

# UNJUK KERJA KODE ORTHOGONAL M-SEQUENCE DALAM SISTEM DIRECT SEQUENCE SPREAD SPECTRUM MELALUI KANAL MULTIPATH FADING

Komang Gede Widi Adnyana<sup>1</sup>, Nyoman Pramaita<sup>2</sup>, I Made Oka Widyantara<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

<sup>2,3</sup>Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

Jl. Raya Kampus Unud Jimbaran, Kec. Kuta Selatan, Kabupaten Badung, Bali

widi.adnyana@student.unud.ac.id<sup>1</sup>, pramaita@ee.unud.ac.id<sup>2</sup>, oka.widyantara@unud.ac.id<sup>3</sup>

## ABSTRAK

*Multipath* dan *multi-user interference* merupakan tantangan utama pada sistem komunikasi *wireless*. Hal tersebut menjadi pendorong berkembangnya teknologi pentransmisi data yang difokuskan untuk dapat mengatasi masalah tersebut, salah satunya adalah *spread spectrum*. *Spread spectrum* diterapkan pada teknologi CDMA yang tidak lepas dari keterbatasan MAI, sehingga diperlukan kode *spreading* dengan spesifikasi memiliki nilai korelasi silang yang sangat rendah seperti pada kode *orthogonal m-sequence*. Pada penelitian ini mensimulasikan kode *orthogonal m-sequence* dengan panjang 8 chips pada kanal *multipath fading* menggunakan sistem *Direct Sequence Spread Spectrum* yang memiliki tujuan untuk mengetahui kinerja dari kode *orthogonal m-sequence* pada kanal *multipath fading*, berdasarkan pengaruh perubahan jumlah komponen *multipath*. Metode penelitian yang digunakan adalah berupa simulasi Monte Carlo pada simulink dengan hasil keluaran data berupa grafik nilai perbandingan BER dengan Eb/No. Hasil menunjukkan bahwa pada kanal *flat fading* dengan jumlah komponen *multipath* 1, menunjukkan nilai BER hasil simulasi yang sudah sesuai dengan teori BER sehingga simulasi dapat dikatakan sudah valid dan dapat diterapkan pada kanal *frequency selective fading*. Pada kanal *frequency selective fading* dengan jumlah komponen *multipath* 4,6, dan 8, didapatkan bahwa kinerja terbaik ditunjukkan pada komponen *multipath* 4 dengan nilai BER paling rendah, hal ini dipengaruhi oleh nilai ACF dan CCF sehingga komponen *multipath* 4 memiliki ISI dan interferensi antar *user* yang paling minimum.

**Kata kunci** : CDMA, DSSS, Kode *Orthogonal M-sequence*, *Multipath Fading*

## ABSTRACT

*Multipath and multi-user interference are the main challenges in wireless communication systems. This has become a driving force for the development of data transmission technology that is focused to overcome these problems, one of which is spread spectrum. Spread spectrum is applied to CDMA technology which has the limitations of MAI, so a spreading code is required with specifications that have a very low cross-correlation value as in the orthogonal m-sequence code. In this study, simulate the orthogonal m-sequence code with a length of 8 chips on a multipath fading channel using the Direct Sequence Spread Spectrum system with aims of assessing the performance of the orthogonal m-sequence code on a multipath fading channel, based on the effect of changes in the number of multipath components. The research method used is a Monte Carlo simulation on simulink with the output data in the form of a graph of the comparison value of BER with Eb/No. The results show that on the flat fading channel with the number of components multipath 1, the BER value of the simulation results is in accordance with the BER theory so that the simulation is valid and can be applied to frequency selective fading channels. In the frequency selective fading channel with the number of multipath components 4,6, and 8, the best performance was shown in the multipath 4 component with the smallest BER*

value, this was influenced by the ACF and CCF values so that the multipath 4 component had the lowest ISI and interference between users.

**Key Words :** CDMA, DSSS, Orthogonal M-sequence Code, Multipath Fading

## 1. PENDAHULUAN

Berbagai kemudahan yang ditawarkan dari teknologi telekomunikasi merupakan salah satu alasan teknologi telekomunikasi menjadi kebutuhan yang harus ada bagi manusia sebagai penunjang kehidupan dalam menjalankan aktivitas sehari-hari. Oleh karena itu, terjadi peningkatan akan penggunaan teknologi telekomunikasi yang mendorong untuk mengembangkan teknologi telekomunikasi yang semakin canggih dalam rangka pemenuhan akan kebutuhan yang semakin meningkat salah satunya adalah teknologi pentransmisi data secara *wireless*.

