

27329/4/06

TESIS

ANALISIS UNJUK KERJA SISTEM KOMUNIKASI MIMO CDMA PADA KANAL FREKUENSI SELEKTIF

RTE

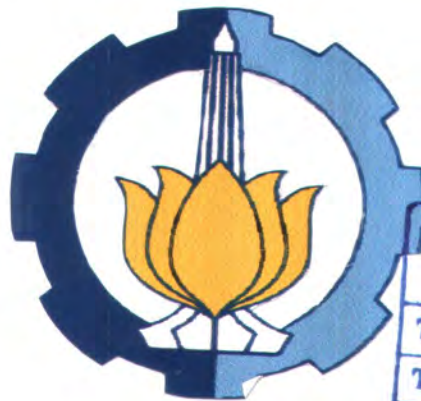
621.384 56

Qus

a-1

2006

ANIS QUSTONIAH
2202 203 006



PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	15-8-2006
Terima Dari	HP
No. Agenda Prp.	226264

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN TELEKOMUNIKASI MULTIMEDIA
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2006

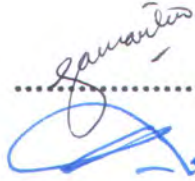

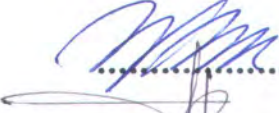

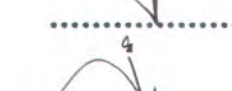

ANALISIS UNJUK KERJA SISTEM KOMUNIKASI MIMO CDMA PADA KANAL FREKUENSI SELEKTIF

Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (MT)
Di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya


Oleh :
ANIS QUSTONIAH
NRP. 2202 203 006

Tanggal Ujian : 15 Juli 2006
Periode Wisuda : September 2006

Disetujui oleh Tim Penguji Tesis :

1. Dr. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng (Pembimbing I)
NIP. 132 048 147 
2. Ir. Endroyono, DEA (Pembimbing II)
NIP. 131 943 644 
3. Dr. Ir. Wirawan, DEA (Penguji)
NIP. 131 842 501 
4. Dr. Ir. Achmad Affandi, DEA (Penguji)
NIP. 131 879 394 
5. Ir. Titik Suryani, MT (Penguji)
NIP. 131 841 930 
6. Eko Setijadi, ST,MT (Penguji)
NIP. 132 304 283 

Direktur Program Pascasarjana


Prof. Ir. Happy Ratna S, MSc.,PhD.
NIP. 130 541 829

ANALISIS UNJUK KERJA SISTEM KOMUNIKASI MIMO CDMA PADA KANAL FREKUENSI SELEKTIF

Nama Mahasiswa : Anis Qustoniah
NRP : 2202 203 006
Pembimbing I : Dr. Ir. Gamantyo H., M.Eng
Pembimbing II : Ir. Endroyono, DEA.

ABSTRAK

Dalam sistem nirkabel, terdapat tiga kelemahan utama yang disebabkan oleh kanal radio yang berupa fading, delay spread, dan co-channel interferensi. Untuk mendapatkan sistem komunikasi dengan kecepatan dan kualitas tinggi maka kelemahan-kelemahan tersebut harus diminimalkan. Salah satu solusinya adalah dengan menggunakan sistem MIMO (multiple input multiple output). sistem MIMO adalah adalah suatu teknik transmisi informasi dengan menggunakan banyak elemen antena disisi penerima dan sisi pemancar sehingga diperoleh efisiensi spektrum tinggi. Sistem MIMO memberikan peningkatan kapasitas linier sesuai dengan jumlah antena.

Unjuk kerja sistem MIMO CDMA ini dievaluasi berdasarkan banyaknya bit yang salah dari jumlah bit yang dikirimkan. Parameter ini dinyatakan sebagai *bit error rate* (BER) sebagai fungsi *signal to interference plus noise ratio* (SINR). Sistem dengan memanfaatkan antenna array pemancar pada base station (BS) dan antenna array penerima pada pada mobile station (MS) dan keduanya menggunakan *filter finite response* (FIR).

Hasil simulasi menunjukkan bahwa untuk memperoleh BER dibawah 10^{-3} diperlukan SINR sebesar 13 dB. Untuk *single user* dan 3 *user* masing-masing diperoleh BER $2,3 \times 10^{-5}$ dan $4,1 \times 10^{-4}$ dengan jumlah bit yang dikirim sebanyak 100.000 bit. Sedangkan pada sistem multiuser kenaikan daya pada user interferer memberikan pengaruh buruk terhadap user referensi yaitu meningkatnya nilai BER sehingga kinerja sistem menurun. Untuk itu diperlukan kontrol daya yang berfungsi menyesuaikan daya agar semua sinyal tiba dengan level daya yang sama sehingga diperoleh kapasitas sistem maksimum untuk perbandingan sinyal terhadap interferensi tertentu.

Kata Kunci : MIMO CDMA, *signal to interference plus noise ratio* (SINR), *bit error rate* (BER)

PERFORMANCE ANALYSIS OF MIMO CDMA COMMUNICATIONS SYSTEM AT FREQUENCY SELECTIVE CHANNEL

Name : Anis Qustoniah
NRP : 2202 203 006
Supervisor I : Dr. Ir. Gamantyo H., M.Eng
Supervisor II : Ir. Endroyono, DEA.

ABSTRACT

In wireless system, there are three major impairments caused by the radio channel, namely, fading, delay spread, and co-channel interference. In order to achieve high-speed, high-quality communications, countermeasures should be employed to combat these impairments. One solution is the use of MIMO system. *Multiple input multiple output* (MIMO) system is an information transmission technique by using many elements of antenna at the receiver and transmitter to obtain high spectrum efficiency. MIMO system improve capacities linearly with the number of antennas.

Performance of MIMO CDMA system is evaluated pursuant to the number of wrong bits with respect to that of delivered bits. This parameter is expressed in bit error rate (BER) as function of signal to interference plus noise power ratio (SINR). The system exploits array antenna at both base station (BS) and mobile station (MS), both of which are using finite impulse response (FIR) filter.

Result of simulation indicates that to get BER under 10^{-3} needed SINR equal to 13 dB. For the configures of single user and 3 users each obtained BER 2.3×10^{-5} and 4.1×10^{-4} with amount of sent beet counted 100,000 bits. While in multi-user situation, increase of interferer's damages reference user signal as shown by increasing value of BER. Power control is needed in order that all signal arrived with the same energy level so that maximum system capacities are obtained.

Keywords : MIMO CDMA, *signal to interference plus noise ratio* (SINR), *bit error rate* (BER)

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah, puji syukur saya panjatkan kehadirat Allah SWT atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga penelitian tentang “**Analisis Unjuk Kerja Sistem Komunikasi MIMO CDMA Pada Kanal Frekuensi Selektif**” dapat terselesaikan walaupun sempat tertunda satu tahun .

Buku tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan akademik Program Pasca Sarjana, Program Studi Teknik Elektro, Bidang Keahlian Telekomunikasi Multimedia, Institute Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya – ITS.

Pada kesempatan ini saya sampaikan ucapan terima yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Ir. Gamantyo H, M.Eng, Ph D selaku dosen pembimbing I yang banyak memberikan pengarahan dan bimbingan sekaligus memotivasi sampai selesainya tesis ini.
2. Bapak Ir Endroyono, DEA selaku dosen pembimbing II dan sekaligus sebagai dosen wali yang banyak memberikan sumbang saran dan pengarahan.
3. Bapak dan Ibu Dosen S2 yang telah banyak membantu baik secara langsung maupun tidak langsung selama kegiatan penelitian ini berlangsung.
4. Ibu, Bapak Ibu mertua beserta saudara-saudaraku atas doa dan dukungannya.
5. Suami dan anaku tercinta Nasya Awwalia, yang telah memberikan pengertian dan dukungannya sampai penyusunan tesis ini selesai.
6. Teman-teman Bidang Keahlian Telekomunikasi Multimedia 2001- 2004.

Penulis sadar bahwa tesis ini masih jauh dari sempurna, untuk itu demi perbaikan dan pengembangan tesis ini, maka kritik dan saran sangat diharapkan.

Surabaya, Juli 2006

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Sistematika Pembahasan	4
1.6 Manfaat	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Teori Dasar CDMA	6
2.1.1 Konsep Pengulangan Frekuensi	8
2.1.2 Pembelahan Sel	10
2.1.3 Saat Peralihan (<i>Hand Off</i>).....	11
2.1.4 Masalah Interferensi.....	12
2.1.4.1 <i>Co-Channel Interference</i>	13

2.1.4.2	<i>Adjacent Channel Interference</i>	13
2.1.4.3	<i>Intersymbol Interference(ISI)</i>	14
2.1.4.4	<i>Near Far Interference</i>	14
2.2	Model Dasar CDMA	15
2.3	Deteksi <i>Multiuser</i> (MUD) CDMA	16
2.4	Sistem <i>Multiple Input Multiple Output</i> (MIMO)	21
2.5	Kanal Fading	25
2.5.1	Fading Rata (<i>Flat Fading</i>)	26
2.5.2	<i>Frequency Selective Fading</i>	27
 BAB 3 MODEL SISTEM DAN METODE SIMULASI		
3.1	Model Sistem	30
3.2	Algoritma Pemrograman	32
3.3	Diagram Alir Pemrograman	37
 BAB IV HASIL SIMULASI DAN ANALISIS DATA		
4.1	Konversi Daya (P _{dB}) Dalam Linier.....	39
4.2	Unjuk Kerja Sistem	40
4.2.1	Unjuk Kerja Sistem <i>Single User</i>	40
4.2.2	Unjuk Kerja Sistem Dengan <i>Multiuser</i>	41
4.2.2.1	Skenario 1	41
4.2.2.2	Skenario 2	43
4.2.2.3	Skenario 3	45
4.3	Perbandingan Unjuk Kerja Sistem Pada Kanal Yang Berbeda.....	47
4.3.1	Unjuk Kerja Sistem Dengan Daya Sama	47
4.3.2	Unjuk Kerja Sistem Dengan Daya Yang Berbeda	49

4.3.2.1 Skenario 1	49
4.3.2.2 Skenario 2	51
4.4 Pembahasan.....	53
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	55
5.2 Saran	56
DAFTAR PUSTAKA	57
LAMPIRAN: Listing Program	59

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Pengulangan frekuensi (<i>reuse frekuensi</i>).....	8
Gambar 2.2	Pola pengulangan frekuensi $K=7$	9
Gambar 2.3	Pembelahan sel (<i>Cell Splitting</i>).....	11
Gambar 2.4	Mekanisme proses <i>handoff</i>	12
Gambar 2.5	Model dasar system multiuser DS/CDMA.....	16
Gambar 2.6	Diagram blok umum penerima multiuser CDMA.....	19
Gambar 2.7	Hirarki penerima multiuser CDMA.....	21
Gambar 2.8	Diagram sistem transmisi wireless MIMO.....	22
Gambar 2.9	Blok diagram system V-BLAST untuk CDMA.....	24
Gambar 2.10	Ilustrasi kanal fading.....	27
Gambar 2.11	Ilustrasi kanal fading frekuensi selektif.....	29
Gambar 3.1	Sistem konfigurasi antenna MIMO CDMA.....	30
Gambar 3.2	Struktur detail filter pemancar dan penerima.....	32
Gambar 3.3	Diagram alir pemrograman.....	38
Gambar 4.1	Grafik SINR pada filter pemancar dan penerima <i>singleuser</i> ...	41
Gambar 4.2	Grafik kinerja sistem dari $K=1$, $K=2$, $K=3$ dan $K=4$	42
Gambar 4.3	Grafik Kinerja sistem dari $K=1$, $K=4$ dan $K=8$	44
Gambar 4.4	Grafik Kinerja sistem dari $K=1$, $K=2$ dan $K=3$	46
Gambar 4.5	Grafik Kinerja sistem dari 2 user dengan daya sama.....	48
Gambar 4.6	Grafik kinerja sistem dari 2 user dengan $P_{K=2}=5P_{K=1}$	50
Gambar 4.7	Grafik kinerja sistem dari 2 user dengan $P_{K=2}=10P_{K=1}$	52

Gambar 4.3	Grafik Kinerja sistem dengan daya sama dan daya beda untuk dua user.....	54
------------	---	----

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Konversi PDP (dB) menjadi bentuk linier.....	40
Tabel 4.2	Perbandingan nilai BER dari 1,2,3 dan 4 <i>user</i>	43
Tabel 4.3	Perbandingan nilai BER dari 1,4,8 <i>user</i>	45
Tabel 4.4	Perbandingan nilai BER dari 1,2,3 <i>user</i>	46
Tabel 4.5	Perbandingan nilai BER dari K <i>user</i> dengan daya sama.....	48
Tabel 4.6	Perbandingan nilai BER dari K <i>user</i> dengan $P_{K=2}=5P_{K=}$	50
Tabel 4.7	Perbandingan nilai BER dari K <i>user</i> dengan $P_{K=2}=10P_{K=2}$	52
Tabel 4.8	Perbandingan BER dengan daya sama dan daya beda untuk dua user.....	55

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Perkembangan sistem komunikasi *wireless* atau nirkabel yang sangat pesat menimbulkan persaingan operator selular dalam menyediakan layanan yang terbaik. Peningkatan kualitas layanan (*quality of service*, QoS) yang meliputi kapasitas, kecepatan, dan probabilitas kesalahan yang terjadi menjadi target dari setiap operator. Dalam perkembangannya, sistem komunikasi *wireless* generasi ketiga (3-G) *Code Division Multiple Acces* (CDMA)) mendapat peluang besar karena kelebihanannya[1][2], antara lain:

- Dapat meningkatkan kualitas suara
- Memperbaiki karakteristik cakupan sehingga dapat menurunkan jumlah sel
- Meningkatkan *privacy* dan *security* karena anti *spoofing* (tahan sadap)
- Menyederhanakan perencanaan sistem
- Memerlukan daya pancar yang lebih rendah, sehingga waktu bicara ponsel dapat lebih lama
- Mengurangi interferensi pada sistem lain
- Mampu melakukan *soft handoff* mengingat semua sistem menggunakan frekuensi yang sama
- Lebih tahan terhadap *multipath fading*
- Dapat dioperasikan bersamaan dengan teknologi lain (misal AMPS).

Pada sistem komunikasi nirkabel, sinyal yang ditransmisikan oleh sebuah pemancar akan dirusak oleh dua hal, yaitu perubahan amplitudo sinyal yang

disebabkan oleh kanal lintasan jamak dan interferensi dari pengguna lain [4]. Salah satu teknik yang digunakan untuk mengatasi masalah tersebut adalah dengan menggunakan antena jamak baik pada pemancar dan penerima. Sistem seperti ini disebut *multiple input multiple output system* (MIMO sistem). Dengan teknik ini jika satu lintasan dari sepasang antena pemancar dan penerima mengalami fading yang berat maka sinyal dari pemancar masih bisa diterima di penerima melalui pasangan antena yang lain. Dengan demikian reliabilitas (keandalan) dari sistem juga akan memperbaiki kinerja probabilitas kesalahan bit.

Pemakaian beberapa antena pada pemancar dan penerima memberikan perbaikan yang signifikan dalam hubungannya dengan efisiensi spektrum dan keandalan *link*. Teknologi baru ini disebut dengan *multi-input-multi-output* (MIMO) yang memanfaatkan *rich scattering* untuk memperoleh efisiensi spektrum. Peningkatan kecepatan data dan kualitas pelayanan pada sistem komunikasi wireless memerlukan teknik baru yang dapat meningkatkan efisiensi spektrum dan memperbaiki keandalan *link*.

Dengan teknologi *multi-input-multi-output* (MIMO), maka dalam penelitian ini, akan dibahas unjuk kerja dari sistem komunikasi *multi-input-multi-output code division multiple access* MIMO-CDMA pada kanal frekuensi selektif. Kanal dimodelkan dengan menggunakan hasil pengukuran yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya[7]. Dari penelitian ini diharapkan dapat diketahui kinerja yang terbaik dari sistem komunikasi nirkabel MIMO CDMA pada kanal sesungguhnya.

1.2 PERUMUSAN MASALAH

Permasalahan yang selalu timbul pada sistem komunikasi yang menggunakan teknik *multiple input multiple output* (MIMO) adalah terjadinya *inter symbol interference* (ISI), *co-channel interference* (CCI) atau yang dikenal dengan istilah *multiple access interference* (MAI) dan *noise*. Jika penerima tidak dapat memisahkan sinyal-sinyal yang dipancarkan menggunakan teknologi MIMO, maka data yang diperoleh pada penerima akan mengalami kesalahan. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, maka diperlukan suatu sistem komunikasi MIMO CDMA yang dapat menekan terjadinya ISI dan MAI dengan cara meningkatkan SINR dari sinyal yang diterima sehingga mengurangi rata-rata probabilitas kesalahan. Permasalahannya adalah bagaimana konfigurasi dan teknik pensinyalan dari sistem MIMO CDMA dapat mengatasi permasalahan pada kanal frekuensi selektif dan bagaimana kinerja sistem MIMO CDMA tersebut pada kanal fading dengan ISI dan CCI.

1.3 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis unjuk kerja dari kerja sistem CDMA dengan antena *multiple input multiple output* (MIMO) pada antena pemancar dan antena penerima dapat meningkatkan *signal-to-interference-plus-noise ratio* (SINR) pada kanal *frekuensi selektif fading* melalui simulasi komputer.

1.4 BATASAN MASALAH

Penelitian yang akan dilaksanakan dengan batasan-batasan sebagai berikut:

- Kanal transmisi berupa kanal frekuensi selektif dengan pemodelan dari hasil pengukuran sebelumnya.

- Pemancar dan penerima beroperasi sinkron.
- Jarak setiap user (penerima) dari BS (pemancar) acak.
- Jumlah antenna pemancar dua buah dan antenna penerima empat buah antenna.
- CDMA yang digunakan adalah DS-SS-SS-SS dengan kode Hadamard sepanjang 8 chip.
- Jumlah user yang digunakan adalah 1- 8 user.
- Yang tidak termasuk dalam pembahasan adalah estimator kanal, sinkronisasi pemancar dan penerima, filter kanal dan penerima.

1.5 SISTEMATIKA PEMBAHASAN

Pembahasan dalam buku tesis ini disajikan dalam 5 bab sebagai berikut:

- Bab 1 : Pendahuluan, berisi penjelasan singkat mengenai pentingnya penelitian ini, ruang lingkup, permasalahan dan batasan masalah, tujuan, sistematika pembahasan dan manfaat.
- Bab 2 : Tinjauan pustaka yang menjelaskan tentang teori dasar CDMA, model dasar CDMA, sistem MIMO, kanal fading dan parameter MIMO CDMA
- Bab 3 : Model Sistem dan Metode Simulasi yang menjelaskan model sistem MIMO CDMA, algoritma pemrograman, dan diagram alir pemrograman.
- Bab 4 : Berisi hasil –hasil simulasi dan analisis kinerja sistem pada *single user* maupun *multiuser* pada beberapa kondisi.
- Bab 5 : Penutup yang berisi kesimpulan akhir dari penelitian yang dilakukan dan saran-saran untuk penelitian berikutnya.

1.6 MANFAAT

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kinerja dari sistem komunikasi MIMO CDMA pada kanal frekuensi selektif dengan *single user* maupun *multiuser* sehingga dapat menentukan pengaruh dari nilai SINR terhadap BER. Dengan demikian penelitian ini dapat memberikan kontribusi bagi dunia IPTEK di bidang sistem komunikasi nirkabel maupun bagi industri.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dibahas mengenai sistem komunikasi multiuser dengan menggunakan antenna array MIMO-CDMA yang meliputi konsep sistem selular CDMA (*code division multiple access*), *co-channel interference*(CCI), *signal to interference plus noise ratio*(SINR). Modulasi yang digunakan adalah BPSK pada kanal frekuensi selektif.

2.1 TEORI DASAR CDMA[3]

CDMA berbeda dengan FDMA (*Frequency Division Multiple Access*) dan TDMA (*Time Division Multiple Access*) dalam hal pengiriman sinyal. Dalam sistem CDMA semua pengguna mengirimkan informasinya dengan pita frekuensi yang sama dan pada waktu yang bersamaan. Masing-masing pengguna diberi kode spreading yang unik untuk membedakan satu pengguna dengan yang lainnya dan untuk mendemodulasikan data yang dikirimkan dari pengguna yang bersangkutan. Kelebihan utama dari teknik CDMA adalah transmisi dapat dilakukan secara terus menerus dan menekan sistem administrasi dalam rangka mengalokasikan fasilitas kepada semua pengguna. Teknik CDMA juga mampu mengatasi pengaruh *multipath-fading* dibandingkan FDMA dan TDMA. Tetapi walaupun CDMA dalam prakteknya lebih baik tetapi kompleks dalam proses sinkronisasi antara deretan kode yang dibangkitkan antar pemancar dan pendekodean sinyal kode pada penerima. Namun demikian sistem komunikasi pribadi tanpa kabel generasi ketiga utamanya menggunakan teknik CDMA misalnya IS-95 Amerika dan W-CDMA di Eropa.

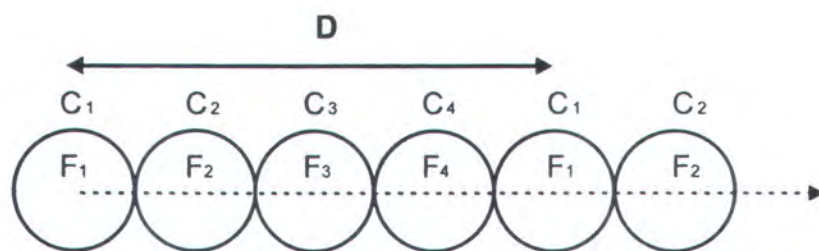
CDMA dikenal sebagai satu dari teknik *spread spectrum*, dimana setiap pengguna diberikan satu kode spreading yang unik untuk menyebarkan sinyal informasi pita sempit ke bandwidth saluran. Metode CDMA yang paling banyak digunakan adalah *frequency hopping* (FH) dan *direct sequence* (DS). Dalam sistem FH/CDMA frekuensi pembawa melompat (*hop*) dari satu frekuensi ke frekuensi yang lain dengan pola lompatan *pseudo-random* yang di kontrol oleh kode spreading. Pada sistem DS/CDMA, kode spreading adalah *pseudo-random*, biasanya deretan bilangan biner, dengan bandwidth yang lebih besar dari pada bandwidth sinyal informasi. Proses penyebaran dilakukan dengan mengalihkan sinyal informasi dengan kode spreading sehingga diperoleh perubahan fase yang cepat sehingga meningkatkan bandwidth sinyal. Teknik DS/CDMA diajukan untuk digunakan pada sistem komunikasi bergerak generasi ketiga.

Sistem DS/CDMA mempunyai banyak keunggulan untuk diterapkan pada sistem komunikasi bergerak generasi ketiga. Pertama, sistem ini mempunyai kapasitas jumlah pengguna yang tidak terbatas (*soft capacity*). Kedua, faktor pemakaian ulang frekuensi yang sama dapat dilakukan sehingga memungkinkan untuk memakai ulang seluruh bandwidth yang tersedia pada tiap sel. Terakhir, *soft handoff* yang berarti dimungkinkannya implementasi sebuah *mobile station* (stasiun bergerak) yang bergerak dekat dengan batas-batas sel untuk menyediakan *base station* yang baru. Prosedur ini memastikan bahwa kualitas dari hubungna radio ke *base station* yang baru tidak putus. Selanjutnya pada *soft handoff*, stasiun bergerak dapat menggunakan daya pancar yang lebih kecil sehingga dapat menekan interferensi dalam sel dengan sel tetangganya. Kelebihan lain dari sistem DS/CDMA adalah penghilangan interferensi pita sempit.

