingkan isyarat lain.
4. Dapat menghindari penyadapan karena menggunakan sandi yang unik yang mirip derau dengan spektrum frekuensi yang amat lebar
5. Dapat melakukan kemampuan panggilan terpilih *(Selective Calling Capability)*
6. Dapat melakukan penjamakan pembagian sandi sehingga dimungkinkan untuk akses jamak dengan kapsitas yang lebih besar.

Konsep komunikasi spektrum tersebar didasarkan teori *C.E Shannon* untuk kapasitas saluran melalui persamaan yaitu:

$$C = W \log_2(1 + S/N) \qquad (2.1)$$

Dimana

C = kapasitas kanal transmisi(bit/detik)

W= lebar pita frekuensi transmisi(Hz)

N= daya derau(watt)

S= daya sinyal (watt)

Dari teori tersebut terlihat bahwa untuk menyalurkan informasi yang lebih besar pada saluran berderau dapat ditempuh dengan dua cara, yaitu:

1. Dengan cara konvensional, dimana W kecil dan S/N besar.
2. Cara penyebaran spektrum, dimana W besar dan S/N kecil.

Parameter- parameter yang dipakai untuk mengukur kinerja sistem spektrum tersebar adalah

a. Probability of error

$$Pe = \frac{1}{2} erfc \sqrt{\frac{Eb}{N_0}} \qquad (2.1)$$

$$= \frac{1}{2} erfc \sqrt{\left(\frac{Ps}{Pj}\right)\left(\frac{Rc}{Rb}\right)}$$

$$= \frac{1}{2} erfc \sqrt{\frac{Ps}{Pj_{eff}}}$$

dimana

Pj_{eff} = daya jamming efektif = $\frac{Pj}{G}$

$\frac{Ps}{Pj}$ = perbandingan daya sinyal yang diinginkan terhadap daya jamming

$\frac{Rc}{Rb}$ = perbandingan laju chip terhadap laju data

b. Procesing Gain

Procesing Gain dari spektrum tersebar didefinisikan sebagai perbedaan kinerja antara sistem yang menggunakan spektrum tersebar dengan sistem yang tidak menggunakan spektrum tersebar. Pendekatan yang sering dipakai untuk menyatakan *Procesing Gain* adalah perbandingan lebar pita frekuensi spektrum tersebar dengan laju bit informasi (data).

$$G = \eta = \frac{W_c}{W_s} = \frac{W_c}{R_b} \tag{2.3}$$

Keterangan

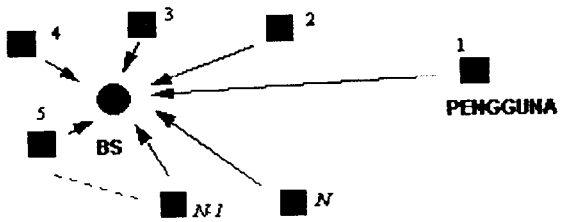
G = η = proses gain (10 log G dB)

W_c = lebar pita frekuensi spektrum tersebar (Hz)

W_s = lebar pita frekuensi sinyal digital / data (Hz)

R_b = laju pita data(bps)

Untuk menghitung kapasitas sistem CDMA satu sel, diasumsikan sistem yang digunakan adalah star yang dimana *Base Station* berkomunikasi dengan semua kanal/pengguna dan setiap kanal / pengguna akan menempati seluruh lokasi spektrum frekuensi yang sama dimana daya yang diterima dan η adalah *White Noise Gaussian* serta N adalah jumlah terminal atau kanal yang dapat diperlihatkan oleh gambar 2.3



Gambar 2.3 Jumlah Kanal

b. Jamming Margin

Kemampuan sistem spektrum untuk mengantisipasi adanya interferensi dengan intensitas tinggi atau *Jammer* ditentukan oleh kriteria *Jamming Margin.*

$$JM = G - \left[L_{sys} + (S/N)_{out}\right] \quad (2.4)$$

dimana :

JM = *Jamming Margin* (10 log JM dB)

L_{sys} = rugi –rugi implementasi sistem

$(S/N)_{out}$ = S/N keluaran penerima yang diisyaratkan / diijinkan

c. PN Code

PN-Code mempunyai satuan *Chip*, yang merupakan sinyal pelebar sinyal informasi dan digunakan untuk membedakan antara kanal atau pengguna satu dengan yang lainnya. Pemilihan *PN-Code* harus dilakukan dengan hati – hati dengan memperhatikan beberapa kriteria, sebagai berikut

a. Mudah diterapkan
b. Mempunyai dua level yaitu -1 dan 1 atau 0 dan 1
c. Mempunyai auto correlation yang tajam untuk memungkinkan sinkronisasi kode
d. Mempunyai beda jumlah 0 dan 1 hanya satu *(One Zero Balance)* untuk memperoleh *Spectrum Density* yang bagus
e. Harga korelasi persilangan yang rendah. Dengan semakin rendah harga korelasi persilangan maka jumlah kanal dalam satu pita frekuensi semakin tinggi.

Secara umum, PN-Code dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu linear dan non linear. Kode linear dibangkitkan dengan mengkombinasikan keluaran *Feedback Shift Register* dalam fungsi yang tetap yang biasanya bermodul 2,

sedangkan kode non linear terdapat dua macam runtun *PN* berdasarkan runtun *PN* berdasarkan panjangnya dan pemakaiannya, yaitu berikut ini

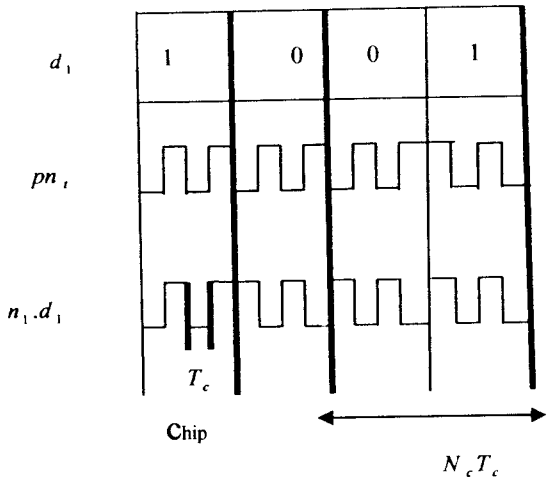
1. Kode Pendek *(Short Code)*

Runtun *PN* yang sama untuk masing –masing simbol data $(N_c.T_c = T_s)$ digunakan untuk penyebaran lebih lanjut karena tidak tidak semua kode *Walsh* memberikan penyebaran yang baik. Kode ini akan berfungsi sebagai runtun pilot jika dimodulasikan oleh kode *Walsh* ke-0. Runtun PN untuk satu kanal I berdasar pada polinomial yang berbeda (N sama) dengan kanal Q. Sel yang berbeda menggunakan kode pendek yang tergeser fasenya(berupa ingsut)

Kode pendek yang biasa digunakan adalah kode pendek dengan N =15 sehingga memiliki panjang maksimal L = $2^{15}-1=32.767$ chip, yang dimodifikasi untuk menghasilkan runtun sepanjang 32.768 *Chip*. Runtun akan berulang dengan periode 26,67 *ms* dengan pesat chip 1,2288 *Mcps*. Pemisahan sel atau sektor menggunakan kode pendek yang sama namun tergeser fasenya sebesar 64 *Chip*, sehingga akan dihasilkan 512 ingsut. Pergeseran 64 merupakan rekomendasi IS-95 dengan perhitungan berdasarkan pada jarak minimal *Multipath* (yang menghasilkan penerimaan tunda chip pada sisi penerima). Satu chip berjarak 244 m (dihasilkan dari pembagian kecepatan gelombang dengan pesat chip yang digunakan), maka 64 chip memiliki jarak minimal *Multipat*h sebesar 15,616 Km.

Implementasi pada kode pendek untuk mendapatkan panjang runtun 2^{15}, sebuah chip ekstra logika 0 ditambahkan atau diselipkan pada saat runtun *Chip* 0 sepanjang N-1 muncul, sehingga jumlah chip 0 dan 1 adalah sama. Penambahan

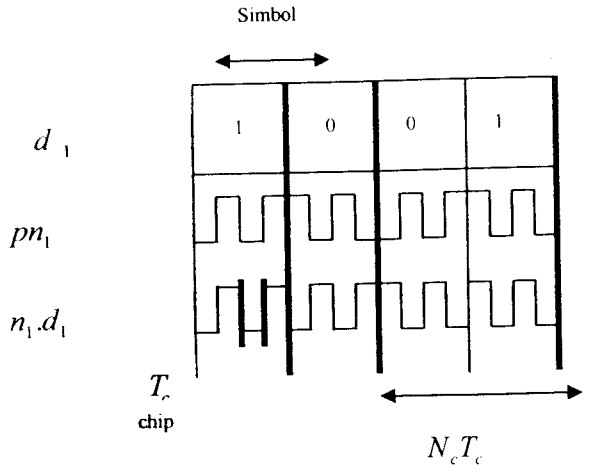
ini dilakukan karena pada runtun maksimal yang jumlah chip 1 lebih banyak satu chip dibanding chip 0 akan menghasilkan nilai *DC* (meskipun kecil) yang akan mengganggu operasi pada modulator. Penambahan chip ini berfungsi untuk menekan nilai *DC* sehingga *Modulator* dapat bekerja dengan baik.



Gambar 2.4 Kode Pendek

2. Kode Panjang *(Long Code)*

Periode runtun PN lebih panjang dibanding simbol data, sehingga suatu pola chip berbeda berasosiasi dengan masing –masing simbol ($N_c.T_c >> T_s$). Kode panjang menggunakan register geser N = 42, sehingga menghasilkan panjang runtun maksimal $L = 2^{42} - 1 = 4{,}4$ trilyun chip. Kode panjang juga menggunakan pesat chip 1,2288 MHZ sehingga akan berulang kembali setelah 41- 42 hari. Pegeseran 64 chip(tipikalnya 256) juga direkomendasikan yang menghasilkan kira –kira 69 milyar ingsut. Gambar 2.5 menunjukan kode panjang *(Long Code)*.



Gambar 2.5. Kode Panjang

2.3. Runtun *Pseudorandom Noise (PN)*

Runtun *PN* adalah runtun biner periodik yang bersifat seperti *Noise* dengan spektrum frekuensi yang lebar. Dalam sistem *CDMA* runtun *PN* melakukan fungsi – fungsi sebagai berikut

1. Menyebar lebar bidang isyarat termodulasi menjadi lebar bidang transmisi yang jauh lebih besar.
2. Sebagai pembeda antar pengguna berbeda yang menggunakan lebar bidang transmisi yang sama dalam penerapan akses jamak

Runtun *PN* tidak bersifat acak tetapi tertentu sebagai runtun periodik. Runtun *PN* dihasilkan dengan mengkombinasikan keluaran –keluaran dari sebuah register geser umpan –balik. Sebuah register geser umpan –balik terdiri dari atas pengingat dua keadaan yang saling berurutan atau beberapa tingkat penyimpan dan logika bolak – balik runtun biner digeser sepanjang register geser sebagai

tanggapan terhadap pulsa detak. Isi dari masing –masing penyimpan secara logika dikombinasikan untuk menghasilkan masukan penyimpan pertama. Kondisi awal masing –masing penyimpan logika umpan –balik menentukan kondisi – kondisi penyimpan selanjutnya. Penyimpan –penyimpan ini biasanya berupa *Flip- Flop*. Sebuah register geser umpan –balik dan keluarannya bersifat linear sementara logika umpan –balik seluruhnya terdiri dari atas penjumlah modul-2.

Runtun keluaran pembangkit *PN* dapat dikelompokkan sebagai panjang maksimal atau panjang tidak maksimal. Runtun panjang maksimal adalah runtun panjang yang dapat dihasilkan oleh sebuah register geser dengan panjang tertentu. Untuk pembangkit runtun register geser biner, panjang runtun maksimal yang dapat dibuat adalah $2^n - 1$ dengan n jumlah penyimpan di dalam register geser. Runtun panjang maksimal mempunyai sifat, untuk sebuah register geser umpan – balik dengan n penyimpan, periode pengulangan runtun dalam pulsa detak adalah $T_0 = 2^n - 1$. Jika sebuah register geser umpan –balik menghasilkan runtun maksimal, maka semua keluarannya yang bukan semuanya nol juga maksimal. Ketika sebuah register geser dengan n penyimpan digunakan untuk menghasilkan sebuah runtun panjang maksimal, runtun yang dihasilkan akan memiliki sifat – sifat sebagai berikut :

a. Jumlah logika satu dalam runtun selalu lebih besar satu bit dibanding dengan jumlah logika nol. Contoh : untuk 1023 bit sandi maka terdiri dari atas 512 logika satu dan 511 logika nol

b. *Distribusi* statistik logika nol dan satu ditentukan dengan baik dan selalu sama. Letak relatif aliranya berbeda dengan runtun sandi lainnya, tetapi jumlah masing – masing panjang aliran tidak berbeda.

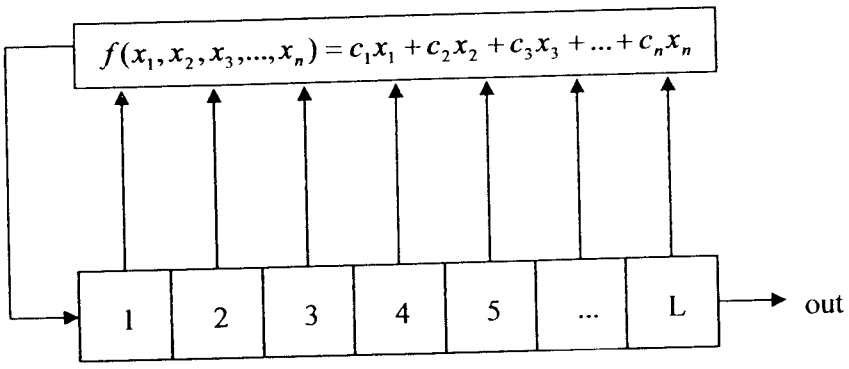
c. Korelasi diri sandi linear maksimal sedemikian sehingga untuk semua nilai pergeseran fase nilai korelasi adalah -1, kecuali untuk daerah pergeseran fase bit 0 ± 1, dengan korelasi berubah secara linear dari -1 ke N dengan N adalah panjang runtun.

d. Penambahan modul -2 sandi linear maksimal dengan fase tergeser tiruan sandi itu sendiri menghasilkan tiruan lain dengan pergeseran fase yang berbeda dengan aslinya.

e. Setiap keadaan yang mungkin, disebut juga n- tuple, untuk pembangkit n gerbang yang diberikan selalu ada pada waktu siklus pembangkit sandi. Masing –masing keadaan hanyalah sebesar satu bit. Pengecualian adalah keadaan semua nol secara normal tidak terjadi dan tidak diijinkan untuk terjadi.

f. Korelasi silang sebuah runtun *PN* linear maksimal adalah ukuran kemiripan antara dua runtun *PN* yang berbeda. Dalam sistem *CDMA*, korelasi silang merupakan sesuatu yang penting karena tanggapan penerima terhadap isyarat yang lain dibandingkan runtun alamat yang sesuai tidak diijinkan.

Gambar 2.6 menunjukan pembangkit runtun maksimal register geser umpan – balik.



Gambar 2.6
Pembangkit Register Geser Sederhana

Runtun panjang maksimal *(M-Sequences)* adalah sandi terbesar yang dapat dihasilkan oleh register geser yang digunakan. Setiap waktu detak, register menggeser seluruh isinya ke kanan.

