

SIMULASI SISTEM DS-CDMA DENGAN BERBAGAI KODE PENEBAR

Basuki Rachmat¹, Ali Muayadi², Arfianto Fahmi³

Jurusan Teknik Elektro, STT Telkom, Bandung

e-mail: ¹abass_ assisy@yahoo.com, ²aly@stttelkom.ac.id, ³arf@stttelkom.ac.id,

ABSTRAKSI

Pada sistem DS-CDMA, sejumlah user menggunakan lebar pita frekuensi yang sama dan dalam waktu yang bersamaan. Tiap user dibedakan oleh kode unik (kode penebar). Tetapi yang sering terjadi adalah adanya korelasi antar kode penebar yang digunakan, sehingga setiap user akan mengalami interferensi antar user. Hal ini sangat dipengaruhi oleh tingkat orthogonalitas dari kode penebar yang digunakan.

Pada makalah ini akan dilakukan studi komparasi kinerja sistem dengan menggunakan beberapa kode penebar yang berbeda-beda. Kode yang digunakan adalah PN-sequence, Walsh code, Zadoff-Chu code dan Golay Code. Lalu akan dibandingkan kinerja sistem ketika ada variabel yang berubah. Seperti bagaimana perbaikan kinerja sistem (BER) ketika jenis kode dan panjang kode berubah.

Dari simulasi kinerja sistem pada kondisi kanal AWGN dan Rayleigh, target BER layanan voice yaitu 10^{-3} dicapai pada rentang nilai SNR 5–10 dB untuk kode Walsh dan Golay, sedangkan untuk kode PN dan Zadoff tidak bisa mencapai target BER. Pada kondisi terburuk ketika kanal pada kondisi frekuensi selektif, kode Golay masih lebih baik dibandingkan dengan yang lain. Untuk kapasitas sistem sangat dipengaruhi oleh panjang kode penebar yang digunakan. Ketika jumlah user yang aktif mendekati panjang kode penebar yang digunakan maka kinerja sistem akan mengalami titik jenuh.

Kata kunci: DS-CDMA, Kode Spreading, Auto korelasi, Korelasi Silang

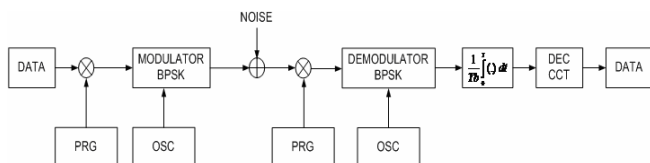
1. PENDAHULUAN

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

2. TEORI DASAR

2.1 DS-CDMA

DS-CDMA adalah salah satu teknik akses jamak untuk melayani *multi user* dengan menggunakan konsep spektral tersebar. Pada lingkungan *multi user*, setiap *user* diberikan kode penebar acak, artinya pada saat *user 1* ingin berkomunikasi dengan *user 2*, maka informasi pengirim tersebut harus ditebar dengan kode penebar yang sudah diasosiasikan dengan *user 2*. Untuk memperoleh kembali sinyal informasi yang terkirim, di *user 2*, sinyal DS-CDMA tersebut dikalikan kembali dengan urutan kode penebar yang sama dengan kode penebar *user 1*. Diagram blok modem DS-CDMA digambarkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Blok diagram modulator dan demodulator DS-CDMA

2.1.1 Pemancar DS-CDMA

Pada sisi pemancar user k , masing-masing bit data k pertama kali dikalikan dengan kode penebar yang masing-masing, $c_k(t)$. Hal ini yang menyebabkan spektrum sinyal informasi ditebar pada bandwidth yang dialokasikan. Kemudian sinyal dimodulasi oleh carriernya masing-masing sebelum ditransmisikan. Sehingga sinyal yang ditransmisikan menjadi [1]:

$$s_k(t) = A d_k(t) c_k(t) \cos(\omega_c t) \quad (1)$$

dimana ω_c adalah frekuensi dalam rad/sec dan A adalah amplitudo sinyal *carrier*.

2.1.2 Penerima DS-CDMA

Pada sisi penerima merupakan penjumlahan dari semua sinyal yang diterima, terdiri dari sinyal yang dikirimkan dari user ke-1 dan sinyal interferensi user ke $(K-1)$ jika dimisalkan sinyal yang diinginkan adalah user ke-1. Dengan mengabaikan noise maka sinyal yang diterima dinyatakan sebagai berikut [1]:

$$r(t) = \sum_{k=1}^K s_k(t - \tau_k) \quad (2)$$

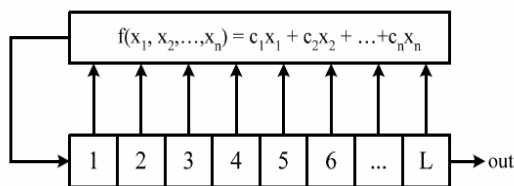
dimana τ_k adalah delay propagasi dari pemancar ke penerima dari user ke- k .