Sistem DS/CDMA menghadapi dua masalah yaitu *near-far problem* dan *multiple access interferensi* (MAI). Pada sistem DS/CDMA sinkron tanpa *multipath*, kode orthogonal dapat digunakan untuk mengatasi hal tersebut sehingga antar pengguna tidak saling menginterferensi. Namun sistem tidak sepenuhnya sinkron sebagai akibat dari adanya *multipath* dan saat transmisi yang tidak bersamaan maka pengguna akan mengalami MAI.

2.1.1 KONSEP PENGULANGAN FREKUENSI

Sebuah kanal radio terdiri dari sepasang frekuensi, masing-masing arah memakai satu frekuensi untuk keperluan komunikasi *full duplex*. Dalam sistem selular, suatu kanal frekuensi F_1 yang digunakan dalam sel C_1 dengan jari-jari cakupan R , dapat digunakan kembali di sel lain yang terpisah sejauh D terhadap sel tersebut.



Gambar 2.1 Pengulangan frekuensi (reuse frequency)[3]

Pengulangan frekuensi merupakan inti dari konsep sistem radio selular. Dengan menggunakan sistem *frequency reuse* maka pemakai yang berada di wilayah lain dapat secara simultan menggunakan frekuensi yang sama. Kedua sel yang sama tersebut disebut sebagai sel *co-channel*. Dengan demikian pengulangan frekuensi

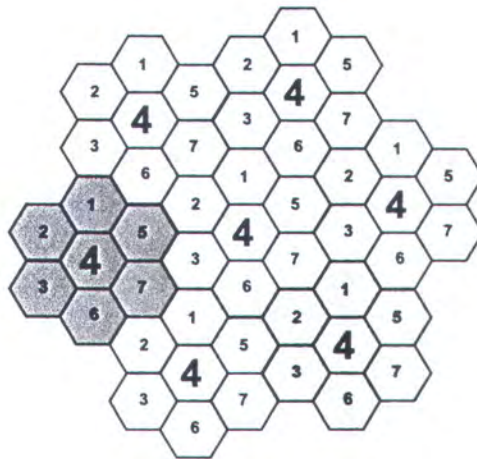
dapat meningkatkan efisiensi penggunaan spektrum frekuensi, akan tetapi apabila sistem tersebut tidak dirancang dengan baik dapat menimbulkan interferensi yang merupakan masalah utama dalam sistem selular. Interferensi yang berasal dari sel lain yang menggunakan frekuensi sama disebut *co-channel interference* (CCI)[3].

Jarak minimum yang diijinkan untuk melakukan pengulangan frekuensi tergantung pada banyak faktor, seperti jumlah sel dengan frekuensi yang sama, tipe kontur dari permukaan, tinggi antena, dan daya yang ditransmisikan pada setiap sel site.

Jarak pengulangan frekuensi D dapat ditentukan dari:

$$D = \sqrt{3K} \cdot R \quad (2.1)$$

di mana K adalah pola pengulangan frekuensi. Untuk $K=7$ ditunjukkan oleh gambar 2.2 berikut:



Gambar 2.2. Pola pengulangan frekuensi $K=7$ [3]

Dari rumus diatas diperoleh:

$$D = 3,46R \quad K = 4$$

$$D = 4,6R \quad K = 7$$

$$D = 6R \quad K = 12$$

$$D = 7,55R \quad K = 19$$

Jika semua sel *site* memancarkan daya yang sama, apabila K meningkat maka jarak pengulangan frekuensi D juga akan meningkat. Peningkatan harga D ini adalah mengurangi *co-channel interference* (CCI) yang mungkin muncul[3].

Secara teori diinginkan harga K yang besar, tetapi jika K terlalu besar, sedangkan jumlah total kanal yang dialokasikan adalah tetap maka jumlah kanal yang ditetapkan untuk masing-masing sel menjadi kecil, sehingga terjadi ketidak efisienan *trunk*[3].

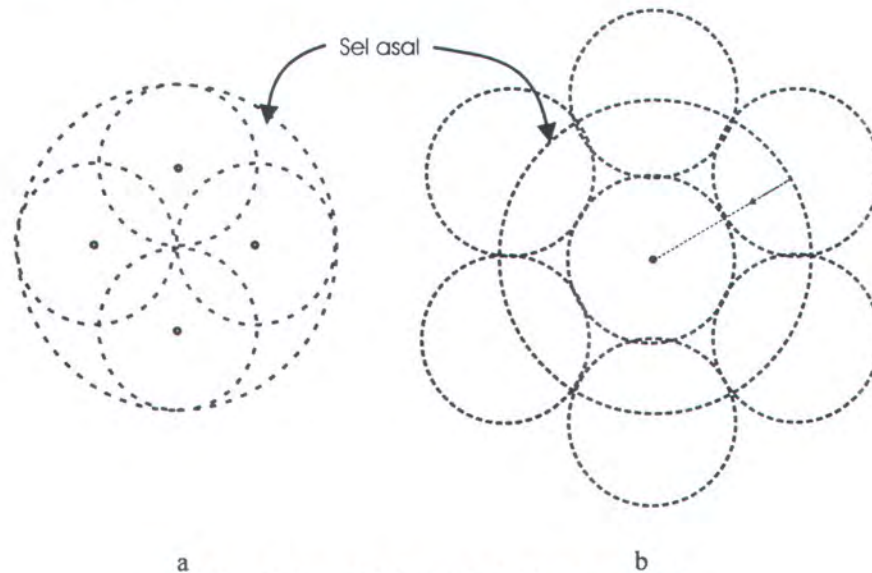
Tantangan dalam perencanaan adalah untuk memperoleh K terkecil yang masih memenuhi performansi sistem yang dibutuhkan. Hal ini meliputi perkiraan *co-channel interference* dan penentuan jarak minimum pengulangan frekuensi D untuk mengurangi *co-channel interference*.

Nilai terkecil dari K adalah $K=3$, diperoleh dengan memilih $i=1, j=1$ dari persamaan $K = i^2 + ij + j^2$.

2.1.2 PEMBELAHAN SEL

Ketika jumlah mobile station meningkat dan mencapai jumlah maksimum yang dapat dilayani sebuah sel, sel-sel harus dipecah menjadi sel-sel yang lebih kecil, masing-masing mempunyai kanal yang sama seperti sel asalnya. Setiap sel dapat melayani jumlah mobile station yang sama seperti sel asal yang besar. Hal yang penting juga adalah mengurangi daya dari trasmitter untuk memperkecil *co-channel interference*. Dengan proses pembelahan sel, jumlah mobile station potensial dapat ditingkatkan tanpa penambahan bandwidth.

Terdapat dua cara pembelahan sel. Pada gambar 2.3.a, pusat sel asal tidak terpakai setelah pembelahan sel tetapi dengan cara pembelahan pada gambar 2.3.b pusat sel asal masih dipakai setelah pembelahan sel[3].



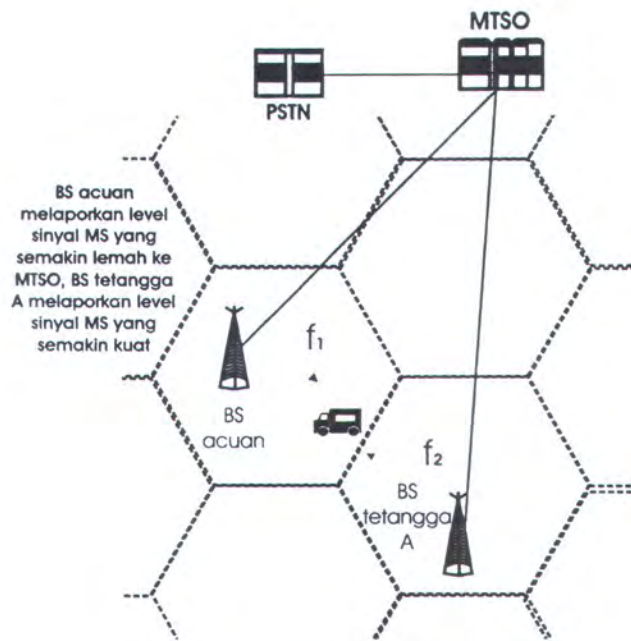
Gambar 2.3 Pembelahan sel (*Cell Splitting*)[3]

2.1.3 SAAT PERALIHAN (*HAND OFF*)

Pada komunikasi bergerak, para pelanggan memiliki tingkat mobilitas yang tinggi. Ada kemungkinan pelanggan bergerak dari satu sel menuju sel lain yang memakai pasangan frekuensi yang berbeda ketika sedang terjadi percakapan. Untuk menjamin bahwa pembicaraan akan terus tersambung diperlukan fasilitas *handoff* yaitu proses otomatis pergantian frekuensi ketika mobile station bergerak ke dalam daerah atau sel yang mempunyai kanal dengan frekuensi berbeda dengan sel sebelumnya, sehingga pembicaraan dijamin akan terus tersambung tanpa perlu melakukan pemanggilan kembali atau inisialisasi ulang[3].

Untuk memberi gambaran yang jelas tentang *handoff* dapat dijelaskan dengan gambar 2.4 berikut:





Gambar 2.4 Mekanisme proses *handoff*[3]

Ketika mobile station mulai melakukan panggilan di dalam sel C_1 yang berfrekuensi F_1 kemudian bergerak memasuki sel C_2 maka harus terdapat proses otomatis yang melakukan pemindahan frekuensi yang dipakai dari F_1 ke F_2 tanpa campur tangan pemakai agar panggilan dapat terus tersambung, begitu seterusnya jika *mobile station* bergerak ke sel yang berbeda.

2.1.4 MASALAH INTERFERENSI

Jika suatu daerah mempunyai beberapa unit komunikasi pemancar-penerima (*transceiver*) dan beberapa pemakai menggunakan kanal yang sama atau kanal yang berdekatan, maka kinerja dipengaruhi oleh interferensi baik interferensi kanal yang sama (*co-channel interference*) maupun interferensi yang disebabkan oleh kanal yang berdekatan (*adjacent channel interference*), selain itu interferensi dapat pula timbul dari sistem selular lain dan juga dari sistem non selular[3].

Dalam sistem selular, masing-masing pemancar-penerima tidak hanya dipengaruhi oleh karakteristik daerah sekitarnya, tetapi juga oleh sinyal yang secara simultan dihasilkan oleh sejumlah pemancar di daerah sekitarnya. Pengaruh interferensi pada sistem selular lain biasanya lebih besar dari pengaruh *noise*.

2.1.4.1 CO-CHANNEL INTERFERENCE

Co-channel Interference terjadi ketika dua atau lebih kanal komunikasi menggunakan frekuensi yang sama. Penggunaan frekuensi yang sama ini bertujuan meningkatkan kutilitas frekuensi[3].

Co-channel interference merupakan fungsi dari parameter q yang didefinisikan sebagai:

$$q = \frac{D}{R} \quad (2.2)$$

di mana: D = jarak antara sel-sel yang menggunakan frekuensi yang sama

R = radius sel

Nilai q disebut faktor pengurangan interferensi *co-channel* (*co-channel reduction factor*) dapat ditentukan untuk setiap level dari perbandingan sinyal terhadap sinyal interferensi yang diinginkan.

2.1.4.2 ADJACENT CHANNEL INTERFERENCE[3]

Interferensi kanal bersebalahan terjadi akibat dua buah sel yang bersebalahan menggunakan dua spektrum frekuensi yang berdekatan. Dalam sistem selular

interferensi kanal bersebelahan lebih mudah dikontrol jika dibandingkan dengan interferensi *co-channel* yaitu dengan pemakaian filter yang curam.

2.1.4.3 *INTERSYMBOL INTERFERENCE (ISI)*[3]

Intersymbol interference terjadi akibat adanya delay spread yang besar dalam medium multipath atau karena laju bit transmisi yang tinggi. Jika 1 bps membutuhkan 1 Hz, maka laju bit transmisi R_t dapat ditentukan dari:

$$R_t < \frac{1}{\Delta} \quad (2.3)$$

di mana Δ adalah *delay spread*.

Untuk daerah urban, sub-urban, dan daerah terbuka, delay spread berturut-turut adalah $3\mu\text{s}$, $0,5\mu\text{s}$, dan $< 0,2\mu\text{s}$ [3].

2.1.4.4 *NEAR FAR INTERFERENCE*[3]

Interferensi *near far* terjadi karena adanya perbedaan jarak yang cukup besar antara mobile station satu dengan mobile station yang lain ke base station. Sinyal yang diterima dari mobile station yang lebih dekat dengan base station lebih kuat dibandingkan sinyal yang berasal dari mobile station yang letaknya lebih jauh dari base station. Sinyal yang lebih kuat itu akan menutup sinyal yang lebih lemah. Derajat penutupannya tergantung pada jarak ke base station.

Untuk mengurangi interferensi *near far* ini dapat digunakan *power control*. Dengan power control, daya yang sampai di base station untuk mobile station yang berbeda jaraknya tetap sama. Ini dapat dilakukan dengan mengontrol daya yang lebih dekat ke base station akan memancarkan daya yang lebih kecil jika dibandingkan

dengan daya yang dipancarkan oleh mobile station yang letaknya jauh dari base station.

2.2 MODEL DASAR CDMA

Model yang dijelaskan berikut ini adalah sebuah sistem DS/CDMA yang terdiri dari k pengguna dengan modulasi BPSK (*Binary Phase Shift Keying*) dan di transmisikan melalui kanal AWGN (*additive white gaussian noise*). Seperti telah dijelaskan sebelumnya, masing-masing pengguna diberikan kode spreading yang unik $s_k(t)$ dengan periode simbol T_b . Kode spreading dinyatakan sebagai berikut[11]:

$$s_k(t) = \sum_{n=0}^N b_k(n)h(t - nT_c), \quad 0 \leq t \leq T_b \quad (2.4)$$

dimana $b_k(n) \in \{-1, +1\}$, $0 \leq n \leq N-1$, adalah deretan kode *pseudo-noise* (PN) dari pengguna ke- k yang terdiri dari N chip, $h(t)$ adalah *chip spreading* yang mempunyai periode $T_c = T_b/N$. Kode spreading diasumsikan bernilai nol di luar interval $[0, T_b]$, sehingga tidak terjadi interferensi antar simbol (*intersymbol interference, ISI*).

Tanpa menghilangkan sifat umumnya (*loss of generality*), K kode spreading dinormalisasi sehingga mempunyai energi sama dengan satu, yaitu:

$$\|s_k\|^2 = \int_0^{T_b} s_k^2(t) dt = 1 \quad (2.5)$$

Jika modulasi BPSK digunakan pada sistem CDMA, deretan informasi dari pengguna ke- k dinyatakan sebagai $b_k(m)$ akan bernilai $\{-1, +1\}$. Anggap pengguna ke- k mengirimkan data sepanjang M sebagai vektor input:

$$b_k = [b_k(1) \ b_k(2) \ \dots \ b_k(M)]^T \quad (2.6)$$

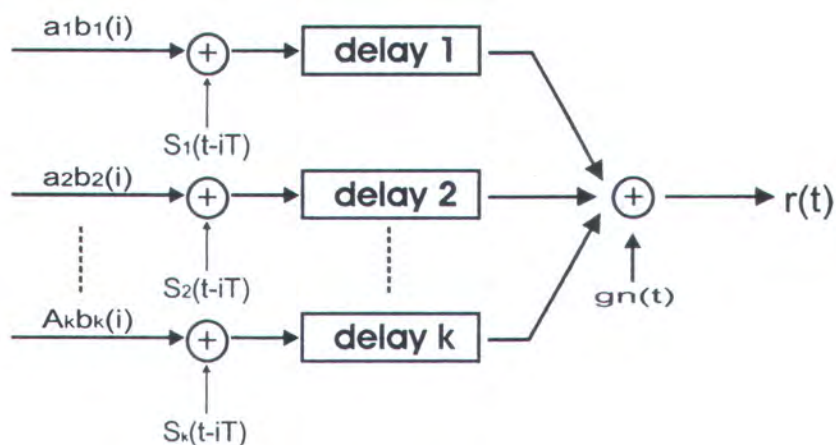
Sinyal yang ditransmisikan oleh masing-masing pengguna dapat dinyatakan sebagai :

$$y_k(t) = A_k \sum_{i=1}^M b_k(t) s_k(t - iT_c) \quad (2.7)$$

di mana A_k adalah amplitudo dari sinyal pengguna ke-k sehingga energi dari sinyal pengguna dapat sebanding dengan A_k^2 . Sinyal yang diterima $y(t)$ merupakan jumlahan dari K sinyal pengguna yang ditransmisikan melalui kanal AWGN dan dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$y(t) = \sum_{k=1}^K A_k \sum_{i=0}^M b_k(i) s_k(t - iT_b - \tau_k) + \sigma n(t) \quad (2.8)$$

di mana τ_k adalah delay dari pengguna ke-k dan $n(t)$ adalah *noise white gaussian* dengan kerapatan spektrum daya $psd = 1$. Daya noise pada pita frekuensi dengan bandwidth B adalah $2\sigma^2 B$ (noise pada satu sisi level kerapatan daya σ^2 dinyatakan sebagai N_0). Gambar 2.5. menunjukkan diagram blok dari sistem DS/CDMA.



Gambar 2.5. Model dasar sistem multiuser DS/CDMA [15]

2.3 DETEKSI MULTIUSER (MUD) CDMA

Di dalam sistem komunikasi CDMA, *multiple access interference* (MAI) adalah faktor yang membatasi kapasitas dan kinerja sistem CDMA. MAI berkaitan

dengan interferensi antar pengguna di dalam sistem CDMA. Besarnya MAI sangat dipengaruhi oleh meningkatnya jumlah pengguna aktif yang ada di dalam sistem. Detektor konvensional menggunakan sistem deteksi pengguna tunggal di mana setiap pengguna dideteksi secara terpisah tanpa mempertimbangkan pengguna yang lain (dianggap sebagai *noise*).

Deteksi *multiuser* disebut juga dengan deteksi gabungan (*joint detection*) atau penghapusan interferensi (*interference cancellation*) memberikan suatu pengertian tentang pengurangan efek *multiple access interference* (MAI) sehingga dapat meningkatkan kapasitas sistem. Di samping untuk memperbaiki kapasitas, MUD dapat mengurangi masalah *near - far* yang ada pada sistem DS-CDMA. *Mobile station* yang sangat dekat dengan *base station* dapat menghalangi seluruh *trafik cell* karena penggunaan daya pancar yang terlalu tinggi [1].

Misalkan suatu sistem CDMA asinkron dengan K pengguna pada kanal *additive white gaussian noise* (AWGN), dimana kanalnya adalah *quasi-static*, amplitudo dan delay waktu masing-masing pengguna adalah konstan selama pengiriman satu frame - M bit, dengan modulasi *binary phase shifted keyed* (BPSK). Sinyal terima sesudah diubah ke dalam bentuk *baseband* [8] adalah :

$$r(t) = \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^M a_k b_k [i] S_k(t - iT_s - \tau_k) + n(t) \quad (2.9)$$

$$\text{dimana } S_k(t - iT_s) = \sum_{l=0}^{L-1} c_k(l - iL) p(t - lT_C - iT_s) \quad S_k(t) \in [0, T_s) \quad (2.10)$$

$S_k(t)$ adalah bentuk gelombang *signature* tertentu untuk pengguna ke- k , dinormalisasi sehingga mempunyai energi 1

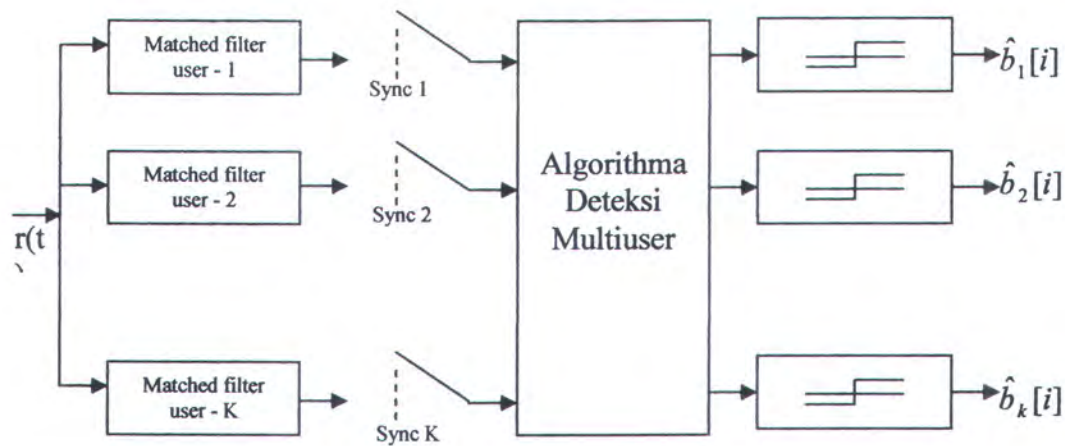
$$\|S_k\|^2 = \int S_k^* S_k(t) dt = 1 \quad (2.11)$$

$p(t)$ adalah pulsa kotak pada durasi $[0, T_c)$, $c_k(l) \in \{-1, 1\}$ adalah deret kode PN untuk pengguna ke- k , $L = T_s/T_c$ adalah panjang dari deret kode PN, T_s adalah interval simbol, T_c adalah interval chip, a_k adalah amplitudo terima dari sinyal pengguna ke- k , $b_k[i] \in \{-1, 1\}$ adalah bit data baris ke- i dengan modulasi BPSK yang dipancarkan oleh pengguna ke- k , τ_k adalah delay waktu dari pengguna ke- k dengan asumsi $0 \leq \tau_k < T_s$ dan $n(t)$ adalah AWGN dengan kerapatan spektrum daya (psd) sebesar σ^2 .

Gambar 2.6 menggambarkan blok diagram dari detektor *multiuser* CDMA. Gambar tersebut merupakan penerima untuk deteksi *multiuser* yang mempunyai sekumpulan *matched filter*, masing-masing *matched filter* disesuaikan dengan deret kode PN pengguna tertentu. Output dari kumpulan K *matched filter* kemudian disampel pada laju simbol dan ditulis sebagai persamaan :

$$\begin{aligned} y_k(i) &= \int_{T_s}^{(i+1)T_s + \tau_k} r(t) S_k(t - iT_s - \tau_k) dt \\ &= \int_0^\infty \sum_{j=1}^K \sum_{m=1}^M a_j b_j[m] S_j(t - mT_s - \tau_j) S_k(t - iT_s - \tau_k) dt \\ &\quad + \int_0^\infty n(t) S_k(t - iT_s - \tau_k) dt \\ &= \int_0^\infty \sum_{m=1}^M a_k b_k[m] S_k(t - mT_s - \tau_k) S_k(t - iT_s - \tau_k) dt \\ &\quad + \int_0^\infty \sum_{j \neq k, j=1}^K \sum_{m=1}^M a_j b_j[m] S_j(t - mT_s - \tau_j) S_k(t - iT_s - \tau_k) dt \\ &\quad + \int_0^\infty n(t) S_k(t - iT_s - \tau_k) dt \\ &= a_k b_k[i] + \sum_{j \neq k, j=1}^K \sum_{m=1}^M \rho(jk, mi) + n(k, i) \end{aligned} \quad (2.12)$$

Output dari *matched filter* $y_k(t)$, terdiri dari tiga bagian, yaitu : bagian pertama $a_k b_k[i]$ adalah informasi yang dituju, kedua $\rho(jk, mi)$ adalah MAI dan ketiga $n(k, i)$ adalah noise.



Gambar 2.6 Diagram blok umum penerima *multiuser* CDMA

Detektor *single-user* konvensional melakukan estimasi simbol secara langsung dan independent pada masing-masing output *matched filter* $y_k(i)$, memperlakukan MAI sebagai noise. *Matched filter* melakukan penyesuaian berdasarkan konstelasi sinyal dan kode PN untuk mengurangi MAI yang disebabkan oleh korelasi silang antar kode PN. Metode ini akan optimum pada kasus *single-user* atau jika kode PN bersifat *mutually orthogonal*.