Efek dari komponen *multipath* dan *multi-user interference* merupakan tantangan utama yang dimiliki oleh sistem komunikasi *wireless*. Oleh karena itu dalam perkembangannya, teknologi pentransmisi data dituntut agar dapat menyediakan sistem dengan spesifikasi yang dapat meminimalisir ataupun mengatasi permasalahan tersebut, salah satunya adalah *spread spectrum*. *Spread spectrum* merupakan sebuah teknik pentransmisi data yang menghasilkan *bandwidth* melebihi dari *bandwidth* yang dibutuhkan dalam transmisi, karena dalam teknik ini menggunakan sebuah deretan kode *spreading* yang mempunyai *bit rate* yang jauh lebih besar dibandingkan sinyal informasi [1].

Metode *spread spectrum* yang paling banyak diterapkan adalah *Direct Sequence Spread Spectrum* (DSSS), yaitu suatu teknik *spread spectrum* dengan metode perkalian antara *pseudo noise* dan bit bit informasi dikalikan secara langsung pada sisi *receiver* dan *transmitter* [2]. Dalam DSSS, *spreading code* yang kemudian disebut *chip*, dikalikan titik (*dot product*) dengan bit-bit informasi sehingga periodenya berubah sesuai dengan periode *chip*. Pada kondisi ini, *chip* memiliki periode yang sempit dibandingkan dengan periode bit-bit informasi, sehingga

hasilnya adalah peningkatan *bandwidth* yang jauh lebih besar dibanding *bandwidth* sebelumnya.

*Code Division Multiple Access* (CDMA) adalah salah satu teknologi yang menerapkan teknik *spread spectrum* [3]. Keterbatasan dari kinerja teknologi CDMA adalah adanya *multiple access interference* (MAI) yang disebabkan oleh korelasi silang antara kode *spreading* yang ditetapkan pada setiap *user*-nya [4]. Oleh karena itu dalam meminimalisir interferensi diperlukan adanya kode *spreading* dengan spesifikasi memiliki nilai *cross-correlation* (korelasi silang) yang sangat rendah agar setiap *user*-nya dapat dibedakan [5]. Salah satu kategori *spreading code* yang memenuhi kriteria yang dibutuhkan dalam kode *spreading* CDMA adalah deretan kode *orthogonal*.

Kode *orthogonal* merupakan kode *spreading* yang jika dilakukan perkalian titik (*dot product*) antar kode pada *chip set* yang sama akan menghasilkan nilai nol dan nilai korelasi silangnya adalah nol. Kode *orthogonal m-sequence* merupakan salah satu bagian dari deretan kode *orthogonal* yang dibangkitkan melalui perkalian antara kode *m-sequence* dengan kode *m-sequence* kedua yang mengalami pergeseran seluruh kode *m-sequence* [6].

Perlunya menganalisis kinerja kode *orthogonal m-sequence* ditunjukkan untuk mengetahui keefektifan dari kode *spreading* ini untuk mentransmisikan informasi dalam sistem DSSS yang ditinjau dari nilai BER berbanding  $E_b/N_0$ , CCF dan ACF. Berdasarkan hal tersebut maka pada penelitian ini dilakukan simulasi unjuk kerja dari kode *orthogonal m-sequence* sebagai *spreading code* dalam sistem DSSS melalui kanal *multipath fading* dan menerapkan *correlation receiver* pada sisi penerima.

## 2. KAJIAN PUSTAKA

### 2.1 Kode *Orthogonal M-sequence*

Kode *orthogonal m-sequence* merupakan salah satu kode *spreading* yang termasuk ke dalam kode *orthogonal*. Kode *orthogonal m-sequence* ini dibangkitkan menggunakan dua buah kode *m-sequence*, yaitu kode *m-sequence* pertama dikalikan dengan *m-sequence* kedua yang mengalami pergeseran chip [6].