2.2 Kode Penebar

2.2.1 PN Code

PN-Code disebut acak semu (*pseudo-random*) karena kelihatan acak dengan keseimbangan -1 dan 1. Menggunakan *shift register* dengan panjang n , panjang kode yang dibangkitkan adalah $2^n - 1$. Jadi hanya panjang kode ganjil yang dapat dibangkitkan.[2]

Pembangkit kode PN-sequence dibuat dengan menggunakan register geser sederhana (*Simple Shift Register Generator*) seperti pada Gambar 2 di bawah yang memiliki feedback sinyal pada input tunggal register tersebut.



Gambar 2. Simple Shift Register Generator

Fungsi feedback $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ adalah penjumlahan modulo-2 dari isi register x_i dengan c_i adalah koefisien koneksi feedback. Sebuah pembangkit *Shift Register* dengan L flip-flop menghasilkan deretan yang tergantung pada panjang register L , koneksi sadapan (tap) feedback dan kondisi inisial register.

2.2.2 Walsh Code [2]

Walsh Hadamard, dibangkitkan oleh operasi matriks. Unit dasar matriks dari pembangkit kode Walsh Hadamard adalah:

$$H_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Panjang kode Walsh 2^n yang dapat dibangkitkan dengan mengikuti operasi matriks *recursive*

$$H_n = \begin{bmatrix} H_{n-1} & H_{n-1} \\ H_{n-1} & -H_{n-1} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Matriks H_n dengan ukuran $2^n \times 2^n$ dibentuk menggunakan matriks H_{n-1} dengan ukuran $2^{n-1} \times 2^{n-1}$ dengan H_2 pada persamaan 2.4. Setiap baris dari matriks H_n memberikan kode untuk satu *user*.

2.2.3 Golay Code [4]

$(A_i, 1 \leq i < p)$ merupakan satu set deret yang terbatas (± 1) , dengan panjang L dan $\psi_{A_i A_i}(k)$ menunjukkan bahwa k adalah elemen dari fungsi autokorelasi dari deretan A_i . A merupakan satu deretan yang komplementer jika dan hanya jika:

$$\sum_{i=1}^p \psi_{A_i A_i}(k) = 0, \quad k \neq 0 \quad (5)$$

Golay Code adalah salah satu kode spreading yang orthogonal, susunannya berulang yang didefinisikan dengan matriks CG_L , yang dimulai dengan matriks CG_2 .

$$CG_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} = [A_2 \quad B_2] \quad (6)$$

dan secara umum didefinisikan dengan persamaan:

$$CG_L = [A_L \quad B_L] \quad (7)$$

dengan nilai A_L dan B_L

$$\begin{cases} A_L = \begin{bmatrix} A_{L/2} & B_{L/2} \\ A_{L/2} & B_{L/2} \end{bmatrix} \\ B_L = \begin{bmatrix} A_{L/2} & -B_{L/2} \\ -A_{L/2} & B_{L/2} \end{bmatrix} \end{cases} \quad (2.8)$$

dimana matriks A_i dan B_i memiliki ukuran $L \times L/2$. Lebih ($i \neq j$), i.e.: *Orthogonal Code* juga merupakan kode yang komplementer

$$\psi_{A_i A_i}(k) + \psi_{A_j A_j}(k) = \begin{cases} 2L & \text{for } k = 0 \\ 0 & \text{for } k \neq 0 \end{cases} \quad (9)$$

2.2.4 Zadoff-Chu Code [4]

Zadoff-Chu Code adalah kasus khusus dari *Chirp-Like sequence* yang disamaratakan yang mempunyai nilai korelasi yang maksimal. *Zadoff-Chu Code* yang memiliki panjang L , selain memberikan nilai *periodic autocorrelation* yang ideal juga memiliki nilai *magnitude* (\sqrt{L}) *periodic cross-correlation* yang konstan. Didefinisikan dengan persamaan sebagai berikut:

$$Z_{C_r}(k) = \begin{cases} e^{j \frac{2\pi r}{L} (\frac{k^2}{2} + qk)} & \text{for } L \text{ even} \\ e^{j \frac{2\pi r}{L} (\frac{k(k+1)}{2} + qk)} & \text{for } L \text{ odd} \end{cases} \quad (10)$$

dimana q adalah integer, $k = 0, 1, 2, \dots, L-1$ dan r adalah index dari kode yang dihasilkan.

Untuk mendapatkan kode dengan panjang 32, maka kita masukkan $L=32$. Sehingga jika masukkan seluruh nilai r dan k , maka akan kita dapatkan panjang kode 32 dengan jumlah maksimal user 31. Dengan kata lain akan terbentuk matriks 31×32 .

Sebenarnya matriks yang dihasilkan adalah matriks kompleks, kemudian kita konversikan untuk nilai yang lebih kecil dari 0 menjadi -1 dan lebih besar dari 0 menjadi 1. Kemudian dari bilangan real dan imajiner yang dihasilkan, bisa kita ambil salah satunya, karena keduanya memiliki susunan yang sama.