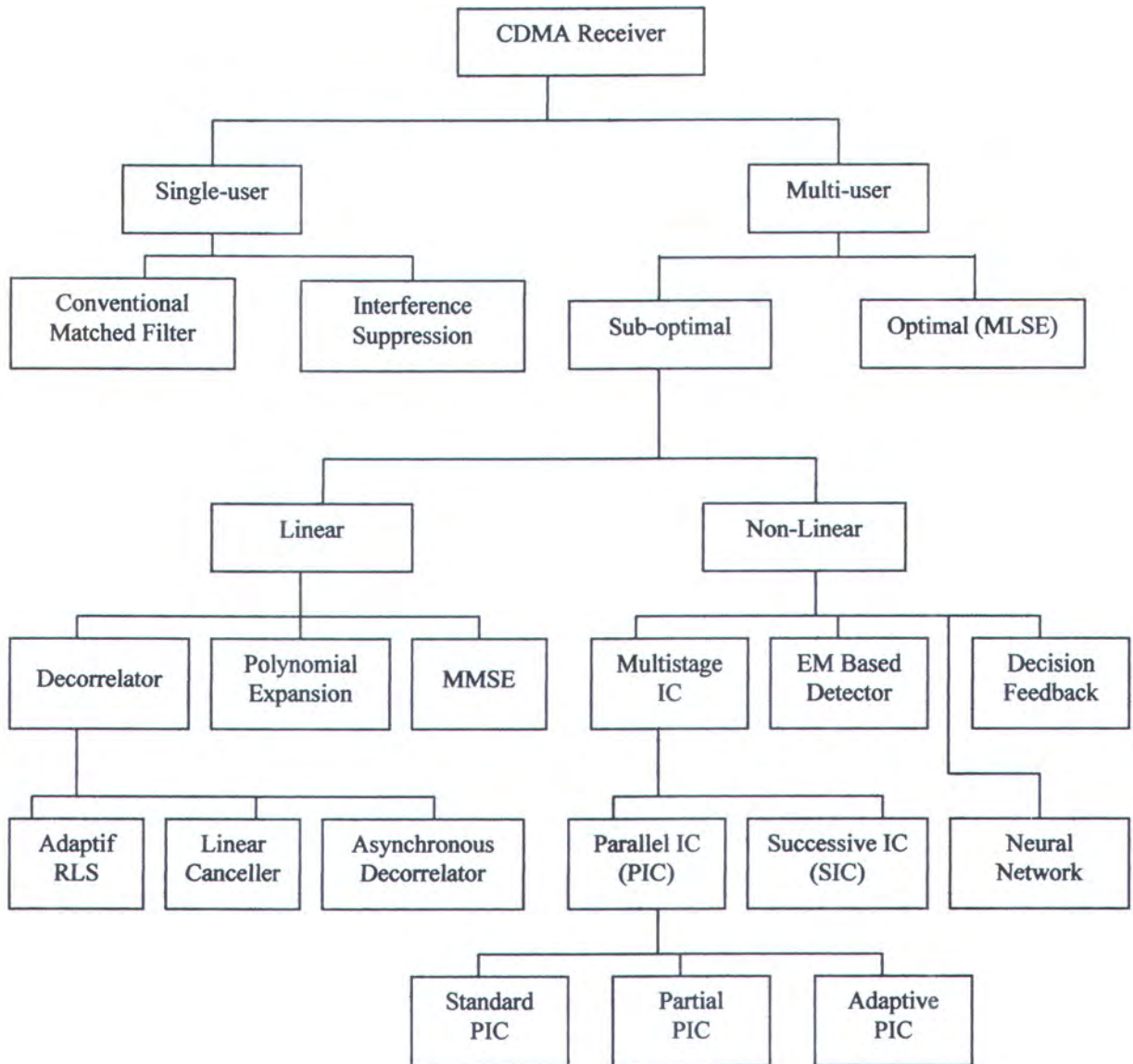
Matched filter akan bekerja dengan baik di dalam lingkungan *multiuser* jika hanya terdapat sedikit pengguna, korelasi kode PN yang rendah dan daya terima dari pengguna yang lain hampir sama. Akan tetapi pada lingkungan *mobile-wireless*, penerima menerima pengguna dari kondisi *fading* dan efek *near-far*, dimana daya penginterferensi lebih besar daripada daya pengguna yang dituju, menjadikan detektor konvensional tidak berguna. Di sisi lain, *orthogonalitas* pada deret kode PN

dapat mengalami kerusakan akibat perambatan sinyal yang kanal dengan lintasan banyak (*multipath*).

Pada detektor konvensional masalah efek *near-far* dianggap sebagai keterbatasan *inherent* pada sistem CDMA, kemudian oleh Verdu dibuktikan bahwa masalah *near-far* bukan persoalan *inherent* pada sistem CDMA akan tetapi terdapat pada penerima CDMA. Untuk itu dirumuskan suatu penerima *multiuser* berdasarkan pada kriteria *Maximum Likelihood* (ML) dan disebut sebagai detektor optimum. Walaupun detektor optimum secara signifikan dapat menandingi detektor konvensional, akan tetapi mempunyai tingkat kompleksitas yang eksponensial dengan jumlah pengguna di dalam sistem.

Perbedaan di dalam kompleksitas dan unjuk kerja antara detektor konvensional dan detektor *multiuser* optimum mendorong peneliti untuk menemukan alternatif detektor suboptimum dengan unjuk kerja yang lebih baik dan mengurangi kompleksitas. Secara umum penerima *multiuser* CDMA digolongkan menjadi dua bagian, yaitu detektor optimum dan suboptimum. Deteksi *multiuser optimum* pada sistem komunikasi CDMA mempunyai tingkat kompleksitas yang sangat tinggi dan tidak mungkin secara praktis diimplementasikan untuk suatu jumlah pengguna dengan alasan tertentu.

Dengan alasan kompleksitas yang tinggi pada detektor *multiuser optimum*, para peneliti telah mengembangkan suatu *detektor suboptimum* yang secara garis besar dapat dibagi menjadi dua kategori utama, yaitu : *detektor linear* dan *non-linear*, sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 2.7

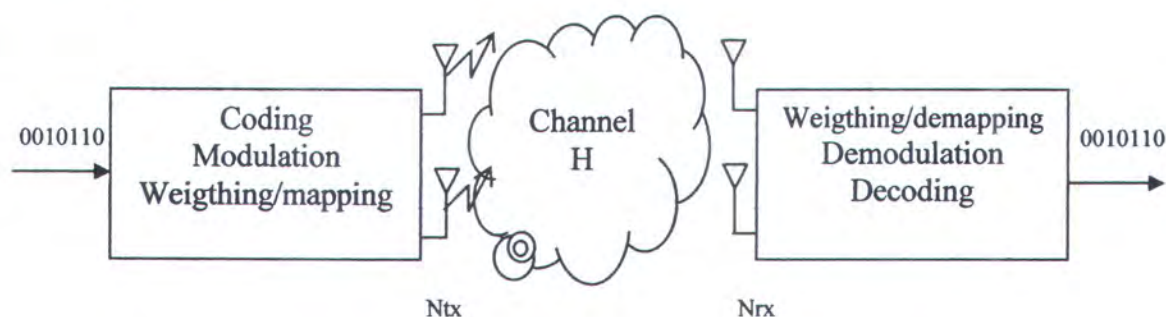


Gambar 2.7. Hirarki penerima multiuser CDMA [2]

2.4 SISTEM MULTIPLE INPUT MULTIPLE OUTPUT (MIMO)

Sistem MIMO adalah suatu teknik transmisi informasi dengan menggunakan banyak elemen antena pada sisi pemancar dan penerima sehingga didapatkan efisiensi spektrum yang tinggi. Sebagaimana pada gambar 2.8, sistem MIMO

memberikan kenaikan kapasitas yang linear sesuai dengan jumlah dari elemen antenna. Ide dasar pada sistem MIMO adalah pemrosesan sinyal *space-time* di mana *time* (dimensi alamiah dari data komunikasi digital) dilengkapi dengan dimensi *spatial* yang ada secara *inherent* pada penggunaan banyak antenna yang terdistribusi secara *spatial*.



Gambar 2.8 Diagram Sistem transmisi wireless MIMO [5]

Pada umumnya untuk memodelkan kanal MIMO asumsinya adalah kanal *flat Rayleigh fading quasi – static independent* pada seluruh komponen antenna. Ada banyak skema yang dapat diaplikasikan untuk sistem MIMO seperti *Space Time Block Code (STBC)*, *Space Time Trellis Code (STTC)* dan *Bell Labs Layered Space Time Architecture (BLAST)*.

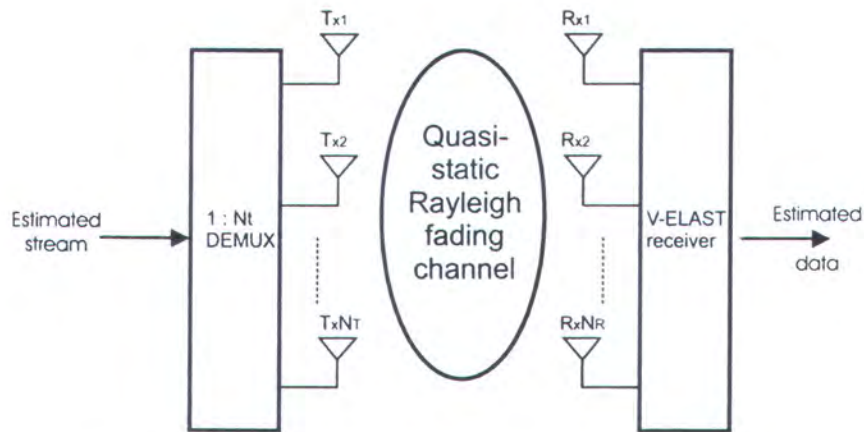
STTC merupakan salah satu teknik pengkodean ruang-waktu (*space-time coding* atau *STC*) yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas sinyal setinggi mungkin dengan memanfaatkan teknik *diversity* pada pemancar dan penerima. Pada sistem ini, pengkode ruang waktu membangkitkan N kode simbol yang dipancarkan secara simultan dari N antenna pemancar. Pada kondisi kanal *Rayleigh fading*, kemungkinan batas kesalahan (*probability of error bound*) adalah sama dengan kemungkinan batas kesalahan pada modulasi dengan kode Trellis pada kanal fading.

Dengan teknik ini *gain* pengkodean dan *gain diversity* didapat melalui pengkodean ruang-waktu Trellis yang bergantung kepada jumlah *state*-nya, misalkan 8-PSK 8-state dengan dua buah antena pemancar.

Pada sistem STTC pengkodeannya meningkat secara eksponensial sebagai fungsi dari tingkat diversity dan laju transmisi. Persoalan kompleksitas ini yang mendorong Alamouti [18] kemudian menemukan sebuah teknik pengkodean baru yang disebut dengan pengkodean blok ruang-waktu atau STBC. Pada sistem STBC ini, aliran data yang sama dipancarkan melalui kedua antena. Namun sebelum dipancarkan aliran data yang menuju ke setiap antena mendapat perlakuan yang berbeda. Untuk setiap dua simbol data, dikirimkan dalam dua periode simbol, pada antena kedua urutan simbolnya dibalik, dinegatifkan dan dikonjugasikan. Tujuannya adalah untuk memudahkan pemisahan kedua simbol pada penerima. Sistem STBC dengan dua antena pada pemancar dan satu penerima mampu menunjukkan kinerja yang sama dengan teknik diversitas konvensional dengan dua antena penerima.

BLAST dikenal sebagai arsitektur sistem MIMO dengan laju yang tinggi. BLAST adalah arsitektur komunikasi *point to point* untuk pencapaian efisiensi spektral yang tinggi. Terdapat arsitektur *diagonally – BLAST* (D-BLAST) yang diusulkan oleh Foschini dan *vertical – BLAST* (V-BLAST) [11]. Perbedaan esensial antara D-BLAST dan V-BLAST adalah terletak pada proses pengkodean transmisinya. Pada D-BLAST *redundancy temporal* digunakan di antara *substream* melalui *dipersi* blok kode sepanjang diagonal *space-time*. Sedangkan V-BLAST proses pengkodeannya sederhana operasi *multiplexing*. Penerima V-BLAST lebih

sederhana dibandingkan D-BLAST. Blok diagram dari sistem V-BLAST digambarkan pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9. Blok diagram sistem V-BLAST untuk CDMA

Pada pemancar, aliran data tunggal di demultiplek ke N_t *substream*, dan masing-masing substream kemudian dikodekan secara independent ke dalam simbol dan diumpankan ke pemancar. Pemancar 1: N_t adalah pemancar BPSK dan beroperasi co-channel pada laju simbol sebesar $1/T_s$ yang waktu simbolnya disinkronkan.

Kanal *wireless* diasumsikan *quasi static*, *flat fading* dan *rich scattering*. Koefesien fading kompleks di antara masing-masing pasangan antenna diasumsikan independent dan diestimasi oleh penerima melalui deret training pendek sebelumnya untuk prosedur deteksi. Setelah melalui matched filter dan sampling maka sinyal terima pada antenna penerima NR adalah :

$$\mathbf{r} = [r_1, r_2, \dots, r_{N_t}]^T \quad (2.13)$$

Simbol vektor transmisi dari antenna pemancar N_t dapat dinyatakan ke dalam bentuk vektor :

$$\mathbf{B} = [b_1, b_2, \dots, b_{N_t}]^T \quad (2.14)$$

sehingga sinyal terimanya dapat digambarkan sebagai kombinasi linear dari sinyal pancar \mathbf{b} :

$$\mathbf{r} = \mathbf{C}\mathbf{b} + \mathbf{n} \quad (2.15)$$

di mana \mathbf{C} adalah matrik kanal kompleks $N_t - N_r$ dan \mathbf{n} adalah AWGN.

2.5 KANAL FADING[13]

Propagasi gelombang radio dari pemancar ke penerima pada sistem komunikasi tanpa kabel (*wireless*) dipengaruhi oleh kondisi alam dan lingkungan sistem. Keadaan ini mempengaruhi karakteristik sinyal yang diterima dan dapat menimbulkan terjadinya beberapa lintasan dari sinyal yang telah dipancarkan dengan waktu yang berbeda, yang dinamakan dengan *multipath*. Di bagian penerima, gelombang *multipath* dengan variasi amplitudo dan fase akan memberikan resultan sinyal yang berubah-ubah dalam ruang dan waktu. Perubahan dari sinyal yang diterima ini sering disebut dengan *fading*.

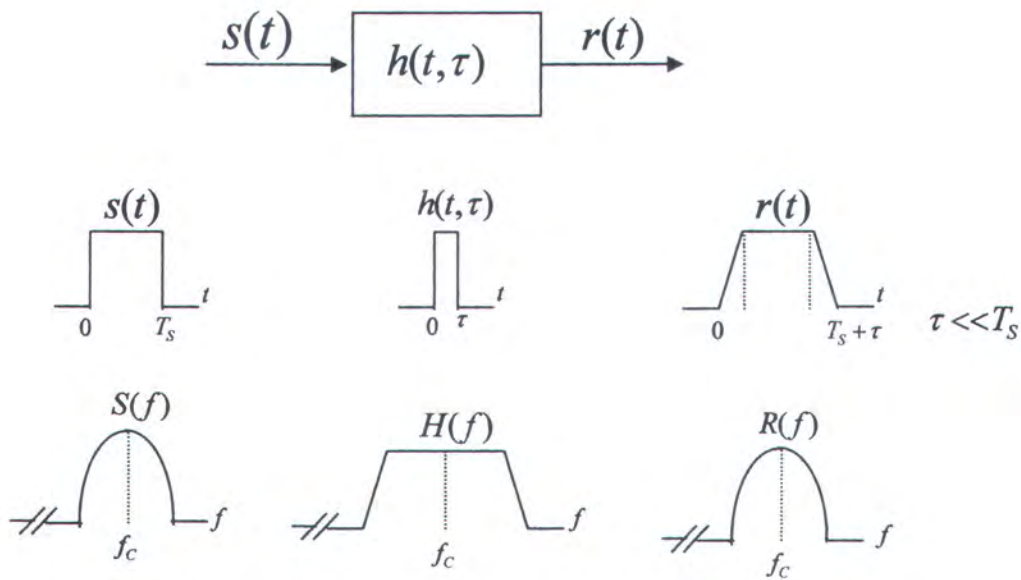
Fading yang dimaksud di sini adalah *fading* skala kecil. *Fading* skala kecil digunakan untuk menjelaskan perubahan fluktuasi amplitudo sinyal radio pada periode waktu dan jarak yang pendek. *Fading* disebabkan oleh interferensi antara dua atau lebih variasi sinyal yang ditransmisikan yang datang di penerima dengan perbedaan waktu yang kecil, yang biasanya disebut dengan gelombang *multipath* (lintasan jamak). Umumnya *fading* skala kecil dipengaruhi oleh adanya lintasan jamak

Tipe Fading skala kecil dapat dibedakan berdasarkan parameter kanal seperti penyebaran waktu tunda (*time delay spread*) dan *doppler spread* serta parameter sinyal seperti lebarpita (*bandwidth*) dan periode simbol. Ada 2 (dua) macam *fading* yang ditimbulkan yaitu, fading rata (*flat fading*) dan fading frekuensi selektif (*frequency selective fading*).

2.5.1 FADING RATA (*FLAT FADING*)[13]

Fading rata terjadi jika kanal mempunyai penguatan yang konstan dan tanggapan fase linier dengan lebar pita frekuensi yang lebih lebar dibandingkan dengan lebar pita frekuensi sinyal transmisi. Pada peristiwa ini, kuat sinyal terima berubah terhadap waktu yang disebabkan oleh fluktuasi kanal dari kanal lintasan jamak, dan karakteristik kanal fading rata dapat dilihat pada gambar 2.8. Dari gambar terlihat bahwa sinyal yang dikirim $S(t)$, jika dilewatkan pada penguatan kanal yang berubah terhadap waktu $h(\tau, t)$, maka perubahan amplitudo muncul pada sinyal terima $r(t)$, sehingga sinyal terima mengalami variasi penguatan terhadap fungsi waktu, tetapi spektrum sinyal transmisi masih dipertahankan. Pada kanal fading rata seperti lebar pita frekuensi (*bandwidth*) sinyal transmisi jauh lebih besar dibanding dengan waktu penyebaran lintasan jamak dari kanal.

Fading rata dikenal juga sebagai *amplitude varying channels* dan kadang-kadang fading rata dirujuk pada kanal pita sempit (*narrowband*). Fading yang ditimbulkan pada tipe ini bekisar antara 20 – 30 dB atau lebih jika dibandingkan terhadap kanal non-fading.



Gambar 2.10 Ilustrasi Kanal Fading Rata[13]

Distribusi amplitudo pada umumnya mengikuti distribusi Rayleigh, yang berarti bahwa model kanal fading rata dapat diasumsikan sebagai pengaruh terhadap amplitudo sinyal dengan distribusi Rayleigh. Dari uraian diatas dapat disimpulkan bahwa sinyal yang melalui kanal fading rata mempunyai kriteria seperti yang tertuang pada persamaan (2.16) dan (2.17).

$$B_s \ll B_c \quad (2.16)$$

dan,
$$T_s \gg \sigma_\tau \quad (2.17)$$

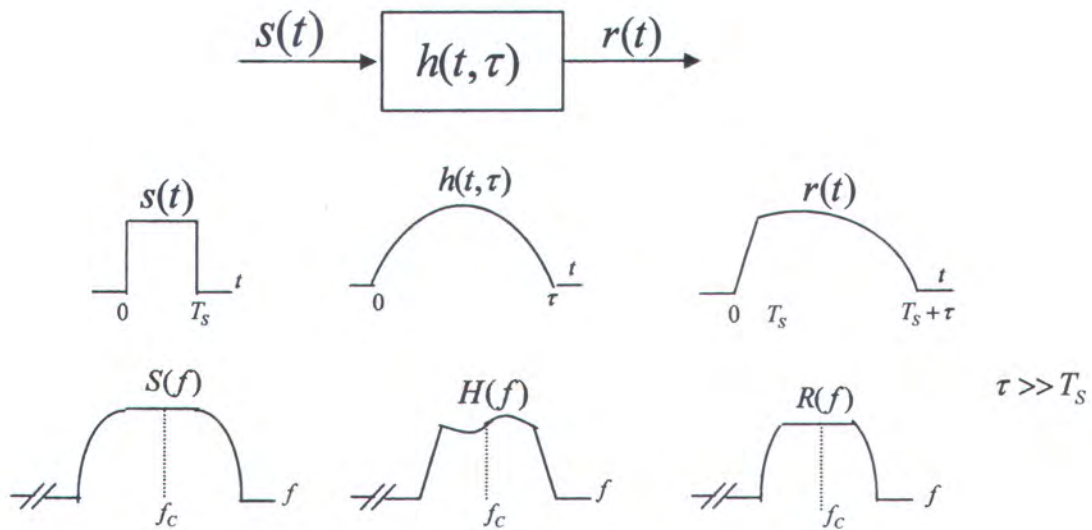
dengan, T_s adalah periode simbol, B_s adalah lebar pita frekuensi sinyal, B_c adalah *coherence bandwidth* frekuensi kanal dan σ_τ adalah *rms delay spread*.

2.5.2 FREQUENCY SELECTIVE FADING[13]

Jika kanal mempunyai penguatan konstan dan tanggapan fase linier pada lebar pita frekuensi, dimana lebar pita frekuensi tersebut lebih kecil dari lebar pita frekuensi sinyal transmisi, maka kanal menimbulkan fading frekuensi selektif pada

sinyal terima. Dengan kondisi tersebut maka tanggapan impuls kanal mempunyai penyebaran delay lintasan jamak (*multipath delay spread*) yang lebarnya lebih besar dari pada seper-lebar pita frekuensi dari informasi yang dikirim, hal ini menyebabkan terjadinya distorsi pada sinyal terima. Fading frekuensi selektif disebabkan karena adanya penyebaran waktu (*time dispersion*) pada simbol yang dikirim melalui kanal, sehingga dapat menyebabkan terjadinya ISI.

Teknik pengukuran yang digunakan untuk Fading frekuensi selektif adalah teknik pengukuran pita lebar (*wideband measurement*). Untuk Fading frekuensi selektif, spectrum sinyal transmisi $S(f)$ mempunyai lebar pita frekuensi yang lebih lebar dari pada lebar *coherence bandwidth* B_c kanal. Kanal menjadi *frequency selective*, jika komponen frekuensi berbeda maka penguatan juga berbeda. Fading frekuensi selektif disebabkan oleh delay lintasan jamak yang melebihi periode simbol dari simbol yang dikirim. Fading frekuensi selektif juga dikenal dengan kanal pita lebar (*wideband channel*).



Gambar 2.11 Ilustrasi Kanal Fading Frekuensi Selektif[13]

Lebar pita frekuensi sinyal $s(t)$ lebih lebar dari lebar pita frekuensi tanggapan impuls kanal $h(t, \tau)$, maka tampak bahwa sinyal terima $r(t)$ mengalami distorsi sebagaimana terlihat pada gambar 2.9. Untuk lebih jelasnya sinyal mengalami fading frekuensi selektif jika memenuhi persamaan (2.18) dan (2.19).

$$B_s > B_c \quad (2.18)$$

dan $T_s < \sigma_\tau \quad (2.19)$

Aturan umum menyatakan bahwa kanal frekuensi selektif jika $\sigma_\tau > 0.1 T_s$.

