

ANALISIS KINERJA KODE BCH DAN WALSH DALAM SISTEM DIRECT SEQUENCE SPREAD SPECTRUM PADA KANAL FREQUENCY SELECTIVE FADING

Joa Quin¹, Nyoman Pramaita², I Gst A. Komang Diafari Djuni H³

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

²Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

³Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana
Kampus Bukit Jimbaran, Badung-Bali

Email: jooaaag@gmail.com¹, pramaita@unud.ac.id², igakdiafari@unud.ac.id³

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja pengkodean Bose–Chaudhuri–Hocquenghem (BCH) (7,4) pada sistem Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS) yang menggunakan kode penyebar Walsh, dalam kondisi kanal selective fading dan derau Gaussian putih (AWGN). Simulasi dilakukan menggunakan MATLAB Simulink dengan memvariasikan nilai rasio energi bit terhadap densitas daya derau (E_b/N_0) untuk mengevaluasi performa sistem berdasarkan Bit Error Rate (BER). Hasil simulasi menunjukkan bahwa penerapan BCH(7,4) secara signifikan menurunkan nilai BER, terutama pada rentang E_b/N_0 menengah hingga tinggi. Selain itu, kombinasi kode penyebar Walsh dan BCH(7,4) terbukti memberikan kinerja yang lebih baik dibandingkan sistem tanpa pengkodean korektif. Penelitian ini menegaskan bahwa pemilihan metode penyebaran dan pengkodean kesalahan yang tepat sangat penting dalam mengoptimalkan performa komunikasi digital pada kanal multipath selektif.

Kata kunci: DSSS, BCH(7,4), Walsh Code, Selective Fading, AWGN, BER, MATLAB Simulink.

ABSTRACT

This research aims to analyze the performance of Bose–Chaudhuri–Hocquenghem (BCH) (7,4) coding in a Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS) system using Walsh spreading codes under selective fading and Additive White Gaussian Noise (AWGN) channels. The simulation was conducted using MATLAB Simulink by varying the energy-per-bit to noise power spectral density ratio (E_b/N_0) to evaluate system performance based on the Bit Error Rate (BER). The results show that applying BCH(7,4) significantly reduces the BER, especially at moderate to high E_b/N_0 levels. Furthermore, the combination of Walsh codes with BCH(7,4) demonstrates superior performance compared to systems without error correction. This study highlights the importance of proper selection of spreading and error correction methods in optimizing digital communication performance over multipath fading channels.

Keywords: SSS, BCH(7,4), Walsh Code, Selective Fading, AWGN, BER, MATLAB Simulink.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi komunikasi digital menuntut sistem yang mampu mentransmisikan data secara efisien dan andal, terutama dalam lingkungan yang dipengaruhi oleh derau dan *multipath fading*. Salah satu metode yang banyak digunakan

untuk meningkatkan ketahanan sinyal terhadap gangguan adalah teknik *spread spectrum*, khususnya *Direct Sequence Spread Spectrum* (DSSS). DSSS bekerja dengan menyebarkan data menggunakan kode tertentu sehingga sinyal menjadi lebih

tahan terhadap interferensi dan kondisi kanal yang tidak ideal.

Untuk menyebarkan sinyal dalam DSSS, salah satu teknik yang umum digunakan adalah kode Walsh. Kode ini memiliki sifat yang sangat terstruktur dan cocok untuk sistem penyebaran karena pola orthogonalnya yang teratur. Sinyal yang dikalikan dengan kode Walsh akan memiliki lebar pita lebih besar, yang memungkinkan sistem mengenali sinyal asli meskipun terjadi gangguan pada kanal.

Namun, penyebaran sinyal saja belum cukup untuk menjamin integritas data, terutama ketika sinyal melalui kanal yang mengalami *frequency selective fading* dan derau Gaussian (*Additive White Gaussian Noise*, AWGN). Oleh karena itu, sistem komunikasi digital sering dipadukan dengan skema pengkodean kesalahan, seperti *Bose–Chaudhuri–Hocquenghem* (BCH). Pengkodean BCH (7,4) digunakan untuk menambahkan redundansi yang memungkinkan penerima mendeteksi dan memperbaiki kesalahan bit yang terjadi selama transmisi.