Untuk mendapatkan panjang kode yang lain dilakukan hal yang sama, tinggal memasukkan panjang L yang dikehendaki.

2.3 Kanal

2.3.1 Additive White Gaussian Noise

Kita dapat menggambarkan *thermal noise* sebagai sebuah proses acak *zero-mean Gaussian*. Proses *Gaussian*, $n(t)$, adalah sebuah fungsi random yang memiliki nilai, n , dalam setiap waktu yang berubah-ubah, t , adalah bersifat statistik yang memenuhi karakter dari *probability density function (pdf) Gaussian*, $p(n)$ [6]

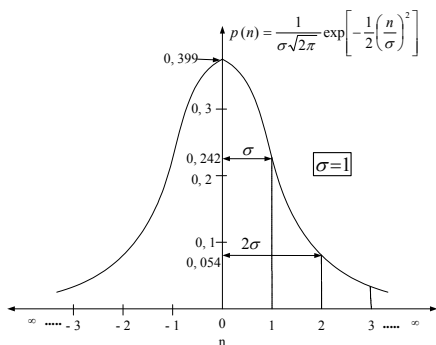
$$p(n) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{n}{\sigma} \right)^2 \right] \quad (11)$$

dengan σ^2 adalah variansi dari n . *Gaussian density function* ternormalisasi pada sebuah proses *zero-mean* dihasilkan dengan menganggap bahwa $\sigma = 1$. Sketsa *probability density function (pdf)* yang ternormalisasi digambarkan pada Gambar 3 [5].

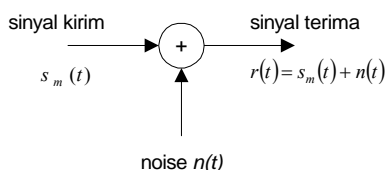
Pemodelan dari kanal *Additive White Gaussian Noise* diperlihatkan pada Gambar 4 [9].

Didefinisikan sinyal informasi $s_m(t)$ ditransmisikan pada interval $0 \leq t \leq T$, maka sinyal terima setelah terdistorsi *noise* adalah:

$$r(t) = s_m(t) + n(t), \quad 0 \leq t \leq T$$



Gambar 3. Probability density function (pdf) ternormalisasi



Gambar 4. Pemodelan kanal AWGN

2.3.2 Kanal Multipath Fading

Fading disebabkan oleh interferensi diantara dua atau lebih versi dari sinyal yang dikirim yang datang di penerima dengan perbedaan waktu yang singkat. Sinyal ini disebut sinyal *multipath* yang bergabung pada antena penerima untuk memberikan sinyal penjumlahan dengan amplituda dan fasa yang berubah-ubah. Sinyal *multipath* tergantung pada distribusi dari intensitas dan relatif waktu propagasi dari sinyal.[5]

2.3.3 Doppler shift

Ketika adanya pergerakan relatif antara pemancar dan penerima, maka akan mengakibatkan *Doppler shift*, sehingga akan menyebabkan adanya pelebaran spektral sinyal yang diterima.

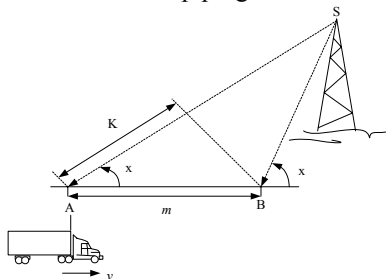
Perubahan fasa pada sinyal terima disebabkan oleh perbedaan panjang lintasan, adalah sebagai berikut [5]:

$$\Delta\Phi = \frac{2 \cdot \pi \cdot K}{\lambda} = \frac{2 \cdot \pi \cdot v \cdot dt}{\lambda} \cos x \quad (12)$$

dan karenanya jelas terlihat akan merubah dalam frekuensi, atau *Doppler shift*, yang diberikan oleh f_d dengan [5]:

$$f_d = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{\Delta\Phi}{dt} = \frac{v}{\lambda} \cos x \quad (13)$$

Besar f_d akan maksimum saat $\cos x = 1$, kondisi ini diberikan saat sinyal datang dari arah yang berlawanan terhadap pergerakan antena *user*.



Gambar 5. Pergerakan relatif antara pemancar dan penerima

a. Delay Spread dan Bandwith Koheren

Delay Spread dapat didefinisikan sebagai parameter yang mendeskripsikan karakteristik dari respon impuls kanal pada domain waktu. Adapun karakteristik respon kanal pada domain frekuensi diwakili oleh parameter *coherence bandwidth*.