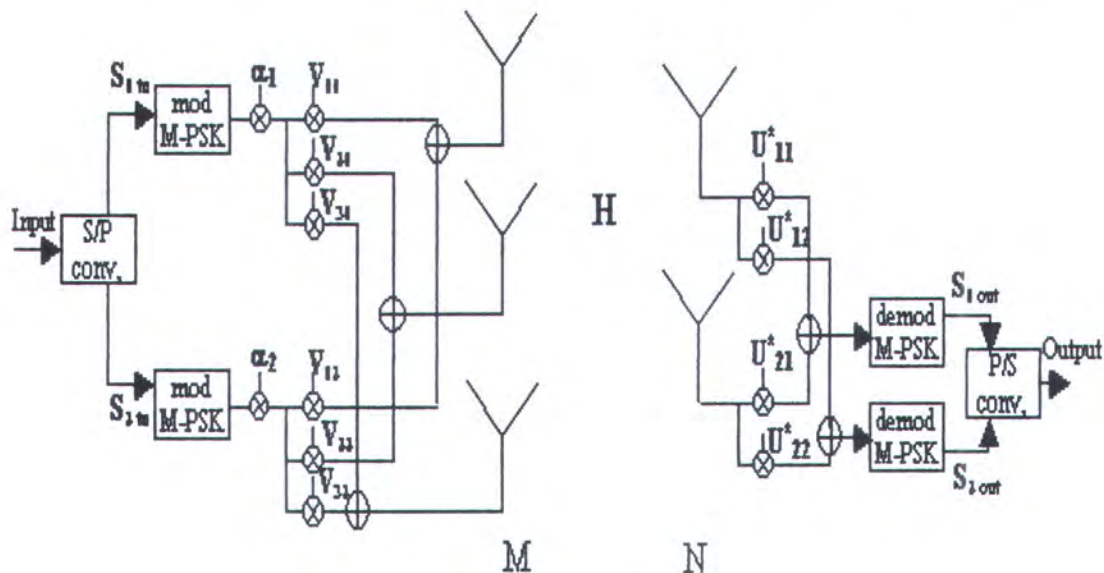
BAB III

MODEL SISTEM DAN METODE SIMULASI

Pada bab ini akan diuraikan model dan metode simulasi dari sistem komunikasi MIMO-CDMA pada kanal frekuensi selektif dengan jumlah antena pemancar dan penerima masing-masing dua dan empat antena dengan modulasi BPSK pada kondisi downlink. Diagram alir pemrograman disajikan pada akhir bab ini.

3.1 MODEL SISTEM

Konfigurasi antena sistem MIMO-CDMA seperti yang ditunjukkan gambar 3.1, dimana M_t adalah banyaknya antena pemancar yang berada pada *base station* (BS) dan M_r adalah jumlah antena penerima yang terletak di *mobile station* (MS).



Gambar 3.1. Sistem konfigurasi dari antena MIMO-CDMA[12]



Di *base station* sinyal ditransmisikan oleh antenna ke- m untuk k pengguna yang berlaku sebagai filter pemancar yang diinisialisasikan dengan $V_m^{(k)}$. Pada MS sinyal diterima oleh antenna ke- m di k pengguna yang berlaku sebagai filter penerima diinisialisasikan dengan $U_m^{(k)}$. Struktur detail dari filter pemancar dan penerima sebagaimana diperlihatkan pada gambar 3.2.

Modulasi yang digunakan adalah BPSK, persamaan sinyal *baseband* pemancar untuk k pengguna adalah:

$$c_k = \sqrt{P_k} b_k(t) a_k(t) \quad (3.1)$$

di mana :

P_k = daya kirim sinyal

$b_k(t)$ = sinyal data biner untuk k pengguna dari *independent identically distributed (iid)* bit data dengan durasi T_i dengan harga ± 1

$a_k(t)$ = sinyal *sequence* PN untuk k pengguna dengan \pm chips dari durasi T_c .

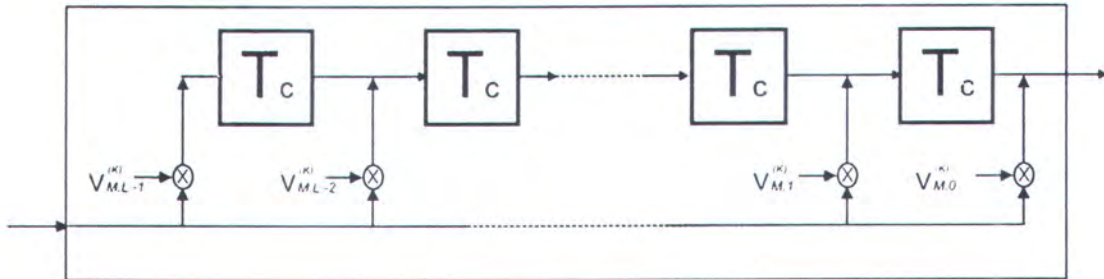
Persamaan kanal respon impulse dapat ditulis sebagai berikut :

$$h_{n,m}^{(k)}(t) = \sum_{i=0}^{\Delta} h_{n,m,l}^{(k)} \delta(t - lT_c) \quad (3.2)$$

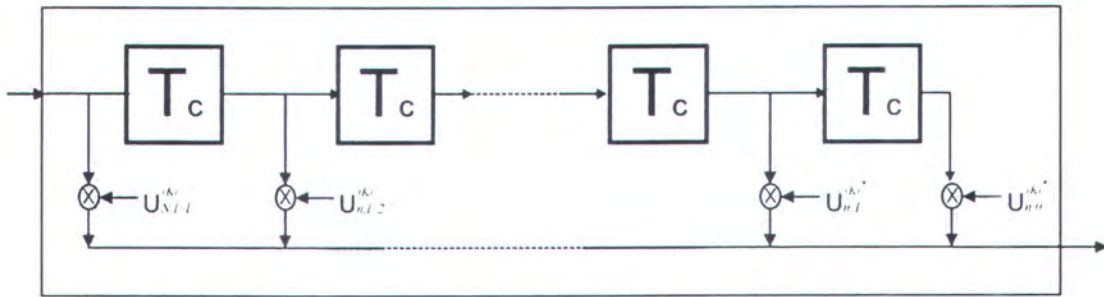
di mana indeks m dan n menunjukkan kanal antara penerima ke- n pada MS dan antenna ke- m di BS, dan indeks k menunjukkan pengguna. $h_{n,m,l}^{(k)}$ adalah penguatan kompleks diwaktu yang singkat lT_c . Nilai L dari $\{h_{n,m,l}^{(k)}\}$ adalah rata-rata nol dengan

variable Gaussian acak dengan $E[h_{n,m,l}^{(k)}]^2 = \frac{1}{L}$ dan $\Delta-L$ himpunan menuju nol.

$\{h_{n,m,l}^{(k)}\}$ tidak berkorelasi dengan k, n, m dan l .



a. Filter pengirim



b. Filter penerima

Gambar 3.2. Struktur detail dari filter pemancar dan penerima[11]

3.2 ALGORITMA PEMROGRAMAN

Algoritma pemrograman simulasi sistem komunikasi MIMO-CDMA adalah sebagai berikut:

1) Inisialisasi konstanta:

Jumlah antena pemancar $M_t = 2$

Jumlah antena penerima $M_r = 4$

Panjang filter pada pemancar (V) $L_t = 1$

Panjang filter pada penerima (U) $L_r = 2$

Jumlah pengguna = K user

Jumlah chip kode Hadamard = $G_p = 8$

Jumlah bit yang dikirimkan : M bit (data biner yang berdistribusi $i.i.d = b_k(t)$)

Daya sinyal kirim = P_k

Roll-off factor $\beta = 0.35$

Tap delay time $T_c = 25$ ns

Panjang multipath kanal $L = 3$ (0,1,2)

2) Inisialisasi parameter:

Tap Delay dinyatakan dalam bentuk matrik : [0 5 10 15 20 40] nS

Daya setiap tap dinyatakan : [0 -1 -22 -23 -16 -23] dB

Pembangkitan bilangan random berdistribusi normal.

3) Konversi daya dari setiap tap menjadi besaran linier:

$$P_{\text{linier}} = [10^{(P_{\text{dB}}/10)}]$$

4) Menormalisasi daya dari setiap tap yang diperoleh dari hasil pengukuran dari penelitian sebelumnya.

$$P_{\text{norm}} = P_{\text{linier}}/P_{\text{totLinier}}$$

5) Menentukan matriks kanal random (KR) dengan cara membangkitkan bilangan random normal kompleks disesuaikan dengan jumlah antena pemancar dan penerima sehingga membentuk KR yang berupa bilangan matriks dengan dimensi (6x8).

{Pemancar} {Penerima}

[y₁]

[x₁] [y₂]

[x₂] [y₃]

[y₄]

6) Menentukan matriks respon impulse.

$$\text{Respon Impulse} = \left\{ \sqrt{\frac{P_{norm}}{2}} \right\} \times KR$$

7) Menghitung kanal filter *Raised Cosine*:

$$h_{RC} = \sin c(\pi t / T_c) \frac{\cos(\pi \beta t / T_c)}{1 - 4\beta^2 t^2 / T_c^2}$$

8) Dengan memasukkan rumus dari kanal *Raised Cosine* sehingga didapatkan matriks kanal baru yang dinormalisasi.

$$H^{(k)} = \begin{bmatrix} H_{1,1}^{(k)} & H_{1,2}^{(k)} & \dots & H_{1,Mt}^{(k)} \\ H_{2,1}^{(k)} & H_{2,2}^{(k)} & & \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ H_{Mr,1}^{(k)} & H_{Mr,2}^{(k)} & \dots & H_{Mr,Mt}^{(k)} \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

di mana $H_{n,m}^{(k)}$ adalah matriks kanal transfer dari antenna pemancar ke- m menuju antenna penerima ke- n dari user k yang dapat diberikan sebagai berikut:

$$H_{n,m}^{(k)} = \begin{bmatrix} h_{n,m,0}^{(k)} & 0 & \dots & 0 \\ h_{n,m,1}^{(k)} & & & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \\ h_{n,m,L-1}^{(k)} & h_{n,m,L-2}^{(h)} & & \\ 0 & h_{n,m,L-1}^{(k)} & \ddots & \\ 0 & 0 & & \\ 0 & \dots & & \vdots \\ 0 & \dots & & h_{n,m,L-1}^{(k)} \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

dan $h_{n,m,l}^{(k)}$ adalah *random complex gain* pada saat tertentu lT_c dan diasumsikan bahwa $\{h_{n,m,l}^{(k)}\}$ *uncorrelated* untuk semua k, n, m dan l .

- 9) Menentukan filter pada antenna pemancar yaitu $\tilde{V}^{(k)}$ dan filter pada antenna penerima yaitu $\tilde{U}^{(k)}$ kemudian mencari filter yang baru untuk pengguna yang lain yaitu $\tilde{V}^{(k')}$ dan $\tilde{U}^{(k')}$.

$$U^{(k)} = \left[U_1^{(k)T} U_2^{(k)T} \dots U_{Mr}^{(k)T} \right]^T \quad (3.5)$$

dengan $U^{(k)H} U^{(k)} = 1$

$$V^{(k)} = \left[V_1^{(k)T} V_2^{(k)T} \dots V_{Mt}^{(k)T} \right]^T \quad (3.6)$$

dengan $V^{(k)H} V^{(k)} = 1$, demikian juga matriks korelasi silang antara user k' dan user k dapat ditulis sebagaimana berikut:

$$P^{(k',k)} = \begin{bmatrix} P_{1,1}^{(k',k)} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & P_{2,2}^{(k',k)} & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & \dots & 0 & P_{Mr,Mt}^{(k',k)} \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

di mana matriks $P_{n,n}^{(k',k)}$ diperoleh dari:

$$P_{n,n}^{(k',k)} = \begin{bmatrix} \rho^{(k',k)}(0) & \rho^{(k',k)}(1) & \dots & \rho^{(k',k)}(L+L_t-2) \\ \rho^{(k',k)}(-1) & & & \rho^{(k',k)}(L+L_t-3) \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ \rho^{(k',k)}(-L_r+1) & \rho^{(k',k)}(-L_r+2) & \dots & \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

$$\text{dan} \quad \rho^{(k',k)}(l) = \sqrt{P_k} \int_0^T b_k(t-lT_c) a_k(t-lT_c) a_{k'}(t) dt \quad (3.9)$$

$$\tilde{U}^{(k)} = \begin{bmatrix} \text{Re}\{U^{(k)}\} \\ \text{Im}\{U^{(k)}\} \end{bmatrix} \quad (3.10)$$

$$\tilde{V}^{(k)} = \begin{bmatrix} \text{Re}\{V^{(k)}\} \\ \text{Im}\{V^{(k)}\} \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

$$\tilde{H}^{(k)} = \begin{bmatrix} \text{Re}\{H^{(k)}\} & -\text{Im}\{H^{(k)}\} \\ \text{Im}\{H^{(k)}\} & \text{Re}\{H^{(k)}\} \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

dan
$$\tilde{P}^{(k',k)} = \begin{bmatrix} P^{(k',k)} & 0 \\ 0 & P^{(k',k)} \end{bmatrix} \quad (3.13)$$

$$\tilde{U}^{(k')} = \mu_1 (Q^{(k')})^{-1} \tilde{P}_1 \tilde{H}^{(k')} \tilde{V}^{(k')} \quad (3.14)$$

$$\tilde{V}^{(k')} = \mu_2 (B^{(k')})^{-1} \tilde{H}^{(k')T} \tilde{P}_1^T \tilde{U}^{(k')} \quad (3.15)$$

$$Q^{(k')} = \frac{1}{T^2 P_{k'}} E \left\{ \left(\tilde{P}^{(k',k')} - T \sqrt{P_{k'}} b_0^{(k')} \tilde{P}_1 \right) \tilde{H}^{(k')} \tilde{V}^{(k')} \times \tilde{V}^{(k')T} \tilde{H}^{(k')T} \left(\tilde{P}^{(k',k')} - T \sqrt{P_{k'}} b_0^{(k')} \tilde{P}_1 \right)^T \right\} \\ + \frac{1}{T^2 P_{k'}} \times \sum_{k=1, k \neq k'}^K E \left\{ \tilde{P}^{(k',k)} \tilde{H}^{(k')} \tilde{V}^{(k)} \tilde{V}^{(k)T} \tilde{H}^{(k)T} \tilde{P}^{(k',k)T} \right\} + \frac{N_o}{2P_{k'} T} I \quad (3.16)$$

$$B^{(k')} = \frac{1}{T^2 P_{k'}} E \left\{ \tilde{H}^{(k')T} \left(\tilde{P}^{(k',k')} - T \sqrt{P_{k'}} b_0^{(k')} \tilde{P}_1 \right)^T \tilde{U}^{(k')} \times \tilde{U}^{(k')T} \left(\tilde{P}^{(k',k')} - T \sqrt{P_{k'}} b_0^{(k')} \tilde{P}_1 \right) \tilde{H}^{(k')} \right\} \\ + \zeta^{(k')} I \quad (3.17)$$

10) Menghitung SINR dari masing-masing filter dan divalidasi kesamaannya.

$$SINR^{(k')} = \frac{\tilde{V}^{(k')T} \tilde{H}^{(k')T} \tilde{P}_1^T \tilde{U}^{(k')} \tilde{U}^{(k')T} \tilde{P}_1 \tilde{H}^{(k')} \tilde{V}^{(k')}}{\tilde{V}^{(k')T} B^{(k')} \tilde{V}^{(k')}} \quad (3.18)$$

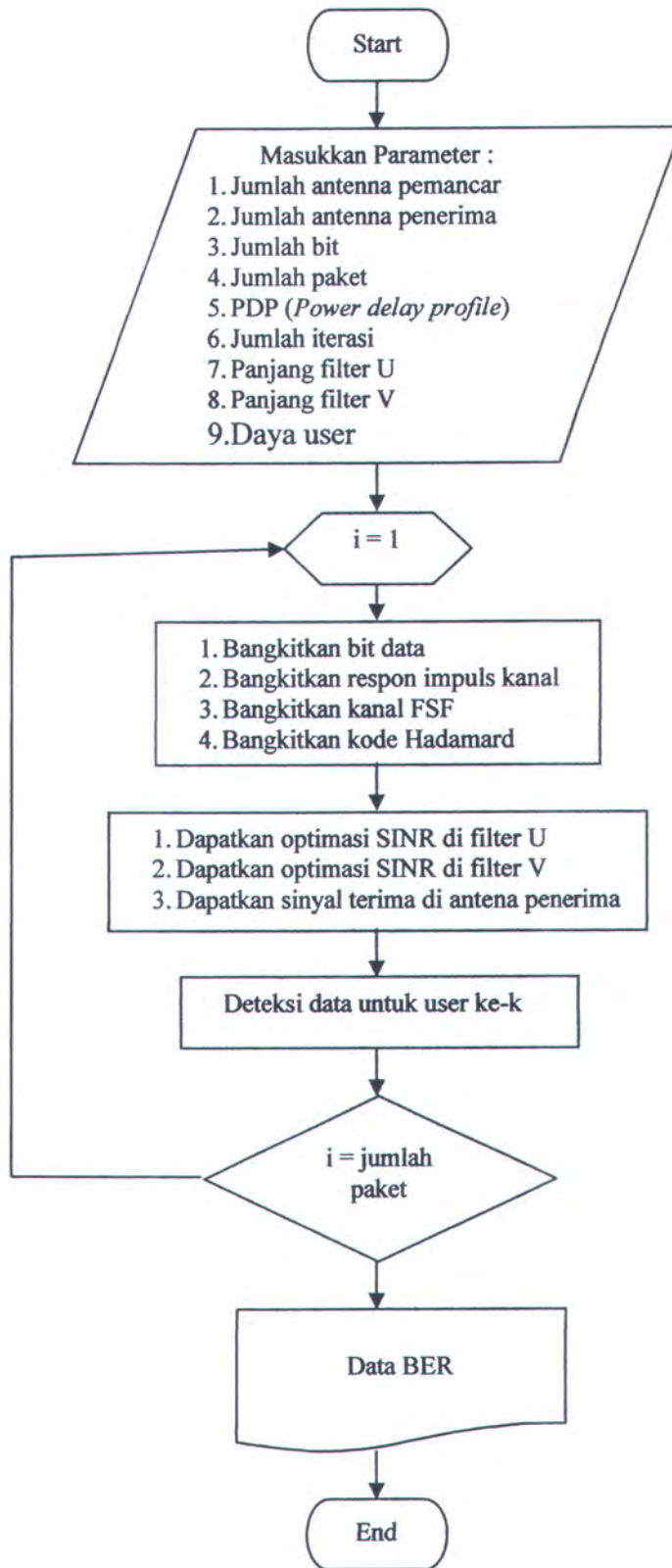
$$SINR^{(k')} = \frac{\tilde{U}^{(k')T} \tilde{P}_1 \tilde{H}^{(k')} \tilde{V}^{(k')} \tilde{V}^{(k')T} \tilde{H}^{(k')T} \tilde{P}_1^T \tilde{U}^{(k')}}{\tilde{U}^{(k')T} Q^{(k')} \tilde{U}^{(k')}} \quad (3.19)$$

$\text{SINR}^{(k')}$ pada $\tilde{V}^{(k')}$ = $\text{SINR}^{(k')}$ pada $\tilde{U}^{(k')}$.

- 11) Menghitung BER dari bit-bit yang dikirim dengan cara membandingkan bit-bit data masukan dengan bit-bit data keluaran. Bit-bit yang tidak sama itulah yang merupakan *bit error*.

3.3 DIAGRAM ALIR PEMROGRAMAN

Pembuatan simulasi bertujuan untuk mendapatkan harga BER sehingga dapat dilakukan analisa terhadap unjuk kerja sistem. Metode simulasi yang dijelaskan pada bab ini jika dinyatakan dalam bentuk diagram alir adalah sebagai berikut:



Gambar 3.3. Diagram alir pemrograman

BAB IV

HASIL SIMULASI DAN ANALISIS DATA

Pada bab ini akan disajikan hasil simulasi dalam bentuk tabel dan grafik. Analisis dilakukan atas hasil simulasi sistem komunikasi MIMO CDMA pada kanal frekuensi selektif dengan modulasi BPSK. Pada sistem ini jumlah antenna pemancar yang berada di *basestation* adalah 2 antenna $M_t = 2$ dan jumlah antenna penerima yang berada pada *mobile station* adalah empat antenna $M_r = 4$, dengan arah *downlink*. Masing-masing aliran data untuk suatu pengguna di *spread* oleh kode Hadamard dengan panjang kode 8 chips dan dipancarkan melalui antenna pemancar M_t .

Informasi dikirim dalam bentuk paket dengan panjang paket adalah $K \times M$ dimana K adalah jumlah pengguna dan M adalah banyaknya bit dalam satu frame. Unjuk kerja sistem MIMO CDMA ini dievaluasi berdasarkan banyaknya bit yang salah dari jumlah bit yang dikirimkan. Parameter ini dinyatakan sebagai *bit error rate* (BER) sebagai fungsi *signal to interference plus noise ratio* (SINR). Karena sistem menggunakan modulasi BPSK maka sinyal yang dikirim merupakan salah satu dari dua simbol yang mungkin.

4.1 KONVERSI DAYA (P_dB) DALAM LINIER

Dalam penelitian ini ditetapkan pada kanal frekuensi selektif sehingga melibatkan faktor *power delay profile* (PDP) yang diambil dari hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya[7]. Data yang diperoleh dalam satuan dB sehingga perlu dikonversi dalam bentuk linier: [0 -1 -22 -23 -16 -23]dB

Tabel 4.1 Konversi PDP(dB) menjadi bentuk linier

TapDelay (nS)	0	5	10	15	20	40
PDP(dB)	0	-1	-22	-23	-16	-23
PDP(nWatt)	1.000	0.794	0.006	0.005	0.025	0.005

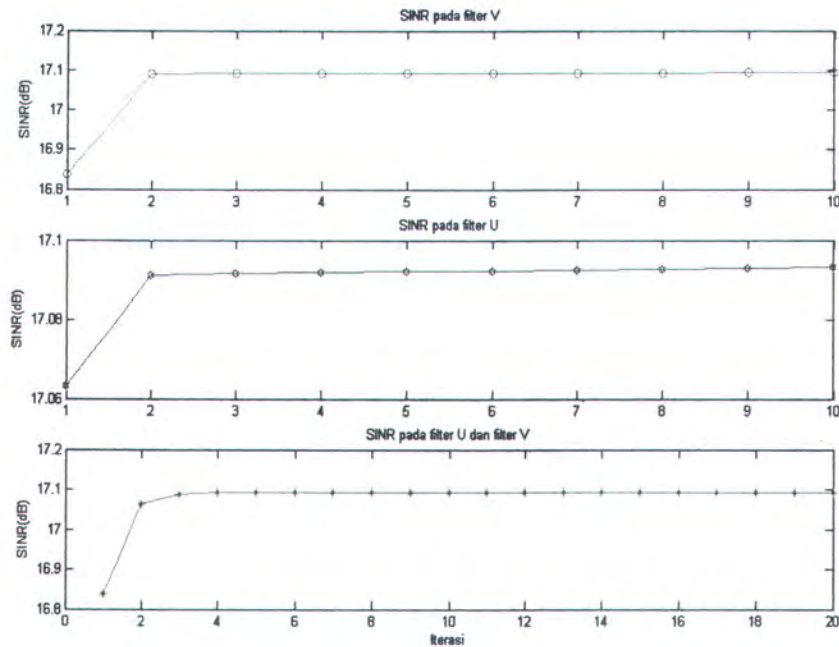
4.2 UNJUK KERJA SISTEM

Unjuk kerja sistem ini dinyatakan dalam dinyatakan dengan parameter *BER* sebagai fungsi SINR. Data *BER* ini diperoleh dari simulasi dengan metode *Monte Carlo*. Untuk mendapatkan grafik dengan validitas yang cukup tinggi, maka data *BER* yang ditampilkan merupakan nilai rata-rata dari 10 kali percobaan (*running program*), dengan jumlah bit yang dikirimkan sama untuk setiap jumlah *user* yang sama dan jumlah bit berbeda untuk jumlah *user* yang berbeda. Pada sub bab ini akan dianalisa pengaruh banyaknya jumlah *bit yang* dikirim di dalam sistem pada jumlah *user* yang sama dengan kanal frekuensi selektif.