Penelitian ini berfokus pada analisis kinerja pengkodean BCH (7,4) dalam sistem DSSS yang menggunakan kode Walsh sebagai penyebar, dengan mempertimbangkan kanal *selective fading* dan AWGN. Evaluasi dilakukan melalui simulasi menggunakan MATLAB Simulink untuk mengamati performa sistem terhadap variasi E_b/N_0 , dengan parameter utama berupa *Bit Error Rate* (BER). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui sejauh mana kombinasi BCH dan Walsh code mampu meningkatkan keandalan sistem komunikasi digital dalam lingkungan kanal yang menantang.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1 Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)

Dalam teknologi *Spread Spectrum*, salah satu metode yang paling umum digunakan adalah *Direct Sequence Spread Spectrum* (DSSS). Metode ini menjadi sangat populer karena implementasinya

yang relatif sederhana serta kemampuannya dalam mendukung kecepatan data yang tinggi. Seperti diilustrasikan pada Gambar 1, DSSS bekerja dengan cara mengalikan setiap bit data dengan deretan kode yang memiliki laju data lebih tinggi, yang dikenal sebagai *chip*. Proses ini menghasilkan sinyal baru dengan periode yang mengikuti periode dari kode *chip* tersebut. Ketika sinyal ini diterima, sistem penerima akan mengalikan kembali sinyal tersebut dengan salinan kode chip yang identik dengan yang digunakan pada sisi pengirim. Tujuan dari proses ini adalah untuk merekonstruksi informasi asli dari data yang telah ditransmisikan.



Gambar 1. Proses *Spreading* dan *Despreading* pada DSSS

2.2 Kode Walsh

Walsh Code adalah kode orthogonal yang umum digunakan merupakan turunan dari M-Sequence. Walsh Code merupakan deretan orthogonal dengan panjang kode yang selalu genap. Sifat ini menjadikan Walsh code sangat efektif dalam sistem DSSS, karena meminimalkan interferensi antar sinyal yang disebarkan dengan kode yang berbeda.

Dalam implementasi DSSS, setiap bit informasi dikalikan dengan satu baris dari Walsh code yang disebut *chip sequence*. Proses ini menyebarkan sinyal dalam domain waktu, menghasilkan bandwidth yang lebih luas dan meningkatkan daya tahan terhadap interferensi serta noise. Panjang kode menentukan nilai *spreading factor* atau *spreading gain*, yaitu rasio antara bandwidth sinyal tersebar dengan sinyal aslinya [1].

Walaupun umumnya digunakan dalam sistem multi-user, Walsh codes juga relevan pada sistem *single-user*. Dalam skenario ini, kode-kode tersebut membantu

meningkatkan efisiensi dalam proses despreading dan mempermudah sinkronisasi antara pengirim dan penerima [2].

2.3 Pengkodean BCH (7,4)

BCH merupakan salah satu jenis *block coding* yang mampu mengoreksi satu atau lebih kesalahan bit dalam sebuah blok data. Kode BCH (7,4) secara khusus mengubah setiap 4-bit data menjadi 7-bit kode, dengan menambahkan 3-bit paritas. Hal ini memungkinkan pendeteksian dan perbaikan satu bit error dalam setiap blok data. Penggunaan BCH bermanfaat dalam sistem yang melewati kanal noisy seperti *selective fading*, karena menurunkan probabilitas *bit error* secara signifikan di sisi penerima [3].

2.4 Binary Phase Shift Keying

Binary Phase Shift Keying (BPSK) adalah teknik modulasi yang mengubah fasa dari sinyal pembawa (*carrier*) berdasarkan dua kondisi sinyal informasi yang merepresentasikan nilai biner 1 dan 0 [4]. Modulasi ini hanya memiliki dua kemungkinan fasa, yang masing-masing dipisahkan sebesar π radian atau 180 derajat. Secara umum, bentuk matematis dari sinyal BPSK dapat dinyatakan sebagai (1).

$$S(t) = A \sin \sin (2\pi ft + \pi(1 - n)) \quad (1)$$

Keterangan :