Ketika sinyal yang dikirim memiliki *bandwith* lebih besar dari *bandwith* koheren, maka sinyal terkena *frequency selective fading*. Ketika sinyal yang ditransmisikan memiliki *bandwith* lebih kecil daripada *bandwith* koheren, maka sinyal terkena *flat fading*. Nilai dari *coherence bandwidth* (B_c) dapat dihitung dengan pendekatan sebagai berikut [7]:

$$B_c \approx \frac{1}{T_m} \quad (14)$$

dengan T_m adalah *maximum excess delay time*.

b. Doppler Spread dan Waktu Koheren

Doppler Spread (B_d) adalah parameter yang merepresentasikan ukuran pelebaran spektrum karena adanya perubahan dari kanal setiap waktu. Ketika dikirim sebuah sinyal sinusoidal murni dengan frekuensi f , maka spektrum sinyal terima akan mempunyai komponen spektral dalam range ($f-f_d$) sampai ($f+f_d$), dengan f_d adalah *Doppler shift*. Besarnya pelebaran spektral tersebut tergantung pada f_d . Ketika *bandwidth* sinyal baseband jauh lebih besar daripada B_d , maka pengaruh dari *Doppler Spread* dapat diabaikan oleh penerima.[5]

Coherence Time (waktu koheren) merupakan besaran statistik dari durasi waktu saat respon impuls kanal pada dasarnya tidak berubah. Sebagai pendekatan, *Coherence Time* (T_c) dapat dihitung dengan.[5,7]

$$T_c \approx \frac{1}{B_{d \max}} \quad (15)$$

Dengan $B_{d \max}$ adalah besarnya *Doppler Spread* maksimum yang diperoleh dari [5]:

$$B_{d \max} = \frac{v}{\lambda} \quad (16)$$

Ketika sinyal yang dikirim memiliki durasi simbol lebih lambat daripada *coherence time*, maka sinyal tersebut akan mengalami *slow fading*. Sedangkan ketika sinyal yang ditransmisikan memiliki durasi simbol lebih cepat daripada *coherence time*, maka sinyal tersebut akan terkena *fast fading*.

2.3.4 Rayleigh Fading [5]

Pada kanal radio yang selalu berubah-ubah, distribusi Rayleigh pada umumnya digunakan untuk mendeskripsikan statistik perbedaan waktu dari envelope yang diterima untuk sebuah sinyal *fading*. Distribusi Rayleigh mempunyai fungsi kerapatan probabilitas seperti yang ditunjukkan pada persamaan:

$$p(r_a) = \begin{cases} \frac{r_a}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{r_a^2}{2\sigma^2}\right) & (0 \leq r_a < \infty) \\ 0 & (r_a \leq 0) \end{cases} \quad (17)$$

dimana: σ = nilai rms dari level sinyal yang diterima sebelum detektor

σ^2 = daya waktu rata-rata dari sinyal yang diterima sebelum detektor

Probabilitas bahwa selubung dari sinyal yang diterima tidak melebihi suatu harga R_a yang spesifik ditunjukkan dengan *Cumulative Distribution Function (CDF)* atau fungsi distribusi kumulatif:

$$P(R_a) = P_{r_a}(r_a \leq R_a) = \int_0^{R_a} p(r_a) dr_a = 1 - \exp\left(-\frac{R_a^2}{2\sigma^2}\right) \quad (18)$$

Nilai rata-rata $r_{a\text{ mean}}$ dari distribusi Rayleigh adalah:

$$r_{a\text{ mean}} = E[r_a] = \int_0^\infty r_a p(r_a) dr_a = \sigma \sqrt{\frac{\pi}{2}} = 1,2533\sigma \quad (19)$$

$\sigma_{r_a}^2$ merupakan varian dari distribusi Rayleigh yang mewakili daya ac pada selubung sinyal.

$$\sigma_{r_a}^2 = E[r_a^2] - E^2[r_a] = \int_0^\infty r_a^2 p(r_a) dr_a - \frac{\sigma^2}{2} \quad (20)$$

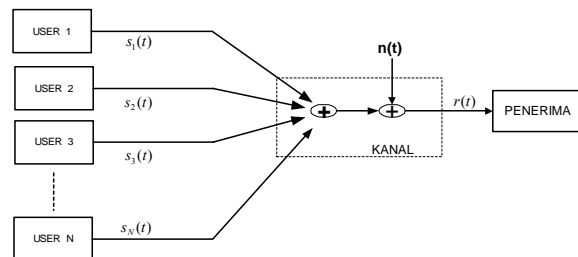
$$= \sigma^2 \left(2 - \frac{\pi}{2}\right) = 0,4292 \sigma^2 \quad (21)$$

Untuk menghitung nilai tengah r_a dapat digunakan persamaan (22) berikut ini

$$\frac{1}{2} = \int_0^{r_{a\text{ median}}} p(r_a) dr_a \Rightarrow r_{a\text{ median}} = 1,177\sigma \quad (22)$$

3. MODEL SIMULASI SISTEM

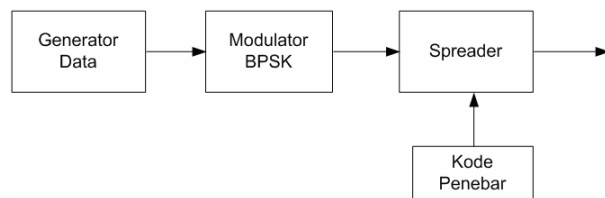
Secara umum, diagram blok model sistem komunikasi DS-CDMA yang akan disimulasikan ditunjukkan pada gambar di bawah ini:



Gambar 6. Model simulasi secara umum

3.1 Bagian Pengirim

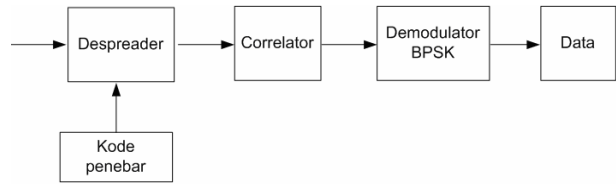
Bagian pengirim terdiri dari generator data, modulator BPSK dan *spreader*. Model pengirim DSSS dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Model Pengirim DSSS

3.2 Bagian Penerima

Bagian penerima terdiri dari *despreader*, modulator BPSK, *correlator* dan keputusan. Model penerima DSSS dapat dilihat pada Gambar 8.



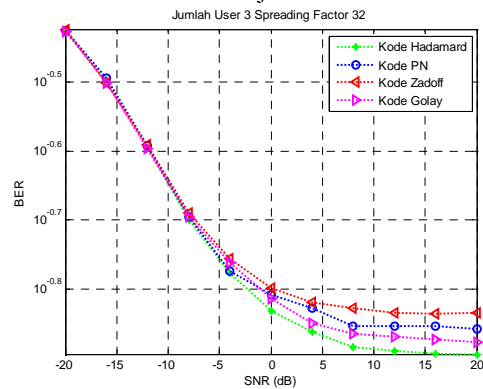
Gambar 8. Model Penerima DSSS

4. HASIL SIMULASI

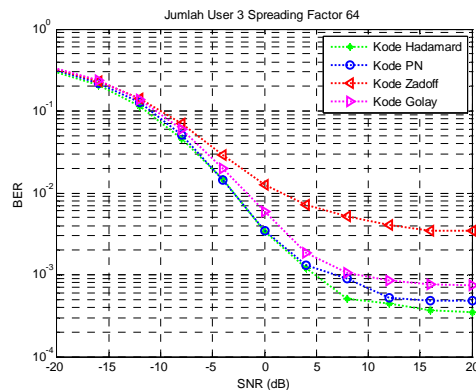
4.1 Simulasi pada kanal AWGN dan Rayleigh

Terlihat pada Gambar 9 dengan menggunakan SF = 32 untuk setiap kode, kinerja sistem sangat buruk hanya mencapai BER sekitar 10^{-1} . Hal ini selain disebabkan oleh penggunaan korelator konvensional juga dikarenakan penggunaan SF yang kecil hanya 32.

Penggunaan SF yang lebih besar memberikan kinerja sistem yang lebih baik, seperti terlihat pada Gambar 10. Dan disini terlihat ada perbaikan kinerja sistem untuk menggunakan keempat kode. Pada SNR -5 dB, yang sebelumnya BER hanya mencapai sekitar $10^{-0,65}$ - $10^{-0,7}$ menjadi 2.10^{-2} - 4.10^{-2} .

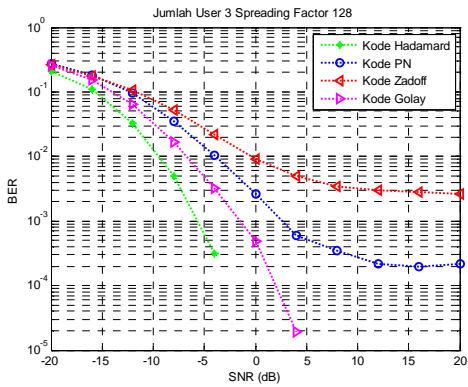


Gambar 9. Grafik kinerja sistem pada kanal AWGN dan Rayleigh untuk jumlah user = 3 dan spreading factor 32



Gambar 10. Grafik kinerja sistem pada kanal AWGN dan Rayleigh untuk jumlah user = 3 dan spreading factor 64

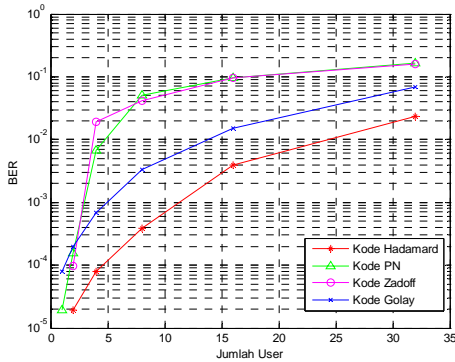
Dan untuk SF = 128, pencapaian target BER untuk kode Walsh pada nilai SNR = -4,5 dB, kode Golay pada nilai SNR = -3, kode PN pada nilai SNR = 2,5.