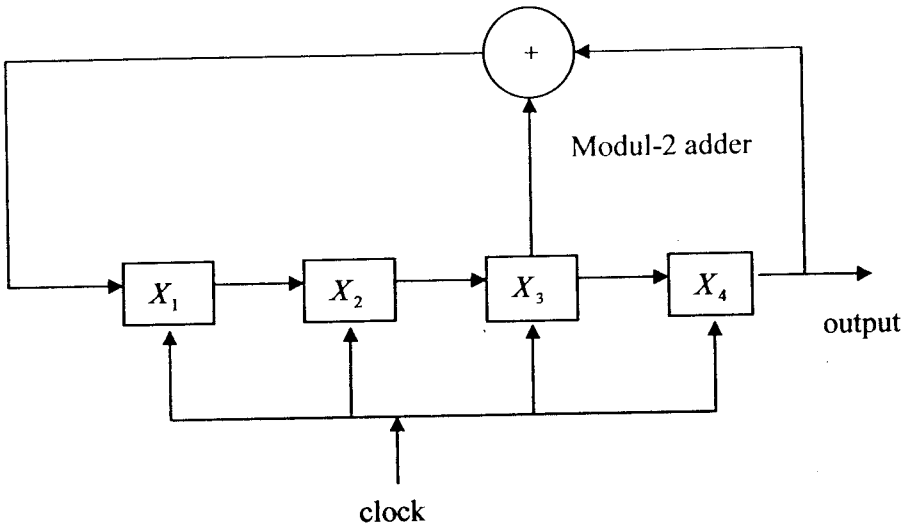
Fungsi pembangkit, G(D), runtun dapat diekspresikan sebagai perbandingan polinomial terbatas.

$$G(D) - g_0(D) / f(D) \tag{2.5}$$

f (D) adalah polinomial karakteristik dari pembangkit runtun register geser umpan –balik linear *(LSFR)*. Polinomial ini tergantung pada vektor koneksi $c_1, c_2, ..., c_n$ dan menentukan sifat utama dari runtun yang dihasilkan. Polinomial $g_0(D)$ tergantung pada kondisi awal dari masing –masing penyimpan dan menentukan pergeseran fase dari runtun yang dihasilkan. Setiap runtun *LSFR* periodik dengan periode $N \leq 2^n - 1$ untuk kondisi vektor awal yang tidak sama dengan nol, dengan n adalah jumlah register geser. Persyaratan bagi $G(D)$ untuk

menghasilkan sebuah runtun maksimal jika $f(D)$ merupakan polinomial tidak tereduksi. Polinomial tidak tereduksi yang menghasilkan runtun maksimal dikenal juga dengan polinomial primitif

Untuk memperlihatkan sifat – sifat dari runtun PN biner maka diberi contoh sebuah register geser linear umpan – balik yang memiliki register dengan empat penyimpan dan pergeseran, sebuah penjumlah modul -2, dan jalur umpan – balik dari penjumlah ke masukan register pada gambar 2.7.



Gambar 2.7
Register Geser Umpan –Balik 4 Penyimpan

Operasi dari register dikendalikan oleh pulsa detak. Pada setiap pulsa detak, isi masing – masing menyimpan di dalam register digeser satu tingkat ke kanan. Juga, pada setiap pulsa detak isi penyimpan X_3 dan X_4 dijumlah modul-2 dan hasilnya di umpan –balikkan ke penyimpan X_1. Dianggap bahwa penyimpan X_1 awalnya diisi dengan 0 sedangkan penyimpan yang lain diisi dengan 0,0 dan 1 sehingga kondisi awal register adalah 0001. selanjutnya, dengan operasi

pergeseran, penjumlahan dan pengumpan –balikkan akan diperoleh hasil setiap siklus pada tabel 2.

Tabel 2. Penyebaran Aliran Runtun Chip

Shift	Stage X_1	Stage X_2	Stage X_3	Stage X_4	Runtun Output
0	0	0	0	1	1
1	1	0	0	0	0
2	0	1	0	0	0
3	0	0	1	0	0
4	1	0	0	1	1
5	1	1	0	0	0
6	0	1	1	0	0
7	1	0	1	1	1
8	0	1	0	1	1
9	1	0	1	1	0
10	1	1	0	1	1
11	1	1	1	0	0
12	1	1	1	1	1
13	0	1	1	1	1
14	0	0	1	1	1
15	0	0	0	1	1
16	1	0	0	0	0

Dari tabel di atas dapat di lihat bahwa isi register berulang setiap $2^4 - 1 = 15$ siklus. Runtun keluarannya adalah 000100110101111 dengan bit paling kiri adalah bit paling awal. Dalam runtun keluaran, jumlah keseluruh bit 0 adalah 7, berbeda dengan jumlah keseluruh bit 1 yaitu 8.

Jika sebuah register geser umpan –balik memiliki kondisi 0 untuk semua penyimpannya, keluaran selanjutnya akan tetap bernilai nol dan akibatnya keluaran runtun selanjutnya akan bernilai nol. Periode sebuah register geser linear dengan n penyimpan tidak dapat melebihi $2^n - 1$ karena jumlah keadaan tidak nol tepat sejumlah $2^n - 1$

Freymodsson memperlihatkan bahwa terdapat aliran $2^{n-(p+2)}$ dengan panjang p untuk logika satu dan nol setiap runtun maksimal. Kecuali bahwa hanya ada satu aliran yang berisi n logika satu dan satu berisi n-1 logika nol. Tidak ada aliran logika nol dengan panjang n atau logika satu dengan panjang n-1. Aliran didefinisikan sebagai rentetan logika satu atau nol yang dikumpulkan secara berurutan. Contoh distribusi aliran diperlihatkan dalam tabel 3 runtun chip $2^4 - 1$.

Tabel 3. Penyebaran Aliran Untuk $2^4 - 1$ Runtun Maksimal

Panjang aliran (chip)	Jumlah aliran		Jumlah (chip) tiap aliran
	Logika satu	Logika nol	
1	2	2	4
2	1	1	4
3	0	1	3
4	1	0	4

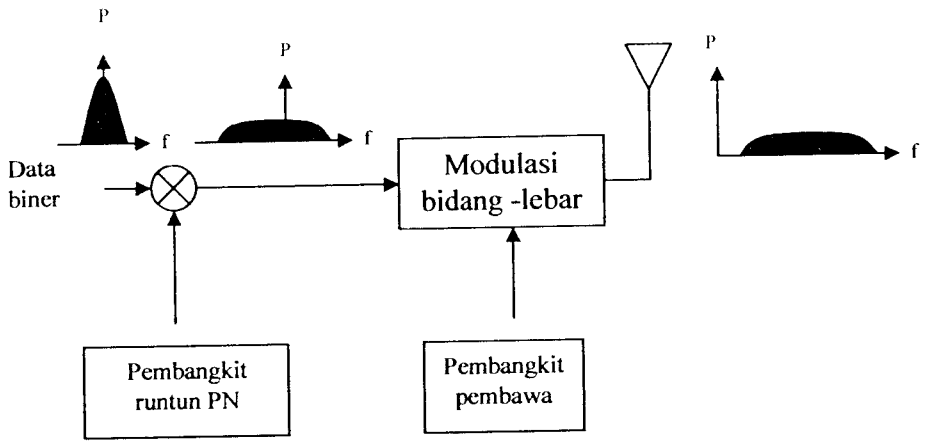
Beberapa teknik yang digunakan dalam sistem spektrum tersebar dan akan diperinci pada sub-bab berikutnya, yaitu:

1. runtun langsung *(Direct Sequence)*
2. lompatan frekuensi *(Frequency Hopping)*
3. lompatan waktu *(Time Hopping)*
4. hibrid

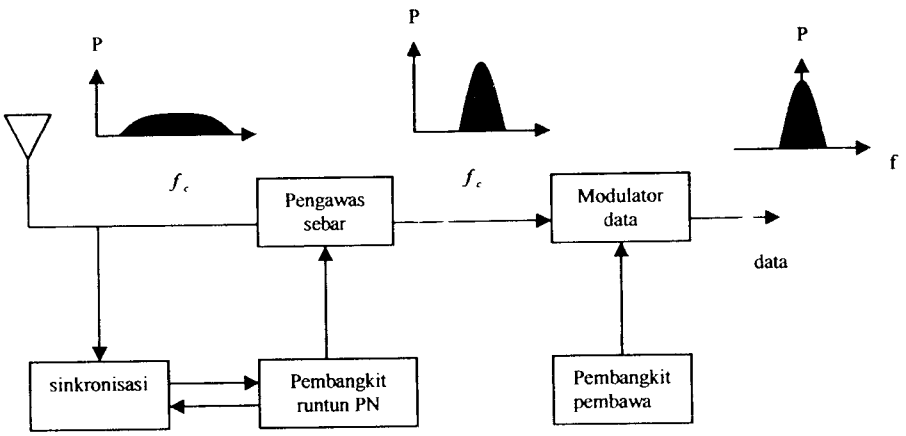
a. Runtun Langsung *(Direct Sequence)*

Dalam sistem spektrum tersebar runtun langsung *(Direct Sequence Spread Spectrum,DSSS)* isyarat informasi dimodulasi langsung oleh runtun *PN* dan menghasilkan isyarat yang memodulasi gelombang -gelombang pembawa bidang-lebar. Dari perkalian langsung tersebut runtun langsung mendapatkan namanya. Gambar 2.8 memperlihatkan diagram blok pengirim spektrum tersebar runtun langsung. Isyarat data biner dimodulasi runtun PN yang memiliki -1 atau +1. untuk mendapatkan penyebaran isyarat yang diinginkan maka pesat chip runtun harus lebih tinggi dari pesat chip isyarat informasi. Setelah pengirim isyarat, penerima pada gambar menggunakan demodulasi koheran untuk pengawasebaran berhasil, penerima harus mengetahui runtun *PN* yang digunakan untuk menyebarkan isyarat. Selain itu runtun *PN* pengirim dan runtun *PN* penerima juga harus sinkron. Sinkronisasi ini harus dilakukan pada awal penerimaan isyarat dan dipertahankan sampai semua isyarat informasi diterima. Blok sinkronisasi runtun *PN* melakukan operasi sinkronisasi. Setelah pengawasan isyarat data termodulasi dihasilkan dan setelah demodulasi data asli didapatkan. Bila runtun *PN* penerima

tidak sinkron dengan runtun *PN* pengirim maka pengawasebaran akan gagal (keluaran blok pengasebaran berupa isyarat spektrum tersebar).



Gambar 2.8
Diagram Blok Pengirim Spektrum Tersebar Runtun Langsung



Gambar 2.9
Diagram Blok Penerima Spktrum Tersebar Runtun Langsung

b. Lompatan Frekuensi *(Frequency Hopping)*

Pada spektrum tersebar lompatan frekuensi *(Frequency Hopping Spread Spectrum, FHSS)*, frekuensi pembawa yang memodulasi isyarat informasi tidaklah konstan melainkan berubah secara periodis. Selama interval waktu tertentu frekuensi pembawanya tetap, tetapi setelah itu pembawa melompat ke frekuensi lain (atau mungkin juga ke frekuensi yang dapat digunakan pembawa disebut set lompatan *(Hop Set)*.

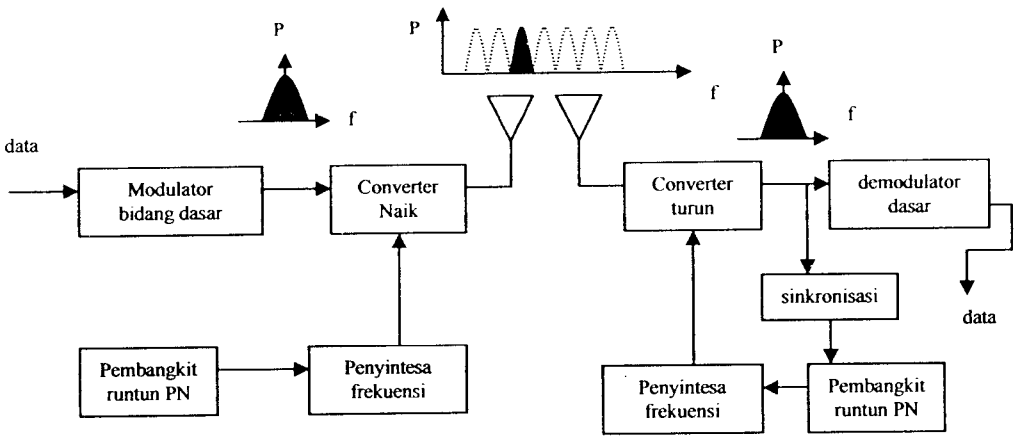
Penggunaan frekuensi sebuah sistem lompatan frekuensi sangat berbeda dengan sistem runtun langsung. Sistem runtun langsung menggunakan seluruh bidang frekuensi hanya menggunakan sebagian kecil lebar bidang ketika melakukan transmisi, tetapi lokasinya berubah terhadap waktu.

Diagram blok spektrum tersebar runtun langsung diperlihatkan pada gambar 2.10. isyarat data termodulasi bidang-dasar. Dengan menggunakan penyintesa frekuensi cepat *(Fast Frequency Synthesizer)* yang dikendalikan runtun *PN*, frekuensi pembawa dikonversi naik ke frekuensi transmisi.

Proses sebaliknya terjadi di penerima. Dengan menggunakan runtun *PN* lokal ,isyarat diterima dikonversi turun ke bidang- dasar. Data dipulihkan setelah demodulasi bidang-dasar. Rangkaian sinkronisasi menjamin bahwa lompatan frekuensi yang lakukan pembawa lokal sinkron dengan di pengirim sehingga penyebaran yang benar dapat dilakukan.

Sistem lompatan frekuensi dibagi berdasarkan lompatannya. Bila pesat lompatan lebih besar dari pesat simbol maka disebut dengan lompatan frekuensi cepat *(Fast Frequency Hopping, F-FH)*. Pada F-FH frekuensi pembawa berubah

beberapa kali selama tranmisi satu simbol sehingga satu bit berubah beberapa kali selama transmisi satu simbol sehingga satu bit ditransmisikan pada beberapa frekuensi. Bila pesat lompatan lebih kecil dari pesat simbol maka disebut lompatan frekuensi lambat *(Slow Frequency Hopping, S-FH)*. Pada sistem S-FH beberapa simbol ditransmisikan pada frekuensi yang sama.

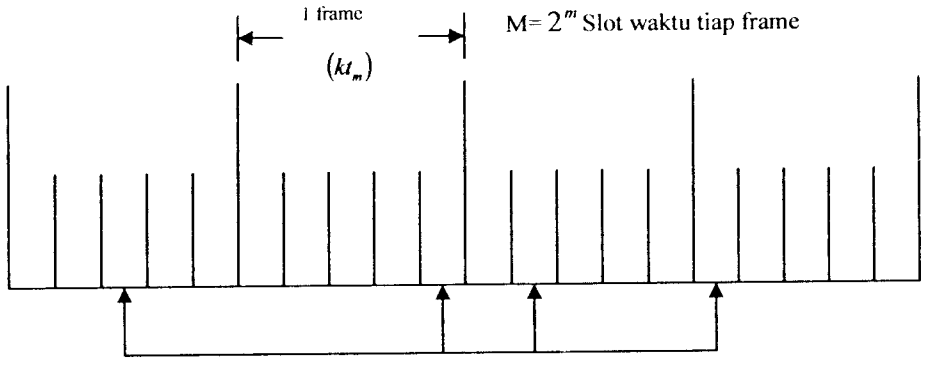


Gambar 2.10
Diagram Blok Pengirim dan Penerima Spektrum Tersebar Lompatan Frekuensi

c. Lompatan Waktu *(Time Hopping, TH)*

Pada system spektrum tersebar lompatan waktu *(Time Hopping Spread Spectrum, THSS)*, isyarat data ditransmisikan dalam semburan cepat *(Rapid Burst)* pada setiap interval waktu yang ditentukan runtun *PN*. Bentuk gelombang untuk lompatan waktu ditunjukan pada gambar 2.11 sumbu horizontal dibagi –bagi menjadi interval yang disebut frame dan setiap frame dibagi lagi menjadi M buah

slot waktu *(Time Slot)*. Slot waktu pada suatu frame dipilih oleh pembangkit runtun *PN*. Semua pesan dikumpulkan dalam sebuah frame sebelum dikirimkan dalam derau pada waktu slot waktu yang dipilih. Pada gambar 2.11. diperlihatkan diagram blok sistem spektrum tersebar lompatan waktu.



