

PERBANDINGAN KINERJA SISTEM CDMA OPTIK KOHEREN DAN INKOHEREN PADA SISTEM SINKRON DAN ASINKRON BERDASARKAN PENGKODEAN OPTIK

Sari Ayu Wulandari¹, Achmad Hidayatno², Imam Santoso²
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Abstrak – Salah satu konsep dasar komunikasi serat optik, memungkinkan beberapa pengguna, mengirimkan data pada satu kanal, sehingga didapatkan kecepatan data yang tinggi dari serat optik. Salah satu teknik multiple access adalah akses jamak divisi kode optik (OCDMA). Pada OCDMA, tiap pengguna ditandai oleh satu atau lebih deret biner yang disebut kode PN. Masukan kanal berisi penggabungan dari beberapa sinyal spektrum tersebar pengguna, dan pada penerima, korelator optik akan mengawasandikanya kembali. OCDMA memungkinkan jumlah pengguna yang terbatas, peningkatan jumlah pengguna akan memperburuk kinerja sistem. Penelitian ini diperlukan untuk mencari sistem dengan peluang galat terkecil.

Laporan tugas akhir ini, akan membahas kinerja sistem CDMA optik, lengkap dengan simulasi dan analisis beberapa deret kode CDMA optik. Kode yang akan diteliti adalah deret kode primer (untuk sistem asinkron) dan deret kode primer yang telah dimodifikasi (MPC, untuk sistem sinkron). Perangkat lunak yang digunakan pada penelitian, memodifikasi antara teknik sinkron (kode MPC) dan asinkron (kode primer), ataupun koheren (kode bipolar) dan inkoheren (kode unipolar). Parameter yang dipakai adalah jumlah pengguna dan angka primer. Keseluruhan sistem dibandingkan dan dianalisis kinerjanya.

Hasilnya akan terlihat bahwa untuk jumlah pengguna yang besar pada jaringan, sistem inkoheren sinkron menunjukkan kinerja yang terbaik.

Kata-kunci : OCDMA, kode primer, MPC, peluang galat.

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan layanan komunikasi yang semakin pesat dan beragam, tentunya membutuhkan kecepatan data yang semakin tinggi dan lebar bidang yang semakin besar. Hingga pertengahan tahun 90-an, serat optik digunakan untuk komunikasi berkecepatan tinggi. Metode akses jamak (*multiple access*), yang memungkinkan beberapa pengguna mengirimkan data secara bersama-sama pada sebuah kanal komunikasi, memungkinkan pembesaran lebar bidang komunikasi. Salah satu metode akses jamak adalah akses jamak divisi kode (*Code Division Multiple Access*, CDMA), yang mengirimkan data dari banyak pengguna pada frekuensi dan waktu yang sama. Kelemahan dari metode ini adalah besarnya interferensi antar data pengguna (*MultiAccess Interference*, MAI). Sehingga

timbulah gagasan untuk menggabungkan kedua keuntungan antara media dan metode komunikasi ini, yaitu sebuah teknik baru CDMA optik (*Optical Code Division Multiple Access*, OCDMA), yang mempunyai kinerja yang handal, dengan peluang galat yang lebih kecil dari 10^{-12} .

1.2 Tujuan

Tujuan tugas akhir ini adalah membandingkan kinerja OCDMA koheren dan inkoheren pada transmisi sinkron dan asinkron, berdasarkan hasil analisis, kemudian dipilih yang mempunyai P_E terkecil.

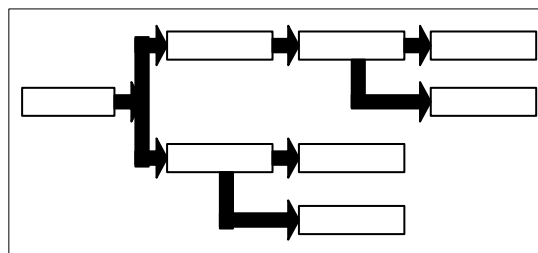
1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah tugas akhir sebagai berikut.