### 2.2 *Spread Spectrum*

*Spread spectrum* merupakan sebuah teknik transmisi sinyal informasi dengan menggunakan deretan kode *spreading* yang memiliki *bit rate* yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan *bit rate* sinyal informasinya dengan hasil berupa *bandwidth* yang melebihi *bandwidth* minimal yang dibutuhkan dalam mentransmisikan sebuah informasi [1].

### 2.3 *Code Division Multiple Access*

*Code Division Multiple Access* (CDMA) merupakan salah satu metode akses jamak yang menerapkan sistem *spread spectrum*. Kode *spreading* yang spesifik, baik berupa kode *orthogonal* dan *non orthogonal*, diterapkan untuk menyebarkan dan memodulasi sinyal yang ditransmisikan dari *user-user* yang *independent* [7][8].

### 2.4 *Fading*

*Fading* merupakan keadaan ketika sinyal tidak stabil atau berfluktuasi yang disebabkan oleh adanya interferensi akibat dari propagasi *multipath*. Propagasi *multipath* ini menyebabkan sinyal mengalami pemantulan berbagai objek sehingga sinyal menempuh berbagai jalur

dengan waktu, *amplitude*, dan fasa berbeda ketika sampai di *receiver* [9][10].

### 2.5 *Autocorrelation*

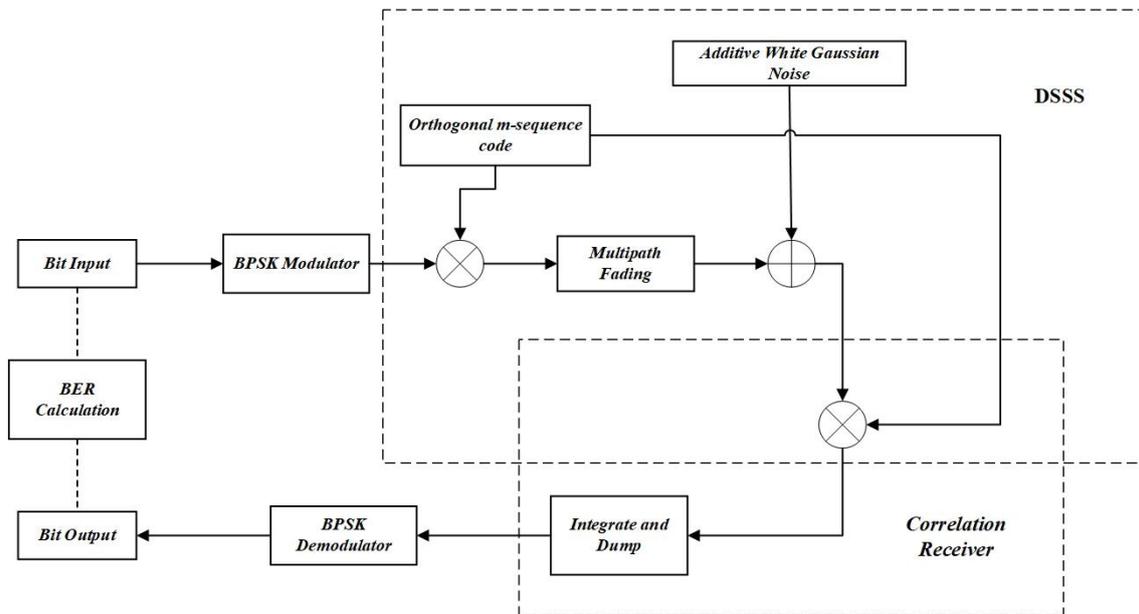
*Autocorrelation* merupakan korelasi yang terjadi antara kode dengan salinan kode itu sendiri yang mengalami pergeseran kode akibat *multipath*. Pada pergeseran nol, nilai *autocorrelation* kode akan memiliki nilai maksimum karena dihasilkan dari korelasi antara kode dengan salinannya sendiri yang memiliki struktur *chip* yang sama. *Autocorrelation function* (ACF) merupakan nilai-nilai *autocorrelation* yang diperoleh pada pergeseran ke kiri maupun ke kanan yang diplot ke dalam grafik [5][11].

### 2.6 *Cross-correlation*

*Cross-correlation* merupakan korelasi yang terjadi antara suatu kode dengan kode yang lainnya. Nilai *cross-correlation* pada suatu kode merepresentasikan besar interferensi yang terjadi antar user-nya. *Cross-correlation function* (CCF) merupakan nilai-nilai *cross-correlation* pada pergeseran ke kiri maupun ke kanan yang diplot ke dalam grafik [11][12].