Gambar 2.11
Bentuk Gelombang Lompatan waktu

Konsep yang digunakan untuk mengukur adalah

T_f = periode frame

k = jumlah bit pesan dalam suatu frame

$T_f = kt_m$

Lebar tiap slot waktu frame adalah T_f / M dan lebar tiap bit pada slot waktu adalah T_f / kM, secara sederhana t_m / M. Ini menunjukan bahwa lebar – bidang isyarat yang dikirim adalah 2M kali lebar-bidang pesan. Oleh karena itu proses gain sistem lompatan waktu sebesar dua kali slot waktu setiap frame jika

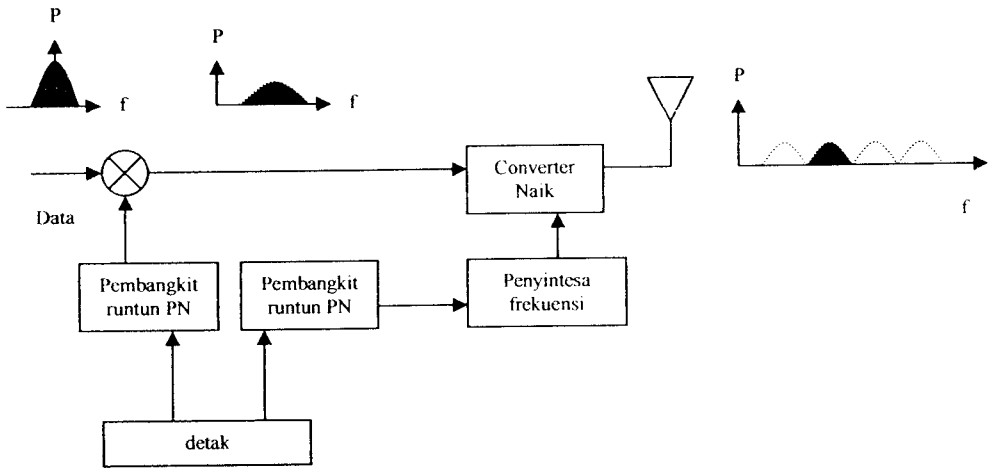
digunakan modulasi biphase dan seperempat bila digunakan modulasi *quadriphase*.

d. Hibrid

Sistem hibrid mencakup semua sistem spektrum tersebar yang menggunakan kombinasi dari dua atau lebih teknik yang dibahas sebelumnya atau kombinasi dengan teknik masupan jamak lainnya. Dengan menggabungkan teknik dasar modulasi spektrum tersebar maka didapat 4 macam sistem hibrid, yaitu:

1. DS/FH,
2. DS/TH,
3. FH/TH, Dan
4. DS/FH/TH.

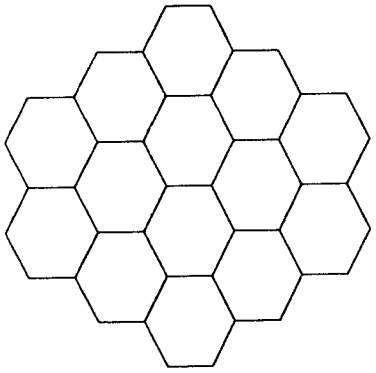
Ide dasar sistem hibrid adalah menggabungkan keuntungan tertentu dari setiap teknik modulasi. Bila, sebagai contoh, dikombinasikan sistem DS/FH maka akan didapatkan keuntungan *anti-Multipath* dari sistem runtun langsung/DS digabungkan dengan keuntungan *Near-Far* lompatan frekuensi/FH. Tentu saja kerugiannya adalah peningkatan kerumitan pengirim dan penerima. Pada Gambar 2.12 diilustrasikan pengirim DS/FH



Gambar 2.12
Diagram Blok Pengirim Spektrum Tersebar DS/FH

2.3. Sel Jamak

Dalam sebuah sistem selular *CDMA* sel jamak, situasi menjadi lebih rumit daripada sistem sel tunggal. *User* yang berada dekat perbatasan dari tiga sel akan menerima interferensi yang cukup signifikan dari *Base Station* lain. Stastistik dari daya yang diterima dari pengguna referensi dan interferensi dalam selnya sendiri. Untuk memecahkan ini hasil yang telah dicapai *Gilhaussen* dengan kawan – kawan yaitu bahwa total interferensi dari sel –sel sekitarnya dimodelkan sebagai suatu random variabel *Gaussian* dengan mean μ dan variansi logaritmik D^2. Disini *Carrier to Interference Ratio* dihitung untuk satu referensi yang terletak pada titik ini dengan mempertimbangkan 12 *Base Station* terdekat sebagaimana diperlihatkan pada gambar 2.13 dibawah ini :



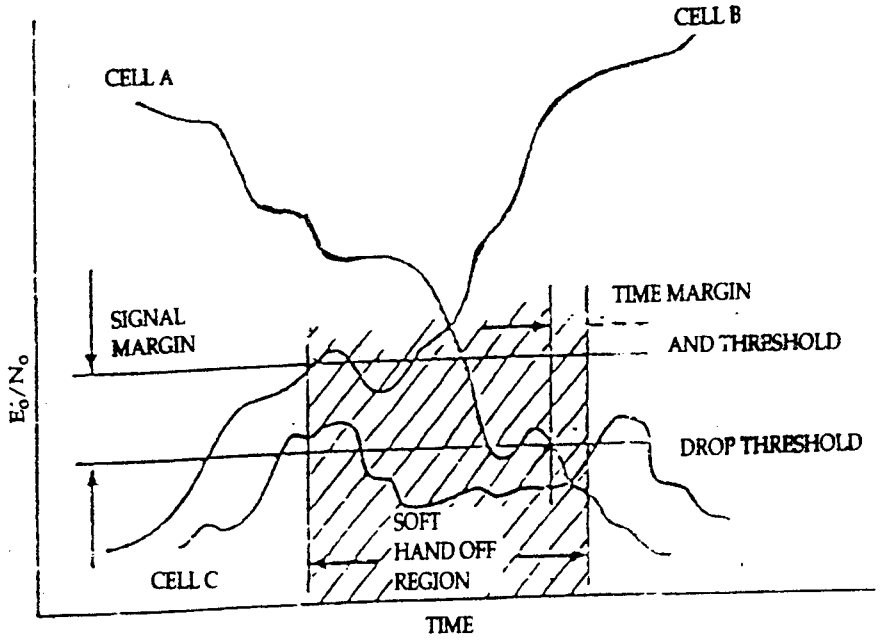
Gambar 2.13
Sel Jamak

2.4. Soft Handoff

Pada komunikasi bergerak, para pelanggan memiliki tingkat mobilitas tinggi. Untuk menjamin bahwa pembicaran akan tersambung diperlukan fasilitas *Soft Handoff* yang memungkinkan kedua sel, baik sel asal maupun sel baru untuk melayani mobile stasion secara bersama-sama selama transisi *Handoff*. Transisinya adalah ketika *Mobile Station* bergerak dari sel asal ke sel baru dan akhirnya berada di sel baru. Hal ini di mungkinkan karena semua sel memakai frekuensi kerja yang sama. *Soft Handoff* selain mengurangi kemungkinan putusnya pembicaraan juga menyebabkan proses *Handoff* berjalan dengan halus sehingga tidak mengganggu pengguna. Dalam sistem analog dan digital *TDMA* dilakukan pemutusan hubungan sebelum fungsi switching berhasil dilakukan *(Break-Before-Make-Switching Function)* sementara pada *CDMA* hubungan sel lama tidak dilakukan pemutusan sampai *Mobile Stasion* benar- benar mantap dilayani oleh sel baru *(Make-Before-Break Switching Function)*

Setelah sebuah panggilan telah dilakukan, *Mobile Station* selalu mengecek sel –sel tetangga untuk menentukan apakah sinyal dari sel yang lain cukup besar jika dibandingkan dengan sinyal dari sel asal. Jika hal ini terjadi, ini merupakan indikasi bahwa *Mobile Station* memasuki daerah cakupan sel yang baru dan *Handoff* dapat dilakukan. *Mobile Station* mengirim pesan *(Control Message)* ke *MTSO* yang menunjukan sinyal dari sel baru makin menguat. *MTSO* melakukan *Handoff* dengan menyediakan sebuah link kepada *Mobile Stasion* melalui sel baru tetapi link yang lama tetap dipertahankan. Sementara mobile stasion berada pada daerah perbatasan antara kedua sel, panggilan hanya dilayani oleh kedua sel site, hal ini menyebabkan berkurangnya efek ping pong atau mengulang permohonan kembali pangilan antara kedua sel site. Sel asal akan memutuskan hubungan jika *Mobile Station* benar- benar mantap dilayani sel baru.

Soft Handoff pada sistem selular CDMA dikontrol berdasarkan hasil pengukuran perbandingan sinyal terhadap noise kanal pilot dari *Base Stasion* yang dilakukan oleh *Mobile Station.* Hasil pengukuran ini dibandingkan dengan nilai *Threshold T_ADD* dan *T_DROP*, kemudian berdasarkan ukuran waktu tertentu, suatu *Base Stasion* dihapuskan atau ditambahkan dari daftar kandidat untuk proses *Soft Handoff.* Daerah *Soft Handoff* ditunjukan oleh gambar 2.14.



Gambar 2.14
Daerah *Soft Handoff*

Selama proses *Handoff* terjadi pertukaran pesan antara base stasion dengan mobile stasion. Urutan – urutan kejadian selama proses *Handoff* adalah:

1. bila pilot > *T_ADD*, *Mobile Station* akan melapor ke *Base Stasion* dan memindahkan pilot ke kandidat set.
2. *Base Station* mengirimkan arah *Handoff*
3. *Mobile Station* memindahkan pilot ke aktif set
4. bila pilot< *T_DROP*, *Mobile Station* akan mengaktifkan *Handoff Drop Timer (T_DROP)* yang lamanya tergantung pada nilai dari *T_DROP*
5. bila *Timer* selesai, mobile station melaporkannya ke *Base Stasion*
6. *Base Stasion* mengirimkan arah *Handoff*

7. *Mobile Stasion* memindahkan pilot dari *Active Set* ke *Neighbor Set*

Tabel 4 menunjukan contoh ukuran daerah *Soft Handoff* berdasarkan harga *T_ADD* dan *T_DROP* yang berbeda-beda

Tabel 4. Pengontrolan Daerah *Soft Handoff* Menggunakan Nilai T*hershold*

T_ADD=T_DROP	% daerah *Soft Handoff*
-16 dB	55 %
-14 dB	45 %
-12dB	31%
-10dB	23%

Ketika *Mobile Stasion* memasuki daerah *Soft Handoff*, panggilan dilayani oleh dua sel site. Hal ini akan memboroskan peralatan yang ada *(Hardware Overhead)* sehingga jumlah pengguna yang yang dilayani tidak sama dengan jumlah kanal trafik yang tersedia karena satu pengguna memakai lebih dari satu kanal trafik. Besarnya hardware *Overhead* ini tergantung pada besarnya daerah *Soft Handoff*.

2.5. Multiuser Pada Arah Foward

Pada operasi *Foward*, *Base Stasion* membangkitkan aliran data untuk masing –masing mobil b_1, kemudian aliran data ini dikalikan dengan deretan kode *Direct Sequencenya* masing –masing $c_1(t)$. Kemudian semua data terkode itu dijumlahkan. Contoh untuk *Mobile Station* pada arah *Foward* dapat ditunjukkan pada gambar untuk pengguna.

$y = \sum_{j=1}^{3} y_j$, kemudian hasil penjumlah dari sinyal tersebar ini dimodulasi dengan sebuah pembawa, sehingga diperoleh $\left[\sum_{j=1}^{3} c_j(t) b_j(t)\right] \cos \omega_c t$, kemudian sinyal ini dipancarkan. *IS-95* menggunakan deretan kode yang berbeda- berbeda untuk mengidentifikasikan panggilan. Ada deretan yang dipakai untuk mengidentifikasikan base stasion yang sedang melayani dan ada juga deretan ditangani oleh base stasion. Identifikasikan base stasion dilakukan dengan menggunakan deretan *Pseudo Noise* yang berbeda *Offsetnya* satu sama lain (PN-1,PN-2,PN-3,...). pada *IS-95* deretan kode ini disebut pilot *PN Sequence* yang berbeda. Panggilan pada foward pada suatu sel ditandai dengan deretan kode yang disebut fungsi *Walsh* ($W_1, W_2, W_3, ...$) yang masing –masing unik dan diulang dari sel ke sel. Pada arah reverse fungsi *Walsh* tidak digunakan untuk identifikasikan panggilan karena pengguna pada sel yang sama akan mengalami *Delay* yang berbeda –beda dan fungsi *Walsh* yang diterima tidak akan tersinkronisasi. Fungsi *Walsh* sudah mengalami pergeseran waktu satu dengan yang lain tidak akan menghasilkan korelasi sama dengan nol.

2.6. Level Daya

Sepanjang perbandingan sinyal terhadap interferensi untuk masing –masing pengguna cukup, para pengguna akan mempunyai kualitas suara yang cukup baik, tetapi kualitas suara itu akan menurun apabila jumlah pengguna akan menurunkan perbandingan sinyal terhadap noise untuk semua pemakai. Analisis kasus terbaik dapat dilakukan dengan asumsi hanya ada satu sel dan power kontrol bekerja

dengan ideal sehingga sinyal tiba dibase stasion dengan kuat yang sama. Dapat ditentukan perbandingan sinyal terhadap noise sebagai fungsi jumlah pengguna

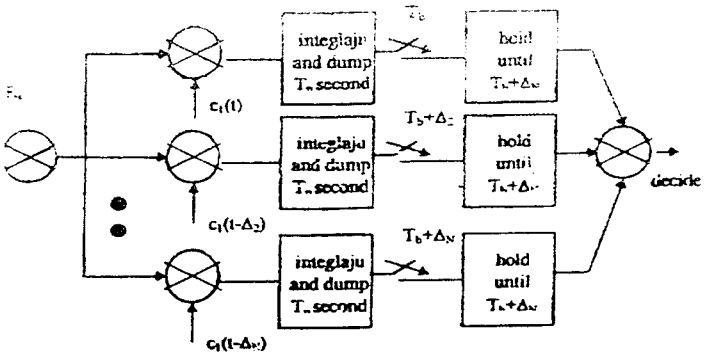
1. Perbandingan sinyal noise, E_b / N_0 berhubungan dengan perbandingan sinyal terhadap interferensi keluaran. Jika A_i adalah amplitudo sinyal yang diinginkan, A_i adalah amplitudo dari sinyal interferensi dari pengguna i, E_b adalah energi bit yang diterima, dan N_T adalah kerapatan *Spectral noise* total
2. apabila diasumsikan level daya semua pengguna adalah sama, $A_i = A_j$, sehingga

$$\frac{E_b}{N_t} = \frac{A_1^2 T_b / 2}{(M-1)\frac{A_1^2}{3} T_c} = \frac{3G}{2(M-1)} \tag{2.6}$$

2.7. Penerima *RAKE*

Dalam sistem *CDMA*, sinyal yang dikirimkan dari pengirim ke penerima juga sering mengalami pudaran. Dalam hal ini jenis pudaran yang mengganggu dapat berupa pudaran datar maupun pudaran frekuensi tertentu. Jenis pudaran yang cukup dominan dan sering mengganggu adalah pudaran lintasan jamak. Ini dikarenakan pemakai sistem *CDMA* yang umumnya pada sistem seluler adalah warga yang pemukimannya rapat sehingga banyak benda-benda maupun bangunan yang dapat menyebabkan terjadinya lintasan jamak pada sinyal *CDMA* tersebut. Untuk teknik itu peragaman juga dipakai dalam penerima *RAKE (Rake Receiver)*.