1. Simulasi yang dilakukan menggunakan perangkat lunak Matlab 6.5.
2. Derau transmisi diabaikan dan hanya difokuskan pada MAI.
3. Parameter yang dipakai, diwakili oleh dua parameter utama yaitu : jumlah pengguna bersama dan jumlah angka primer.
4. Sistem OCDMA koheren sinkron dapat melewati pengguna bersama maksimal 100 pengguna, dengan lebar kode maksimal 10000,
5. Hasil simulasi yang diamati dan dianalisis berupa peluang galat (*Probability Of Error*, P_E).

II. DASAR TEORI

2.1 Dasar Sistem Komunikasi CDMA Optik



Gambar 2.1 Diagram blok klasifikasi sistem komunikasi OCDMA.

Sistem komunikasi OCDMA dapat berupa optik secara keseluruhan atau hanya sebagian saja yang optik. Pada yang menggunakan optik sebagian saja, sistem OCDMA menggunakan optik sekurang-kurangnya pada kanal komunikasi, baik dengan serat optik atau dengan kanal tanpa kabel. Sumber data dari sistem komunikasi OCDMA bersifat koheren atau inkoheren. Pada sistem

[1] Mahasiswa teknik elektro undip

[2] Dosen teknik elektro undip

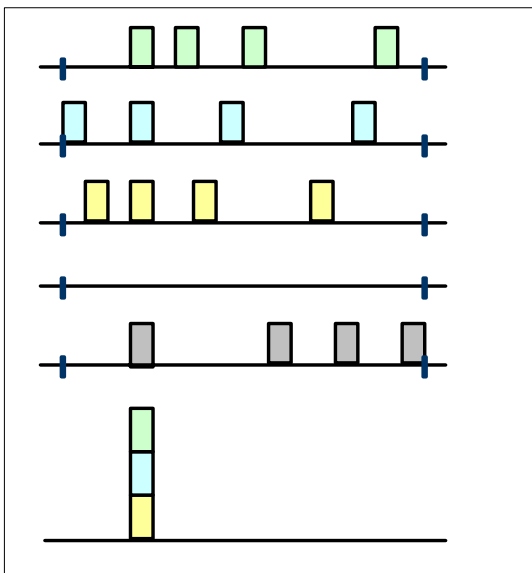
inkoheren, penerima menggunakan deteksi langsung sedangkan pada sistem koheren penerima menggunakan deteksi *homodyne*. Transfer datanya dapat secara sinkron atau asinkron. Pada sistem yang sinkron, bit dan chip-nya disinkronkan. Pada sistem asinkron bit-nya tidak sinkron, tapi chip yang dikirim disinkronkan.

2.2 Korelasi Diri dan Korelasi Silang Pada CDMA

Korelasi dapat diartikan sebagai ukuran seberapa mirip jika dua buah sinyal dibandingkan. Korelasi digunakan untuk mendeteksi hubungan antar sinyal spektrum tersebar. Korelasi diri (*autocorrelation*), berguna untuk mengukur hubungan antara sebuah deret dengan replika pergeserannya sendiri. Sedangkan korelasi silang (*cross correlation*) digunakan untuk mengenali data terkirim, yang telah dikodekan menjadi deret kode spektrum tersebar. Rangkaian korelasi, terdiri dari mixer dan filter. Filter berfungsi untuk menghilangkan interferensi pada deret kode spektrum tersebar yang diterima.

2.3 Interferensi Akses Jamak (MAI)

Ketika diterima bit 1, interferensi dari pengguna lain tidak mengganggu proses deteksi, tetapi ketika diterima bit 0, interferensi menyebabkan keputusan yang salah. Sensitifitas sistem OCDMA untuk kelebihan bit 1, akan ditunjukkan pada contoh sederhana berikut ini. Ada 4 pengguna yang disinkronisasi dan lebar bit-nya 16 chip.



Gambar 2.2 Keputusan salah yang disebabkan oleh kelebihan bit 1 pada kode yang diterima.