Gambar 11. Grafik kinerja sistem pada kanal AWGN dan Rayleigh untuk jumlah user 3 dan spreading factor 128

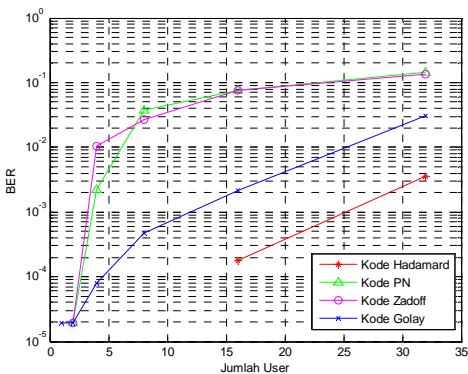
4.2 Simulasi Kapasitas Sistem

Sama seperti pada simulasi sebelumnya, maka pada gambar 12 dan 13 dilakukan analisis kapasitas sistem ketika dibebani user.



Gambar 12. Grafik kapasitas sistem pada kanal AWGN dan Rayleigh untuk nilai SNR = 0 dB

Terlihat dari grafik 12 dan 13 bahwa, dengan adanya penambahan SNR dari 0 dB menjadi 5 dB maka akan menambah jangkauan kapasitas sistem. Terlihat untuk kode Walsh masih mencapai target BER sampai 25 user, kode Golay sampai 12 user dan untuk PN dan Zadoff-Chu hanya sampai 4 user.

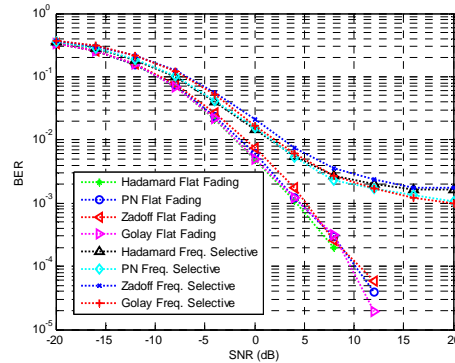


Gambar 13. Grafik kapasitas sistem pada kanal AWGN dan Rayleigh untuk nilai SNR 5 dB

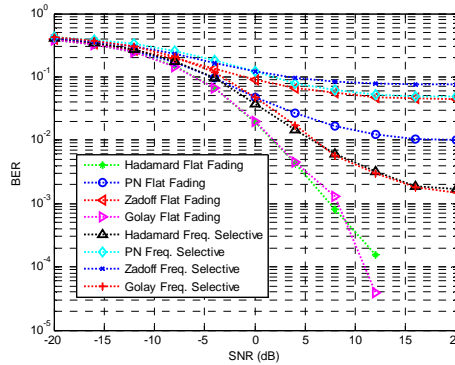
4.3 Pengaruh Selektifitas Kanal

Pada saat kondisi kanal frekuensi selektif fading, terlihat dari Gambar 14 bahwa terjadi penurunan kinerja sistem.

Dengan adanya penambahan jumlah user, keempat kode tidak bisa mencapai BER target. Seperti terlihat pada Gambar 15.



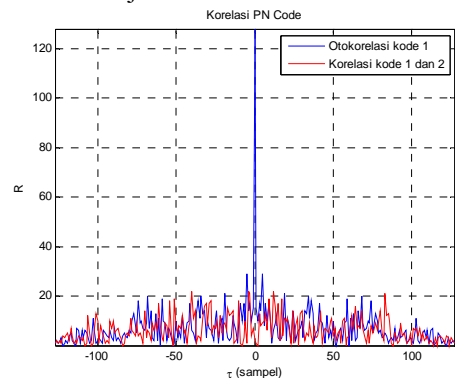
Gambar 14. Grafik kinerja sistem pada kanal Flat fading dan Freq. selective fading untuk jumlah user = 3



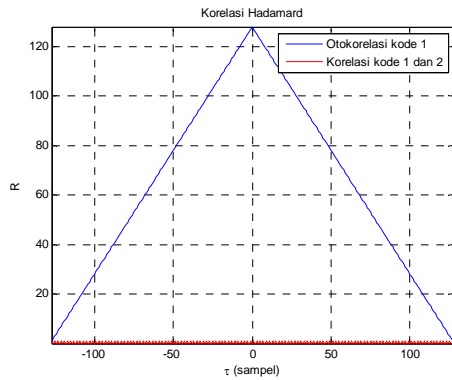
Gambar 15. Grafik kinerja sistem pada kanal Flat fading dan Freq. selective fading untuk jumlah user = 7

4.4 Analisis Nilai Korelasi Kode

Dari hasil simulasi, didapatkan bahwa dari keempat kode yang digunakan menunjukkan bahwa kode Hadamard memberikan kinerja terhadap sistem yang paling baik. Dibandingkan dengan kode Golay yang sama-sama merupakan kode orthogonal, kode Hadamard masih lebih baik dalam memberikan perbaikan kinerja sistem.