Penerima *RAKE* adalah adanya *Multipath* maka diperoleh tambahan *Noise* pada sistem apabila *Delay Spread* lebih besar dari waktu *Chip*. Peningkatan performansi dapat dilakukan apabila lintasan – lintasan yang tiba pada penerima dapat dideteksi secara terpisah dan kemudian digabungkan secara koheren (disamakan phasanya).



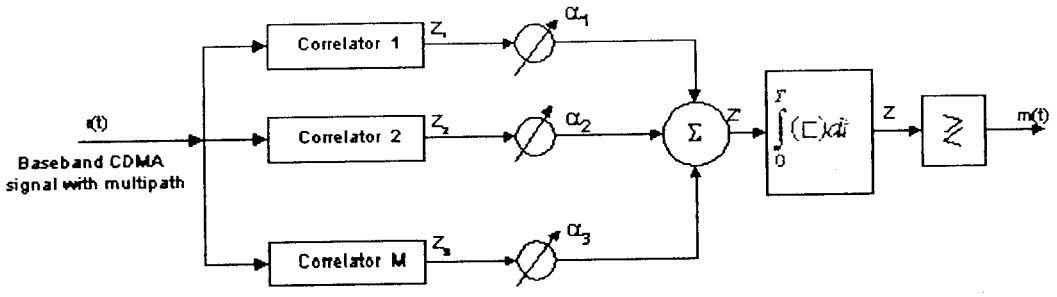
Gambar 2.15. Penerima RAKE

Cara kerja penerima *RAKE* ditunjukan oleh gambar 2.15 misalkan sinyal yang sampai pada *Mobile Station* 1, z(t) merupakan penjumlahan dari N lintasan sinyal. Untuk lintasan sinyal 2 perkalian z(t) dengan $c_i(t-\Delta_2)$, kemudian intergrasi dimulai pada Δ_2, sehingga Tb detik akan menghasilkan respon untuk lintasan 2. Hal yang sama akan dilakukan untuk semua lintasan kemudian merespon semua litasan dijumlahkan setelah phasanya sama. Penerima *RAKE* ini akan menghasilkan sinyal yang lebih kuat untuk proses demodulasi.

Pada *CDMA* digunakan penerima *RAKE* sebagai *Diversitas*. Sebagai hasil dari *Diversitas* diperoleh faktor penguatan oleh adanya *Diversitas* yang

memungkinkan untuk mengurangi daya pancar rata – rata base stasion tanpa menurunkan kualitas suara. Pada sistem *CDMA* pengurangan daya pancar rata-rata berarti penurunan interferensi yang dialami pengguna lain pada sistem dan akhirnya meningkatkan sistem secara menyeluruh.

Penerima *RAKE* menggabungkan sinyal –sinyal asli yang ter*Delay* dengan memakai penerima yang memiliki korelasi yang terpisah untuk tiap sinyal *Multipath.*



Gambar 2.16 Implementasi M cabang *RAKE Receiver*

Gambar 2.16 menunjukan blok diagram penerima *RAKE* untuk sinyal *CDMA* dimana komponen – komponen *Multipath* tidak mempunyai korelasi antara satu dengan yang lainnya ketika *Delay* propagansi lebih dari *Periode Chip.*

Sebuah penerima *RAKE* menggunakan korelator lebih dari satu untuk mendeteksi M komponen *Multipath* yang terkuat. *Output* dari setiap korelator mempunyai bobot untuk memberikan perkiraan yang lebih baik dibandingkan dengan satu komponen. *Demodulasi* dan pengambilan keputusan bit tergantung pada keluaran dari korelator M. Diluar ruangan *Delay* antara komponen *Multipath* mempunyai nilai cukup besar dan jika laju chip telah ditentukan, *Autokorelasi*

yang rendah dari *Spread Spektrum* dari *CDMA* dapat membuktikan bahwa antara komponen *Multipath* akan tidak berkorelasi antara satu dengan yang lain.

Diasumsikan terdapat M korelator yang digunakan dalam penerima *CDMA* untuk menangkap M komponen *Multipath* yang terkuat. Pemberian bobot digunakan untuk memberikan kombinasi linier dari output korelator untuk deteksi bit. Korelator 1 telah disinkronkan untuk *Multipath* yang terkuat m1. Komponen *Multipath* m2 datang lebih lambat t daripada komponen m1. Korelator kedua disinkronkan untuk m2. Korelator ini mempunyai korelasi yang erat dengan m2 tetapi mempunyai korelasi yang rendah dengan m1. Perlu diingat bahwa jika hanya menggunakan satu korelator pada penerima, jika keluaran dari korelator tersebut rusak karena *Fading*, penerima tidak dapat membetulkan kerusakan tersebut. Pengambilan keputusan bit yang berdasarkan penggunaan satu korelator akan menghasilkan *Bit Error Rate (BER)* yang tinggi. Pada penerima *RAKE*, jika keluaran dari satu korelator rusak oleh *Fading*, korelator yang lain mungkin tidak rusak, dan sinyal yang rusak tidak dihitung pada saat proses pemberian bobot. Keputusan yang diambil berdasar pada kombinasi dari M keputusan statistik terpisah yang ditawarkan oleh penerima *RAKE* dapat mengatasi pengaruh akibat *Fading* dan memperbaiki penerimaan *CDMA*. M keputusan statistik diberi bobot untuk membentuk semua keputusan statistik seperti ditunjukkan gambar 8 keluaran dari M korelator dinotasikan sebagai *Z1, Z2, Z3, ..., ZM*. Masing-masing diberi bobot a_1,a_2,a_3,a_M. Koefisien bobot yang diberikan berdasarkan pada kuat sinyal atau *SNR* dari tiap keluaran korelator. Jika kuat sinyal atau *SNR* yang keluar

dari korelator kecil, akan diberikan faktor bobot yang kecil pula. Total keluaran Z' dapat diberikan :

$$Z' = \sum_{m=1}^{M} \alpha_m Z_m$$

Koefisien bobot Z_M, dinormalisasi dengan kuat sinyal output dari korelator dan keluaran dari korelator tersebut dijumlahkan semua, seperti ditunjukkan :

$$\alpha_m = \frac{Z_m^2}{\sum_{m=1}^{M} Z_m^2}$$

Seperti pada *Equalizer* adaptif dan penggabungan *Diversitas*, ada banyak cara untuk membangkitkan koefisien bobot. Berdasar pada interferensi *Multiple* akses, cabang *RAKE* dengan amplitudo *Multipath* yang kuat tidak akan diperlukan untuk menghasilkan keluaran yang kuat setelah proses korelasi. Pemilihan koefisien bobot berdasar pada keluaran dari korelator menghasilkan kinerja penerima *RAKE* yang lebih baik

Secara umum terdapat tiga metode yang dapat digunakan dalam pembobotan sinyal yaitu

1. Penggabungan seleksi *(Selection Combining).*
2. Penggabungan penguatan yang sama *(Equal Gain Combining)*
3. Penggabungan rasio maksimal *(Maximum Ratio Combining)*

a. Penggabunggan Seleksi

Dalam teknik penggabungan seleksi *(Selection Combining)* ini, sinyal keluaran penggabungan adalah sinyal yang terbaik dari keluaran pencabangan yang ada. Jadi, sinyal keluaran pencabangan akan dipilih yang terkuat secara

kontinu. Dengan prinsip ini maka sinyal terkuat bisa saja berasal dari pencabangan yang berbeda –beda atau berganti –ganti. Besarnya *SNR (Signal To Noise Ratio)* rata –rata pada masing –masing pencabangan adalah

$$SNR = \bar{\gamma} = \Gamma = \frac{E_b}{N_0}\overline{\alpha^2} \tag{2.7}$$

Ket:

SNR = *Signal To Noise Ratio*

$\frac{E_b}{N_0}$ = perbandingan energi per bit terhadap spectral derau (dB)

Γ = *Eskponen Path Loss*

dari persamaan diatas, diperoleh PDF *(Probability Density Function)* pencabangan

$$p(\gamma) = \frac{1}{\Gamma} e^{-\gamma/\Gamma} \text{ dengan } \gamma \geq 0 \tag{2.8}$$

Ket :

P(γ) = *daya Path Loss*

Γ = *Eskponen Path Loss*

jika *SNR* ambang diberi sebesar t, maka probabilitas sebuah cabang mempunyai *SNR* lebih kecil dan sama dengan t adalah

$$\Pr(\gamma \leq t) = \int_0^t \frac{1}{\Gamma} e^{-\gamma/\Gamma} dy = 1 - e^{-t/\Gamma} \tag{2.9}$$

probabilitas *SNR* semua pencabangan yang lebih kecil atau sama dengan *SNR* ambang t adalah

$$\Pr(\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, ..., \gamma_m \leq t) = \left(1 - e^{-t/\Gamma}\right)^M = P_M(\gamma) \tag{2.10}$$

b. Penggabungan penguatan sama

Teknik penggabungan penguatan sama *(Equal Gain Combining, EGC)* menggunakan pembobotan yang sama besar bagi setiap sinyal keluaran pencabangan, sehingga sinyal keluaran dari masing –masing pencabangan mempunyai penguatan yang sama besar. Sebelum melakukan pembobotan, sinyal keluaran korelator terlebih dahulu mengalami sinkronisasi fase tunda waktu sehingga sinyal – sinyal keluaran dari pencabangan adalah koheren. Secara matematis, sinyal keluaran dari penggabungan ini dituliskan dengan

$$|r_M| = \sum_{i=1}^{M} |r_i|; \text{ dengan M adalah jumlah pencabangan} \qquad (2.11)$$

Ket :

r_M = sinyal hasil penggabungan

M = jumlah pencabangan

r_i = jumlah pengabungan sinyal

c. Penggabungan rasio maksimal

Prinsip teknik penggabungan rasio maksimal *(Maximum Ratio Combining, MRC)* adalah untuk mendapatkan *SNR* penggabungan yang optimal dengan cara memberikan pembobotan yang proporsional terhadap *SNR* sinyal keluaran masing –masing pencabangan. Jika *SNR* sinyal keluaran dari suatu pencabangan semakin besar, maka besar bobot sinyal tersebut semakin besar. Seperti halnya dengan teknik penggabungan sama *(EGC)*, dalam teknik ini juga diperlukan sinkronisasi fase dan tunda waktu sinyal masing –masing cabang sebelum dilakukan pembobotan.

Jika besarnya penguatan *(Gain)* dan derau pada pencabangan adalah G_i dan N_i, maka sinyal hasil penggabungan r_M dan derau total N_T adalah

$$r_M = \sum_{i=1}^{M} G_i r_i \tag{2.12}$$

Ket :

r_M = sinyal hasil penggabungan

G_i = jumlah besar penguatan

r_i = jumlah pengabungan sinyal

$$N_T = N\sum_{i=1}^{M} G_1^2 \tag{2.13}$$

Ket :

N_T = derau total

N = Noise

M = jumlah pencabangan

G_1^2 = jumlah *Processing Gain*

Sehingga besarnya SNR γ_M sinyal pada penggabungan adalah

$$\gamma_M = \frac{r_M^2}{2N_T} \tag{2.14}$$

Ket :

γ_M = besarnya sinyal pada penggabungan SNR

N_T = derau total

r_M^2 = sinyal penggabungan

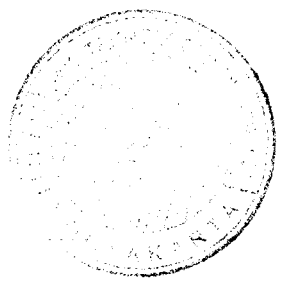
BAB III

PERANCANGAN SISTEM

3.1. Perhitungan Pesat Galat Bit

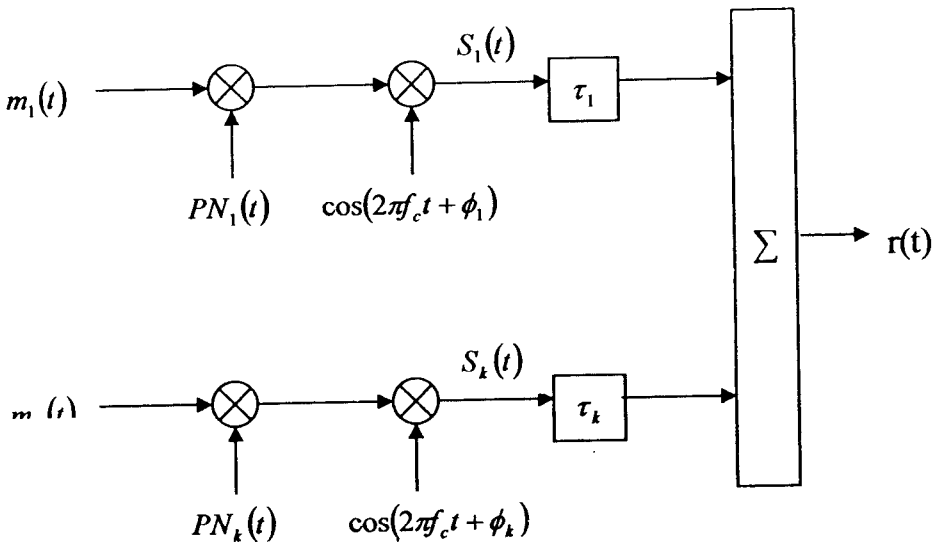
Sebenarnya besar laju galat bit pada *CDMA* yang mengalami pudaran lintasan jamak sangat sulit untuk ditentukan secara matematis. Hal ini karena faktor penyebab pudaran jenis ini sangat bervariasi dan tergantung kondisi lingkungan sekitar lingkungan sinyal dari pengirim ke penerima. Perbedaan kondisi lingkungan pada tiap –tiap daerah menyebabkan besarnya nilai laju galat bit yang diperoleh di suatu daerah belum tentu sama dengan didaerah lainnya.

Penghitungan nilai pesat galat bit pada sistem *CDMA* dapat dilakukan dengan cara pendekatan *Gauss (Gauss Approximation)*. Namun untuk keadaan yang melibatkan pudaran lintasan jamak diperlukan perhitungan yang melibatkan faktor lintasan jamak dan jumlah pencabangan penerima *RAKE*. Hal ini dikarenakan kedua parameter ini cukup menentukan besarnya kecilnya nilai pesat galat bit yang muncul dan keduanya mempunyai parameter serta perhitungan yang berdiri sendiri. Namun karena keterbatasan program dan juga rumus perhitungan yang ada, maka analisis matematika digunakan hanya dengan pendekatan *Gauss*. Dan hasil ini akan digunakan sebagai pembanding dengan hasil keluaran program simulasi.