## 3. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah berupa simulasi Monte Carlo sebanyak 5 kali yang disimulasikan pada Simulink. Kode *orthogonal m-sequence* disimulasikan dalam sistem DSSS dengan menggunakan kanal *flat fading* dan *frequency selective fading*. Unjuk kerja kode *orthogonal m-sequence* berupa nilai BER berbanding  $E_b/N_0$  kemudian diamati pada komponen *multipath* 4,6, dan 8 dan kinerja dibandingkan antar komponen *multipath* tersebut.



Gambar 1. Blok Diagram Pemodelan Sistem

### 3. 1 Blok Diagram Pemodelan Sistem

Kerangka kerja dari simulasi unjuk kerja kode *orthogonal m-sequence* dalam sistem DSSS dengan *correlation receiver* melalui kanal *multipath fading* yang disimulasikan dapat dilihat pada Gambar 1. Simulasi ini menggunakan *single user* pada simulasi *flat fading*, yaitu dengan jumlah *user* yang digunakan adalah 1 dan *multi user* pada simulasi *frequency selective fading* yang digunakan adalah 8 *user*.

Tahapan dari simulasi ini dimulai dari bagian bit inputan, yaitu pada proses awal ini sinyal informasi masukan diasumsikan telah diinterpretasikan sebagai bit-bit yang sebelumnya telah melalui proses *analog to digital conversion*. Bit-bit informasi sebagai *input* ini pembangkitannya dilakukan secara acak dengan jumlah 1.000.000 bit dalam bentuk biner.

Bit-bit yang dibangkitkan secara acak tersebut akan masuk ke *modulator* untuk dimodulasi dengan skema modulasi BPSK. Bit-bit yang termodulasi akan melalui sistem DSSS yang diawali dengan proses *spreading*. Pada proses *spreading*, bit-bit informasi yang telah dimodulasi akan dilakukan operasi perkalian titik (*dot product*) dengan deretan kode *spreading*

*orthogonal m-sequence* yang dibangkitkan secara *random* dengan panjang kode 8 chips.

Sinyal BPSK yang telah tersebar (*spread*) akan ditransmisikan pada kanal transmisi yaitu kanal *multipath fading* dan AWGN. Sinyal keluaran yang telah melalui proses transmisi pada kanal *multipath fading* dan AWGN kemudian diterima oleh *correlation receiver*.

Sinyal yang diterima oleh *correlation receiver* akan melalui proses *despreading*, yaitu pengalian titik (*dot product*) kembali antara sinyal yang diterima oleh *correlation receiver* dengan kode *spreading* yang digunakan pada proses *spreading* sebelumnya, berupa kode *orthogonal m-sequence* dengan panjang 8 chips. Sinyal yang telah melalui proses *despreading* tersebut kemudian akan masuk ke dalam rangkaian integrator dengan tujuan untuk menghasilkan sinyal *dispread* yang diperlukan oleh *demodulator* dalam mengambil keputusan bilangan biner yang sesuai dengan bit informasi. Sinyal yang diterima kemudian akan masuk ke *demodulator* untuk didemodulasi dengan skema demodulasi BPSK agar sinyal asli dapat diperoleh.

Pengamatan perbandingan *error* yang terjadi dilakukan pada *bit error rate*

(BER) *calculation*, yaitu dengan membandingkan sinyal informasi awal dengan sinyal yang keluar dari sistem. Pada simulasi unjuk kerja kode *orthogonal m-sequence* dalam sistem DSSS melalui kanal *multipath fading*, nilai BER yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan pengaruh Eb/No.