4.2.1 UNJUK KERJA SISTEM *SINGLE USER*

Pada sub bab ini akan ditampilkan unjuk kerja sistem single user pada kanal frekuensi selektif. Gambar 4.1 menunjukkan grafik harga SINR untuk sistem *single user* pada kanal frekuensi selektif. Jumlah bit yang dikirimkan tidak memberikan pengaruh yang signifikan. Sejumlah bit yang dikirimkan kemudian masuk dalam filter pemancar dan filter penerima kemudian dengan melalui perhitungan sesuai dengan rumus yang telah diberikan [12] dan sesuai dengan hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai SINR sama pada filter pemancar dan filter penerima. Untuk mendapatkan hasil perhitungan maupun grafik dengan validitas yang cukup tinggi, maka data SINR yang ditampilkan merupakan nilai rata-rata dari 10 kali

percobaan (*running program*), dengan jumlah bit yang dikirimkan sama untuk setiap jumlah *user* yang sama.



Gambar 4.1 Grafik SINR pada filter pemancar dan penerima *single user*

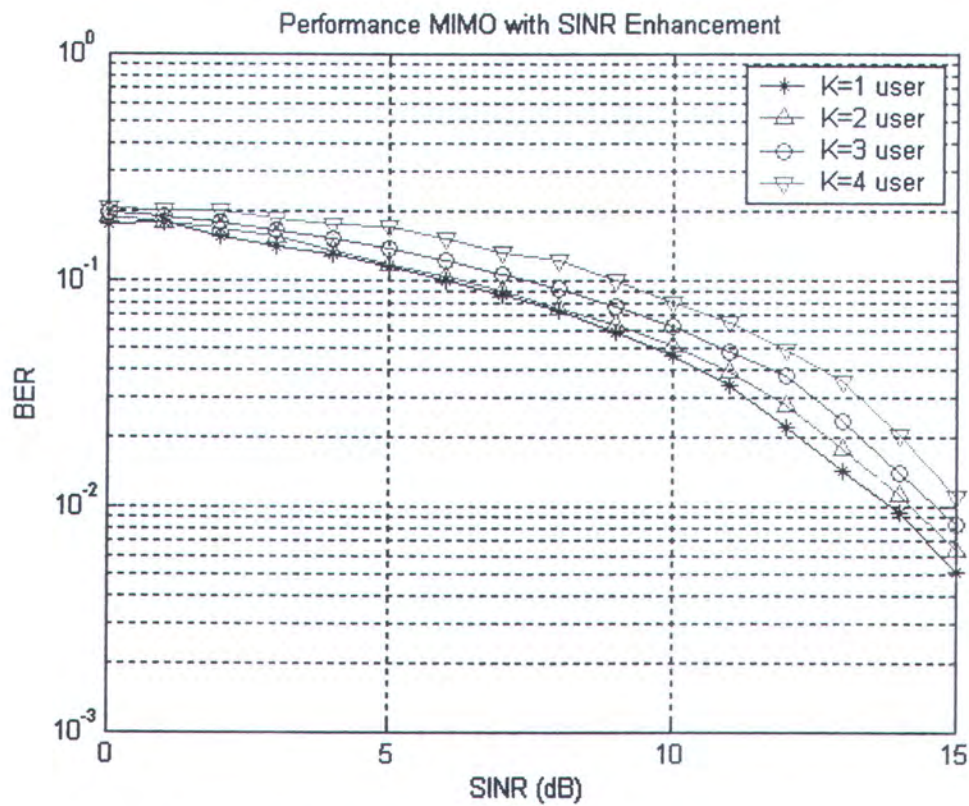
4.2.2 UNJUK KERJA SISTEM DENGAN *MULTIUSER*

Pada sub bab ini akan ditampilkan grafik dan tabel hasil simulasi dari sistem dengan lebih dari satu pengguna (*multiuser*) dengan pemakaian daya sinyal untuk masing-masing *user* bernilai sama dan berbeda.

4.2.2.1 SKENARIO 1

Pada skenario pertama, jumlah pengguna sebanyak 1, 2, 3 dan 4 *user* dengan jumlah bit yang dikirimkan sebanyak 1000 bit dan keempat *user* masing-masing mempunyai daya sinyal yang sama. Kinerja BER pada kanal frekuensi selektif dapat ditunjukkan pada gambar 4.2. Dari grafik tersebut terlihat bahwa dengan meningkatnya SINR maka nilai BER semakin menurun. Nilai BER terkecil pada

single user, 2 user, 3 user dan 4 user masing-masing adalah 0.0051, 0.0063, 0.0082 dan 0.0100 pada SINR 15 dB. Perbandingan nilai BER dapat dilihat pada tabel 4.2.



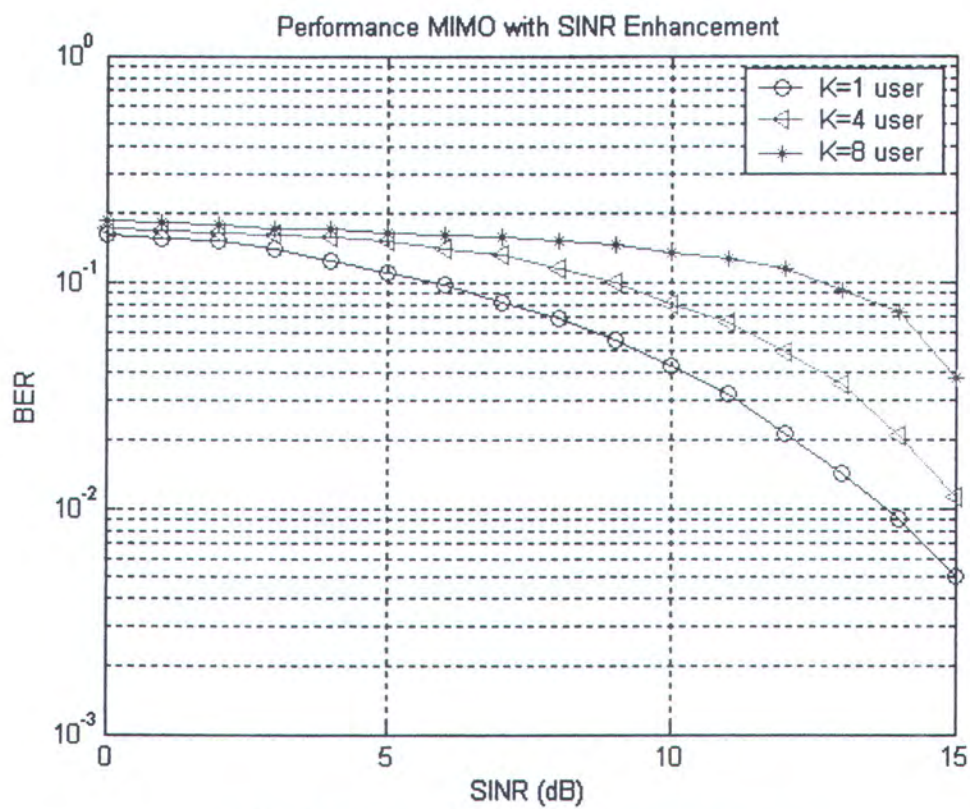
Gambar 4.2 Grafik kinerja sistem dari K=1,K=2,K=3 dan K=4

Tabel 4.2 Perbandingan nilai BER dari 1,2,3 dan 4 user

SINR(dB)	BER			
	$K = 1$	$K = 2$	$K = 3$	$K = 4$
0	0.1750	0.1905	0.1957	0.2042
1	0.17635	0.17735	0.19039	0.20135
2	0.1542	0.16836	0.17701	0.19959
3	0.1409	0.15325	0.1629	0.18628
4	0.12808	0.13522	0.15173	0.17393
5	0.11347	0.11715	0.13591	0.16993
6	0.09981	0.1032	0.12029	0.1525
7	0.08515	0.08958	0.10553	0.1322
8	0.0725	0.7526	0.09145	0.1220
9	0.05821	0.06327	0.07654	0.0997
10	0.0457	0.05081	0.0617	0.0786
11	0.03366	0.03894	0.04824	0.06512
12	0.02205	0.02772	0.03782	0.04847
13	0.0141	0.01786	0.02346	0.0352
14	0.0093	0.0112	0.01385	0.0203
15	0.0051	0.0063	0.0082	0.0100

4.2.2.2 SKENARIO 2

Pada skenario kedua, jumlah pengguna sebanyak 1,4 dan 8 user dengan jumlah bit yang dikirimkan sebanyak 1000 bit dan kedelapan user masing-masing mempunyai daya sinyal yang sama. Kinerja BER pada kanal frekuensi selektif dapat ditunjukkan pada gambar 4.3. Dari grafik tersebut terlihat bahwa dengan meningkatnya SINR maka nilai BER semakin menurun. Nilai BER terkecil pada *single user*, 4 user dan 8 user masing-masing adalah 0.0050, 0.0112 dan 0.0374 pada SINR 15 dB. Perbandingan nilai BER dapat dilihat pada tabel 4.3.



Gambar 4.3 Grafik kinerja sistem dari 1, 4 dan 8 user

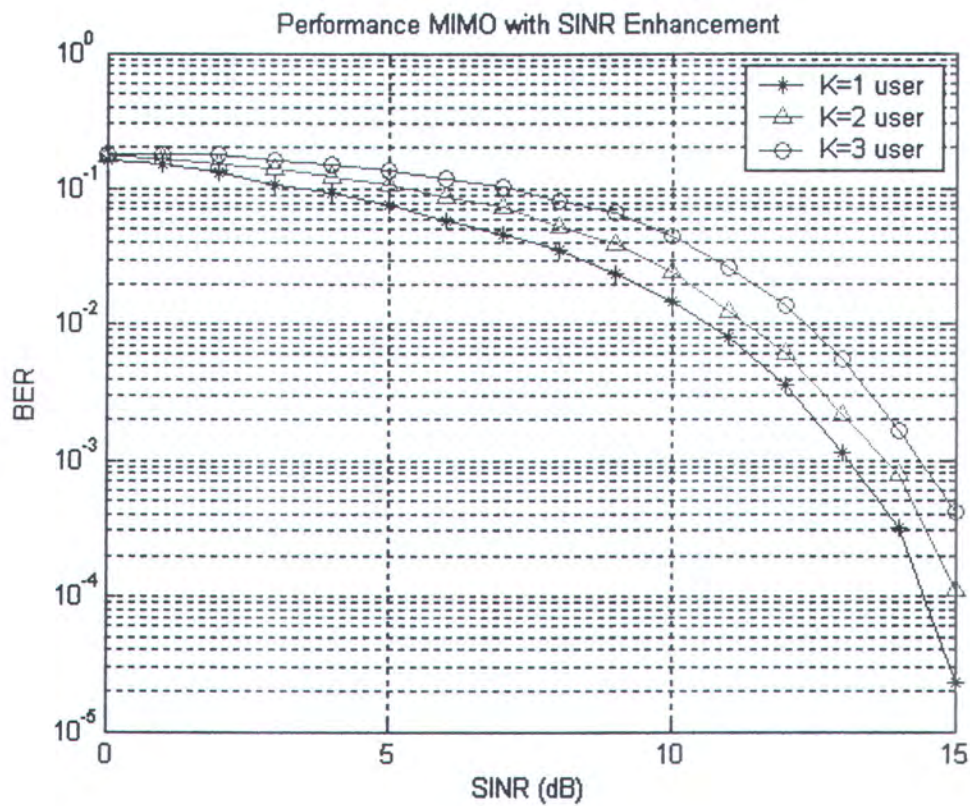
Tabel 4.3 Perbandingan nilai BER dari 1,4 dan 8 user

SINR (dB)	BER		
	K=1	K=4	K=8
0	0.1611	0.1722	0.1853
1	0.1548	0.1678	0.1809
2	0.1498	0.1624	0.1775
3	0.1382	0.1604	0.1709
4	0.1232	0.1567	0.1693
5	0.1093	0.1518	0.1656
6	0.0975	0.1406	0.1603
7	0.0816	0.1322	0.1584
8	0.0683	0.1150	0.1500
9	0.0554	0.0999	0.1459
10	0.0427	0.0791	0.1347
11	0.03215	0.0661	0.1256
12	0.02145	0.0490	0.1132
13	0.0141	0.0355	0.0922
14	0.0089	0.0208	0.0732
15	0.0050	0.0112	0.0374

4.2.2.3 SKENARIO 3

Pada skenario ketiga, jumlah pengguna sebanyak 1, 2 dan 3 user dengan jumlah bit yang dikirimkan sebanyak 100.000 bit dan ketiga user masing-masing mempunyai daya sinyal yang sama. Kinerja BER pada kanal frekuensi selektif dapat ditunjukkan pada gambar 4.4. Dari grafik terlihat bahwa dengan meningkatnya SINR, nilai BER semakin menurun.. Nilai BER terkecil pada *single user*, 2 user dan 3 user masing-masing adalah 0.000023, 0.00011, dan 0.00041 pada SINR 15 dB.

Untuk memperoleh BER dibawah 10^{-3} diperlukan SINR sebesar 14 dB pada *single user*, sedangkan untuk tiga user diperlukan SINR sebesar 15 dB. Perbandingan nilai BER dapat dilihat pada tabel 4.4.



Gambar 4.4 Grafik kinerja sistem dari 1,2 dan 3 user

Tabel 4.4 Perbandingan nilai BER dari 1,2 dan 3 user

SINR (dB)	BER		
	K=1	K=2	K=3
0	0.15998	0.17072	0.17918
1	0.15101	0.16435	0.17873
2	0.13134	0.14936	0.17401
3	0.10791	0.13925	0.1609
4	0.09406	0.12222	0.14973
5	0.07571	0.10534	0.13391
6	0.05792	0.08578	0.11929
7	0.04671	0.07366	0.10353
8	0.03510	0.05321	0.08105
9	0.02341	0.03834	0.06624
10	0.01470	0.02443	0.04417
11	0.00799	0.01245	0.02624
12	0.00351	0.00608	0.013782
13	0.00115	0.00214	0.00546
14	0.00031	0.00077	0.00165
15	0.000023	0.00011	0.00041

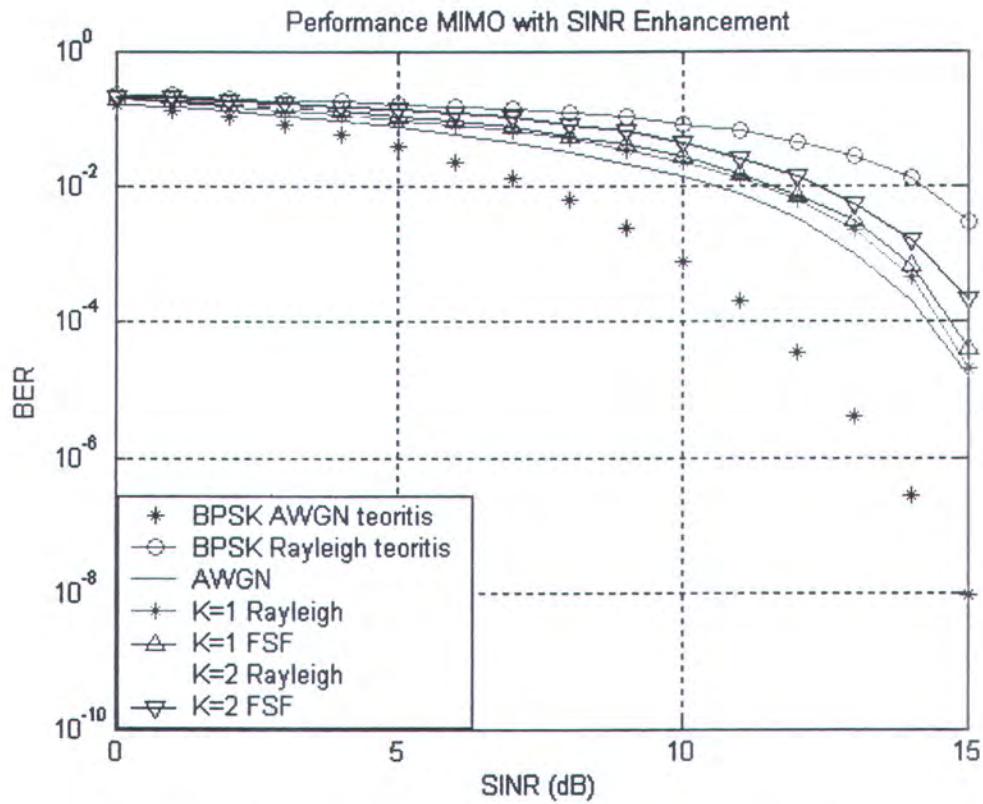


4.3 Perbandingan Unjuk Kerja Sistem Pada Kanal Yang Berbeda

4.3.1 Unjuk Kerja Sistem dengan daya yang sama

Gambar 4.5 merupakan grafik yang menunjukkan kinerja BER pada kanal AWGN, frekuensi selektif, dan kanal Rayleigh untuk dua *user* dengan jumlah bit yang dikirim sebanyak 100.000 bit dan kedua *user* mempunyai daya sinyal yang sama. Dari grafik tersebut terlihat bahwa untuk sistem dengan 2 *user* pada kanal frekuensi selektif nilai BER semakin meningkat seiring kenaikan SINR mengikuti pola dari unjuk kerja kanal AWGN. Hal ini terjadi pula pada kanal Rayleigh. Jika dibandingkan dari ketiga kanal, unjuk kerja dari kanal frekuensi selektif menunjukkan hasil yang paling buruk. Nilai rata-rata BER menunjukkan paling besar pada posisi SINR yang sama yaitu pada SINR 15 dB. Semakin besar nilai SINR nilai BER semakin menurun. Untuk kanal frekuensi selektif mempunyai BER terbaik dengan nilai BER 4.0×10^{-5} dan 2.1×10^{-4} masing-masing pada *single user* dan dua *user* dapat dicapai pada SINR 15 dB. Sedangkan untuk kanal Rayleigh mempunyai BER terbaik dengan nilai 2.0×10^{-5} dan 1.7×10^{-4} masing-masing pada *single user* dan dua *user* yang dapat dicapai pada SINR 15 dB.

Pada kanal Frekuensi Selektif untuk memperoleh BER dibawah 10^{-3} diperlukan SINR sebesar 14 dB pada *single user*, sedangkan untuk *multiuser* diperlukan SINR sebesar 15 dB. Hal ini dapat dilihat data dari tabel 4.5.



Gambar 4.5 Grafik kinerja BER dari K user dengan daya sama

Tabel 4.5 Perbandingan nilai BER dari K user dengan daya sama

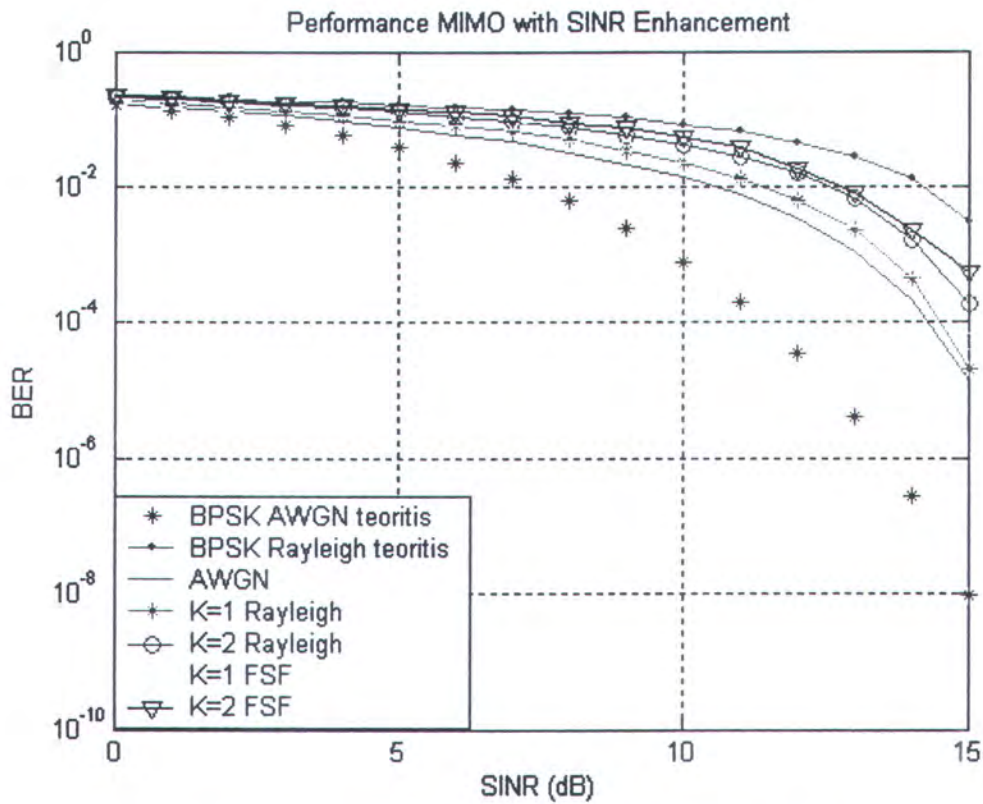
SINR(dB)	BER				
	AWGN	Rayleigh		FSF	
		K = 1	K = 2	K = 1	K = 2
0	0.15893	0.18893	0.21000	0.19052	0.21018
1	0.14754	0.16635	0.18872	0.17635	0.19939
2	0.12534	0.14421	0.16623	0.15636	0.17701
3	0.10655	0.13090	0.15124	0.14325	0.16290
4	0.09108	0.11108	0.14032	0.12522	0.15173
5	0.07406	0.09347	0.12321	0.10734	0.13591
6	0.05664	0.07981	0.11005	0.08978	0.12029
7	0.04340	0.06515	0.08432	0.07566	0.10553
8	0.03022	0.04958	0.07194	0.05521	0.08145
9	0.02113	0.03421	0.05231	0.04034	0.06654
10	0.01375	0.02213	0.3298	0.02643	0.04417
11	0.00781	0.01276	0.02136	0.01445	0.02624
12	0.00329	0.00622	0.01066	0.00728	0.01378
13	0.00104	0.00226	0.00389	0.00314	0.00546
14	0.00020	0.00044	0.00114	0.00067	0.00165
15	0.000015	0.00002	0.00017	0.00004	0.00021

4.3.2 Unjuk Kerja Sistem dengan daya yang berbeda

4.3.2.1 SKENARIO 1

Skenario 1 menggambarkan satu kondisi dimana pengguna yang ke-2 dengan daya sinyal lima kali lebih besar dari daya dari pengguna yang ke-1. Gambar 4.6 merupakan grafik yang menunjukkan kinerja BER pada kanal AWGN, frekuensi selektif, dan kanal Rayleigh untuk dua *user* dengan jumlah bit yang dikirim sebanyak 100.000 bit.. Dari grafik tersebut terlihat bahwa untuk sistem dengan 2 *user* pada kanal frekuensi selektif nilai BER semakin meningkat seiring kenaikan SINR mengikuti pola dari unjuk kerja kanal AWGN. Hal ini terjadi pula pada kanal Rayleigh. Jika dibandingkan dari ketiga kanal, unjuk kerja dari kanal frekuensi selektif menunjukkan hasil yang paling buruk. Nilai rata-rata BER menunjukkan paling besar pada posisi SINR yang sama. Semakin besar nilai SINR nilai BER semakin menurun. Untuk kanal frekuensi selektif mempunyai BER terbaik dengan nilai BER 4.9×10^{-5} dan 5.6×10^{-4} masing-masing pada *single user* dan dua *user* dapat dicapai pada SINR 15 dB. Sedangkan untuk kanal Rayleigh mempunyai BER terbaik dengan nilai BER 2.0×10^{-5} dan 1.9×10^{-4} masing-masing pada *single user* dan dua *user* yang dapat dicapai pada SINR 15 dB.

Pada kanal Frekuensi Selektif untuk memperoleh BER dibawah 10^{-3} diperlukan SINR sebesar 14 dB pada *single user*, sedangkan untuk *multiuser* diperlukan SINR sebesar 15 dB. Hal ini dapat dilihat data dari tabel 4.6.