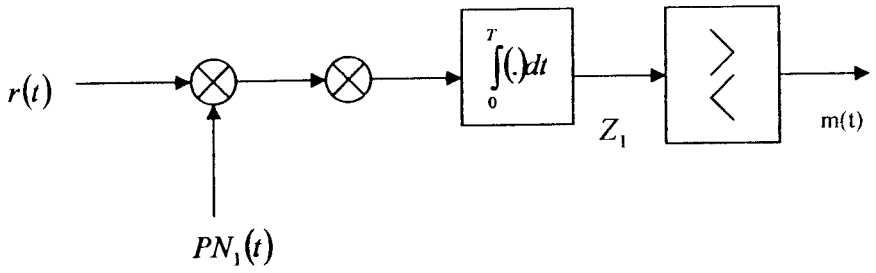


3.1.1. Perhitungan dengan pendekatan *Gauss*

Suatu sistem spektrum tersebar runtun langsung (DS-SS) dengan pengguna jamak sebanyak K dapat digambarkan seperti gambar berikut 3.1



Gambar 3.1
Model pengguna sebanyak k dalam sistem spektrum tersebar *CDMA*



Gambar 3.2
Struktur penerima untuk pengguna ke-1

Dengan asumsi bahwa tiap –tiap pengguna mempunyai runtun kode *PN* dengan N chip tiap simbol dan periode berdurasi T, sehingga $NT_c = T$

Persamaan sinyal yang dikirimkan oleh tiap –tiap pengguna sistem *DS-CDMA* dapat dituliskan sebagai berikut

$$S_k(t) = \sqrt{\frac{2E_s}{T_s}} m_k(t) P_k(t) \cos(2\pi f_c t + \phi_k) \qquad (3.1)$$

Ket :

$S_k(t)$ = sinyal yang dkirimkan oleh pengguna

$P_k(t)$ = runtun kode *PN* untuk pengguna ke-k

$m_k(t)$= runtun data dari pengguna ke-k.

Sinyal yang diterima akan berisi penjumlah dari k sinyal yang berbeda-beda (sebuah pengguna yang diinginkan dan k-1 pengguna yang tak diinginkan). Penangkapan sinyal yang diinginkan dilakukan dengan cara mengkorelasi sinyal yang diterima dengan runtun kode *PN* yang sesuai sehingga menghasilkan sebuah variable keputusan. Variable keputusan untuk bit terkirim ke-1 dari pengguna 1 adalah

$$Z_i^{(1)} = \int_{(i-1)T+\tau_i}^{iT+\tau_i} r(t)p_1(t-\tau_1)\cos[2\pi.f_c(t-\tau_1)+\phi_1]dt \qquad (3.2)$$

jika $m_{i,j}$=-1maka bit yang diterima akan menjadi salah saat $Z_1^{(1)} > 0$. sehingga kemungkinan terjadi pesat galat dapat dihitung sebagai $\Pr\left[Z_1^{(1)} > 0 \middle| m_{i,j} = -1\right]$. Karenakan sinyal yang diterima r(t) adalah suatu kombinasi dari beberapa sinyal, maka persamaan 3.3. Dapat ditulis sebagai berikut

$$Z_i^{(1)} = I_1 + \sum_{k=2}^{K} I_k + \varepsilon \qquad (3.3)$$

Ket :

K =jumlah pengguna

dengan

$$I_1 = \int_0^T S_1(t)P_1(t)\cos(2\pi.f_c t)dt = \sqrt{\frac{E_s T}{2}} \qquad (3.4)$$

adalah tanggapan penerima terhadap sinyal yang diinginkan dari pengguna1.

$$\varepsilon = \int_0^T n(t)p_1(t)\cos(2\pi.f_c t)dt \qquad (3.5)$$

adalah variable acak *Gauss* yang mewakili derau rata –rata nol dan varians

$$E[\varepsilon^2] = \frac{N_0 T}{4} \tag{3.6}$$

dan

$$I_k = \int_0^T S_k(t-\tau_k) p_1(t) \cos(2\pi . f_c t) dt \tag{3.7}$$

Mewakili interferensi masupan jamak dari pengguna ke-k. asumsikan bahwa I_k adalah efek kumulatif dari N chip –chip acak dari penginterferensi ke-k melalui pengintegralan selama periode T dari satu bit. Sesuai dengan teorema batas pusat *(Central Limit Theorem,CLT),* yang menjelaskan bahwa fungsi rapat probabilitas *(Probability Density Function)* dari jumlah N buah variable acak bebas akan semakin mendekati rapat *Gaussian* seiring dengan meningkatkannya nilai N, penjumlah dari efek – efek ini akan cenderung berupa suatu distribusi *Gauss*. Dengan mengganggap terdapat K-1 pengguna yang dapat dianggap sebagai penginterferensian yang terdistribusi, maka besarnya interferensi masupan jamak total

$$I = \sum_{k-2}^{K} I_k \tag{3.8}$$

dapat diperkirakan denga variable acak *Gauss*. Pendekatan *Gauss* menghasilkan persamaan untuk probabilitas rata –rata galat bit sebagai berikut

$$P_e = Q\left(\frac{1}{\sqrt{\frac{K-1}{3N} + \frac{N_0}{2E_b}}} \right) \tag{3.9}$$

untuk keadaan jumlah pemakai hanya satu, K=1, maka persamaan 3.9 ,menjadi

$$P_{e,K-1} = Q\left(\frac{1}{\sqrt{\frac{N_0}{2E_b}}}\right) = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right) \tag{3.10}$$

dengan E_b adalah energi tiap bit, dan N_0 adalah rapat spektral derau. Nilai E_b/N_0 dapat ditulis sebagai berikut

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{P.SFT}{P_n.T_c} = \frac{P.SF}{P_n} = SF.SNR \text{ (1)} \tag{3.11}$$

Ket:

P = daya sinyal

SF= *Spreading* faktor atau perolehan pengolahan

P_n = daya derau

T_c = periode chip.

Sedangkan Q adalah fungsi Q yang merupakan fungsi rapat probabilitas normal *Gauss* untuk variable acak *Gauss*. Fungsi Q ditulis sebagai berikut

$$Q(z) = \int_z^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-y^2/2}\, dy \tag{3.12}$$

dengan

$$z \frac{x_0 - m}{\sigma} \tag{3.13}$$

Untuk dapat diterapkan dalam bahasa pemograman, bentuk integral dalam persamaan (3.12) harus disederhanakan. Dengan menggunakan penjabaran *Bagby (1995)*, maka diperoleh bentuk fungsi Q sebagai berikut:

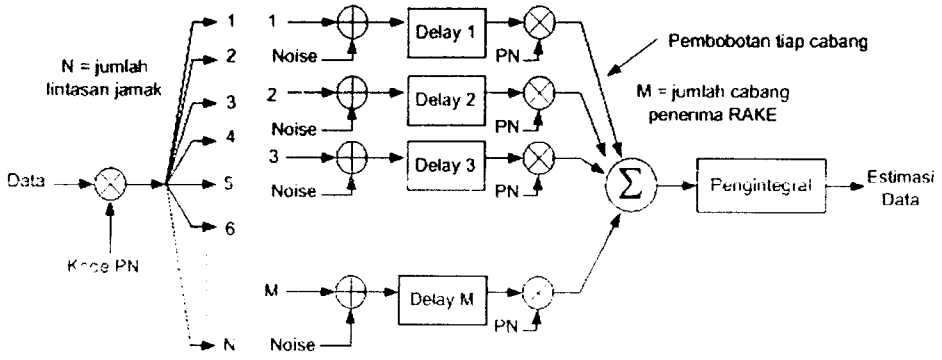
$$Q(z)=\frac{1}{2}-\frac{1}{2}\left\{1-\frac{1}{30}\left[7e^{-z^2/2}+16e^{-z^2(2-\sqrt{2})}+\left(7+\frac{1}{4}\pi z^2\right)e^{-z^2}\right]\right\}^{1/2} \quad (3.14)$$

3.2. Penjelasan Program Simulasi

3.2.1. Gambaran Umum

Program simulasi dibuat dengan bahasa pemograman *Delphi 5 enterprise*. Program ini dibuat untuk mensimulasikan kinerja system DS-CDMA dengan memperhitungkan faktor pudaran lintasan jamak dan pencabangan pada sisi penerima *RAKE*. Hasil keluaran dari program ini berupa nilai pesat galat bit *(BER)* yang dapat diperoleh dengan simulasi system *DS-CDMA* maupun dengan pendekatan perhitungan matematis. Perhitungan matematis yang dibuat adalah dengan pendekatan *Gauss* seperti yang telah dijelaskan sebelumnya.

Skema program simulasi dibuat seperti gambar 3.3 berikut



Gambaran 3.3. sistem secara umum

Beberapa asumsi yang digunakan dalam program simulasi adalah:

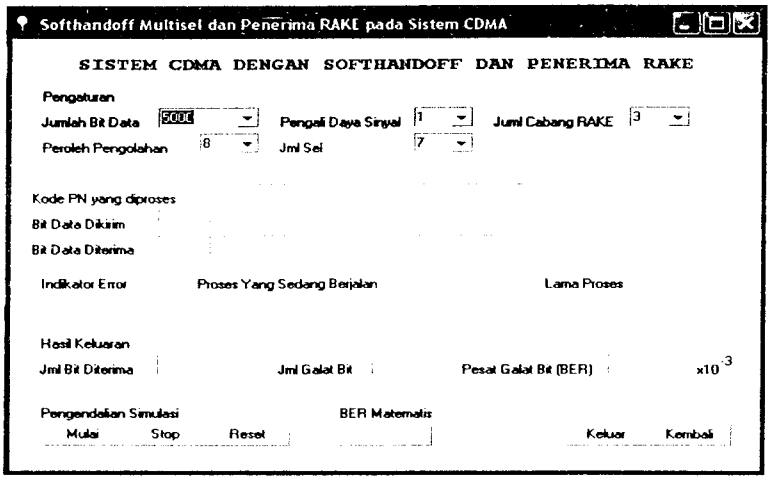
1. Jumlah pemakai dalam sistem *CDMA* ini adalah satu dengan maksud agar galat yang muncul bukan diakibatkan oleh interferensi pengguna lain.

   Daya sinyal yang ditangkap dipenerima mengalami penyusutan selama proses perambatan dari pengirim ke penerima dan besar susutan adalah acak dan mempunyai batas maksimum tertentu.

2. Pengaruh derau *(Noise)* pada masing –masing lintasan jamak bersifat independent satu sama lain. Besarnya tunda waktu dan fase yang muncul pada masing –masing lintasan jamak adalah bervariasi dan disesuaikan menurut daya sinyal sesudah mengalami penyusutan dan membentuk pudaran *Rayleigh.*

3. Penerima *RAKE* dianggap dapat mendeteksi tunda waktu dan kuat sinyal yang masuk ke masing- masing pencabangan dan sempurna. Proses peraupan *(Despreading)* dilakukan sebelum proses penggabungan sinyal dari tiap-tiap pencabangan *RAKE.* Sedangkan proses pengintegralan dilakukan setelah proses penggabungan nilai *BER* dengan perhitungan secara matematis menggunakan pendekatan *Gauss* dengan jumlah pengguna satu.

Program simulasi mempunyai dua tampilan utama yaitu satu merupakan tampilan simulasi sistem *DS-CDMA* secara real-time dan juga secara matematis, dan satu lagi merupakan representasi grafis hubungan antara pesat galat bit dengan beberapa parameter-parameter yang sudah ada. Kedua gambar tampilan utama program adalah sebagai berikut ditunjukan pada gambar 3.4.



Gambar 3.4. Tampilan Program

Pada tampilan program seperti ditunjukan pada gambar 3.4 Memiliki beberapa pengaturan yang dapat diubah –ubah. Pengaturan ini meliputi jumlah bit data, perolehan pengolahan, daya sinyal yang dikirim, jumlah lintasan jamak yang terjadi, dan jumlah cabang penerima *RAKE*. Tampilan ini akan mensimulasikan sistem *DS-CDMA* secara *Real Time* dan juga matematis. Data yang dikirimkan diberikan secara acak dan kontiyu. Proses akan terus berjalan sampai ditekan tombol "stop" untuk menghentikan simulasi atau juga jumlah bit data yang diterima telah mencapai jumlah bit data yang dikirim. Selama proses berlangsung, program akan terus memantau bit data yang diterima dan jumlah galat yang terjadi. Hasilnya kemudian digunakan untuk menghitung *BER* sesaat sistem *DS-CDMA* yang disimulasikan

Pada tampilan program seperti pada gambar 3.4. tidak ada pengaturan yang dapat dilakukan. Tampilan ini hanya menampilkan secara grafis hasil- hasil uji simulasi dengan program ini. Hasil grafis hubungan pesat galat bit dengan

beberapa parameter ini diperoleh dengan variasi beberapa nilai pesan galat bit sesaat, namun merupakan nilai pesan galat bit yang muncul pada saat mengirimkan sejumlah bit data yang sudah ditentukan sebelumnya. Tampilan nilai pesat galat bit sesaat tidak dibuat karena nilai pesat galat bit yang dibutuhkan adalah nilai pesat galat bit variasi dari nilai beberapa parameter yang bila dibuat real time akan membutuhkan waktu yang cukup lama untuk menghasilkan satu tampilan grafik. Dan grafik hasil- hasil uji ditampilkan pada gambar 20 meliputi hasil uji dengan simulasi sistem *DS-CDMA* secara *Real Time* dan juga secara perhitungan matematis.