**3. 2 Parameter Simulasi**

Parameter simulasi yang digunakan dalam menjalankan simulasi ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Parameter Simulasi

Parameter	Nilai
Jumlah Bit	1.000.000 bit
Jenis Pengguna	Multiuser
Jumlah Komponen Multipath	4, 6, 8
Noise	AWGN
Distribusi Fading	Rayleigh Fading
Modulasi	BPSK
Periode Chip	1/8000
Panjang Kode Orthogonal m-sequence	8 chips
Nilai Eb/No	0 : 10 dB
Jenis Kanal	Multipath Fading
Sample Time	1/1000

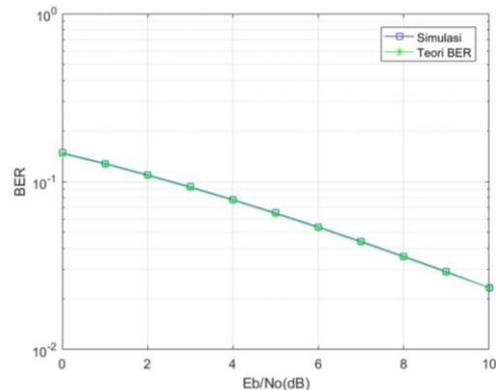
**4. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Hasil dan analisis simulasi unjuk kerja kode *orthogonal m-sequence* melalui kanal *flat fading* dengan menggunakan komponen *multipath* 1, *Autocorrelation Function (ACF)* dan *Cross-correlation Function (CCF)* dari kode *orthogonal m-sequence* serta unjuk kerja kode *orthogonal m-sequence* melalui kanal *frequency selective fading* dengan menggunakan komponen *multipath* 4,6, dan 8, dijelaskan sebagai berikut.

**4.1 Unjuk Kerja Kode Orthogonal M-sequence Pada Kanal Flat Fading**

Merujuk gambar 2, grafik perbandingan nilai BER berbanding Eb/No

dari hasil simulasi dan teori BER *flat fading* pada simulasi unjuk kerja kode *orthogonal m-sequence* melalui kanal *flat fading* menunjukkan perbedaan yang tidak signifikan dan sudah mendekati dengan nilai teori yang ada. Lebih jelasnya hal ini ditunjukkan pada tabel 2, yaitu pada nilai Eb/No = 0 dB nilai BER dari hasil simulasi adalah sebesar 0.1484 sedangkan nilai BER untuk teori BER *flat fading* adalah sebesar 0,1464. Berdasarkan hal tersebut, dapat ditunjukkan bahwa simulasi unjuk kerja kode *orthogonal m-sequence* melalui kanal *flat fading* yang dilakukan sudah valid, sehingga simulasi dapat diterapkan pada simulasi untuk kanal *frequency selective fading*.



Gambar 2. Hasil Simulasi Unjuk Kerja Kode Orthogonal M-sequence Melalui Kanal Flat Fading

Tabel 2. Tabel Nilai BER Hasil Simulasi Unjuk Kerja Kode Orthogonal M-sequence Melalui Kanal Flat Fading

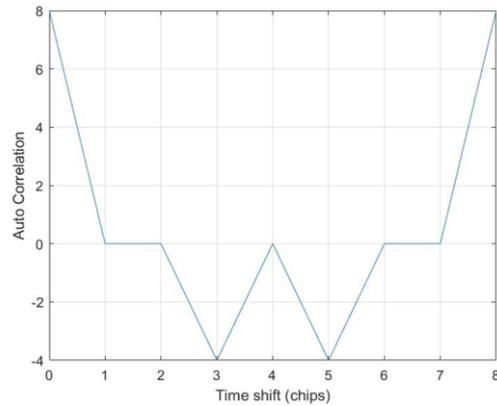
Eb/No	BER	
	Simulasi	Teori
0	0.1484	0.1464
1	0.1284	0.1267
2	0.1098	0.1085
3	0.0931	0.0919
4	0.0782	0.0771
5	0.0651	0.0642
6	0.0537	0.0530
7	0.0441	0.0435
8	0.0359	0.0355
9	0.0291	0.0288
10	0.0233	0.0233