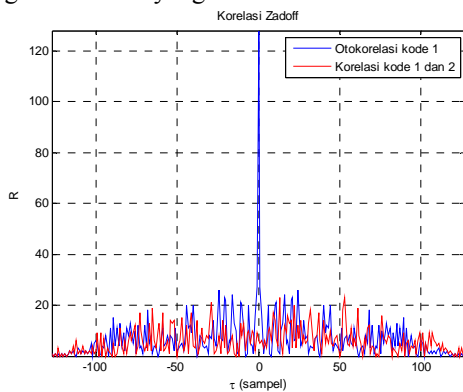


Gambar 16. Grafik Auto korelasi dan Korelasi silang untuk kode PN

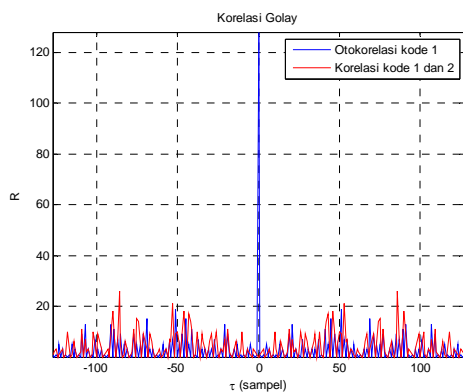


Gambar 17. Grafik Auto korelasi dan Korelasi silang untuk kode Walsh Hadamard

Untuk kode PN dan Zadoff-Chu yang sama-sama bukan kode orthogonal, keduanya memberikan kinerja terhadap sistem relatif sama. Dan tentunya perbaikan yang diberikan lebih rendah dibanding dengan dua kode yang lain.



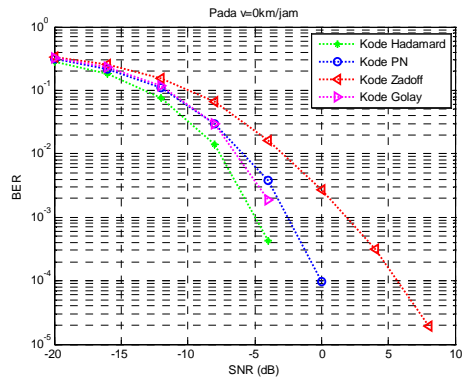
Gambar 18. Grafik Auto korelasi dan Korelasi silang untuk kode Zadoff-Chu



Gambar 19. Grafik Auto korelasi dan Korelasi silang untuk kode Golay

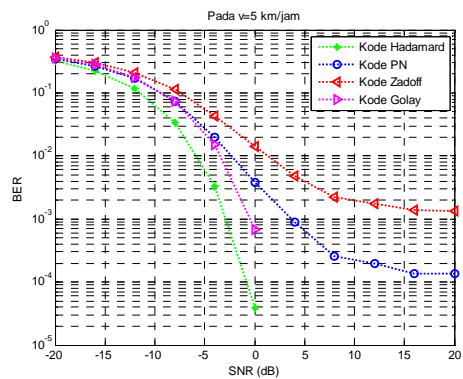
4.5 Simulasi Dengan Pengaruh Kecepatan User

Tampak pada grafik 20, 21, dan 22, bahwa kinerja sistem akan semakin berkurang ketika pergerakan user semakin cepat, dengan kata lain bahwa frekuensi dopplernya meningkat.

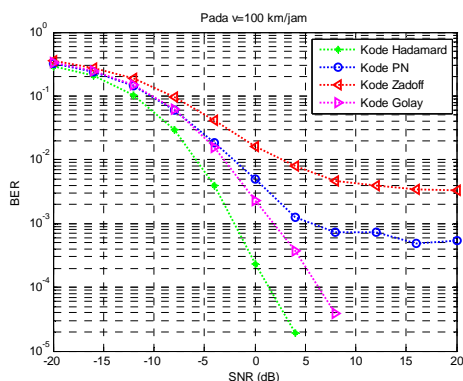


Gambar 20. Grafik kinerja sistem pada kecepatan 0 Km/ jam

Semakin kecepatan user bertambah, maka akan tampak pula bahwa perbaikan kinerja sistem yang diberikan oleh masing-masing kode mengalami penurunan.



Gambar 21. Grafik kinerja sistem pada kecepatan 5 Km/ jam



Gambar 22. Grafik kinerja sistem pada kecepatan 100 Km/ jam

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari makalah ini dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada simulasi kinerja system pada kanal AWGN dan Rayleigh, dengan SF=32 keempat kode tidak bisa mencapai BER target baik untuk jumlah user 3 ataupun 7.
2. Untuk SF=64 ada perbaikan yang diberikan oleh kode Walsh, PN, dan Golay untuk jumlah user =3 pada rentang SNR 5 – 10 dB dan untuk