Gambar 4.6 Grafik kinerja BER dari K user dengan $P_{K=2} = 5P_{K=1}$

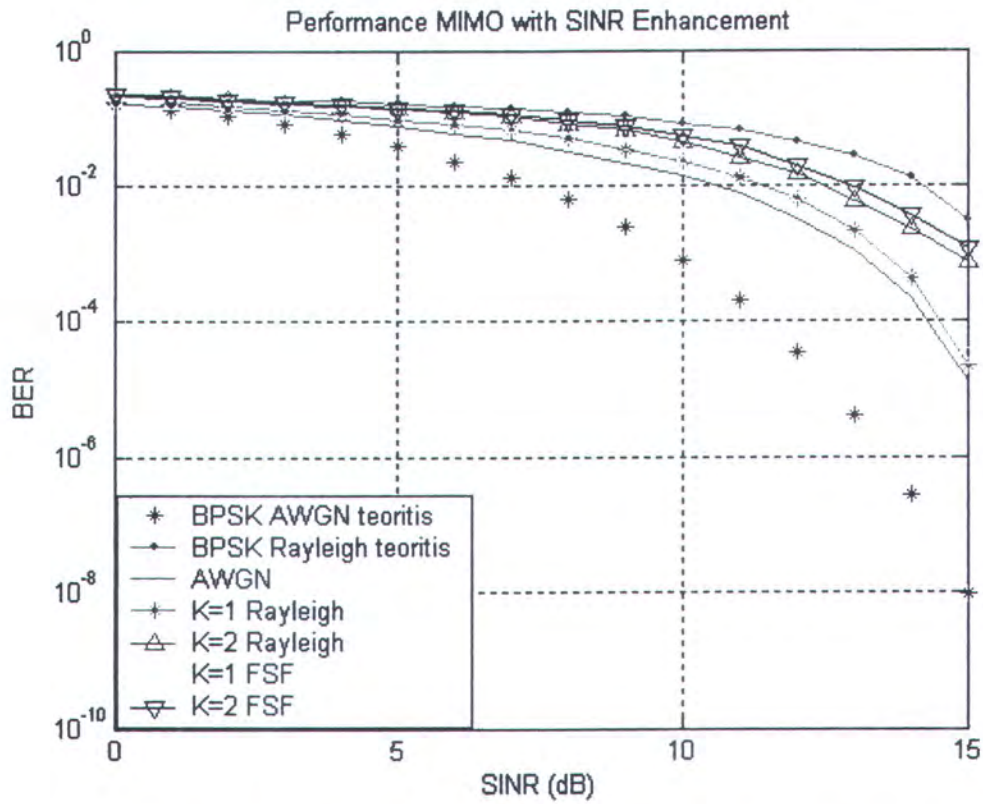
Tabel 4.6 Perbandingan BER dari K user dengan $P_{K=2} = 5P_{K=1}$

SINR (dB)	BER				
	AWGN	Rayleigh		FSF	
		K=1	K=2	K=1	K=2
0	0.15893	0.19993	0.20482	0.19131	0.21281
1	0.14799	0.16645	0.19062	0.17721	0.20135
2	0.12698	0.14521	0.17645	0.15732	0.17990
3	0.10847	0.13190	0.15646	0.14401	0.16618
4	0.09298	0.11128	0.14325	0.12633	0.15363
5	0.07576	0.09357	0.12522	0.10821	0.13963
6	0.05854	0.07991	0.10734	0.09912	0.12525
7	0.04625	0.06535	0.08998	0.07145	0.11009
8	0.03112	0.04978	0.07666	0.05743	0.08676
9	0.02082	0.03411	0.05621	0.04141	0.07333
10	0.01355	0.02203	0.04134	0.02795	0.05232
11	0.00762	0.01269	0.02743	0.01483	0.03737
12	0.00327	0.00605	0.01545	0.00732	0.01865
13	0.00106	0.00216	0.00648	0.00311	0.00812
14	0.000021	0.00043	0.00161	0.00059	0.00224
15	0.000014	0.00002	0.00019	0.000049	0.00056

4.3.2.2 SKENARIO 2

Skenario 2 menggambarkan satu kondisi dimana pengguna yang ke-2 dengan daya sinyal $10\times$ daya dari pengguna yang ke-1. Gambar 4.7 menunjukkan grafik perbandingan BER pada kanal AWGN, Rayleigh, dan frekuensi selektif dengan jumlah bit yang dikirim sebanyak 100.000 bit. Dari grafik tersebut terlihat bahwa untuk sistem dengan 2 *user* pada kanal frekuensi selektif nilai BER semakin meningkat seiring kenaikan SINR mengikuti pola dari unjuk kerja kanal AWGN. Hal ini terjadi pula pada kanal Rayleigh. Jika dibandingkan dari ketiga kanal, unjuk kerja dari kanal frekuensi selektif menunjukkan hasil yang paling buruk. Nilai rata-rata BER menunjukkan paling besar pada posisi SINR yang sama. Semakin besar nilai SINR nilai BER semakin menurun. Untuk kanal frekuensi selektif mempunyai BER terbaik dengan nilai BER 3.0×10^{-5} dan 1.13×10^{-3} masing-masing pada *single user* dan dua *user* dapat dicapai pada SINR 15 dB. Sedangkan untuk kanal Rayleigh mempunyai BER terbaik dengan nilai BER 2.2×10^{-5} dan 7.4×10^{-4} masing-masing pada *single user* dan dua *user* yang dapat dicapai pada SINR 15 dB.

Pada kanal Frekuensi Selektif untuk memperoleh BER dibawah 10^{-3} diperlukan SINR sebesar 14 dB pada *single user*, sedangkan untuk *multiuser* diperlukan SINR sebesar 15 dB. Hal ini dapat dilihat data dari tabel 4.7.



Gambar 4.7 Grafik kinerja BER dari K user dengan $P_{K=2} = 10P_{K=1}$

Tabel 4.7 Perbandingan nilai BER dari K user dengan $P_{K=2} = 10P_{K=1}$

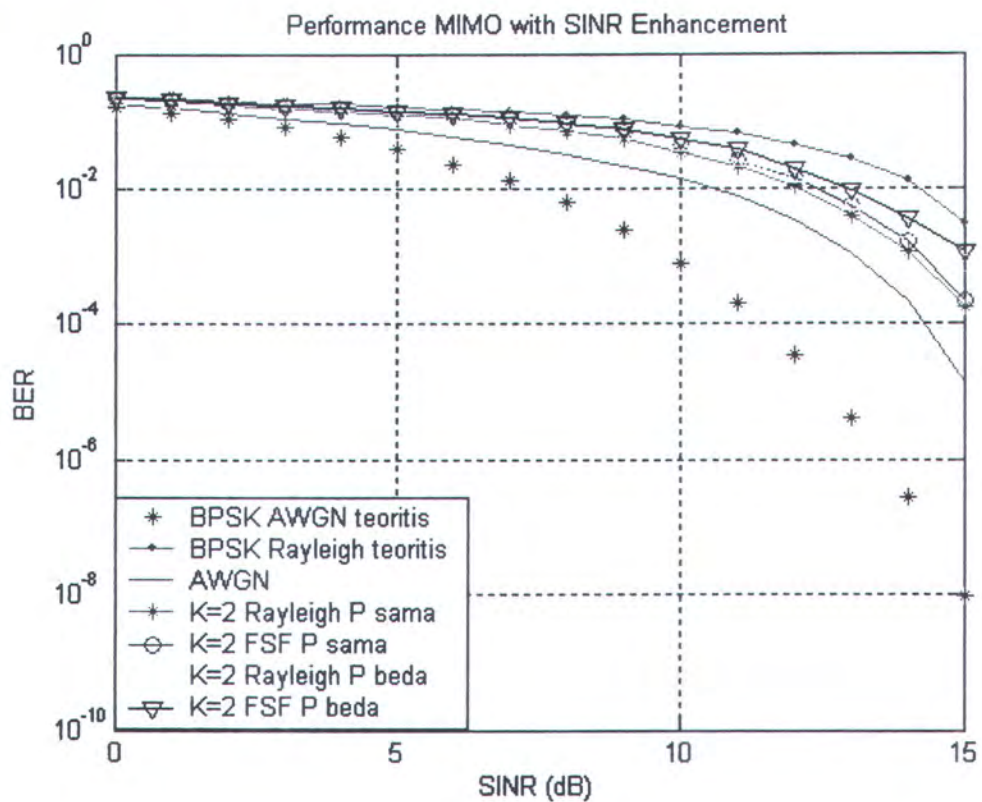
SINR (dB)	BER				
	AWGN	Rayleigh		FSF	
		K=1	K=2	K=1	K=2
0	0.15893	0.19993	0.21218	0.19162	0.21381
1	0.14799	0.16645	0.19849	0.17655	0.20335
2	0.12696	0.14521	0.17601	0.15656	0.18010
3	0.10847	0.13190	0.16120	0.14335	0.16638
4	0.09398	0.11128	0.15083	0.12532	0.15463
5	0.07516	0.09357	0.13591	0.10734	0.13983
6	0.05854	0.07991	0.12049	0.09018	0.12625
7	0.04625	0.06535	0.10473	0.07766	0.11209
8	0.03112	0.04978	0.08165	0.05721	0.08876
9	0.02082	0.03411	0.06574	0.04334	0.07533
10	0.01355	0.02203	0.04437	0.02763	0.05432
11	0.00762	0.01269	0.02634	0.01496	0.03837
12	0.00327	0.00605	0.01478	0.00743	0.01965
13	0.00106	0.00216	0.00586	0.00325	0.00922
14	0.00021	0.00043	0.00221	0.00061	0.00374
15	0.000013	0.000022	0.00074	0.00003	0.00113

4.4 Pembahasan

Pada bagian ini akan dibahas beberapa hal yang telah dilakukan dalam simulasi unjuk kerja sistem komunikasi MIMO CDMA pada kanal frekuensi selektif fading:

1. Unjuk kerja sistem sangat dipengaruhi oleh jumlah *user* di dalam sistem. Dalam simulasi ini jumlah *user* adalah 1, 2, 3, 4 dan 8. dari beberapa hasil simulasi menunjukkan bahwa semakin meningkat jumlah *user* di dalam sistem, maka nilai BER semakin meningkat. Dengan kata lain semakin meningkat jumlah *user* di dalam sistem maka unjuk kerja sistem (penerima) akan semakin menurun. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya *multiple access interference* (MAI) sebagaimana ditunjukkan oleh gambar 4.2, 4.3 dan 4.4.
2. Jumlah bit data yang dikirim sangat mempengaruhi kinerja sistem pada *multiuser*. Semakin tinggi jumlah bit yang dikirimkan maka kinerja sistem akan semakin lambat. Untuk bit yang dikirim pada ordo $1 \times 10^1 - 1 \times 10^5$ kinerja sistem sangat bagus. Dari hasil simulasi sistem masih layak untuk mengirim bit data pada ordo 1×10^5 .
3. Unjuk kerja sistem dipengaruhi oleh nilai SINR. Pada kanal AWGN, Rayleigh dan frekuensi selektif menunjukkan bahwa dengan meningkatnya nilai SINR maka nilai BER semakin menurun. Nilai BER paling bagus pada posisi SINR tertinggi, hal ini dapat ditunjukkan pada gambar 4.2 - 4.7. Jadi dengan menaikkan nilai SINR unjuk kerja sistem semakin bagus karena menurunkan nilai BER.
4. Dengan menaikkan daya sinyal pada user yang berperan sebagai interferer, maka unjuk kerja sistem semakin menurun, dalam hal ini memberi pengaruh buruk pada user referensi. Hal ini terlihat dengan semakin meningkatnya nilai BER

pada user referensi sebagaimana terlihat pada gambar 4.8. Perbandingan nilai BER terdapat pada tabel 4.8. Untuk mengatasi hal ini perlu adanya kontrol daya yang berfungsi menyesuaikan daya agar semua sinyal tiba dengan level daya yang sama sehingga diperoleh kapasitas sistem maksimum untuk perbandingan sinyal terhadap interferensi tertentu.



Gambar 4.8 Grafik kinerja sistem dengan daya sama dan daya beda untuk dua user

Tabel 4.8 Perbandingan BER dengan daya sama dan daya beda untuk dua user

SINR (dB)	BER				
	AWGN	Rayleigh		FSF	
		$P_{K1}=P_{K2}$	$P_{K2}=10P_{K1}$	$P_{K1}=P_{K2}$	$P_{K2}=10P_{K1}$
0	0.15893	0.21000	0.21218	0.21018	0.21381
1	0.14754	0.18872	0.19849	0.19939	0.20335
2	0.12534	0.16623	0.17601	0.17701	0.18011
3	0.10655	0.15124	0.16120	0.16290	0.16638
4	0.09108	0.14032	0.15083	0.15173	0.15463
5	0.07406	0.12321	0.13591	0.13591	0.13983
6	0.05664	0.11005	0.12049	0.12029	0.12625
7	0.0434	0.08432	0.10473	0.10553	0.11209
8	0.03022	0.07194	0.08165	0.08145	0.08876
9	0.02113	0.05231	0.06574	0.06654	0.07533
10	0.01375	0.03298	0.04437	0.04417	0.05432
11	0.00781	0.02136	0.02623	0.02624	0.03837
12	0.00331	0.01066	0.01478	0.01378	0.01965
13	0.00106	0.00389	0.00586	0.00546	0.00922
14	0.00022	0.00114	0.00221	0.00165	0.00374
15	0.000013	0.00017	0.00074	0.00021	0.00113

BAB V

PENUTUP

5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan data hasil simulasi, setelah dilakukan proses analisa dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- Pada kanal Frekuensi Selektif untuk memperoleh BER dibawah 10^{-3} diperlukan SINR sebesar 15 dB, sedangkan pada kanal Rayleigh sebesar 14 dB.
- Sistem dengan *single user* memberikan kinerja yang sangat bagus, hal ini terjadi karena tidak adanya interferensi dari user lain.
- Sistem dengan jumlah *user* semakin meningkat, nilai BER semakin meningkat pula, hal ini terjadi karena interferensi dari user lain.. Sebagai contoh pada skenario ke dua pada sistem dikirim sebanyak 1000 bit dengan jumlah pengguna sebanyak 1, 4 dan 8 *user* dengan SINR sebesar 15 dB nilai masing-masing *BER*-nya adalah 0.0050, 0.0112 dan 0.0374.
- Kenaikan daya sinyal pada user lain memberikan pengaruh BER. Semakin tinggi daya sinyal maka nilai BER juga meningkat, berarti nilai rata-rata kesalahan bit semakin besar. Sebagai contoh pada sistem dengan dua user, daya pada user ke-2 = $10 \times$ daya pada user ke-1. BER pada user pertama dan ke-2 berturut-turut adalah 0.00003 dan 0.00113 pada kanal frekuensi selektif.
- Pada level daya sama, unjuk kerja sistem kanal frekuensi selektif menunjukkan hasil yang paling buruk dibandingkan dengan kanal AWGN dan Rayleigh. BER paling tinggi terjadi pada kanal frekuensi selektif. Pada

nilai SINR 15 dB, BER pada kanal AWGN, Rayleigh dan frekuensi selektif masing-masing adalah 1.5×10^{-5} , 2.0×10^{-5} dan 4.0×10^{-4} .

5.2 SARAN

Pada sistem dengan banyak elemen antena, jarak antar antena dapat menimbulkan efek korelasi *spasial* jika jarak antar elemen antena tidak tepat. Untuk penelitian selanjutnya dapat diteliti unjuk kerja system dengan memperhitungkan efek dari korelasi *spasial*.

Daftar Pustaka

- [1] Rico, *Modulasi BPSK pada Sistem Komunikasi Spread Spektrum* , Artikel Lepas Divisi Risti, PT. Telekomunikasi Indonesia, 2000.
- [2] R.L.Peterson, *Introduction to Spread Spectrum Communications*, Prentice Hall , 1995.
- [3] G. Santoso, *Sistem Seluler CDMA*, Graha Ilmu Jogjakarta, 2004.
- [4] J.H. Winters, " Smart Antenna Wireless System", *IEEE Personal Communications*, pp 23-27, Pebruary 1998.
- [5] Bolcskei, H., Borgmann, M., and Paulraj, A.J. (2002). Impact of the Propagation Environment on the Performance of Space-Frequency Coded MIMO-OFDM. *IEEE Journal on Selected Areas In Communications*, 2002.
- [6] A.F.Naguib, A.Paulraj and T.Kailath, "Capacity Improvement With Base Station Antenna Array in Cellular CDMA", *IEEE Transaction on Vehicular Technology*, pp 691-698, Augst 1994
- [7] N.A. Siswandari, "*Analisa Korelasi Spasial Propagasi Kanal Radio 1,7 GHz Dalam Ruang Menggunakan Antena Array Planar Sintetis*", Thesis S-2 ITS Telekomunikasi MM, 2002
- [8] Nyoman Pramaita, "*Analisa Unjuk Kerja Sistem V-Blast pada Kanal Flat Fading yang Berkorelasi*", Thesis S-2 ITS Telekomunikasi MM, 2003
- [9] Luca Giangaspero and Geovanni Paltenghi C, "*A MIMO Architecture for Wireless Indoor Aplications*", Submitted to word scientific, 2003.
- [10] Cristian Waldschmidh, "*An Introduction to MIMO and Antennas for MIMO*", Lecturer Note

- [11] G. J. Foschini, "Layered Space-Time Architecture For Wireless Communication In A Fading Environment When Using Multi-Element Antennas", Bell Labs Technical Journal, pp. 41-59, Autumn, 1996.
- [12] Ruly Lai-U Choi, Khaled B.letaief and Ross D.Murch, "MIMO CDMA Antenna System for SINR Enhancement", *IEEE Transactions on Wireless Communication* , Vol.2 No.2, March 2003
- [13] Rappaport TS, *Wireless Communications Principles and Practice*, Prentice Hall PTR, Asimon & Schuster Company, New Jersey, 1996
- [14] J.G. Proakis. 1995, *Digital Communications*, 3rd Editions. New York, McGraw Hill.
- [15] Muladi, *Kinerja Blind Adaptive Multiuser Detector Pada Sistem DS/CDMA Asinkron*, Thesis S-2 ITS Telekomunikasi MM, 2002.
- [16] Young-Ho Jung, Seung-Chul Hong, Seong Rag Kim and Yong H.Lee," Adaptive CMMSE Receivers for Space-Time Block Coded MIMO CDMA System", *IEEE Transactions on Wireless Communication*,pp 8-12, 2002.

Lampiran: Listing Program

```

%Program keseluruhan
close all;
clear all;
clc;
%kode hadamard
sinyal=[ 1 1 1 1 1 1 1 1
         1 -1 1 -1 1 -1 1 -1
         1 1 -1 -1 1 1 -1 -1
         1 -1 -1 1 1 -1 -1 1
         1 1 1 1 -1 -1 -1 -1
         1 -1 1 -1 -1 1 -1 1
         1 1 -1 -1 -1 -1 1 1
         1 -1 -1 1 -1 1 1 -1 ];

K=2;
iterasi=10; % banyaknya iterasi pada U dan V
bit=10000;
L= 3; %panjang multipath kanal(0,1,2)
Lr= 2;% panjang filter U
Lt= 1;% panjang vilter V
Nt=2;% jumlah antena pemancar
Nr=4;% Jumlah antena penerima
Pk_aksen=1;% daya
%----- P1 -----
% Pembangkitan Kanal Rayleigh Flat Fading
kanal=(randn(Nr,Nt)+i*randn(Nr,Nt))/sqrt(2);
%memilah tiap kolom unruk mendapatkan elemen matrik tiap antena
%untuk antena_1 (x1)
h11=kanal(1,1); %(6x1)
h21=kanal(2,1);
h31=kanal(3,1);
h41=kanal(4,1);

%untuk antena_2 (x2)
h12=kanal(1,2); %(6x1)
h22=kanal(2,2);
h32=kanal(3,2);
h42=kanal(4,2);
%-----
%save MatrikResponImpulse
%----- P4 -----
%program membangkitkan data random sebanyak bit

%pembangkitan data random sebanyak bit untuk tiap-tiap anten
%antena ada 2 yaitu x1 dan x2
x1=sign(randn(bit,1));
x2=sign(randn(bit,1));

#####%
f=8;
for NoisBit=1:16; %dBNoise berubah berturut
dBNoise=NoisBit+f;
#####%

N=1/(10^(-dBNoise/10));

```



```

n1=(randn(bit*8,1) + i*randn(bit*8,1))*sqrt(N/2);
n2=(randn(bit*8,1) + i*randn(bit*8,1))*sqrt(N/2);
n3=(randn(bit*8,1) + i*randn(bit*8,1))*sqrt(N/2);
n4=(randn(bit*8,1) + i*randn(bit*8,1))*sqrt(N/2);

% save InputRandom
%----- P6 -----
% program pembangkitan kanal baru

%load MatrikResponImpulse

Beta =0.35;
Tc = 25;%dalam ns
n=0:2;% t=n*Tc
Tdelay=[0 5 10 15 20 25 30 35 40]; % Tab delay

for ii=1:length(Tdelay) %perulangan sebanyak dimensi TabDelay
yaitu 9
    for j=1:length(n) %perulangan sebanyak n yaitu 3
        a= sinc( (pi*n(j))-(Tdelay(ii)/Tc) ); %sinc(pi.t/Tc)
        b= cos ( (pi*Beta) *( n(j) - (Tdelay(ii)/Tc) ) )
;%cos(pi.Beta.t/Tc)
        c=1 - ( 4*Beta^2* ( n(j)^2 - ((2*Tdelay(ii)*n(j))/Tc) +...
                (Tdelay(ii)^2/Tc^2) ) ); %(1-4.Beta^2.t^2/Tc)
%mendapatkan nilai hRC tiap-tiap TabDelay dan tiap-tiap (n) dengan
dimensi (9x3)
        hRC_t(ii,j)=(a*b)/c; %(9x3)
    end
end

%mendapatkan kanal baru dengan perkalian elemen by elemen antara
h_lama
%dengan hRC tiap kolom,hasil perkalian diperoleh matrik (9x3)
kemudian tiap
%kolom di jumlahkan didapat matrik (1x3)

h11_baru=[h11.*hRC_t(:,1) h11.*hRC_t(:,2) h11.*hRC_t(:,3)]; %
(9x3)
h21_baru=[h21.*hRC_t(:,1) h21.*hRC_t(:,2) h21.*hRC_t(:,3)];
h31_baru=[h31.*hRC_t(:,1) h31.*hRC_t(:,2) h31.*hRC_t(:,3)];
h41_baru=[h41.*hRC_t(:,1) h41.*hRC_t(:,2) h41.*hRC_t(:,3)];
h12_baru=[h12.*hRC_t(:,1) h12.*hRC_t(:,2) h12.*hRC_t(:,3)];
h22_baru=[h22.*hRC_t(:,1) h22.*hRC_t(:,2) h22.*hRC_t(:,3)];
h32_baru=[h32.*hRC_t(:,1) h32.*hRC_t(:,2) h32.*hRC_t(:,3)];
h42_baru=[h42.*hRC_t(:,1) h42.*hRC_t(:,2) h42.*hRC_t(:,3)];
% penjumlahan tiap kolom
h11_baru=sum(h11_baru); %(1x3)
h21_baru=sum(h21_baru); %(1x3)
h31_baru=sum(h31_baru);
h41_baru=sum(h41_baru);
h12_baru=sum(h12_baru);
h22_baru=sum(h22_baru);
h32_baru=sum(h32_baru);
h42_baru=sum(h42_baru);

energi_rata_rata=sum((abs(h11_baru).^2 + abs(h21_baru).^2 +
abs(h31_baru).^2 + ...