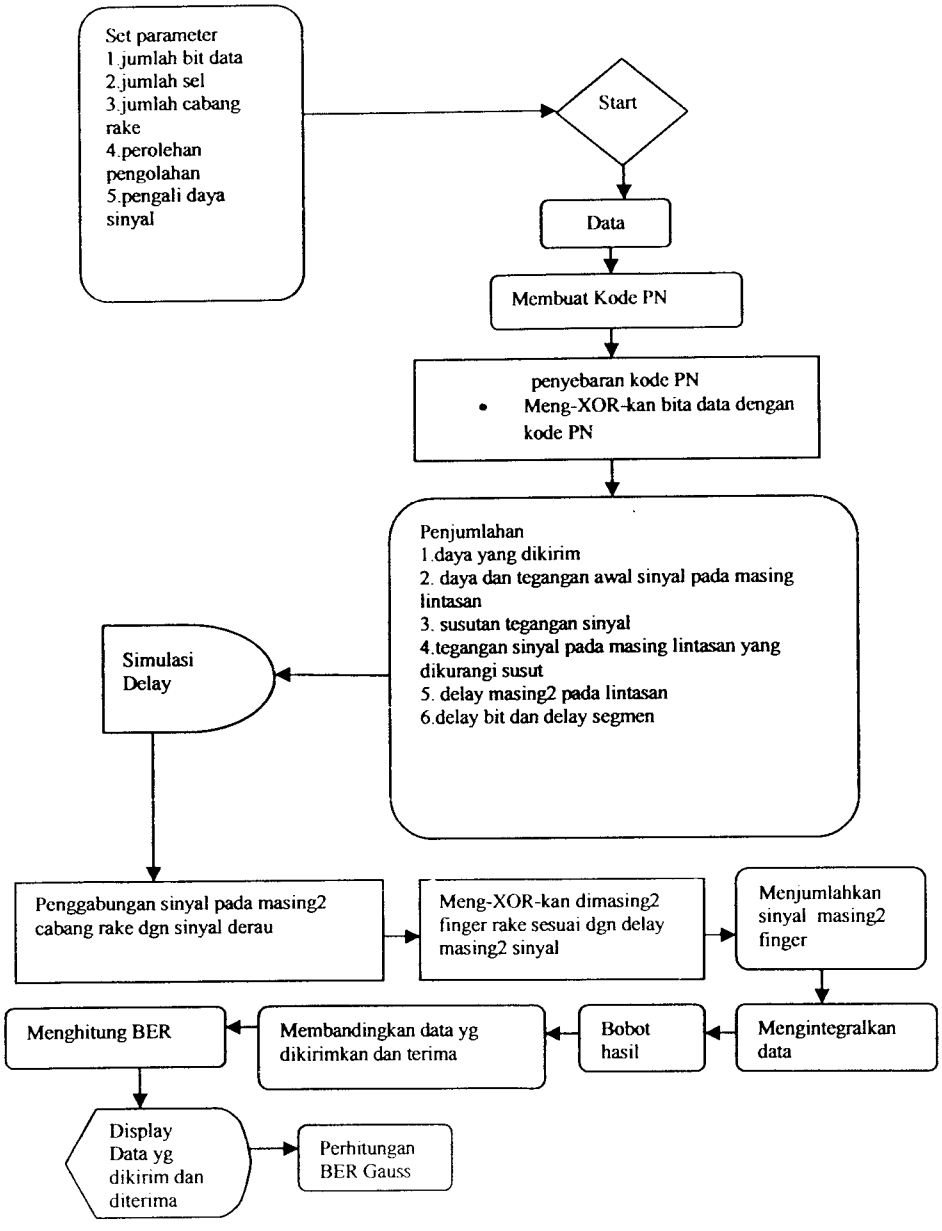
Struktur Program Simulasi

Dalam simulasi ini, Data masukan dari satu pengguna dibangkitkan secara acak. Masing- masing bit data acak dari pengguna kemudian disebarkan menggunakan runtunh *PN*. Runtun *PN* yang digunakan dalam simulasi ini adalah sandi *Walsh*, yang merupakan baris –baris dalam matrik *Hadamard-64*. Bit –bit hasil pengaburan dengan sandi *Walsh* dari semua pengguna kemudian di jumlahkan.

Dipenerima, data yang diterima merupakan data yang berasal dari pengguna. Untuk memperoleh data bagi pengguna tertentu, dilakukan proses peraupan untuk pengguna yang diinginkan. Untuk memperoleh data aslinya, maka hasil perkalian harus dintergalkan selama satu periode bit. Setelah dilakukan proses pengintegralan ini, maka data yang dikirimkan telah dipulihkan kembali. D ata yang telah dipulihkan kembali. Data yang telah dipulihkan kemudian dibandingkan dengan data asalnya untuk mengetahui apakah terjadi kesalahan

atau tidak. Banyaknya kesalahan (galat) yang terjadi direkam, dan digunakan untuk melakukan perhitungan *BER*.

Selain dilakukan perhitungan *BER* secara eksperimental, juga dilakukan perhitungan *BER* secara matematis, yaitu metode *Aproksimasi Gauss*.



Gambar 3.5. FlowChart Simulasi

3.2.2. Penjelasan Struktur Program

Program simulasi ini mempunyai data masukan hanya untuk satu pengguna. Pembuatan data untuk masukan dilakukan secara acak dengan membangkitkan runtun data biner acak sesuai dengan penggalan program ini membuat data acak

```
BitData:=random(1000);
if BitData<=250 then BitData:=0
else if (BitData>250) and (BitData<500) then BitData:=1
else if (BitData>500) and (BitData<750) then BitData:=0
else BitData:=1;
```

Sedangkan runtun bit kode *PN* dihasilkan dengan penggalan program berikut

```
for i:=1 to Gain do
 begin
 BitPN:=random(1000);
 if BitPN<=250 then BitPN:=0
 else if (BitPN>250) and (BitPN<500) then BitPN:=1
 else if (BitPN>500) and (BitPN<750) then BitPN:=0
 else BitPN:=1;
 PN[i]:=BitPN;
 KodePN:=KodePN+inttostr(PN[i]);
 Edit8.Text:=KodePN;
 end
end
```

Dari penggalan program diatas dapat terlihat bahwa runtun bit *PN* yang dihasilkan adalah acak dan panjangnya sesuai dengan besar perolehan pengolahan yang diinginkan.

Tiap bit data yang telah dibangkitkan kemudian disebarkan menggunakan runtun bit *PN* dengan penggalan program berikut

```
if BitData=0 then data_a:=-1 else data_a:=1;
for i:=1 to Gain do
 begin
 if PN[i]  0 then PN[i]:=-1 else PN[i]:=1;
 cdmax[i]:=X_OR(data_a,PN[i]);
 end;
```

Penggalan program diatas akan memangil fungsi *X-OR* untuk berfungsi untuk meng-*XOR*-kan bit data dengan bit kode *PN*

```
function X_OR(a,b:integer):integer;
begin
 if ((a>0) and (b<0)) or ((a<0) and (b>0)) then X_OR:=abs(a)
 else if ((a>0) and (b>0)) or ((a<0) and (b<0)) then X_OR:=-1*abs(a)
 else X_OR:=0;
end;
```

Bit –bit hasil penyebaran dengan kode *PN* masih bernilai1 dan-1. nilai bit ini kemudian dibobot sesuai dengan daya pancar sinyal yang diinginkan. Besarnya pengali daya pancar sinyal ini dapat ditentukan pada bagian pengaturan program simulasi. Dengan memperbesar nilai pengali daya sinyal, maka akan menyebabkan besarnya amplitude bit-bit sinyal juga semakin besar.

Pada saat transmisi sinyal diasumsikan terjadi pudaran lintasan jamak sehingga muncul beberapa lintasan sinyal yang besarnya dibuat bervariasi. Besarnya daya sinyal pada masing-masing lintasan jamak dibuat sedemikian sehingga saling berbeda dan terjadi perbedaan besar daya yang linear menurun

dari yang terbesar sampai ke yang terkecil. Dan penentuan besar daya sinyal ini masih mengikuti prinsip total besar daya dari tiap –tiap lintasan jamak adalah sama dengan besar daya sinyal yang terpancar. Sehingga besar daya sinyal ditiap lintasan jamak dapat dirumuskan sebagai berikut

$$P_i = \frac{i}{\sum_{i=1}^{N} i} x P_{total} = \frac{N.i}{N\sum_{i=1}^{i} i} x P_{total}$$ dengan N=jumlah lintasan jamak (3.15)

persamaan diatas dapat diaplikasikan dalam penggalan program sebagai berikut

```
pembagi:=lintas;
for i:=2 to lintas do pembagi:=pembagi+lintas*i;
for i:=1 to lintas do DayaLintasx[i]:=((lintas-i+1)*lintas*daya)/pembagi;
```

Sedangkan besarnya tegangan sinyal yang dipancarkan adalah akar kuadrat dari daya yang terpancar sesuai dengan penggalan program berikut

```
for i:=1 to lintas do VoltLintasx[i]:=sqrt(DayaLintasx[i]*2);
```

Selain munculnya lintasan jamak, program simulasi juga memperhitungkan adanya susutan sinyal selama perambatan. Besarnya susutan sinyal yang terjadi pada masing-masing –masing lintasan jamak adalah acak dan mempunyai nilai maksimal tertentu, dan pada program daya susut maksimal dibuat setengah dari daya sinyal awalnya.

Untuk mensimulasikan adanya tunda waktu dan beda fase pada masing – masing lintasan jamak, maka perlu diperkirakan bahwa sinyal akhir dipenerima berupa sinyal pudaran lintasan jamak yang mengikuti distribusi *Rayleigh*. Sinyal dengan distribusi seperti ini dapat dibangkitkan dengan menggabungkan dua buah sinyal acak yang mengikuti distribusi *Gauss*, dengan salah satu komponen sinyal dengan komponen lainnya menempati sumbu kordinat yang berbeda. Kemudian

sinyal resultan dari kedua komponen sinyal tadi akan membentuk sinyal dengan distribusi *Rayleigh*. Dan sudut yang dibentuk oleh sinyal resultan terhadap salah satu sumbu dapat dianggap mewakili tunda fase sinyal tersebut terhadap sinyal awal sewaktu dikirimkan. Sehingga dengan menentukan batas beda fase maksimal dapat dibuat simulasi beda fase masing –masing sinyal lintasan jamak. Dan sinyal pada lintasan jamak pertama dianggap mempunyai beda fase yang paling kecil, sedangkan sinyal pada lintasan berikutnya dianggap mempunyai beda fase yang paling kecil berikutnya.

Proses diatas dapat aplikasikan dengan penggalan program berikut

```
if length(edit5.text)=1 then begin
for i:=1 to lintas do begin
 repeat
  Aix[i]:=VoltLintasx[i]*(1+Gauss);
  until Aix[i]<>0;
 Ajx[i]:=VoltLintasx[i]*(1+Gauss);
 sudutx[i]:=(arctan(Ajx[i]/Aix[i])*180/pi);
 table2.append;
 Table2.FieldValues['Sudut']:=sudutx[i];
 end;
Table2.post;
end;
Table2.first;
for i:=1 to lintas do begin
 sudutx[i]:=Table2.FieldValues['Sudut'];Table2.next;
 delayx[i]:=round(sudutx[i]/90*Gain*20); {jauhnya delay maks=2 bit}
 end;
```

Selanjutnya sinyal pada masing –masing lintasan jamak akan mengalami penyesuaian sesuai dengan tunda waktu yang kurang dari satu chip data maka tiap- tiap satu chip data dibagi lagi menjadi beberapa segmen yang dalam program simulasi dibuat sepuluh segmen. Proses ini ditunjukan pada penggalan program berikut:

```
segmen:=10;
for i:=1 to lintas do begin
 DelayBitx[i]:=delayx[i] div (segmen*gain);
 DelaySegmenx[i]:=delayx[i] mod (segmen*gain);
 end;
n:=1;
for i:=1 to gain do begin
 for j:=1 to lintas do begin
  z:=DelayBitx[j]+1;
  for k:=0 to segmen-1 do begin
   if DataKirim <= DelayBitx[j] then VoltSegmenx[j,n+k+DelaySegmenx[j]]:=0
   else if DataKirim=DelayBitx[j]+1 then begin
   if (n+k+DelaySegmenx[j])>(segmen*gain) then VoltSegmenx[j,n+k+DelaySegmenx[j]-
segmen*gain]:=0
    else begin
    m:=(n+k+segmen-1) div segmen;
    val(edit5.text[z],data,kode);
    if data=0 then data_a:=-1 else data_a:=1;
    VoltSegmenx[j,n+k+DelaySegmenx[j]]:=X_OR(data_a,PN[m])*abs(VoltLintasx[j]);
    end;
   end{akhir if DataKirim=DelayBitx[j]+1}
  else begin {DataKirim>DelayBitx[j]}
```

```
m:=(n+k+segmen-1) div segmen;
if (n+k+DelaySegmenx[j])>(segmen*gain) then begin
 val(edit5.text[z+1],data,kode);
 if data=0 then data_a:=-1 else data_a:=1;
 VoltSegmenx[j,n+k+DelaySegmenx[j]-
segmen*gain]:=X_OR(data_a,PN[m])*abs(VoltLintasx[j]);
 end
else begin {(n+k+DelaySegmenx[j])<=(segmen*gain)}
 val(edit5.text[z],data,kode);
 if data=0 then data_a:=-1 else data_a:=1;
 VoltSegmenx[j,n+k+DelaySegmenx[j]]:=X_OR(data_a,PN[m])*abs(VoltLintasx[j]);
 end;
end;
end; {akhir segmen}
end;{akhir lintas}
n:=n+segmen;
end;{akhir gain dan keseluruhan segmen dan lintasan}
```

Kemudian masing –masing sinyal lintasan jamak tadi akan mendapatkan gangguan derau yang tidak tergantung *(Independent)* antara satu dengan lainnya. Pembangkitan sinyal derau dibuat dengan penggalan program fungsi sebagai berikut

```
for i:=1 to Gain*segmen do begin
for j:=1 to jumrake do begin
 deraux[j,i]:=BuatDerau;
 VoltRakex[j,i]:=VoltRakex[j,i]+deraux[j,i];
 end;
end;
```

dan proses penggabungan sinyal *CDMA* dengan sinyal derau ditunjukan oleh penggalan program berikut

```
for i:=1 to Gain*segmen do begin
DayaOutSegmenx[i]:=0;
for j:=1 to jumrake do begin
DayaOutSegmenx[i]:=DayaOutSegmenx[i]+OutXORx[j,i];
end;
end;
```

Pada bagian penerima, sinyal dari lintasan jamak akan ditangkap oleh tiap –tiap cabang penerima *RAKE*. Sinyal yang pertama sampai dan mempunyai tunda waktu terkecil berikutnya akan diterima di pecabangan pertama dan sinyal yang mempunyai tunda waktu terkecil berikutnya akan diterima dipecabangan berikutnya. Daya sinyal lintasan jamak yang diterima di pecabangan pertama dan sinyal yang mempunyai tunda waktu terkecil berikutnya akan diterima dipecabangan berikutnya. Daya sinyal lintasan jamak yang diterima dipecabangan berikutnya. Daya sinyal lintasan jamak yang diterima dicabang *RAKE* pertama adalah yang terkuat, dan sinyal yang terkuat berikutnya menempati cabang *RAKE* yang berikutnya.

Selanjutnya sinyal yang ada masing –masing cabang penerima *RAKE* akan mengalami proses peraupan *(Despreading)* dengan cara meng-*XOR*kan kembali sinyal tersebut dengan kode *PN* yang sama pada saat pengiriman data

```
for j:=1 to jumrake do begin
for i:=1 to gain*segmen do begin
m:=(i+segmen-1-DelaySegmenx[j]) div segmen;
mesti dipilah antara yg ada delaybit dgn yg tdk ada}
```

```
 if (i>DelaySegmenx[j]) and (length(edit2.text)>DelayBitx[j]) then begin
  if i<=DelaySegmenx[j] then m:=(i+segmen-1-DelaySegmenx[j]+Gain*segmen) div segmen;
  outXORx[j,i]:=X_OR2(VoltRakex[j,i],PN[m]);
  end;
 end;
end;
```

Sinyal hasil peraupan dari masing –masing cabang *RAKE* kemudian dijumlahkan di penggabung sesuai dengan penggalan program berikut

```
for i:=1 to Gain*segmen do begin
 DayaOutSegmenx[i]:=0;
 for j:=1 to jumrake do begin
  DayaOutSegmenx[i]:=DayaOutSegmenx[i]+OutXORx[j,i];
 end;
end;
```

Agar sinyal hasil penggabungan dapat dipulihkan kembali menjadi sinyal bit data aslinya, maka sinyal tersebut harus diintegralkan selama satu periode bit. Proses ini ditunjukkan penggalan program berikut

```
for i:=1 to Gain*segmen do IntegralPerSegmen[i]:=0;
IntegralTotal:=0;
for i:=1 to Gain*segmen do begin
 if i=1 then IntegralPerSegmen[i]:=DayaOutSegmenx[i]
 else IntegralPerSegmen[i]:= IntegralPerSegmen[i-1]+DayaOutSegmenx[i];
 IntegralTotal:=IntegralTotal+IntegralPerSegmen[i];
 end;
{membobot hasil integral}
RerataIntegral:=IntegralTotal/(Gain*segmen);
if RerataIntegral>0 then OutIntegrator:=1
```

```
else OutIntegrator:=0;
```

Setelah dilakukan proses pengintegralan ini, maka data yang dikirimkan telah dipulihkan kembali.