- jumlah user =7 hanya kode walsh yang bisa mencapai BER target pada SNR 8 dB.
3. Pada SF=128 ada perbaikan yang signifikan, untuk jumlah user =3 kode Walsh, Golay dan PN mencapai target BER pada rentang SNR -5 – 3 dB dan untuk jumlah user 7 ada penurunan, hanya Walsh dan Golay yang mencapai Target BER masing-masing pada SNR -3 dB dan 2,5 dB.
 4. Pada kondisi kanal terkena noise AWGN dan pada kanal Rayleigh, kode Walsh Hadamard memberikan kinerja terhadap sistem paling baik dibandingkan dengan ketiga kode lainnya.
 5. Pada kondisi terburuk, ketika kanal pada kondisi frekuensi selektif dengan jumlah user 3, kode Golay mampu mencapai target BER, masih lebih baik dibandingkan dengan kode Walsh Hadamard. Pada jumlah user 7 kode Golay masih memberikan kinerja yang lebih baik dari pada kode Walsh Hadamard. Seperti terlihat pada gambar 4.9 dan 4.10. Artinya kode Golay cocok untuk digunakan ketika kanal pada kondisi frekuensi selektif.
 6. Untuk kapasitas sistem sangat dipengaruhi oleh panjang kode penebar yang digunakan. Grafik kapasitas sistem akan semakin menurun seiring dengan pertambahan jumlah user. Dan kinerja sistem akan mengalami titik jenuh ketika jumlah user mendekati panjang kode yang digunakan.
 7. Pada SNR 5 dB kode walsh masih mampu menangani jumlah user sampai 25 user pada BER target dan untuk SNR 0 dB hanya mampu sampai 12 user. Penambahan nilai SNR dan penggunaan panjang kode akan meningkatkan kapasitas sistem.
 8. Kode Walsh dan Golay memberikan kinerja terhadap sistem relatif sama dan tentunya lebih baik dari kode PN dan Zadoff-Chu. Jika dilihat dari grafik korelasi, keduanya memiliki nilai auto korelasi yang tinggi dan nilai korelasi silang yang rendah.
 9. Untuk kode PN dan Zadoff-Chu yang sama-sama bukan kode orthogonal, keduanya memberikan kinerja terhadap sistem relatif sama. Dan tentunya perbaikan yang diberikan lebih rendah dibanding dengan dua kode yang lain. Hal ini bisa kita lihat dari grafik korelasi PN dan Zadoff-Chu pada gambar 4.10, yang menunjukkan nilai korelasi silang yang masih cukup tinggi. Selain itu juga kedua kode ini memiliki nilai auto korelasi yang tinggi tetapi hanya pada sample 0, sehingga ketika terdelay maka perbaikan terhadap kinerja sistem memburuk.
 10. Kinerja sistem akan semakin berkurang ketika pergerakan user semakin cepat, dengan kata lain bahwa frekuensi dopplernya meningkat

5.2 Saran

1. Makalah selanjutnya dapat dikembangkan dengan menggunakan jenis kode penebar yang lain, terutama untuk jenis kode penebar kompleks.
2. Pada makalah ini sinkronisasi kode penebar dianggap sempurna. Untuk makalah selanjutnya dapat dikembangkan dengan menerapkan

sinkronisasi kode penebar (*tracking and acquisition*).

3. Untuk makalah selanjutnya bisa disimulasikan pada sistem MC-CDMA, terutama untuk penggunaan jenis kode penebar kompleks.
4. Sistem komunikasi yang telah dimodelkan masih sangat sederhana, source coding, channel coding dan error control tidak dipakai sehingga kinerjanya masih berkisar pada $10^{-2} < BER < 10^{-4}$. Untuk makalah selanjutnya perlu dibuat model yang lebih nyata agar dapat dicapai kualitas BER yang lebih baik.
5. Untuk kajian makalah lebih lanjut, perlu juga kiranya untuk dilakukan makalah pada arah *reverse/ downlink*.

PUSTAKA

- [1] Eduardus Primus de Rosari, *Analisis Performansi Sistem Wide Band MC-CDMA pada Jaringan Komunikasi Radio di dalam Ruangan*, STT Telkom Bandung, 2004.
- [2] Hanzo L, L-L Yang, E-L.Kuan, K.Yen, *Single and Multicarrier CDMA*, IEEE Press-John Wiley, 2000.
- [3] Ir. J. Meel, *Spread Spectrum Introduction*, De Nayer Institute, 1999.
- [4] John G Proakis, *Digital communication*, New York : Mc Graw-Hill, 1995.
- [5] Nurhandono David, *Analisis Kinerja Sub-Optimal Linear Multiuser Detection pada Sistem DS-CDMA*, STT Telkom Bandung, 2005.
- [6] Rappaport, Theodore S., *Wireless Communications: Principles and Practice*, Prentice-Hall, 2002.
- [7] Richard van Nee, Ramjee Prasad, *OFDM for Wireless Multimedia Communications*, Boston : Artech House, 2000.
- [8] S. Hara and R. Prasa, *Overview of Multicarrier CDMA*, IEEE Communication Magazine, December 1997.
- [9] S. Nobilet, J-F. H'elard, D. Mottier, *Spreading Sequences for Uplink and Downlink MC-CDMA Systems: PAPR and MAI Minimization*.
- [10] V.M. Da Silva and E.S. Sousa, "Performance of Orthogonal CDMA Codes for Quasi-Synchronous Communication System", Proc. Dari IEEE ICUPC '93, Ottawa, Canada, Oktober, hal. 995-999.