A = Amplitudo sinyal (Volt)

f = Frekuensi sinyal pembawa (Hz)

n = Nilai biner (1 atau 0)

2.5 Rayleigh Fading

Rayleigh fading merupakan salah satu bentuk peredupan sinyal yang muncul akibat banyaknya jalur pantul yang dilewati oleh sinyal dalam perjalanannya dari pemancar ke penerima. Kondisi ini umumnya terjadi ketika tidak ada jalur langsung antara keduanya, sehingga sinyal harus melewati berbagai hambatan seperti gedung atau permukaan lainnya. Interferensi antar jalur pantul tersebut menyebabkan fluktuasi amplitudo

sinyal yang bersifat acak. Model ini sering diterapkan dalam analisis kanal komunikasi nirkabel di daerah perkotaan yang padat hambatan fisik [5].

2.6 Frequency Selective Fading

Frequency selective fading adalah salah satu jenis peredupan (*fading*) dalam kanal komunikasi nirkabel yang terjadi ketika lebar pita (*bandwidth*) sinyal transmisi lebih besar daripada coherence bandwidth kanal. Kondisi ini menyebabkan sebagian frekuensi dalam sinyal mengalami atenuasi (pelemahan) yang berbeda-beda akibat perbedaan jalur propagasi atau multipath delay. Dengan kata lain, kanal tidak memperlakukan seluruh komponen frekuensi dari sinyal secara seragam, yang dapat menimbulkan interferensi antar simbol atau *intersymbol interference* (ISI) [5].

Karakteristik utama dari *frequency selective fading* adalah nilai *delay spread*—yaitu selisih waktu tiba antara jalur tercepat dan terlambat—yang lebih besar dari durasi simbol. Hal ini menyebabkan beberapa simbol dapat saling tumpang tindih di sisi penerima, sehingga deteksi data menjadi lebih sulit. Kanal dengan karakteristik seperti ini umumnya muncul dalam sistem komunikasi broadband atau pada lingkungan urban dengan banyak pantulan sinyal [6].

Dalam analisis sistem komunikasi digital seperti *Direct Sequence Spread Spectrum* (DSSS), *frequency selective fading* menjadi salah satu tantangan utama yang harus ditangani, terutama karena ia dapat memengaruhi performa *Bit Error Rate* (BER) secara signifikan. Oleh karena itu, teknik seperti *spread spectrum*, *equalization*, atau pengkodean *error correction* seperti BCH sering digunakan untuk mengurangi dampak negatif dari fading jenis ini [1], [5].

2.7 Bit Error Rate (BER)

Bit Error Rate (BER) merupakan ukuran penting dalam mengevaluasi performa sistem komunikasi digital. BER menyatakan perbandingan antara jumlah bit yang diterima secara salah dengan total bit

yang dikirimkan dalam proses transmisi. Nilai ini menjadi indikator keandalan sistem komunikasi dalam menghadapi gangguan seperti noise dan distorsi kanal [1].

Dalam konteks sistem nirkabel, keberadaan *multipath fading* membuat BER menjadi lebih kompleks untuk dianalisis. Salah satu model fading yang paling banyak digunakan adalah *Rayleigh fading*, yang merepresentasikan kondisi kanal tanpa garis pandang langsung (*non-line-of-sight*), di mana sinyal mengalami pemantulan, pembiasan, dan hamburan secara *multipath* [5]. Pada kanal seperti ini, amplitudo sinyal berubah-ubah secara acak, sehingga probabilitas kesalahan bit meningkat signifikan, terutama pada kondisi sinyal lemah.

Untuk sistem komunikasi dengan modulasi BPSK, persamaan teoritis BER pada kanal Rayleigh diberikan oleh (2):

$$P_e = \frac{1}{2} \left(1 - \sqrt{\frac{1}{1+1}} \right) \quad (2)$$

Rumus ini digunakan sebagai acuan dalam simulasi sistem tanpa pengkodean kesalahan (tanpa BCH). Dengan membandingkan kurva BER hasil simulasi dengan persamaan teoritis ini, dapat diperoleh gambaran mengenai dampak fading terhadap keandalan sistem.