```

```

abs(h22_baru).^2 + ...      abs(h41_baru).^2 + abs(h12_baru).^2 +
                             abs(h32_baru).^2 + abs(h42_baru).^2 ),2) /
8;
%-----
%   kanal normalisasi
%-----
h11_baru=h11_baru/energi_rata_rata;
h21_baru=h21_baru/energi_rata_rata;
h31_baru=h31_baru/energi_rata_rata;
h41_baru=h41_baru/energi_rata_rata;
h12_baru=h12_baru/energi_rata_rata;
h22_baru=h22_baru/energi_rata_rata;
h32_baru=h32_baru/energi_rata_rata;
h42_baru=h42_baru/energi_rata_rata;% (1x3)

%mendapatkan matrik kanal baru dengan menyusun matrik tiap-tiap h
%sehingga didapat matrik_kanal_baru dengan dimensi (12x2)
Htopi_k=[ h11_baru.'  h12_baru.' % Matrik Kanal Baru 1
          h21_baru.'  h22_baru.' % (12x2)
          h31_baru.'  h32_baru.'
          h41_baru.'  h42_baru.'];

% matrik_kanal_baru_1 dipisah tiap kolom dan di ambil nilai real
dan imaginari
kol_1=Htopi_k(:,1); %12x1
kol_2=Htopi_k(:,2);

% nilai real
real_1=real(kol_1); %12x1
real_2=real(kol_2);
% nilai imaginari
imag_1=imag(kol_1);
imag_2=imag(kol_2);

%mendapatkan Htopi_k_aksen dengan dimensi matrik (24x4)
%Htopi_k_aksen = |r -i|
%                |i  r|
Htopi_k_aksen=[ real_1  real_2  -imag_1  -imag_2
                imag_1  imag_2   real_1   real_2 ];

Vtopi_k_aksen=[1;1;0;0]; % filter pada pemancar dengan dimensi
(4x1)

I_1=eye(2,3)*8; %matrik Identitas dengan dimensi (2x3) x 8

P1=[-8 -4 0;-4 -8 -4];
P2=[-8 -6 -4;-4 -8 -6];
P3=[-8 -4 0;-6 -8 -4];
P4=[-8 -6 -4;-6 -8 -6];

P5=[8 6 4;6 8 6];
P6=[8 4 0;6 8 4];
P7=[8 6 4;4 8 6];
P8=[8 4 0;4 8 4];

I_0=zeros(2,3); %matrik nol (2x3)

```

```

% Nr/Mr= 4 jumlah anten penerima

Pk_11=[P1 I_0 I_0 I_0
        I_0 P1 I_0 I_0
        I_0 I_0 P1 I_0
        I_0 I_0 I_0 P1];

Pk_12=[P2 I_0 I_0 I_0
        I_0 P2 I_0 I_0
        I_0 I_0 P2 I_0
        I_0 I_0 I_0 P2];

Pk_13=[P3 I_0 I_0 I_0
        I_0 P3 I_0 I_0
        I_0 I_0 P3 I_0
        I_0 I_0 I_0 P3];

Pk_14=[P4 I_0 I_0 I_0
        I_0 P4 I_0 I_0
        I_0 I_0 P4 I_0
        I_0 I_0 I_0 P4];

Pk_15=[P5 I_0 I_0 I_0
        I_0 P5 I_0 I_0
        I_0 I_0 P5 I_0
        I_0 I_0 I_0 P5];

Pk_16=[P6 I_0 I_0 I_0
        I_0 P6 I_0 I_0
        I_0 I_0 P6 I_0
        I_0 I_0 I_0 P6];

Pk_17=[P7 I_0 I_0 I_0
        I_0 P7 I_0 I_0
        I_0 I_0 P7 I_0
        I_0 I_0 I_0 P7];

Pk_18=[P8 I_0 I_0 I_0
        I_0 P8 I_0 I_0
        I_0 I_0 P8 I_0
        I_0 I_0 I_0 P8];

I_01=zeros(8,12); %matrik nol dimensi (8x12)

% dimensi P^K'
%2.Lr.Mr x 2.Mr. (L+Lt-1)
%2.2.4 x 2.4.3 = (16 x 24)

Ptopi_k_aksen_1=[Pk_11 I_01      % (16x24)
                 I_01 Pk_11];

Ptopi_k_aksen_2=[Pk_12 I_01      % (16x24)
                 I_01 Pk_12];

Ptopi_k_aksen_3=[Pk_13 I_01      % (16x24)
                 I_01 Pk_13];

Ptopi_k_aksen_4=[Pk_14 I_01      % (16x24)
                 I_01 Pk_14];

```



```

        I_01 Pk_14];

Ptopi_k_aksen_5=[Pk_15 I_01      %(16x24)
                I_01 Pk_15];

Ptopi_k_aksen_6=[Pk_16 I_01      %(16x24)
                I_01 Pk_16];

Ptopi_k_aksen_7=[Pk_17 I_01      %(16x24)
                I_01 Pk_17];

Ptopi_k_aksen_8=[Pk_18 I_01      %(16x24)
                I_01 Pk_18];

%Pk_aksen=1;
I_4=eye(8);
I_02=zeros(8,16);

Ptopi_I=[I_4 I_02;I_02 I_4]; %Dimensi Ptopi_I = Ptopi_k_aksen

Tb=Tc*8; % 8 jumlah kode hadamard
T=Tb;
%N=1/20; % SNR=13db
%N=(Tb x N0)/2 ==> N0=(2xN)/Tb
N0=(2*N)/Tb;
b0_1=1;
b0_2=-1;
I_2=eye(16); %matrik IDENTITAS dengan dimensi (16x16)
=====
I_3=eye(4); %matrik identitas 4x4 mengikuti dimensi Eb_r

%----- P7 -----
%program mendapatkan SINR

% load KanalBaru
Vtopi_k_aksen_baru=[1;0;0;0];
%
Vtopi_k_aksen_baru=Vtopi_k_aksen_baru/norm(Vtopi_k_aksen_baru);%norm
alisasi
mu_1=1;
mu_2=-1;
%inisialisasi
Usemu=[];
Vsemua=[];

for r=1:iterasi %banyaknya iterasi
=====
    %ekspektasi untuk Q

    Eq_1=(( (Ptopi_k_aksen_1 - T*sqrt(Pk_aksen)*b0_2*Ptopi_I) *
...
    Htopi_k_aksen *Vtopi_k_aksen_baru) * (Vtopi_k_aksen_baru.'
*...
    Htopi_k_aksen.' * (Ptopi_k_aksen_1 -
T*sqrt(Pk_aksen)*b0_2*Ptopi_I).'));

    Eq_2=(( (Ptopi_k_aksen_2 - T*sqrt(Pk_aksen)*b0_2*Ptopi_I)
*...

```

```

    Htopi_k_aksen *Vtopi_k_aksen_baru) * (Vtopi_k_aksen_baru.'
*...
    Htopi_k_aksen.' * (Ptopi_k_aksen_2 -
T*sqrt(Pk_aksen)*b0_2*Ptopi_I.'));

    Eq_3=(( (Ptopi_k_aksen_3 - T*sqrt(Pk_aksen)*b0_2*Ptopi_I) *
...
    Htopi_k_aksen *Vtopi_k_aksen_baru) * (Vtopi_k_aksen_baru.'
*...
    Htopi_k_aksen.' *(Ptopi_k_aksen_3 -
T*sqrt(Pk_aksen)*b0_2*Ptopi_I.'));

    Eq_4=(( (Ptopi_k_aksen_4 - T*sqrt(Pk_aksen)*b0_2*Ptopi_I)
*...
    Htopi_k_aksen *Vtopi_k_aksen_baru) * (Vtopi_k_aksen_baru.'
*...
    Htopi_k_aksen.' * (Ptopi_k_aksen_4 -
T*sqrt(Pk_aksen)*b0_2*Ptopi_I.'));

    Eq_5=(( (Ptopi_k_aksen_5 - T*sqrt(Pk_aksen)*b0_1*Ptopi_I) *
...
    Htopi_k_aksen *Vtopi_k_aksen_baru) * (Vtopi_k_aksen_baru.'
*...
    Htopi_k_aksen.' *(Ptopi_k_aksen_5 -
T*sqrt(Pk_aksen)*b0_1*Ptopi_I.'));

    Eq_6=(( (Ptopi_k_aksen_6 - T*sqrt(Pk_aksen)*b0_1*Ptopi_I)
*...
    Htopi_k_aksen *Vtopi_k_aksen_baru) * (Vtopi_k_aksen_baru.'
*...
    Htopi_k_aksen.' * (Ptopi_k_aksen_6 -
T*sqrt(Pk_aksen)*b0_1*Ptopi_I.'));

    Eq_7=(( (Ptopi_k_aksen_7 - T*sqrt(Pk_aksen)*b0_1*Ptopi_I) *
...
    Htopi_k_aksen *Vtopi_k_aksen_baru) * (Vtopi_k_aksen_baru.'
*...
    Htopi_k_aksen.' *(Ptopi_k_aksen_7 -
T*sqrt(Pk_aksen)*b0_1*Ptopi_I.'));

    Eq_8=(( (Ptopi_k_aksen_8 - T*sqrt(Pk_aksen)*b0_1*Ptopi_I)
*...
    Htopi_k_aksen *Vtopi_k_aksen_baru) * (Vtopi_k_aksen_baru.'
*...
    Htopi_k_aksen.' * (Ptopi_k_aksen_8 -
T*sqrt(Pk_aksen)*b0_1*Ptopi_I.'));

    %Expektasi untuk Q rata-rata
    Eq_r=(Eq_1+Eq_2+Eq_3+Eq_4+Eq_5+Eq_6+Eq_7+Eq_8)/8;

%=====
    % menghitung Q
    Q_k_aksen_baru=1/(T^2*Pk_aksen) * Eq_r + (N0/(2*Pk_aksen*T)
*I_2); %baru
    % menghitung U
    Utopi_k_aksen_baru=mu_1*Q_k_aksen_baru^-
1*Ptopi_I*Htopi_k_aksen*...
    Vtopi_k_aksen_baru; %baru

```

```

%=====
% normalisasi U
%=====
Utopi_k_aksen_baru= Utopi_k_aksen_baru /
norm(Utopi_k_aksen_baru);

% menghitung SINR_1
SINR_1(r)=(
Utopi_k_aksen_baru.*Ptopi_I*Htopi_k_aksen*Vtopi_k_aksen_baru*...
Vtopi_k_aksen_baru.*Htopi_k_aksen.*Ptopi_I.*Utopi_k_aksen_baru
)/...
(
Utopi_k_aksen_baru.*Q_k_aksen_baru*Utopi_k_aksen_baru);

% Usemua =[Usemua,U]
Usemua=[Usemua,Utopi_k_aksen_baru];

%=====
%ekspektasi untuk B
Eb_1=(Htopi_k_aksen.*(Ptopi_k_aksen_1 -
T*sqrt(Pk_aksen)*b0_2*Ptopi_I).'*...
Utopi_k_aksen_baru*Utopi_k_aksen_baru.*(Ptopi_k_aksen_1 -
T*sqrt(Pk_aksen)*...
b0_2*Ptopi_I)*Htopi_k_aksen);

Eb_2=(Htopi_k_aksen.*(Ptopi_k_aksen_2 -
T*sqrt(Pk_aksen)*b0_2*Ptopi_I).'*...
Utopi_k_aksen_baru*Utopi_k_aksen_baru.*(Ptopi_k_aksen_2 -
T*sqrt(Pk_aksen)*...
b0_2*Ptopi_I)*Htopi_k_aksen);

Eb_3=(Htopi_k_aksen.*(Ptopi_k_aksen_3 -
T*sqrt(Pk_aksen)*b0_2*Ptopi_I).'*...
Utopi_k_aksen_baru*Utopi_k_aksen_baru.*(Ptopi_k_aksen_3 -
T*sqrt(Pk_aksen)*...
b0_2*Ptopi_I)*Htopi_k_aksen);

Eb_4=(Htopi_k_aksen.*(Ptopi_k_aksen_4 -
T*sqrt(Pk_aksen)*b0_2*Ptopi_I).'*...
Utopi_k_aksen_baru*Utopi_k_aksen_baru.*(Ptopi_k_aksen_4 -
T*sqrt(Pk_aksen)*...
b0_2*Ptopi_I)*Htopi_k_aksen);

Eb_5=(Htopi_k_aksen.*(Ptopi_k_aksen_5 -
T*sqrt(Pk_aksen)*b0_1*Ptopi_I).'*...
Utopi_k_aksen_baru*Utopi_k_aksen_baru.*(Ptopi_k_aksen_5 -
T*sqrt(Pk_aksen)*...
b0_1*Ptopi_I)*Htopi_k_aksen);

Eb_6=(Htopi_k_aksen.*(Ptopi_k_aksen_6 -
T*sqrt(Pk_aksen)*b0_1*Ptopi_I).'*...
Utopi_k_aksen_baru*Utopi_k_aksen_baru.*(Ptopi_k_aksen_6 -
T*sqrt(Pk_aksen)*...
b0_1*Ptopi_I)*Htopi_k_aksen);

Eb_7=(Htopi_k_aksen.*(Ptopi_k_aksen_7 -
T*sqrt(Pk_aksen)*b0_1*Ptopi_I).'*...

```



```

    Utopi_k_aksen_baru*Utopi_k_aksen_baru.*(Ptopi_k_aksen_7 -
T*sqrt(Pk_aksen)*...
    b0_1*Ptopi_I)*Htopi_k_aksen);

    Eb_8=(Htopi_k_aksen.*(Ptopi_k_aksen_8 -
T*sqrt(Pk_aksen)*b0_1*Ptopi_I).'*...
    Utopi_k_aksen_baru*Utopi_k_aksen_baru.*(Ptopi_k_aksen_8 -
T*sqrt(Pk_aksen)*...
    b0_1*Ptopi_I)*Htopi_k_aksen);

Eb_r=(Eb_1+Eb_2+Eb_3+Eb_4+Eb_5+Eb_6+Eb_7+Eb_8)/8;      %(4x4)

%=====
%                               Psii
%=====
    sigma=0;
    Psii=Utopi_k_aksen_baru.*(sigma + N0/(2*Pk_aksen*T)*I_2) *
Utopi_k_aksen_baru; % real
    % menghitung B
    B_k_aksen_baru= 1/(T^2*Pk_aksen)*Eb_r+Psii*I_3; %baru
    % menghitung V
    Vtopi_k_aksen_baru=mu_2*B_k_aksen_baru^-
1*Htopi_k_aksen.*Ptopi_I.*...
    Utopi_k_aksen_baru; %(4x1)

%=====
% normalisasi V
%=====
Vtopi_k_aksen_baru=Vtopi_k_aksen_baru/norm(Vtopi_k_aksen_baru);

% menghitung SINR_2

SINR_2(r)=(Vtopi_k_aksen_baru.*Htopi_k_aksen.*Ptopi_I.*Utopi_k_aksen_baru*...
Utopi_k_aksen_baru.*Ptopi_I*Htopi_k_aksen*Vtopi_k_aksen_baru)/...
(Vtopi_k_aksen_baru.*B_k_aksen_baru*Vtopi_k_aksen_baru);
% Vsemua=[Vsemua,V]
Vsemua=[Vsemua,Vtopi_k_aksen_baru];

end % end of iterasi

%N=8=Gp(processing Gain/Jumlah kode Hadamard)
Gp=8;
%hasil SINR dirubah dalam dB
SINR_1=10*log10(SINR_1);
SINR_2=10*log10(SINR_2);

EbNo_1 = SINR_1*Gp;
EbNo_2 = SINR_2*Gp;

SINR_12=[SINR_1.' SINR_2.'].';
SINR_12=SINR_12(:);

%save SingleUserSINR

```



```

Z_1=conv(Y_1,U1'); Z_1=Z_1(1:bit*8);
Z_2=conv(Y_2,U2'); Z_2=Z_2(1:bit*8);
Z_3=conv(Y_3,U3'); Z_3=Z_3(1:bit*8);
Z_4=conv(Y_4,U4'); Z_4=Z_4(1:bit*8);

Ztot=Z_1+Z_2+Z_3+Z_4; %(8000x1)
a0_1=kron(ones(1,bit),a0); %(1x8000)
C1=Ztot.*a0_1'; %8000 (berupa bilangan kompleks)
% C1=Ztot.*(a0_1(1:(8*bit)))'; %8000 (berupa bilangan kompleks)

%=====
% menjumlahkan C1 tiap 8 bit
%=====
bagi=length(C1)/8; %length C1 dibagi length kode Hadamard
range_2=0;
for k=1:bagi
    range_2=range_2+8; %8 16 24.....
    range_1=range_2-7; %1 9 17.....
    sigma_8(k)=sum(C1(range_1:range_2)); %1000 data berupa
bilangan kompleks
end;

sigma_9 = real(sigma_8); % diambil data real

%datta=sign(sigma_8); % mendapatkan data -1 dan 1
datta=-sign(sigma_8); % mendapatkan data -1 dan 1
%mendapatkan jumlah data error dengan membandingkan
%data masukan(b0) dng data keluaran(datta)
error=b0'-datta; %hasil pengurangan 0 menandakan data sama
keluaran dan masukan

banyaknya_Running=w ;

jumlah_error(w)=sum(abs(error))/2 ;%jumlah data yang tidak
sama]

BER_Tiap_Running=jumlah_error/length(b0);

total_jumlah_error(NoisBit)=sum(jumlah_error);

jumlah_bit(NoisBit)=length(b0)*w;

% BER(NoisBit)=total_jumlah_error/jumlah_bit;
BER(NoisBit,pengguna)=total_jumlah_error/jumlah_bit;

CekSNR(NoisBit)=-dBNoise

% semilogy(CekSNR,BER,'b','Linewidth',1);hold on;

end
end
end %end of K

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%%%%%%%%GRAFIK S I N R
close all;

```



```

figure('Name','Grafik SINR-1 dan SINR-2',...
      'NumberTitle','off',...
      'Position',[50 50 500 500]);

subplot(3,1,1);
plot(SINR_1,'r-o','Linewidth',1);hold on;
% plot(0:9,SINR_1,'r-o','Linewidth',1);hold on;
title('SINR pada filter V')
xlabel('');
ylabel('SINR(dB)');
% legend('');

subplot(3,1,2);
plot(SINR_2,'b-h','Linewidth',1);hold on;
title('SINR pada filter U')
xlabel('');
ylabel('SINR(dB)');
%=====
subplot(3,1,3);
plot(SINR_12,'m-*','Linewidth',1);hold on;
title('SINR pada filter U dan filter V')
xlabel('Iterasi');
ylabel('SINR(dB)');
% legend('');

echo off;

save rayleigh;
close all;
clear all;
clc;

%kode hadamard
sinyal=[ 1 1 1 1 1 1 1 1
         1 -1 1 -1 1 -1 1 -1
         1 1 -1 -1 1 1 -1 -1
         1 -1 -1 1 1 -1 -1 1
         1 1 1 1 -1 -1 -1 -1
         1 -1 1 -1 -1 1 -1 1
         1 1 -1 -1 -1 -1 1 1
         1 -1 -1 1 -1 1 1 -1 ];
K=2;

iterasi=10; % banyaknya iterasi pada U dan V
bit=1000;
L= 3; %panjang multipath kanal(0,1,2)
Lr= 2;% panjang filter U
Lt= 1;% panjang vilter V
Nt=2;% jumlah antena pemancar
Nr=4;% Jumlah antena penerima
Pk_aksen=1;% daya
%----- P1 -----
%menentukan P normalisasi
% daya setiap tab dalam dB
P_db=[0 -1 -22 -23 -16 -23];

%daya (linier) 10^(dB/10)
P_linier=[10^0 10^-0.1 10^-2.2 10^-2.3 10^-1.6 10^-2.3];

```

```

P_tot=sum(P_linier); % (1x1)
P_norm=P_linier/P_tot; % (1x6)

%save Pnormalisasi

%----- P2 -----
%program menentukan bilangan random
%pembangkitan bilangan random normal kompleks
%untuk 2 pemancar dan 4 penerima
%sehingga di dapat bilangan matrik dengan dimensi 6x8
%6 menunjukkan banyaknya P_dB dan 8 pancar tiap anten terhadap
penerima
%yaitu anten (y1)==> h11 h21 h31 h41 ; (y2)==> h12 h22 h32 h42

KR=(randn(6,8) + i*randn(6,8)); % (6x8)

%save KanalRandom
%----- P3 -----
%program membangkitkan matrik respon impulse

% load Pnormalisasi
P_norm=[P_norm.' P_norm.' P_norm.' P_norm.' P_norm.' P_norm.'
P_norm.' P_norm.'];

%mendapatkan Respon_impulse dengan perkalian elemen by elemen
%KR(KanalRandom) dengan P_norm yg mempunyai dimensi sama
Respon_impulse=(sqrt(P_norm)/sqrt(2)).*KR;

%memilah tiap kolom unruk mendapatkan elemen matrik tiap antena
%untuk antena_1 (x1)
h11=Respon_impulse(:,1); % (6x1)
h21=Respon_impulse(:,2);
h31=Respon_impulse(:,3);
h41=Respon_impulse(:,4);

%untuk antena_2 (x2)
h12=Respon_impulse(:,5); % (6x1)
h22=Respon_impulse(:,6);
h32=Respon_impulse(:,7);
h42=Respon_impulse(:,8);
%
%menyisipkan 3 PDP yang bernilai 0 untuk mendapatkan dimensi 9x1
sesuai
%dengan jumlah P_dB yang sebenarnya
%-----
%antena_1 (x1)
h11=[h11(1:5); zeros(3,1); h11(6)]; % (9x1)
h21=[h21(1:5); zeros(3,1); h21(6)];
h31=[h31(1:5); zeros(3,1); h31(6)];
h41=[h41(1:5); zeros(3,1); h41(6)];

%antena_2 (x2)
h12=[h12(1:5); zeros(3,1); h12(6)]; % (9x1)
h22=[h22(1:5); zeros(3,1); h22(6)];
h32=[h32(1:5); zeros(3,1); h32(6)];
h42=[h42(1:5); zeros(3,1); h42(6)];

%save MatrikResponImpulse

```

```

%----- P4 -----
%program membangkitkan data random sebanyak 1000

%pembangkitan data random sebanyak 1000 untuk tiap-tiap anten
%antena ada 2 yaitu x1 dan x2
x1=sign(randn(bit,1));
x2=sign(randn(bit,1));

#####%
f=8;
for NoisBit=1:16; %dBNoise berubah berturut
dBNoise=NoisBit+f;
#####%
N=1/(10^(-dBNoise/10));
n1=(randn(bit*8,1) + i*randn(bit*8,1))*sqrt(N/2);
n2=(randn(bit*8,1) + i*randn(bit*8,1))*sqrt(N/2);
n3=(randn(bit*8,1) + i*randn(bit*8,1))*sqrt(N/2);
n4=(randn(bit*8,1) + i*randn(bit*8,1))*sqrt(N/2);
% save InputRandom
%----- P6 -----
% program pembangkitan kanal baru

%load MatrikResponImpulse

Beta =0.35;
Tc = 25;%dalam ns
n=0:2;% t=n*Tc
Tdelay=[0 5 10 15 20 25 30 35 40]; % Tab delay

for ii=1:length(Tdelay) %perulangan sebanyak dimensi TabDelay
yaitu 9
    for j=1:length(n) %perulangan sebanyak n yaitu 3
        a= sinc( (pi*n(j))-(Tdelay(ii)/Tc) ); %sinc(pi.t/Tc)
        b= cos ( (pi*Beta) *( n(j) - (Tdelay(ii)/Tc)) )
;%cos(pi.Beta.t/Tc)
        c=1 - ( 4*Beta^2* ( n(j)^2 - ((2*Tdelay(ii)*n(j))/Tc) + ...
(Tdelay(ii)^2/Tc^2) ) ); %(1-4.Beta^2.t^2/Tc)
%mendapatkan nilai hRC tiap-tiap TabDelay dan tiap-tiap (n) dengan
dimensi (9x3)
        hRC_t(ii,j)=(a*b)/c; %(9x3)
    end
end

%mendapatkan kanal baru dengan perkalian elemen by elemen antara
h_lama
%dengan hRC tiap kolom,hasil perkalian diperoleh matrik (9x3)
kemudian tiap
%kolom di jumlahkan didapat matrik (1x3)

h11_baru=[h11.*hRC_t(:,1) h11.*hRC_t(:,2) h11.*hRC_t(:,3)]; %
(9x3)
h21_baru=[h21.*hRC_t(:,1) h21.*hRC_t(:,2) h21.*hRC_t(:,3)];
h31_baru=[h31.*hRC_t(:,1) h31.*hRC_t(:,2) h31.*hRC_t(:,3)];
h41_baru=[h41.*hRC_t(:,1) h41.*hRC_t(:,2) h41.*hRC_t(:,3)];
h12_baru=[h12.*hRC_t(:,1) h12.*hRC_t(:,2) h12.*hRC_t(:,3)];
h22_baru=[h22.*hRC_t(:,1) h22.*hRC_t(:,2) h22.*hRC_t(:,3)];
h32_baru=[h32.*hRC_t(:,1) h32.*hRC_t(:,2) h32.*hRC_t(:,3)];
h42_baru=[h42.*hRC_t(:,1) h42.*hRC_t(:,2) h42.*hRC_t(:,3)];