#### 4.2 Autocorrelation Function (ACF) Kode Orthogonal M-sequence dengan Panjang 8 Chips

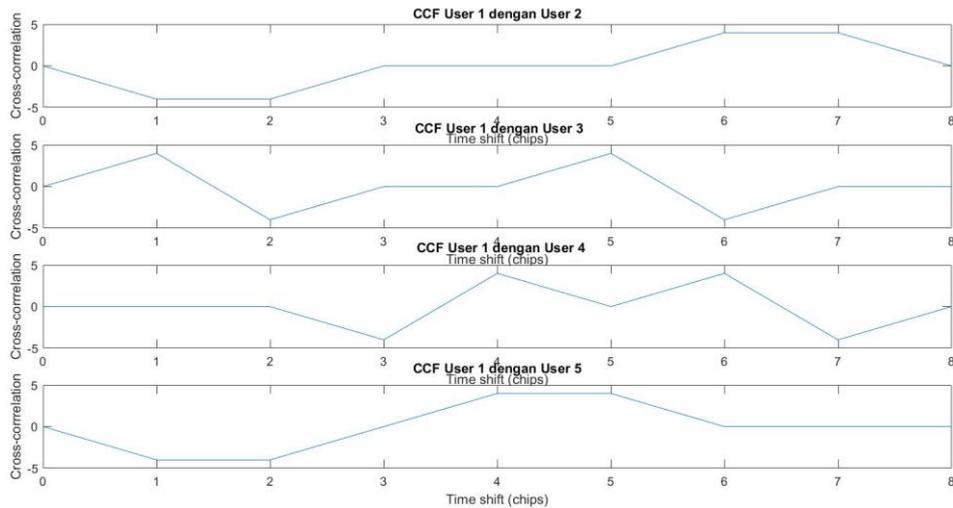
Nilai ACF dari suatu kode pada pergeseran nol merupakan representasi dari kekuatan suatu sinyal yang diinginkan, sedangkan nilai ACF pada pergeseran *non-nol* merepresentasikan nilai interferensi yang diakibatkan dari *multipath*. Nilai-nilai dari pergeseran *non-nol* ini akan menginterferensi kode sehingga menimbulkan adanya ISI. Nilai *autocorrelation* dari suatu kode yang semakin besar akan menyumbangkan interferensi yang semakin besar.

Berdasarkan gambar 3, nilai *autocorrelation* dari kode bernilai sama dengan panjang kode, yaitu 8 pada pergeseran waktu nol karena hasil dari korelasi antara kode dengan salinannya sendiri yang mempunyai struktur *chip* yang sama. Selain itu terdapat nilai

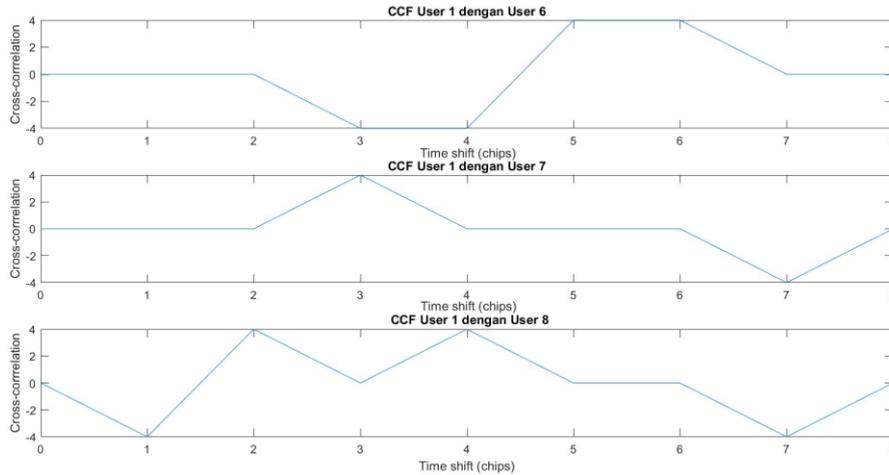
*autocorrelation* pada beberapa pergeseran *non-nol* seperti pada pergeseran 3 dan 5, nilai-nilai *autocorrelation* pada pergeseran *non-nol* ini akan menyumbangkan interferensi terhadap sinyal yang diinginkan.



Gambar 3. Grafik Autocorrelation Function Kode Orthogonal M-sequence dengan Panjang 8 Chips



Gambar 4. Grafik Cross-correlation Function Kode Orthogonal M-sequence antara user 1 dengan user 2,3,4 dan 5



Gambar 5. Grafik *Cross-correlation Function* Kode *Orthogonal M-sequence* antara user 1 dengan user 6,7, dan 8

#### 4.3 *Cross-correlation Function* Kode *Orthogonal M-sequence* dengan Panjang 8 Chips

Nilai *cross-correlation function* suatu kode merepresentasikan interferensi yang dialami oleh user akibat dari user lainnya. Nilai-nilai *cross-correlation* dari CCF sama dengan nol merepresentasikan tidak adanya interferensi yang terjadi antar user, sedangkan nilai-nilai *cross-correlation* dari CCF tidak sama dengan nol merepresentasikan adanya interferensi yang terjadi antar user-nya. Semakin besar nilai *cross-correlation* dari CCF akan mengakibatkan semakin besar interferensi yang dialami oleh user.