Sinyal spektrum tersebar $S_k(t) = s_1(t), s_2(t), s_3(t), s_4(t)$, merupakan sinyal spektrum tersebar dari pengguna 1, 2, 3 dan 4. Bit 1 dikirim ke pengguna 1, 2

dan 3. Bit 0 dikirim ke pengguna 4. Penerima dari pengguna 4 membuat keputusan yang salah, ketika dikorelasikan antara deret kode spektrum tersebar $s_4(t)$ dengan sinyal yang diterima $r_k(t) = s_1(t) + s_2(t) + s_3(t) + s_4(t)$.

2.4 Sistem CDMA Optik Inkoheren dan Koheren

2.4.1 Sistem CDMA Optik Inkoheren

Sistem komunikasi inkoheren menggunakan penerima deteksi langsung (*Direct Detection/ DD*). Sumber cahaya yang digunakan pada sistem inkoheren adalah LED, sehingga pengkodeannya menggunakan format unipolar. Pemancar menggunakan modulasi intensitas (*Intensity Modulation / IM*) yaitu modulasi penguncian *on-off* (*On Off Keying/ OOK*). Proses pengkodean dan pendekodean dilakukan oleh perangkat tunda optik (*Optical Time Delay Lines, OTDL*).

2.4.2 Sistem CDMA Optik Koheren

Sistem komunikasi koheren menggunakan penerima deteksi *homodyne*. Pada deteksi *homodyne*, sinyal terima gabungan didekodekan kembali dengan salinan kode PN yang dibentuk dari OPG. Kemudian frekuensi bit disinkronisasi dengan oscilator lokal (*Local Oscillator, LO*). Sumber cahaya yang digunakan pada sistem koheren adalah laser, sehingga pengkodeannya menggunakan format bipolar. Pemancar menggunakan modulasi penguncian phase (*Phase Shift Keying/ PSK*). Setiap penerima, mengkorelasikan kode PN-nya sendiri, dengan sinyal

terima gabungan $r_k(t) = \sum_{i=1}^K S_k(t)$ dari semua pengguna. Korelasi diperoleh dari keluaran filter sinyal terima gabungan.

2.5 Kode Optik OCDMA

2.5.1 Kode Primer

Pembangkitan kode primer didasarkan pada *Galois field* $GF(P) : GF(P) = \{0, 1, \dots, j, \dots, P-1\}$. Deret primer $S_{k,i} = (s_{k,0}, s_{k,1}, \dots, s_{k,j}, \dots, s_{k,(P-1)})$ dirancang sesuai elemen j dari $GF(P)$, sehingga akan didapat lebar kode $n = P^2$. Hal ini diperlihatkan pada tabel 2.1 untuk $P=5$. Setelah merancang deret $S_{k,i}$, deret tersebut kemudian dipetakan menjadi deret kode biner $c_{k,i} = (c_{k,0}, c_{k,1}, \dots, c_{k,j}, \dots, c_{k,(N-1)})$ sebagai berikut.

$$c_{k,i} = \begin{cases} 1 & \text{untuk } i = S_{k,j} + jP \quad j=0, 1, \dots, P-1 \\ 0 & \text{lainnya} \end{cases} \quad (2.1)$$

Pemetaan dari deret primer S_k , ke deret kode c_k dengan $P=5$ diperlihatkan pada table 2.1. Setiap kode mempunyai P biner 1.

Table 2.1. Deret primer S_k , dan deret kode primer c_k untuk GF (5).

k	i	Drft	Deret Kode					
0	00000	S_0	c_0	10000	10000	10000	10000	10000
1	01234	S_1	c_1	10000	01000	00100	00010	00001
2	02413	S_2	c_2	10000	00100	00001	01000	00010
3	03142	S_3	c_3	10000	00010	01000	00001	00100
4	04321	S_4	c_4	10000	00001	00010	00100	01000

2.5.2 Kode Primer Modifikasi (MPC)

MPC menggunakan satu set deret kode yang dirancang dari versi pergeseran waktu pada kode primer. Puncak korelasi silang antara 2 versi pergeseran waktu dari kode, dapat menjadi sama tinggi dari pada puncak korelasi diri, sehingga membutuhkan sinkronisasi pada penerima. Atas dasar inilah sistem OCDMA yang menggunakan MPC, sering disebut sebagai OCDMA yang telah disinkronisasi. Ketika pada MPC dilakukan pergeseran waktu, akan sangat banyak kemungkinan deret kode (P^2), maka kode ini memungkinkan penggunaan jumlah pengguna yang lebih besar.