Data yang telah dipulihkan kemudian dibandingkan dengan data asalnya untuk mengetahui apakah terjadi kesalahan atau tidak. Banyaknya kesalahan (galat) yang terjadi dihitung, dan digunakan untuk melakukan perhitungan *BER* dalam penggalan program berikut

```
BER:=error/DataKirim*1000; {BER aslinya dibagi 1000}
```

Pemakaian pengali seribu dikarenakan untuk memudahkan menampilkan besarnya *BER* pada program simulasi, dan berarti *BER* aslinya adalah dibagi seribu atau dikali $x10^{-3}$

Sedangkan untuk perhitungan secara matematis, perhitungan dengan pendekatan *Gauss* dilakukan oleh penggalan program berikut

```
EnergiBit:=daya*Gain;
psdDerau:=dayaDerau;
z:=sqrt(2*EnergiBit/psdDerau);
BERGauss:=fungsiQ(z)*1000; {BERgauss aslinya dibagi 1000}
Edit3.text:=formatfloat('#.###E-',BERGauss)
```

BAB IV

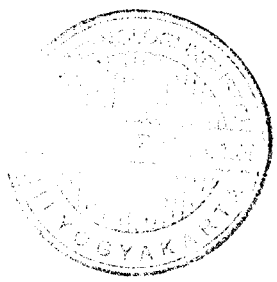
PEMBAHASAN

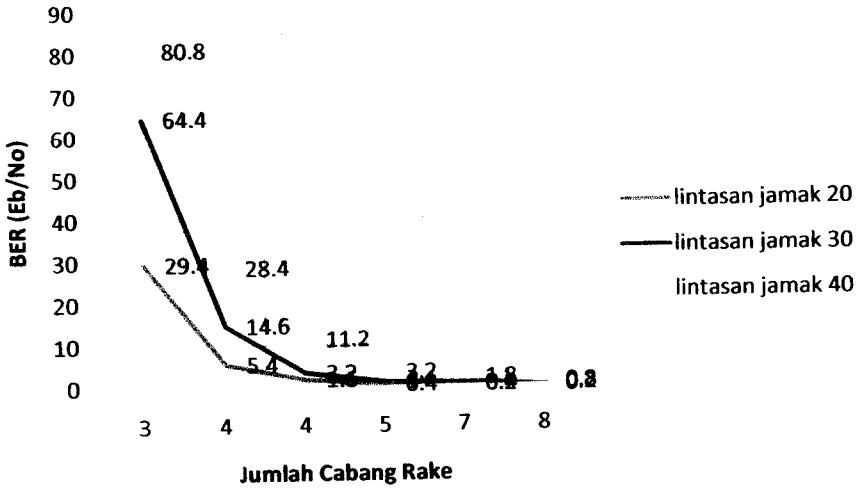
4.1. Hasil Simulasi Dan Pembahasan

Pengamatan dilakukan dengan menjalankan program simulasi dengan memasukan nilai-nilai parameter yang diminta dan memberikan variasi nilai pada objek parameter yang diamati. Kemudian pesan galat bit *(BER)* yang dihasilkan dicatat dan diplot menjadi grafik dengan program *Microsoft Excel*. Hasil plot grafik inilah yang kemudian ditampilkan pada program simulasi.

4.1.1. Analisis Pengaruh Pencabangan Penerima *RAKE*

Pengamatan yang dilakukan pada parameter pencabangan penerima *RAKE* bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh jumlah pencabangan penerima *RAKE* terhadap pesan galat bit *(BER)* yang muncul pada sistem *DS-CDMA*. Pengamatan dengan program simulasi dilakukan dengan mengubah-ubah nilai jumlah pencabangan *RAKE*, sedangkan nilai parameter-parameter yang lain seperti perolehan pengolahan, daya pancar sinyal, dan jumlah lintasan jamak dibuat tetap. Dengan memasukan nilai jumlah bit yang dikirimkan=5000, perolehan pengolahan=8, pengali daya pancar sinyal=1 dan jumlah lintasan jamak =20,30, dan 40, maka diperoleh hasil seperti gambar sebagai berikut





Gambar 4.1. Pengaruh jumlah percabangan RAKE terhadap BER

Dari gambar diatas terlihat bahwa semakin banyak jumlah pencabangan yang diberikan maka pesat galat bit akan semakin turun. Namun penurunan nilai pesat galat bit semakin sedikit saat jumlah pencabangan melebihi empat buah. Dan pada saat pencabangan telah sampai pada angka 4 dan 5, penurunan pesat galat bit sudah sangat sedikit. Keadaan ini berlaku untuk jumlah lintasan jamak 20,30 dan 40 buah yang ditujukan. Hanya saja nilai *BER* yang muncul pada jumlah lintasan jamak yang lebih banyak menjadi lebih besar. Hal ini menunjukan bahwa penambahan jumlah pencabangan melebihi lima buah tidak akan banyak berpengaruh untuk dapat menekan pesat galat bit yang muncul.

Gejala tersebut juga menunjukkan adanya batas optimal jumlah cabang *RAKE* yang dipakai dalam sistem *CDMA*. Hal ini mungkin karena bila jumlah cabang *RAKE* terlalu banyak, maka *SNR* sinyal yang ditangkap pada cabang – cabang *RAKE* terakhir tersebut sudah terlalu kecil dan bahkan mungkin saja

sinyalnya sudah banyak yang rusak akibat derau. Sehingga penambahan sinyal yang mungkin rusak ini hanya akan memperburuk hasil sinyal dipenggabung *RAKE* nantinya dan dapat menyebabkan naiknya pesat galat bit yang muncul. Dan hasil ini sesuai dengan aplikasi *DS-CDMA* yang ada, seperti pada *CDMA IS-95* yang menggunakan jumlah cabang *RAKE* tiga pada *Forward Link-nya* dan empat cabang *RAKE* pada *Reverse Link*-nya.

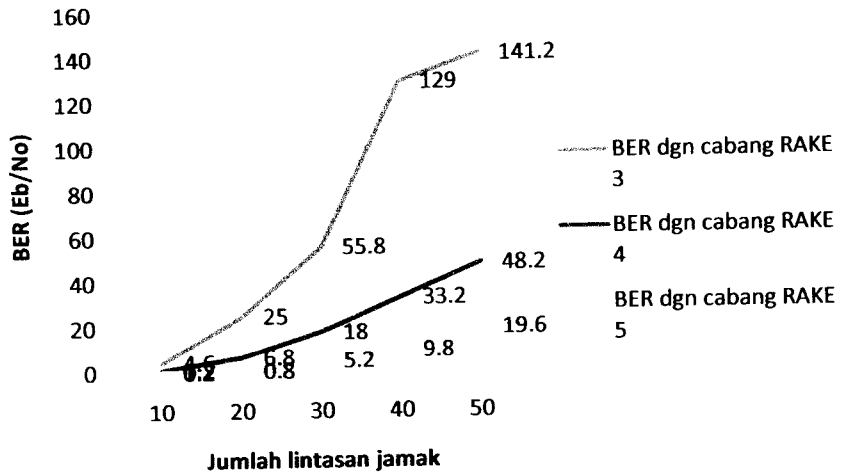
Sedangkan hasil perhitungan pesat galat bit secara matematis dengan pendekatan *Gauss* tidak dapat dilakukan karena perhitungan dengan pendekatan *Gauss* tidak mempunyai parameter jumlah cabang *RAKE*. Sehingga pengubahan jumlah cabang *RAKE* dengan pendekatan gauss tidak mempergaruhi pesat galat bit yang muncul.

Dari hasil simulasi di atas dapat dikatakan bahwa penambahan jumlah pencabangan pada penerima *RAKE* dapat menekan pesat galat bit yang muncul, dan bekerja optimal pada jumlah pencabangan sekitar empat dan lima. Hal ini memang tidak harus berlaku untuk semua nilai parameter terutama bilamana nilai parameter daya yang diperkecil. Namun yang paling disoroti di sini adalah hubungan antara jumlah pencabangan *RAKE*, jumlah lintasan jamak, dan pesat galat bit yang muncul. Jumlah lintasan jamak dapat dikatakan sangat mempengaruhi jumlah pencabangan *RAKE*, karena munculnya pencabangan *RAKE* adalah akibat adanya efek pudaran sinyal dari lintasan jamak ini.

4.1.2. Analisis Pengaruh Jumlah lintasan Jamak

Pengamatan ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh jumlah lintasan jamak tehadap pesat galat bit yang muncul. Selain itu, pengaruh jumlah lintasan

jamak dapat dikaitkan dengan pengaruh jumlah pencabangan *RAKE* dalam hal besar kecilnya galat pesat galat bit yang terjadi. Pengamatan simulasi ini dilakukan dengan mengubah-ubah nilai parameter jumlah lintasan jamak, sedangkan nilai parameter perolehan pengolahan=4, pengali daya pancar sinyal=1, jumlah pencabangan *RAKE*=3,4 dan 5, dan jumlah bit=5000. kemudian dapat grafik hasil simulasinya terlihat pada gambar



Gambar 4.2. Pengaruh jumlah lintasan jamak terhadap BER

Dari grafik gambar diketahui bahwa semakin banyak jumlah lintasan jamak yang muncul menyebabkan pesat galat bit semakin besar. Peningkatan pesat galat bit yang terjadi awalnya hampir linear, namun kemudian menurun secara perlahan. Hal ini ditunjukan dengan bentuk plot grafik yang semakin ke kekanan (berarti jumlah lintasan jamak bertambah linear) maka semakin melengkung sedikit kebawah. Dari grafik hasil simulasi juga terlihat bahwa penurunan pesat galat bit dengan menambah jumlah cabang *RAKE* juga semakin

sedikit. Hal ini menunjukan ada kesesuaian dengan pengujian pertama, dan dapat dikatakan bahwa kemampuan mengurangi galat bit dengan penambahan jumlah cabang *RAKE* semakin lama semakin menurun.

Kenaikan pesat galat bit dengan bertambahnya jumlah lintasan jamak yang muncul dapat dikarenakan berkurangnya total daya sinyal yang ditangkap dipenerima *RAKE* dibandingkan dengan daya awal sinyal tersebut. Karena semakin banyak lintasan jamak yang muncul menyebabkan daya awal sinyal akan semakin terbagi –bagi dan semakin kecil untuk tiap lintasan jamaknya, sehingga pada bagian penerima *RAKE* daya sinyal kumulatif dari cabang *RAKE* juga semakin kecil. Kenaikan galat bit ini juga dikarenakan bertambahnya daya derau secara kumulatif ini sangat memungkinkan karena tiap –tiap sinyal pada lintasan jamak mendapatkan gangguan derau yang satu dengan lainnya bersifat tidak saling tergantung atau independent. Dengan kata lain, bila jumlah lintasan jamak semakin bertambah maka besar *SNR (Signal To Noise Ratio)* sinyal dipenerima akan semakin kecil sehingga kemungkinan galat bit juga semakin besar.

Penyebab lain bertambahnya pesat galat bit ini adalah karena semakin bertambah jumlah lintasan menjadikan kemungkinan tunda waktu antara satu sinyal lintasan jamak dengan lintasan jamak lainnya menjadi semakin banyak dan bervariasi. Sehingga bila tunda waktu sinyalnya menjadi semakin besar. Sehingga bila tunda waktu sinyalnya terlalu jauh maka dapat menyebabkan efek interferensinya terhadap sinyal lainnya menjadi besar.sehingga dapat dikatakan bahwa penambahan jumlah lintasan jamak menyebabkan efek interferensi antar sinyal lintasan jamak menjadi semakin besar.

Sedangkan grafik perhitungan secara matematisnya, sama seperti dengan pengujian sebelumnya, tidak dibuat karena perhitungan pesat galat bit dengan pendekatan *Gauss* tidak terpengaruhi oleh parameter jumlah lintasan jamak.

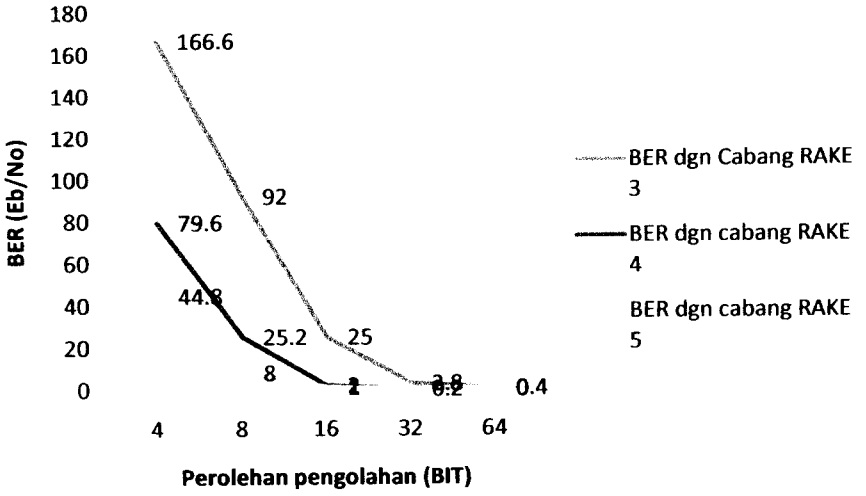
4.2. Analisis Pengaruh Parameter Yang Lain

Pengamatan terhadap parameter yang lain ini sebenarnya hanya bersifat tambahan saja. Parameter yang diuji pada bagian ini meliputi perolehan pengolahan, dan daya pancar sinyal. Memang pada dasarnya parameter- parameter ini tidak berpengaruh langsung terhadap jumlah pencabangan *RAKE*, namun secara tidak langsung parameter-parameter ini dapat mempengaruhi dalam perancangan jumlah pencabangan *RAKE*. Hal ini dapat terjadi jika nilai parameter-parameter ini bekerja kurang optimal, maka untuk menekan pesat galat bit yang muncul dapat dilakukan dengan cara menambah jumlah pencabangan *RAKE*.

4.2.1. Analisis Pengaruh Perolehan Pengolahan

Pengamatan yang dilakukan pada bagian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi besar perolehan pengolahan terhadap pesat galat bit pada sistem *DS-CDMA*. Pengamatan dilakukan dengan mengubah –ubah besar perolehan pengolahan, sedangkan parameter yang lain seperti daya pancar sinyal, jumlah lintasan jamak , dan jumlah cabang penerima *RAKE*.