Gambar 4 dan gambar 5 menunjukkan nilai-nilai *cross-correlation function* antara user 1 dengan user 2,3,4,5,6,7, dan 8. Merujuk pada gambar 4 dan 5, untuk nilai CCF dari user 1 dengan user 2,3,4,5,6,7, dan 8 terdapat nilai-nilai *cross-correlation* dari CCF yang tidak sama dengan nol pada setiap pergeseran non-nolnya. Nilai-nilai *cross-correlation* dari CCF yang tidak sama dengan nol pada pergeseran non-nol ini merepresentasikan adanya interferensi yang terjadi antara user 1 dengan user 2,3,4,5,6,7, dan 8. Semakin banyak nilai-nilai *cross-correlation* dari CCF yang tidak sama dengan nol maka semakin

banyak interferensi yang diterima oleh user dari user lainnya.

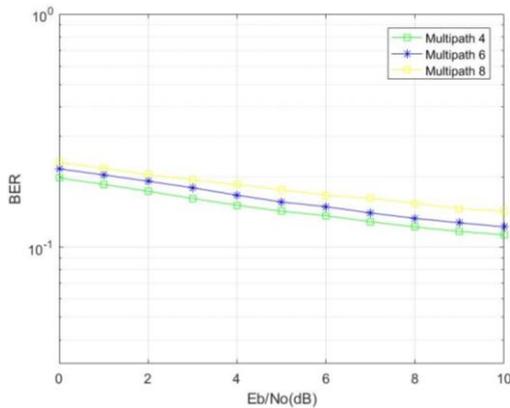
#### 4.4 Unjuk Kerja Kode *Orthogonal M-sequence* Pada Kanal *Frequency Selective Fading*

Berdasarkan gambar 6, dapat diamati bahwa kinerja dari kode *orthogonal m-sequence* melalui *frequency selective fading* dengan jumlah komponen *multipath* 4 menunjukkan kinerja terbaik, hal ini dapat ditunjukkan dengan perolehan nilai BER pada komponen *multipath* 4 memiliki nilai BER pada setiap nilai  $E_b/N_0$  paling rendah dibandingkan dengan komponen *multipath* 6 dan 8. Hal ini dapat dilihat pada tabel 3, yaitu pada nilai  $E_b/N_0 = 10$ , nilai BER untuk komponen *multipath* 4, 6, dan 8 secara berturut-turut adalah sebesar 0.1129, 0.1222, dan 0.1426. Nilai BER dari hasil simulasi pada masing-masing komponen *multipath* dipengaruhi oleh nilai ACF dan CCF dari kode *spreading* yang digunakan.

Berdasarkan pengamatan dari nilai ACF, jumlah komponen *multipath* 4 menunjukkan kinerja terbaik dibandingkan dengan komponen *multipath* 6 dan 8, karena pada pergeseran 1 sampai dengan 3 terdapat paling sedikit nilai *autocorrelation* dari ACF yang tidak sama dengan nol pada pergeseran non-nolnya sehingga memiliki paling sedikit sinyal penyumbang

interferensi. Hal ini berarti komponen *multipath* 4 memiliki ISI paling minimum.

Sedangkan untuk pengamatan pada nilai *cross-correlation function*, komponen *multipath* 4 memiliki rentang nilai pergeseran non-nol yang lebih kecil dibandingkan dengan komponen *multipath* 6 maupun 8 sehingga interferensi yang terjadi antar *user* nya paling minimum. Dengan data ini, dapat diketahui bahwa pada kinerja kode *orthogonal m-sequence* untuk komponen *multipath* 4 memiliki hasil BER yang paling baik jika dibandingkan dengan kinerja kode pada komponen *multipath* 6 dan 8. Hal ini karena pada komponen *multipath* ini, sinyal lebih sedikit terdampak ISI maupun interferensi dari user lain.