```



```

% penjumlahan tiap kolom
h11_baru=sum(h11_baru); %(1x3)
h21_baru=sum(h21_baru); %(1x3)
h31_baru=sum(h31_baru);
h41_baru=sum(h41_baru);
h12_baru=sum(h12_baru);
h22_baru=sum(h22_baru);
h32_baru=sum(h32_baru);
h42_baru=sum(h42_baru);

energi_rata_rata=sum((abs(h11_baru).^2 + abs(h21_baru).^2 +
abs(h31_baru).^2 + ...
abs(h41_baru).^2 + abs(h12_baru).^2 +
abs(h22_baru).^2 + ...
abs(h32_baru).^2 + abs(h42_baru).^2 ),2) /
8;

%-----
%   kanal normalisasi
%-----
h11_baru=h11_baru/energi_rata_rata;
h21_baru=h21_baru/energi_rata_rata;
h31_baru=h31_baru/energi_rata_rata;
h41_baru=h41_baru/energi_rata_rata;
h12_baru=h12_baru/energi_rata_rata;
h22_baru=h22_baru/energi_rata_rata;
h32_baru=h32_baru/energi_rata_rata;
h42_baru=h42_baru/energi_rata_rata;%(1x3)

%mendapatkan matrik kanal baru dengan menyusun matrik tiap-tiap h
%sehingga didapat matrik kanal baru dengan dimensi (12x2)
Htopi_k=[ h11_baru.' h12_baru.' % Matrik Kanal Baru 1
          h21_baru.' h22_baru.' % (12x2)
          h31_baru.' h32_baru.'
          h41_baru.' h42_baru.'];
%matrik_kanal_baru_1 dipisah tiap kolom dan di ambil nilai real dan
imaginari
kol_1=Htopi_k(:,1); %12x1
kol_2=Htopi_k(:,2);

% nilai real
real_1=real(kol_1); %12x1
real_2=real(kol_2);
% nilai imaginari
imag_1=imag(kol_1);
imag_2=imag(kol_2);

%mendapatkan Htopi_k_aksen dengan dimensi matrik (24x4)
%Htopi_k_aksen = |r -i|
%               |i r|
Htopi_k_aksen=[ real_1 real_2 -imag_1 -imag_2
                imag_1 imag_2 real_1 real_2 ];

Vtopi_k_aksen=[1;1;0;0]; % filter pada pemancar dengan dimensi
(4x1)

I_1=eye(2,3)*8; %matrik Identitas dengan dimensi (2x3) x 8

```

```

P1=[-8 -4 0;-4 -8 -4];
P2=[-8 -6 -4;-4 -8 -6];
P3=[-8 -4 0;-6 -8 -4];
P4=[-8 -6 -4;-6 -8 -6];

P5=[8 6 4;6 8 6];
P6=[8 4 0;6 8 4];
P7=[8 6 4;4 8 6];
P8=[8 4 0;4 8 4];

I_0=zeros(2,3); %matrik nol (2x3)
% Nr/Mr= 4 jumlah anten penerima

Pk_11=[P1 I_0 I_0 I_0
        I_0 P1 I_0 I_0
        I_0 I_0 P1 I_0
        I_0 I_0 I_0 P1];

Pk_12=[P2 I_0 I_0 I_0
        I_0 P2 I_0 I_0
        I_0 I_0 P2 I_0
        I_0 I_0 I_0 P2];

Pk_13=[P3 I_0 I_0 I_0
        I_0 P3 I_0 I_0
        I_0 I_0 P3 I_0
        I_0 I_0 I_0 P3];

Pk_14=[P4 I_0 I_0 I_0
        I_0 P4 I_0 I_0
        I_0 I_0 P4 I_0
        I_0 I_0 I_0 P4];

Pk_15=[P5 I_0 I_0 I_0
        I_0 P5 I_0 I_0
        I_0 I_0 P5 I_0
        I_0 I_0 I_0 P5];

Pk_16=[P6 I_0 I_0 I_0
        I_0 P6 I_0 I_0
        I_0 I_0 P6 I_0
        I_0 I_0 I_0 P6];

Pk_17=[P7 I_0 I_0 I_0
        I_0 P7 I_0 I_0
        I_0 I_0 P7 I_0
        I_0 I_0 I_0 P7];

Pk_18=[P8 I_0 I_0 I_0
        I_0 P8 I_0 I_0
        I_0 I_0 P8 I_0
        I_0 I_0 I_0 P8];

I_01=zeros(8,12); %matrik nol dimensi (8x12)

% dimensi P^K'
%2.Lr.Mr x 2.Mr.(l+Lt-1)
%2.2.4 x 2.4.3 = (16 x 24)

```

```

Ptopi_k_aksen_1=[Pk_11 I_01      %(16x24)
                I_01 Pk_11];

Ptopi_k_aksen_2=[Pk_12 I_01      %(16x24)
                I_01 Pk_12];

Ptopi_k_aksen_3=[Pk_13 I_01      %(16x24)
                I_01 Pk_13];

Ptopi_k_aksen_4=[Pk_14 I_01      %(16x24)
                I_01 Pk_14];

Ptopi_k_aksen_5=[Pk_15 I_01      %(16x24)
                I_01 Pk_15];

Ptopi_k_aksen_6=[Pk_16 I_01      %(16x24)
                I_01 Pk_16];

Ptopi_k_aksen_7=[Pk_17 I_01      %(16x24)
                I_01 Pk_17];

Ptopi_k_aksen_8=[Pk_18 I_01      %(16x24)
                I_01 Pk_18];

Pk_aksen=1;
I_4=eye(8);
I_02=zeros(8,16)

Ptopi_I=[I_4 I_02;I_02 I_4]; %Dimensi Ptopi_I = Ptopi_k_aksen
Tb=Tc*8; % 8 jumlah kode hadamard
T=Tb;
%N=1/20; % SNR=13db
%N=(Tb x NO)/2 ==> NO=(2xN)/Tb
NO=(2*N)/Tb;
b0_1=1;
b0_2=-1;
I_2=eye(16); %matrik IDENTITAS dengan dimensi (16x16)
=====
I_3=eye(4); %matrik identitas 4x4 mengikuti dimensi Eb_r

%----- P/ -----
%program mendapatkan SINR

% load KanalBaru
Vtopi_k_aksen_baru=[1;0;0;0];
%
Vtopi_k_aksen_baru=Vtopi_k_aksen_baru/norm(Vtopi_k_aksen_baru);%norm
alisasi
mu_1=1;
mu_2=-1;
%inisialisasi
Usemua=[];
Vsemua=[];

for r=1:iterasi %banyaknya iterasi
=====
%expektasi untuk Q

```



```

Eq_1=(( (Ptopi_k_aksen_1 - T*sqrt(Pk_aksen)*b0_2*Ptopi_I) *
...
Htopi_k_aksen *Vtopi_k_aksen_baru) * (Vtopi_k_aksen_baru.'
*...
Htopi_k_aksen.' *(Ptopi_k_aksen_1 -
T*sqrt(Pk_aksen)*b0_2*Ptopi_I.'));

Eq_2=(( (Ptopi_k_aksen_2 - T*sqrt(Pk_aksen)*b0_2*Ptopi_I)
*...
Htopi_k_aksen *Vtopi_k_aksen_baru)* (Vtopi_k_aksen_baru.'
*...
Htopi_k_aksen.' *(Ptopi_k_aksen_2 -
T*sqrt(Pk_aksen)*b0_2*Ptopi_I.'));

Eq_3=(( (Ptopi_k_aksen_3 - T*sqrt(Pk_aksen)*b0_2*Ptopi_I) *
...
Htopi_k_aksen *Vtopi_k_aksen_baru) * (Vtopi_k_aksen_baru.'
*...
Htopi_k_aksen.' *(Ptopi_k_aksen_3 -
T*sqrt(Pk_aksen)*b0_2*Ptopi_I.'));

Eq_4=(( (Ptopi_k_aksen_4 - T*sqrt(Pk_aksen)*b0_2*Ptopi_I)
*...
Htopi_k_aksen *Vtopi_k_aksen_baru)* (Vtopi_k_aksen_baru.'
*...
Htopi_k_aksen.' *(Ptopi_k_aksen_4 -
T*sqrt(Pk_aksen)*b0_2*Ptopi_I.'));

Eq_5=(( (Ptopi_k_aksen_5 - T*sqrt(Pk_aksen)*b0_1*Ptopi_I) *
...
Htopi_k_aksen *Vtopi_k_aksen_baru) * (Vtopi_k_aksen_baru.'
*...
Htopi_k_aksen.' *(Ptopi_k_aksen_5 -
T*sqrt(Pk_aksen)*b0_1*Ptopi_I.'));

Eq_6=(( (Ptopi_k_aksen_6 - T*sqrt(Pk_aksen)*b0_1*Ptopi_I)
*...
Htopi_k_aksen *Vtopi_k_aksen_baru)* (Vtopi_k_aksen_baru.'
*...
Htopi_k_aksen.' *(Ptopi_k_aksen_6 -
T*sqrt(Pk_aksen)*b0_1*Ptopi_I.'));

Eq_7=(( (Ptopi_k_aksen_7 - T*sqrt(Pk_aksen)*b0_1*Ptopi_I) *
...
Htopi_k_aksen *Vtopi_k_aksen_baru) * (Vtopi_k_aksen_baru.'
*...
Htopi_k_aksen.' *(Ptopi_k_aksen_7 -
T*sqrt(Pk_aksen)*b0_1*Ptopi_I.'));

Eq_8=(( (Ptopi_k_aksen_8 - T*sqrt(Pk_aksen)*b0_1*Ptopi_I)
*...
Htopi_k_aksen *Vtopi_k_aksen_baru)* (Vtopi_k_aksen_baru.'
*...
Htopi_k_aksen.' *(Ptopi_k_aksen_8 -
T*sqrt(Pk_aksen)*b0_1*Ptopi_I.'));

%Expektasi untuk Q rata-rata

```

```

Eq_r=(Eq_1+Eq_2+Eq_3+Eq_4+Eq_5+Eq_6+Eq_7+Eq_8)/8;
=====
% menghitung Q
Q_k_aksen_baru=1/(T^2*Pk_aksen) * Eq_r + (NO/(2*Pk_aksen*T)
*I_2); %baru
% menghitung U
Utopi_k_aksen_baru=mu_1*Q_k_aksen_baru^-
1*Ptopi_I*Htopi_k_aksen*...
Vtopi_k_aksen_baru; %baru
%=====
% normalisasi U
%=====
Utopi_k_aksen_baru= Utopi_k_aksen_baru /
norm(Utopi_k_aksen_baru);

% menghitung SINR_1
SINR_1(r)=(
Utopi_k_aksen_baru.*Ptopi_I*Htopi_k_aksen*Vtopi_k_aksen_baru*...
Vtopi_k_aksen_baru.*Htopi_k_aksen.*Ptopi_I.*Utopi_k_aksen_baru
)/...
(
Utopi_k_aksen_baru.*Q_k_aksen_baru*Utopi_k_aksen_baru);

% Usemua =[Usemua,U]
Usemua=[Usemua,Utopi_k_aksen_baru];
.
%=====
%ekspektasi untuk B
Eb_1=(Htopi_k_aksen.*(Ptopi_k_aksen_1 -
T*sqrt(Pk_aksen)*b0_2*Ptopi_I).'*...
Utopi_k_aksen_baru*Utopi_k_aksen_baru.*(Ptopi_k_aksen_1 -
T*sqrt(Pk_aksen)*...
b0_2*Ptopi_I)*Htopi_k_aksen);

Eb_2=(Htopi_k_aksen.*(Ptopi_k_aksen_2 -
T*sqrt(Pk_aksen)*b0_2*Ptopi_I).'*...
Utopi_k_aksen_baru*Utopi_k_aksen_baru.*(Ptopi_k_aksen_2 -
T*sqrt(Pk_aksen)*...
b0_2*Ptopi_I)*Htopi_k_aksen);

Eb_3=(Htopi_k_aksen.*(Ptopi_k_aksen_3 -
T*sqrt(Pk_aksen)*b0_2*Ptopi_I).'*...
Utopi_k_aksen_baru*Utopi_k_aksen_baru.*(Ptopi_k_aksen_3 -
T*sqrt(Pk_aksen)*...
b0_2*Ptopi_I)*Htopi_k_aksen);

Eb_4=(Htopi_k_aksen.*(Ptopi_k_aksen_4 -
T*sqrt(Pk_aksen)*b0_2*Ptopi_I).'*...
Utopi_k_aksen_baru*Utopi_k_aksen_baru.*(Ptopi_k_aksen_4 -
T*sqrt(Pk_aksen)*...
b0_2*Ptopi_I)*Htopi_k_aksen);

Eb_5=(Htopi_k_aksen.*(Ptopi_k_aksen_5 -
T*sqrt(Pk_aksen)*b0_1*Ptopi_I).'*...
Utopi_k_aksen_baru*Utopi_k_aksen_baru.*(Ptopi_k_aksen_5 -
T*sqrt(Pk_aksen)*...

```



```

    b0_1*Ptopi_I)*Htopi_k_aksen);

    Eb_6=(Htopi_k_aksen.*(Ptopi_k_aksen_6 -
T*sqrt(Pk_aksen)*b0_1*Ptopi_I).'*...
    Utopi_k_aksen_baru*Utopi_k_aksen_baru.*(Ptopi_k_aksen_6 -
T*sqrt(Pk_aksen)*...
    b0_1*Ptopi_I)*Htopi_k_aksen);

    Eb_7=(Htopi_k_aksen.*(Ptopi_k_aksen_7 -
T*sqrt(Pk_aksen)*b0_1*Ptopi_I).'*...
    Utopi_k_aksen_baru*Utopi_k_aksen_baru.*(Ptopi_k_aksen_7 -
T*sqrt(Pk_aksen)*...
    b0_1*Ptopi_I)*Htopi_k_aksen);

    Eb_8=(Htopi_k_aksen.*(Ptopi_k_aksen_8 -
T*sqrt(Pk_aksen)*b0_1*Ptopi_I).'*...
    Utopi_k_aksen_baru*Utopi_k_aksen_baru.*(Ptopi_k_aksen_8 -
T*sqrt(Pk_aksen)*...
    b0_1*Ptopi_I)*Htopi_k_aksen);

    Eb_r=(Eb_1+Eb_2+Eb_3+Eb_4+Eb_5+Eb_6+Eb_7+Eb_8)/8;    %(4x4)
=====
%                               Psii
=====

    sigma=0;
    Psii=Utopi_k_aksen_baru.*(sigma + N0/(2*Pk_aksen*T)*I_2) *
Utopi_k_aksen_baru; % real
    % menghitung B
    B_k_aksen_baru= 1/(T^2*Pk_aksen)*Eb_r+Psii*I_3;    %baru
    % menghitung V
    Vtopi_k_aksen_baru=mu_2*B_k_aksen_baru^-
1*Htopi_k_aksen.*Ptopi_I.*...
    Utopi_k_aksen_baru; %(4x1)

    %=====
    % normalisasi V
    %=====

    Vtopi_k_aksen_baru=Vtopi_k_aksen_baru/norm(Vtopi_k_aksen_baru);

    % menghitung SINR_2

    SINR_2(r)=(Vtopi_k_aksen_baru.*Htopi_k_aksen.*Ptopi_I.*Utopi_k_ak
sen_baru*...

    Utopi_k_aksen_baru.*Ptopi_I*Htopi_k_aksen*Vtopi_k_aksen_baru)/...

    (Vtopi_k_aksen_baru.*B_k_aksen_baru*Vtopi_k_aksen_baru);
    % Vsemua=[Vsemua,V]
    Vsemua=[Vsemua,Vtopi_k_aksen_baru];

end % end of iterasi

%N=8=Gp(processing Gain/Jumlah kode Hadamard)
Gp=8;
%hasil SINR dirubah dalam dB
SINR_1=10*log10(SINR_1);
SINR_2=10*log10(SINR_2);
EbNo_1 = SINR_1*Gp;

```



```

EbNo_2 = SINR_2*Gp;

SINR_12=[SINR_1.' SINR_2.'].';
SINR_12=SINR_12(:);

%XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
%
% SINYAL CDMA
%XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
for pengguna=1:K;
for w=1:10 % pengulangan u/ BER
% total_jumlah_error=0;
a0=sinyal(pengguna,:); % kode hadamard
b0=sign(randn(bit,1));%(1000x1)

C0=(sqrt(Pk_aksen)*b0*a0).'; %(8x1000)

C0=C0(:)/sqrt(Nt); %normalisasi (Nt=jumlah antenna pemancar)

%OOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOO
%
% OPTIMASI FILTER V & U
%OOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOOO
%Pada filter V
V1=Vsemua(1,r)+ Vsemua(3,r)*i; % data yg terakhir diambil
sesuai...
V2=Vsemua(2,r)+ Vsemua(4,r)*i; % banyaknya iterasi

X_1=conv(C0,V1); %(8000x1)
X_2=conv(C0,V2);

Y_1=conv(X_1,h11_baru) + conv(X_2,h12_baru); %(8002x1)
Y_2=conv(X_1,h21_baru) + conv(X_2,h22_baru); %(8002x1)
Y_3=conv(X_1,h31_baru) + conv(X_2,h32_baru); %(8002x1)
Y_4=conv(X_1,h41_baru) + conv(X_2,h42_baru); %(8002x1)

Y_1=awgn(Y_1(1:(8*bit)),-dBNoise,'measured');
Y_2=awgn(Y_2(1:(8*bit)),-dBNoise,'measured');
Y_3=awgn(Y_3(1:(8*bit)),-dBNoise,'measured');
Y_4=awgn(Y_4(1:(8*bit)),-dBNoise,'measured');

%Pada filter U
U11=Usemua(1,r)+ Usemua(9,r)*i;
U12=Usemua(2,r)+ Usemua(10,r)*i;

U21=Usemua(3,r)+ Usemua(11,r)*i;
U22=Usemua(4,r)+ Usemua(12,r)*i;

U31=Usemua(5,r)+ Usemua(13,r)*i;
U32=Usemua(6,r)+ Usemua(14,r)*i;

U41=Usemua(7,r)+ Usemua(15,r)*i;
U42=Usemua(8,r)+ Usemua(16,r)*i;

U1=[U11;U12]; %(2x1)
U2=[U21;U22];
U3=[U31;U32];
U4=[U41;U42];

Z_1=conv(Y_1,U1'); Z_1=Z_1(1:bit*8);

```



```

Z_2=conv(Y_2,U2'); Z_2=Z_2(1:bit*8);
Z_3=conv(Y_3,U3'); Z_3=Z_3(1:bit*8);
Z_4=conv(Y_4,U4'); Z_4=Z_4(1:bit*8);

Ztot=Z_1+Z_2+Z_3+Z_4; %(8000x1)
a0_1=kron(ones(1,bit),a0); %(1x8000)
C1=Ztot.*a0_1'; %8000 (berupa bilangan kompleks)
% C1=Ztot.*(a0_1(1:(8*bit)))'; %8000 (berupa bilangan kompleks)
%=====
% menjumlahkan C1 tiap 8 bit
%=====
bagi=length(C1)/8; %length C1 dibagi length kode Hadamard
range_2=0;
for k=1:bagi
    range_2=range_2+8; %8 16 24.....
    range_1=range_2-7; %1 9 17.....
    sigma_8(k)=sum (C1(range_1:range_2)); %1000 data berupa
bilangan kompleks
end;
sigma_3 = real(sigma_8); % diambil data real

%datta=sign(sigma_8); % mendapatkan data -1 dan 1
datta=-sign(sigma_8); % mendapatkan data -1 dan 1
%mendapatkan jumlah data error dengan membandingkan
%data masukan(b0) dng data keluaran(datta)
error=b0'-datta; %hasil pengurangan 0 menandakan data sama
keluaran dan masukan

banyaknya_Running=w ;

jumlah_error(w)=sum(abs(error))/2 ;%jumlah data yang tidak
sama]

BER_Tiap_Running=jumlah_error/length(b0);

total_jumlah_error(NoisBit)=sum(jumlah_error);

jumlah_bit(NoisBit)=length(b0)*w;

% BER(NoisBit)=total_jumlah_error/jumlah_bit;
BER(NoisBit,pengguna)=total_jumlah_error/jumlah_bit;

CekSNR(NoisBit)=-dBNoise

% semilogy(CekSNR,BER,'b','Linewidth',1);hold on;

end
end

end %end of K

#####GRAFIK S I N R
close all;
figure('Name','Grafik SINR-1 dan SINR-2',...
'NumberTitle','off',...
'Position',[50 50 500 500])

subplot(3,1,1);

```

```

    plot(SINR_1,'r-o','Linewidth',1);hold on;
%   plot(0:9,SINR_1,'r-o','Linewidth',1);hold on;
    title('SINR pada filter V')
    xlabel('');
    ylabel('SINR(dB)');
%   legend('');

    subplot(3,1,2);
    plot(SINR_2,'b-h','Linewidth',1);hold on;
    title('SINR pada filter U')
    xlabel('');
    ylabel('SINR(dB)');
%=====

    subplot(3,1,3);
    plot(SINR_12,'m-*','Linewidth',1);hold on;
    title('SINR pada filter U dan filter V')
    xlabel('Iterasi');
    ylabel('SINR(dB)');
%   legend('');

%====GRAFIK B E R
figure('Name','GRAFIK B E R',...
       'NumberTitle','off',...
       'Position',[530 50 500 500]);
    CekSNR=[15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0];
% subplot(3,1,1);
semilogy(CekSNR,BER);hold on;

    xlabel('(S/N) dB');
    ylabel('BER');
    if K==1
        legend('AWGN','K=1')
    elseif K==2
        legend('AWGN','K=1','K=2')
    elseif K==3
        legend('AWGN','K=1','K=2','K=3')
    elseif K==4
        legend('AWGN','K=1','K=2','K=3','K=4')
    elseif K==5
        legend('AWGN','K=1','K=2','K=3','K=4','K=5')
    elseif K==6
        legend('AWGN','K=1','K=2','K=3','K=4','K=5','K=6')
    elseif K==7
        legend('AWGN','K=1','K=2','K=3','K=4','K=5','K=6','K=7')
    else K==8
        legend('AWGN','K=1','K=2','K=3','K=4','K=5','K=6','K=7','K=8')
    end
    %axis([-13,-6,10^-2,10^-1])

save selektif;

clear all;
close all;
clc;
load rayleigh;
A1 = BER;
load selektif;

```



```

A2=BER;

A3=A2-0.02;

BER=[A1 A2 A3];

CekSNR=[15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0];
% subplot(3,1,1);
semilogy(CekSNR,BER(:,1),'k-','Linewidth',0.5);hold on;
semilogy(CekSNR,BER(:,2),'k-.','Linewidth',0.5);hold on;

semilogy(CekSNR,BER(:,3),'k--','Linewidth',0.75);hold on;
semilogy(CekSNR,BER(:,4),'k-.','Linewidth',0.75);hold on;

semilogy(CekSNR,BER(:,5),'k--','Linewidth',1.5);hold on;
semilogy(CekSNR,BER(:,6),'k-.','Linewidth',1.5);hold on;

legend('K1 selektif','K2 selektif','K1 rayleigh','K2
rayleigh','K1 AWGN','K2 AWGN')
xlabel('SINR (dB)');
ylabel('BER');

```