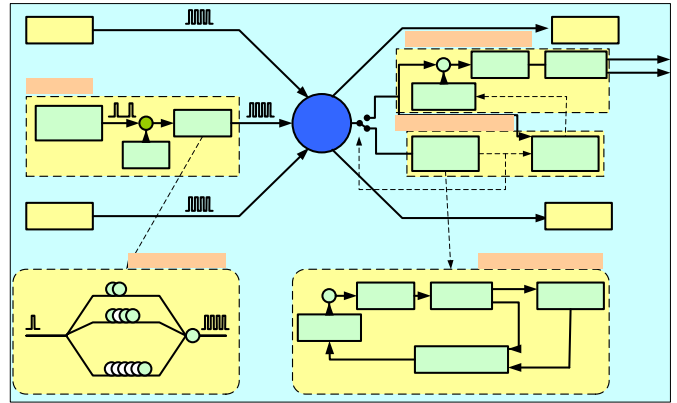
Tiap kode dibangkitkan dari kode primer asli dengan lebar P, dari deret primer, $S_{k,i}$ digunakan sebagai titik awalan untuk MPC. Kelompok pertama pembangkitan kode, $c_{0,1}$, didapatkan dengan rotasi kekiri dari deret kode CDMA $c_{0,0}$, $c_{0,0}$ dari kode primer dirotasi kekiri P-1 waktu. Untuk kelompok lain, dengan ($k = \{1,2,..,P-1\}$), MPC dapat dibangkitkan dengan menggeser deret primer P-1 waktu lagi, maka akan didapat deret primer baru $S_{k,t,i} = s_{k,t,0}, s_{k,t,1}, \dots, s_{k,t,j}, \dots, s_{k,t,(P-1)}$, dengan t adalah jumlah waktu $S_{k,i}$ dirotasi kekiri. $S_{k,t,i}$ dipetakan menjadi deret kode $c_{k,t,i} = (c_{k,t,0}, c_{k,t,1}, \dots, c_{k,t,j}, \dots, c_{k,t,(n-1)})$ jika memenuhi persamaan berikut.

$$c_{k,t,i} = \begin{cases} 1 & \text{untuk } i=S_{k,t,j} + jP \quad j=0,1,\dots,P-1 \\ 0 & \text{lainnya} \end{cases} \quad (2.2)$$

III. PERANCANGAN SIMULASI

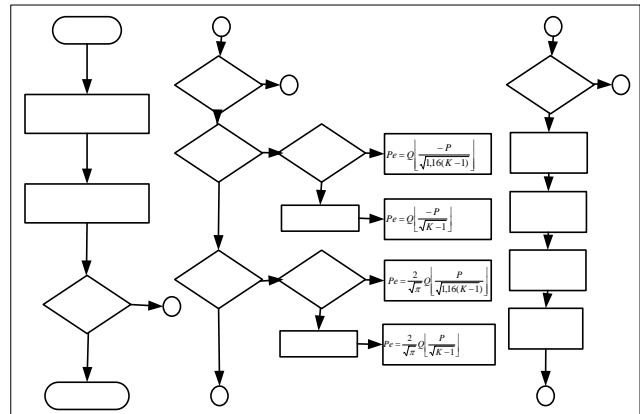
3.1 Diagram Blok

Gambar 3.1 memperlihatkan diagram blok simulasi sistem OCDMA. Untuk membedakan antara sinyal pemancar yang satu dengan yang lain, maka setiap bit informasi sumber data dari pemancar yang berbeda, dikodekan oleh sebuah penyandi optik yang akan memetakan bit informasi menjadi sederetan sinyal spektrum tersebar. Tiap pemancar menyediakan satu kode PN, yang diketahui baik pemancar maupun penerima. Modulasi dikerjakan oleh modulator optik OTDL. Sinyal informasi mempunyai durasi $T_b = T/N$, dimana N adalah lebar kode. Pada pengkode OCDMA, T_b dibangkitkan dan dipilah-pilah tiap chip (T_c). Gabungan dari T_c membentuk pola kode spektrum tersebar OCDMA.