Gambar 6. Hasil Simulasi Unjuk Kerja Kode *Orthogonal M-sequence* melalui Kanal *Frequency Selective Fading*

Tabel 3. Tabel Nilai BER Berbanding Eb/No Unjuk Kerja Kode *Orthogonal M-sequence* Melalui Kanal *Frequency Selective Fading*

Eb/No	BER		
	<i>Multipath</i> 4	<i>Multipath</i> 6	<i>Multipath</i> 8
0	0.1981	0.2168	0.2312
1	0.1860	0.2042	0.2180
2	0.1737	0.1918	0.2050
3	0.1617	0.1798	0.1945
4	0.1513	0.1671	0.1854
5	0.1426	0.1562	0.1764
6	0.1365	0.1491	0.1670
7	0.1285	0.1402	0.1620
8	0.1221	0.1329	0.1544
9	0.1168	0.1272	0.1462
10	0.1129	0.1222	0.1426

## 5. KESIMPULAN

Hasil simulasi unjuk kerja kode *orthogonal m-sequence* melalui kanal *flat fading* pada penelitian ini telah valid dengan perolehan nilai BER simulasi yang sudah mendekati dengan BER teori. Pada simulasi unjuk kerja kode *orthogonal m-sequence* melalui kanal *frequency selective fading* didapatkan bahwa kinerja terbaik ditunjukkan pada komponen *multipath* 4 dengan nilai BER terendah. Nilai BER dipengaruhi oleh nilai ACF dan CCF sehingga komponen *multipath* 4 memiliki ISI dan interferensi antar *user* yang paling minimum.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pramaita, N. (2014). Hybrid Orthogonal Code Sequences For High-Density Synchronous CDMA Systems. Dissertation. pp.1–107.
- [2] Putra, A.S., Suwadi and Suryani, T. (2015). Implementasi dan Evaluasi Kinerja Direct Sequence Spread Spectrum Menggunakan Wireless Open-Access Research Platform (WARP). Jurnal Teknik ITS, 4(1), p.A-13-A-18.
- [3] Kusuma, M.A.P., Pramaita, N., Widyantara, I.M.O. and Hartawan, I.G.A.K.D.D. (2020). Desain Program Simulasi Unjuk Kerja Kode Walsh Pada Kanal Multipath Fading. Matrix: Jurnal Manajemen Teknologi dan Informatika, 10(1), pp.34–37.
- [4] Pramaita, N. (2016). Unjuk Kerja Kode Hybrid Orthogonal Small Set. Teknologi Elektro, 15(1), pp.117–122.
- [5] Kedia, D., Duhan, M. and Maskara, S.L. (2020). Evaluation of correlation properties of Orthogonal spreading codes for CDMA wireless mobile communication. In: 2010 IEEE 2nd International Advance Computing Conference (IACC). IEEE, pp.325–330.
- [6] Donelan, H. and O’Farrell, T. (1999). Method for generating sets of orthogonal sequences. Electronics Letters, 35(18), pp.1537–1538.
- [7] Cheng, H., Ma, M. and Jiao, B. (2009). On the Design of Comb Spectrum Code for Multiple Access Scheme.

- IEEE Transactions on Communications, 57(3), pp.754–763.
- [8] Bawahab, F.G.A.K., Yuniarti, E. and Kurniawan, E. (2019). Analisis Karakterisasi Teknologi Direct Sequence Spread Spectrum Dan Frequency Hopping Spread Spectrum. *Al-Fiziya: Journal of Materials Science, Geophysics, Instrumentation and Theoretical Physics*, 2(II), pp.129–138.
- [9] Akanni, A.O., Sunday, A.A., Oliseloke, A.N. and Adebowale, A.R. (2018). Empirical Characterization And Modeling of Fade Depth Due to Multipath Propagation at Microwave Band. *Global Scientific Journals*, 6(6), pp.196–201.
- [10] Rappaport, T.S. (1996). *Wireless Communications Principles & Practice*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall PTR.
- [11] Meel, J. (1999). *Spread Spectrum*. Rotselaar : Sirius Communications.
- [12] Proakis, J.G. (2001). *Digital communications*. Boston: Mcgraw-Hill.
- [13] Halim, M.Z., Pramaita, N. and Sudiarta, P.K. (2021). Simulasi Kinerja Gold Code Pada Sistem Komunikasi Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS) Melalui Kanal Multipath Fading. *Jurnal SPEKTRUM*, 8(2), pp.257–263.