Dengan memasukkan nilai jumlah bit yang dikirimkan=5000, pengali daya pancar sinyal = 1, jumlah lintasan jamak =40, dan jumlah cabang penerima *RAKE*=3,4,dan 5, maka diperoleh hasil seperti gambar berikut



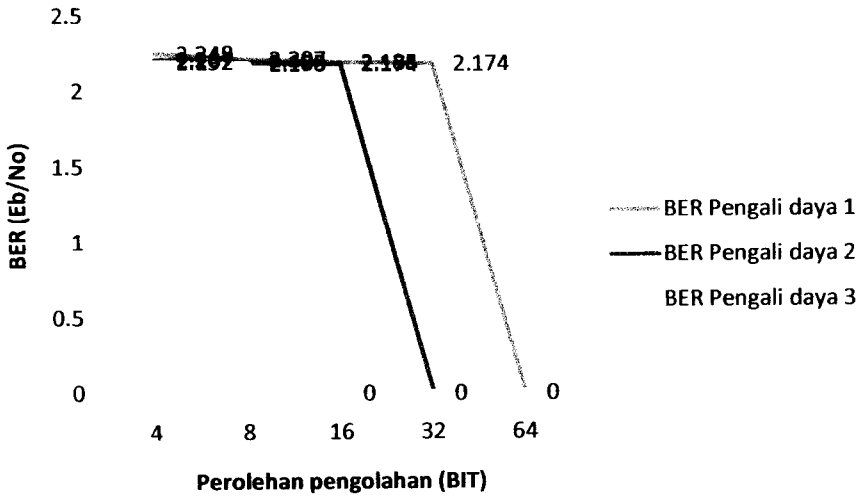
Gambar 4.3. Pengaruh perolehan pengolahan terhadap BER

Dari gambar diatas terlihat bahwa semakin besar nilai perolehan pengolahan yang diberikan, maka pesat galat bit yang muncul semakin kecil. Namun kenaikan besar perolehan pengolahan yang berpengali dua tidak berarti penurunan nilai pesat galat bit yang muncul juga berpengali 2. Penurunan nilai pesat galat bit yang terjadi cenderung eksponensial. Dan pada saat nilai perolehan pengolahan melewati 16, maka penurunan pesat galat bit menjadi sedikit. Apalagi saat nilai perolehan pengolahan mencapai 32 terlihat bahwa nilai pesat galat bit yang diperoleh sangat kecil dan hampir 0.

Sedangkan untuk nilai perolehan pengolahan 64, nilai pesat galat bit yang diperoleh adalah 0,4. Pengujian dengan nilai 64 ini berjalan sangat lama sehingga jumlah bit yang dikirimkan terpaksa dikurangi untuk mengurangi waktu simulasi. Nilai ini tidak dimasukkan kedalam plot grafik karena jumlah bit data yang dikirimkan lebih sedikit. Dan dapat dikatakan, dengan menggunakan program

simulasi ini, pemberian nilai perolehan pengolahan 64 pada sistem *DS-CDMA* sangat efektif menekan pesat galat bit sampai seminimal mungkin. Tentu saja nilai 64 mungkin masih perlu ditambah lagi bila nilai parameter yang lain sangat buruk dan pesat galat bit yang muncul sangat besar. Dalam kondisi seperti ini, dan juga pada kondisi umumnya *DS-CDMA*, menaikkan angka perolehan pengolahan cenderung dapat menekan pesat galat bit yang muncul.

Sedangkan untuk hasil pengaruh perolehan pengolahan terhadap *BER* secara matematis dilihat pada gambar berikut



Gambar 4.4. Pengaruh perolehan pengolahan terhadap BER

Dari gambar diatas juga terlihat bahwa pesat galat bit yang muncuk semakin kecil jika nilai perolehan pengolahan diperbesar. Keadaan ini sesuai dengan hasil program simulasi. Hanya saja nilai kuantitatif yang didapatkan dengan perhitungan matematis tidak sama dengan nilai kuantitatif hasil program simulasi. Dan juga pada grafik hasil perhitungan matematis terlihat bahwa penurunan nilai pesat galat bit yang terjadi sangat curam bahkan untuk

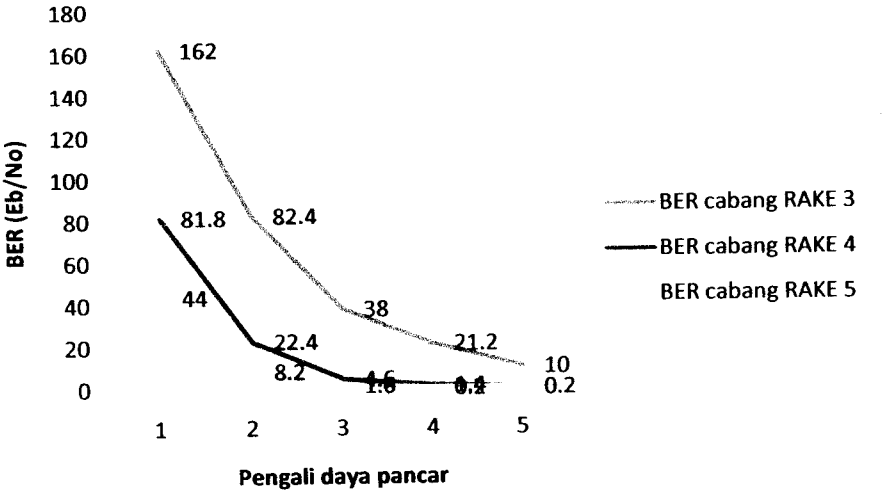
penampilan secara logaritmik sekalipun. Keadaan ini diuji untuk nilai daya sinyal dibuat 1,2 dan 3.

Secara umum dari hasil simulasi pada bagian ini dapat dikatakan bhwa jika nilai perolehan pengolahan bertambah maka mengasilkan grafik penurunan pesat galat bit yang hampir logartimis. Namun apabila perolehan pengolahan terlalu besar akan semakin memberatkan beban komputasi pada program simulasi dan juga pada aplikasi *DS-CDMA* dilapangan. Dan dalam aplikasi nyatanya, bila menaikkan nilai perolehan pengolahan juga berarti menaikkan lebar bidang frekuensi sinyal.

4.2.2. Analisis Pengaruh Daya Pancar Sinyal.

Pengamatan ini dilakukan untuk mengetahui sejauh mana besar daya pancar sinyal dapat mempengaruhi pesat galat bit yang muncul pada sistem *DS-CDMA*. Tidak seperti pada pengamatan pengaruh perolehan pengolahan,nilai parameter yang diubah –ubah pada simulasi ini adalah daya pancar sinyal, sedangkan parameter yang lain dibuat tetap. Hasil plot grafik yang diperolehan dari simulasi ini ditunjukan pada gambar berikut

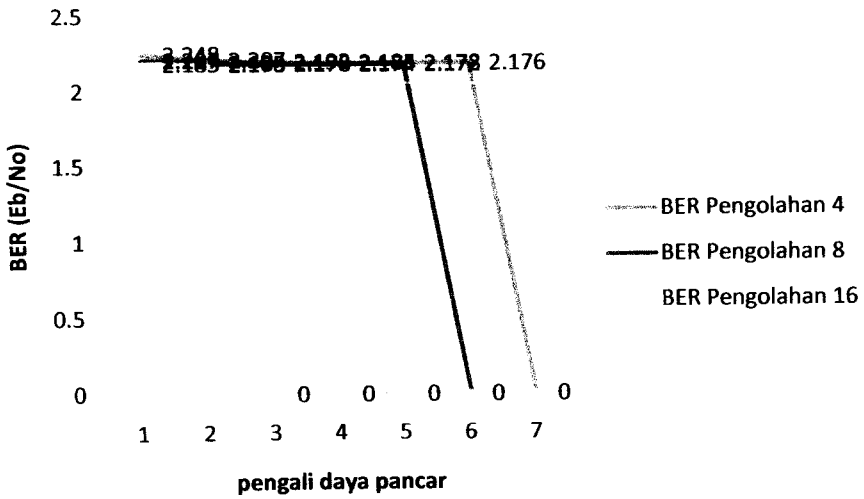
Nilai –nilai parameter yang diberikan pada pengamatan ini adalah :perolehan pengolahan =4,jumlah lintasan jamak =40,jumlah cabang penerima *RAKE*= 3,4, dan 5:dan banyak bit yang dkirimkan=5000.



Gambar 4.4. Pengaruh daya pancar terhadap BER

Dari gambar diatas terlihat bahwa semakin besar daya pancar sinyal yang diberikan menyebabkan pesat galat bit yang muncul semakin kecil. Nilai pesat galat bit yang terjadi membentuk plot grafik yang berbentuk eksponensial, dan berarti penurunan nilai pesat galat bit semakin lama semakin kecil

Sedangkan plot grafik hasil dari perhitungan pendekatan *Gauss*nya adalah



Gambar 4.5. Pengaruh daya pancar sinyal terhadap BER

Hasil grafik pada gambar diatas juga menunjukan bahwa semakin besarnya daya pancar sinyal menyebabkan menurunnya nilai pesat galat bit. Dan pada gambar juga terlihat jelas bahwa penurunan nilai pesat galat bit terjadi secara logaritmis. Hanya saja nilai kuantitatif pesat galat bit yang ditampilkan dengan cara perhitungan matematis tidak sama dengan hasil simulasi program. Namun secara kualitatif grafik pengaruh daya pancar sinyal pada keduanya hampir sama dan mempunyai kesesuaian. Turunnya nilai pesat galat bit seiring dengan bertambahnya daya pancar sinyal yang dikirimkan dapat disebabkan karena bertambahnya nilai *SNR* yang ditangkap pada penerima *RAKE*. Naiknya Nilai *SNR* berarti memperkecil pengaruh derau terhadap sinyal dan memperkuat sinyal asli yang akan dipulihkan kembali, sehingga kemungkinan pesat galat bit akan menjadi turun.

Berkurangnya kemampuan penambahan daya pancar sinyal menekan nilai pesat galat bit bila dilakukan penambahan nilai secara terus-menerus dapat disebabkan oleh terbatasnya kemampuan cabang penerima *RAKE* menampung semua daya pancar sinyal yang diterima. Hal ini terjadi karena jumlah cabang *RAKE* yang terbatas sehingga kemungkinan daya sinyal yang tidak diproses oleh cabang penerima *RAKE* menjadi lebih besar.

3. Perhitungan pendekatan *Gauss* dengan hasil simulasi program tidak sama. Secara hasil program simulasi plot grafik berbentuk eksponensial dan matematis berbentuk logaritmis terhadap pesat galat bit dalam pengaruh daya pancar sinyal.

5.2. Saran

Program simulasi dan perhitungan matematis yang dibuat masih banyak kekurangan yang dapat menyebabkan hasil pesat galat bit yang muncul kurang sesuai dengan diharapkan. Oleh karena itu, beberapa saran yang mungkin dapat meningkatkan keakuratan program adalah sebagai berikut:

1. Jumlah bit pengujian dapat ditambah lagi, namun waktu untuk pengujian sehingga menghasilkan plot grafiknya akan sangat lama.
2. Perbedaan tunda waktu dan fase sinyal –sinyal lintasan yang masuk ke penerima masih kurang berpengaruh terhadap nilai pesat galat bit, hal ini mungkin karena pada program simulasi dianggap bahwa perbedaan tunda waktu dan fase dapat dideteksi dengan sempurna. Dan jika dibuat penerima *RAKE* dengan pedeteksian tunda waktu dan fase sinyal yang manual maka kemungkinan pesat galat bit akan berubah.
3. Program yang dibuat mengutamakan pada bagian simulasi sistemnya, sehingga perhitungasn matematis yang diterapkan pada program ini masih memungkinkan untuk lebih akuratkan. Namun tentu saja untuk mendapatkan hasil matematis yang lebih akurat memerlukan analisis yang lebih jauh dan mendalam.

DAFTAR PUSTAKA

Peterson, R. L., Ziemer, R. E., Borth, D. E, 1995, ***Introduction to Spread-Spectrum Communications***, Simon & Schuster International Group, Singapore.

Rappaport, T. S., 1996, ***Wireless Communications***, A Simon & Schuster Company, Prentice-Hall Inc, United States of America.

Santoso, Gatot, 2004, *Sistem Selular CDMA*, Penerbit Graha Ilmu, Yogyakarta

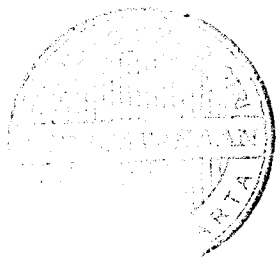
Schilling, D. L., Taub, H., 1986, ***Principles of Communication Systems***, Edisi ke-2, McGraw-Hill Book Co., Singapore.

Viterbi, A. J., 1995, ***CDMA : Principles of Spread Spectrum Communication***, Addison-Wesley.

Winch, *R. G., 1993,* ***Telecommunication Transmission Systems***, *McGraw-Hill Book Co, Singapore.*

Yang, Samuel C, 1998., *CDMA RF System Engineering*, Artech House, Boston

LAMPIRAN



1.Pengaruh jumlah pencabanngan RAKE terhadap BER(jumlah bit=5000, perolehan pengolahan =8, pengali daya sinyal =1, dan jumlah lintasan jamak =20,30dan 40

Jumlah cabang rake	BER dgn lintasan jamak 20	BER dgn lintasan jamak 30	BER dgn Lintasan jamak 40
3	29.4	64.4	80.8
4	5.4	14.6	28.4
5	1.6	3.2	11.2
6	0.4	1	3.2
7	0.2	0.4	1.8
8	0	0.2	0.8

2. Pengaruh jumlah lintasan jamak terhadap BER(jumlah bit=5000, perolehan pengolahan =4,pengali daya pancar sinyal =1, dan jumlah pencabangan rake =3,4,dan 5

Jumlah lintasan jamak	BER dgn cab rake3	BER dgn cab rake4	BER dgn cab rake5
10	4.6	1.2	0.2
20	25	6.8	0.8
30	55.8	18	5.2
40	129	33.2	9.8
50	141.2	48.2	19.6

3. Pengaruh perolehan pengolahan terhadap BER (jumlah bit =5000,pengali daya pancar sinyal =1, jumlah lintasan jamak=40, dan jumlah cabang rake=3,4dan 5)

Perolehan pengolahan	BER dgn cabang Rake3	BER dgn cabang Rake4	BER dgn cabang Rake5
4	166.6	79.6	44.8
8	92	25.2	8
16	25	2	1
32	2.8	0.2	0.2
64	0.4	0	0

4. Pengaruh daya pancar terhadap BER (jumlah bit =5000, perolehan pengolahan =4, jumlah lintasan jamak =40, dan jumlah cabang rake =3,4, dan 5)

Pengali daya pancar sinyal	BER dgn cab RAKE3	BER dgn cab RAKE4	BER dgn cab RAKE5
1	162	81.8	44
2	82.4	22.4	8.2
3	38	4.6	1.6
4	21.2	1.4	0,2
5	10	0.2	0

II. hasil –hasil perhitungan matematis dgn program dibuat

1. Pengaruh perolehan pengolahan terhadap BER (pengali daya pancar sinyal =2,3, dan 4), lintasan jamak 40 dan RAKE 8

Perolehan pengolahan	BER dgn pengali daya 1	BER dgn pengali daya 2	BER dgn pengali daya 3
4	2.248	2.207	2.192
8	2.207	2.185	2.178

16	2.185	2.174	0
32	2.174	0	0
64	0	0	0

2. Pengaruh daya pancar sinyal terhadap BER (perolehan pengolahan =4,8,16,dan 64)

Pengali daya pancar sinyal	BER dgn perpengolahan 4	BER dgn perpengolahan 8	BER dgn perpengolahan 16
1	2.248	2.207	2.185
2	2.207	2.185	2.178
3	2.192	2.178	0
4	2.185	2.174	0
5	2.178	2.172	0
6	2.176	0	0
7	0	0	0

Standart CDMA IS-95

Assigned Spectrum, MHz	869-894
Rx	1930-1990
Tx	824-849
TDD Not Paired	----------
TDD Not Paired	----------
Voice Users/Carrier	15-50
Speech Rate	8/13 k
Voice Activity	4 levels
Radio Conditions	No Change
Data Service	2G (Few)
Normal Data Rate	14.4 k
Ideal conditions	144k
Typical Mode	FDD/CDMA
Typical Carrier	1.25 MHz
Chip Rate (Mchips/s)	1.2288
Modulation	QPSK
Reverse Pilot	No
Forward Power Control	Slow
Reverse Power Control	800/s
Smart Antena	Maybe
Join Detection	No
Cell Indetification	Timing