Gambar 3.1 Diagram blok simulasi sistem OCDMA.

3.2 Diagram Alir



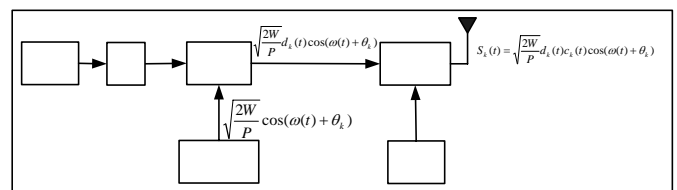
Gambar 3.2 Diagram alir simulasi sistem OCDMA.

Penerima komunikasi optik dapat dibagi menjadi 2 kategori yaitu deteksi langsung (inkoheren) dan deteksi koheren. Pada sistem OCDMA, transfer datanya dapat secara sinkron atau asinkron

3.3 Perancangan Sistem Inkoheren dan Koheren

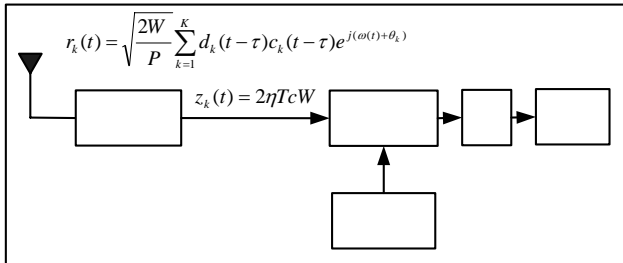
Kode OCDMA dikelompokkan menjadi koheren dan inkoheren. Koherensi tergantung dari sumber datanya. Sinyal bersifat koheren jika mempunyai beda fase, dengan frekuensi dan amplitudo yang sama. Sehingga sinyal koheren diwakili dengan kode bipolar (-1, +1). Sedangkan inkoheren, jika tidak mempunyai beda fase, sehingga diwakili dengan kode unipolar (0, +1).

3.3.1 Perancangan Sistem Inkoheren



Gambar 3.3 Pemancar sistem inkoheren.

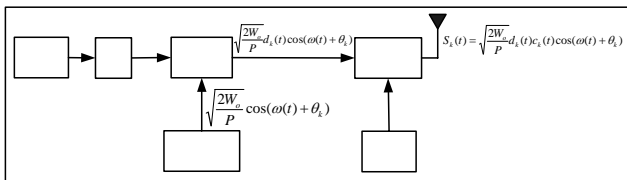
Pada bagian pengirim, sinyal informasi /data biner yang masih berupa sinyal elektrik diubah menjadi sinyal optik oleh EOC, $d_k(t)$, kemudian dimodulasi data dengan sinyal pembawa sehingga menghasilkan $a_k(t)$. Sinyal $a_k(t)$ kemudian dimodulasi lagi pada modulator kode dengan PN kode, $c_k(t)$, menghasilkan sinyal spektrum tersebar $S_k(t)$.



Gambar 3.4 Penerima sistem inkoheren.

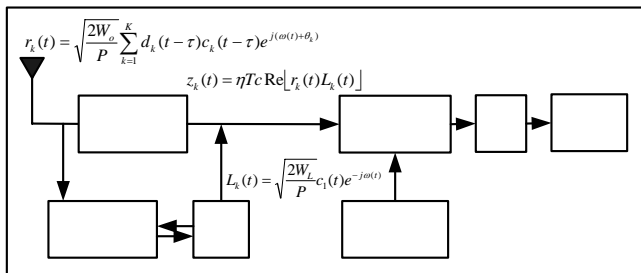
Pada bagian penerima, sinyal yang diterima $r_k(t)$ didemodulasi kode, menghasilkan $z_k(t)$ yang masih bersifat sebagai sinyal kontinu. Sinyal $z_k(t)$ kemudian mengalami demodulasi dengan osilator lokal. Pada demodulator data, terjadi pemisahan antara sinyal informasi dengan sinyal pembawanya. Sinyal informasi yang dilewatkan masih berupa sinyal optik, sehingga melalui OEC sinyal berubah menjadi sinyal elektrik. Proses demodulasi kode dilakukan langsung oleh OTDL.

3.3.2 Perancangan Sistem Koheren



Gambar 3.5 Pengirim sistem koheren.

Pada bagian pengirim, hampir sama dengan sistem inkoheren, perbedaanya hanya pada pembangkitan kodenya. Jika inkoheren OPG membangkitkan kode primer, sedang jika koheren, OPG membangkitkan kode MPC.



Gambar 3.6 Penerima sistem koheren.

Pada bagian penerima koheren, sinyal yang diterima $r_k(t)$ dikalikan kembali dengan $L_k(t)$, yang merupakan salinan sinyal pengkode, $c_k(t)$, pada pengirim. Sinyal $L_k(t)$ disebut dengan sinyal referensi yang diperoleh dari proses sinkronisasi kode. Hasil perkalian tersebut menghasilkan $z_k(t)$ yang masih bersifat sebagai sinyal kontinu. Sinyal $z_k(t)$ kemudian mengalami demodulasi dengan osilator lokal. Pada demodulator data, terjadi pemisahan antara sinyal informasi dengan sinyal pembawanya. Sinyal informasi yang dilewatkan masih berupa sinyal optik, sehingga melalui OEC sinyal berubah menjadi sinyal elektrik.

3.4 Perancangan Parameter-Parameter Simulasi

Parameter yang dipakai adalah sebagai berikut.

1. Angka Primer (P) yang digunakan adalah $P=(2, 19, 37, 47, 59, 67, 77, 89, 97, 100)$.
2. Grafik yang ditampilkan hanya terbatas pada 100 jumlah pengguna.
3. Ketelitian P_E yang ingin dicapai adalah berkisar 10^{-12} (ukuran piko), untuk itu dilakukan dengan nilai yang berbeda dari $P=2$ hingga $P=100$, pada jumlah pengguna maksimal 100 pengguna.

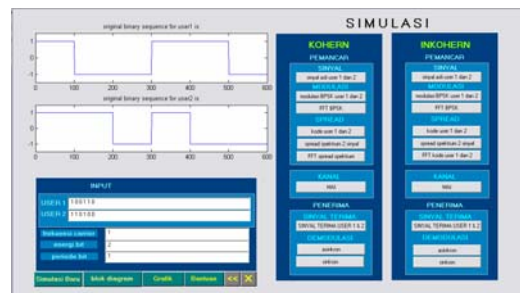
IV. PERANCANGAN SIMULASI

Pada bagian ini akan diuraikan dan dianalisis tujuan yang diperoleh dari simulasi.

1. Simulasi pemrosesan sinyal.
2. Kinerja asinkron inkoheren.
3. Kinerja sinkron inkoheren.
4. Perbandingan kinerja asinkron sinkron inkoheren.
5. Kinerja asinkron koheren.
6. Kinerja sinkron koheren.
7. Perbandingan kinerja asinkron sinkron koheren.
8. Perbandingan kinerja sinkron koheren inkoheren.
9. Perbandingan kinerja asinkron koheren inkoheren.
10. Perbandingan asinkron sinkron koheren inkoheren.

4.1 Blok Simulasi

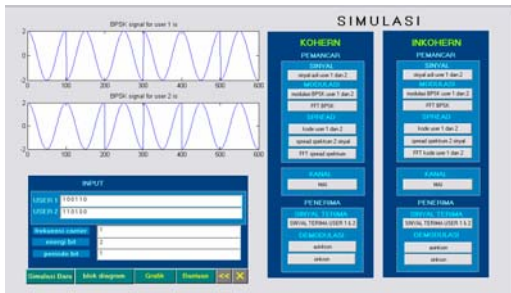
4.1.1 Blok Sinyal Asli



Gambar 4.1 Tampilan sinyal masukan.

Gambar 4.1 menunjukkan sinyal masukan dari model OCDMA. Dalam program ini, sinyal masukan disimulasikan sebagai sinyal digital.

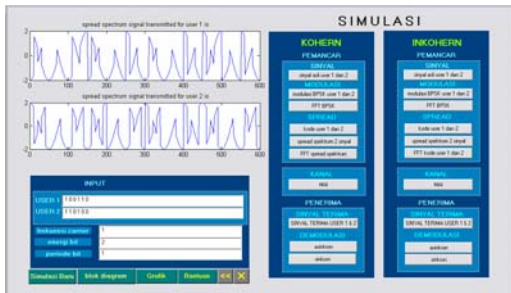
4.1.2 Blok Modulasi



Gambar 4.2 Tampilan sinyal informasi termodulasi.

Gambar 4.2 menunjukkan sinyal informasi termodulasi dari model OCDMA.

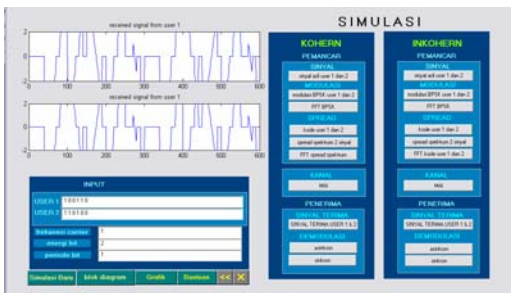
4.1.3 Blok Sinyal Spektrum Tersebar



Gambar 4.3 Tampilan sinyal spektrum tersebar.

Gambar 4.3 menunjukkan sinyal spektrum tersebar dari model OCDMA.

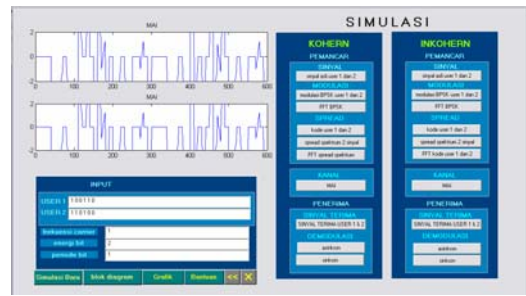
4.1.4 Blok Sinyal Terima



Gambar 4.4 Tampilan sinyal terima.

Gambar 4.4 menunjukkan sinyal terima pada penerima dari model OCDMA.

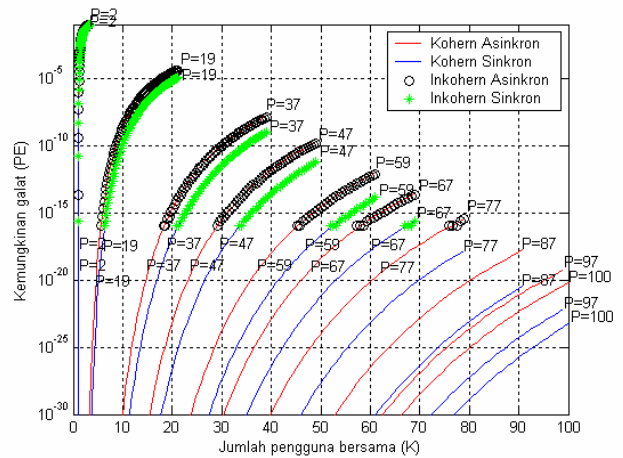
4.1.5 Blok Demodulasi



Gambar 4.5 Tampilan sinyal demodulasi.

Gambar 4.5 menunjukkan sinyal demodulasi pada penerima dari model OCDMA.

4.2 Perbandingan Peluang Galat Dengan Jumlah Pengguna



Gambar 4.6 Grafik perbandingan kinerja sistem koheren inkoheren sinkron asinkron.

Tabel 4.1 Cuplikan hasil simulasi kinerja sistem inkoheren dan koheren asinkron sinkron.

k	100	Keterangan
PE (P=67)	$0,2575 \times 10^{-13}$	Sistem koheren Asinkron
PE (P=67)	$0,9548 \times 10^{-14}$	Sistem inkoheren Asinkron
PE (P=67)	$0,2525 \times 10^{-15}$	Sistem koheren sinkron
PE (P=67)	$0,1110 \times 10^{-15}$	Sistem inkoheren sinkron

Dari kedua tabel diatas dapat dilihat urutan nilai P_E dari yang terbesar hingga terkecil, pada jumlah pengguna maksimum yang sama, yaitu 100, dan jumlah angka primer P yang sama, yaitu 67. Sehingga dapat disimpulkan bahwa dari keempat sistem diatas, sistem inkoheren sinkron mempunyai P_E yang terkecil, artinya kinerjanya paling baik.

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Pada semua sistem, P_E berbanding lurus dengan jumlah pengguna dan berbanding terbalik dengan angka primernya.

2. Pada k yang sama, P_E inkoheren sinkron lebih kecil dibandingkan inkoheren asinkron.
3. Pada k yang sama, P_E koheren sinkron lebih kecil dibandingkan koheren asinkron.
4. Dari keempat sistem, inkoheren sinkron mempunyai P_E yang terkecil.
5. Pada semua sistem, peningkatan SIR akan memperkecil P_E , kinerjanya naik.
6. Pada semua sistem, peningkatan lebar kode akan memperbesar P_E , kinerjanya turun.

5.2 Saran

1. Percobaan bisa dilakukan dengan variasi media optik dengan sistem transmisi yang lain, misalnya OFDMA dan OTDMA. Sehingga dapat dibandingkan kinerjanya secara kuantitatif.
2. Percobaan bisa dilakukan dengan membandingkan OCDMA dengan sistem transmisi optik lain seperti DWDMA atau WDMA.
3. Dapat menggunakan kode optik yang lain, misalnya kode ortogonal optik (Orthogonal Optic Codes/ OOC), kode RS (Reed Solomon), Hadamard dan Walsh, ataupun menggunakan kode optik 2 dimensi.
4. Pada sistem koheren dapat menggunakan modulasi PSK yang lain, misalnya QPSK, DPSK atau MPSK, atau dengan modulasi FSK.
5. Pengembangan bagian transmisinya, misalnya FH-OCDMA, MW-OCDMA, atau yang lainnya.
6. Mencoba jaringan OCDMA untuk sistem tanpa kabel didalam ruangan.
7. Penelitian berikutnya dapat dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak yang lebih bagus seperti Visual C++, Visual Basic, Delphi, atau versi yang lebih baik dari Matlab, seperti opt-sim atau paraxial plus.

Daftar Pustaka

- [1] Bedzhev, Borislav.Y, dkk. An Algorithm for Synthesis of Aperiodic Optical Orthogonal Codes. International Conference on Computer Systems and Technologies – CompSysTech. 2005
- [2] Couch, Leon.W. Digital And Analog Communication System. Prentice Hall International Inc. 1997
- [3] Han, Sangwook. Optical CDMA with Optical Orthogonal Code. IEEE Transactions on Communication. 2002
- [4] Jackel, Janet. Optical-CDMA: What, Why and How. Montana State. 2005
- [5] Karlson, Andreas. Simulation of a CDMA System Based On Optical Orthogonal Codes. Lincoping. 2004
- [6] Lundqvist, Henrik. Error Correction Coding for Optical CDMA. KTH Royal Institute of Technology. 2003

- [7] Oksa, Jarmo. Optical CDMA System. Nokia Group. IEEE Transactions on Communication. 1997
- [8] Proakis, J.G. Digital Communications. McGraw-Hill. 1983
- [9] Sklar, Bernard. Digital Communication. Prentice Hall. New Jersey. 1988
- [10] Surya, Roymundus. Perancangan Sistem CDMA Optik. Surabaya. 2004
- [11] Telkom, training center. Materi Pelatihan Teknologi CDMA untuk Mahasiswa Undip. Unit pelatihan daerah PT. Telkom. 2004

Biodata Penulis



Sari Ayu Wulandari

[L2F304275]

Lahir di Kudus, 20 Oktober 1981.
Mahasiswa Teknik Elektro Ekstensi 2004,
Bidang Teknik Elektronika dan
Telekomunikasi,
Universitas Diponegoro.
Email : Cicisaw@yahoo.com

Menyetujui dan Mengesahkan

Pembimbing I

Achmad Hidayatno, ST, MT
NIP. 132 137 933
Tanggal

Pembimbing II

Imam Santoso, ST, MT
NIP. 132 162 546
Tanggal