2.8 Eb/No

Eb/No merupakan singkatan dari *Energy per bit to Noise Power Spectral Density ratio*, yaitu rasio antara energi per bit (Eb) terhadap densitas daya noise (No). Parameter ini penting dalam sistem komunikasi digital karena menjadi ukuran efisiensi energi sistem terhadap gangguan noise. Semakin tinggi nilai Eb/No, semakin besar kemungkinan sinyal dapat diterima dengan benar meskipun terdapat gangguan [7].

3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan melalui pendekatan simulasi berbasis MATLAB Simulink untuk menganalisis kinerja sistem komunikasi *Direct Sequence Spread Spectrum* (DSSS) dengan dan tanpa

penggunaan pengkodean BCH (7,4) dalam kanal frekuensi *selective fading* dan derau Gaussian (AWGN). Tujuan utama dari simulasi ini adalah membandingkan performa sistem dalam hal tingkat kesalahan bit (*Bit Error Rate*/BER) terhadap variasi rasio energi bit terhadap densitas daya noise (Eb/No) menggunakan Walsh code sebagai kode penyebar.

3.1 Data Penelitian

Jenis data yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari dua bagian utama, yaitu data kuantitatif dan data kualitatif. Data kuantitatif dalam penelitian ini berupa data numerik yang diperoleh dari hasil simulasi, khususnya berupa nilai *Bit Error Rate* (BER) terhadap variasi nilai Eb/No (*Energy per bit to noise power spectral density ratio*). Data ini digunakan untuk mengukur dan menganalisis performa sistem komunikasi yang disimulasikan. Sementara itu, data kualitatif berupa representasi visual dalam bentuk gambar atau grafik yang menunjukkan hubungan antara nilai BER dan Eb/No berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan. Grafik ini memberikan gambaran yang lebih intuitif mengenai kinerja sistem, sehingga dapat memperkuat pemahaman terhadap pola atau tren yang muncul dari data kuantitatif tersebut.

3.2 Metode dan Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data yang dilakukan pada penelitian ini dapat dibedakan menjadi dua metode, diantaranya :

a. Observasi Langsung

Pendekatan observasi dilakukan dengan mengamati serta menguji secara langsung penerapan kode BCH (7,4) dalam sistem DSSS. Proses pengamatan dan pengujian tersebut divisualisasikan melalui simulasi untuk memperoleh data yang dibutuhkan.

b. Studi Kepustakaan

Studi pustaka dilakukan dengan menghimpun informasi dari berbagai sumber tertulis yang relevan, seperti buku,

jurnal, dan literatur lain yang mendukung topik penelitian ini.

3.3 Instrumen Penelitian

Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari dua perangkat, yaitu perangkat keras seperti *Personal Computer* (PC) dan perangkat lunak berupa *software* Simulink MATLAB 2014a. Dengan spesifikasi :

Tabel 1. Spesifikasi perangkat

Prosesor	Intel(R) Core (TM) i5-8265U CPU @ 1.60GHz
RAM	8.00 GB
Tipe Sistem	64-bit
Model Sistem	ASUS
Sistem Operasi	Windows 11 Home Single Language

3.4 Parameter Simulasi

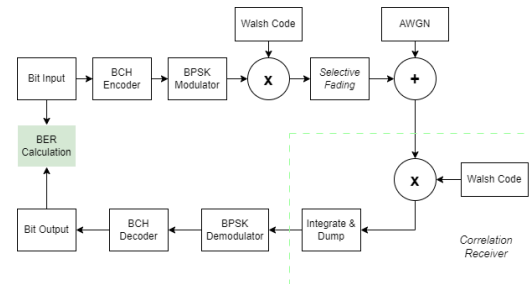
Berikut merupakan parameter dari simulasi yang akan dilakukan:

Tabel 2. Parameter simulasi

BCH (n,k,t)	(7,4,1)
Jumlah Bit	1.000.000 bit
Jenis Modulasi	Binary Phase Shift Keying (BPSK)
Jenis Pengguna	Single user
Jenis Kanal	Selective Fading
Jenis Noise	Additive White Gaussian Noise (AWGN)
Distribusi Fading	Rayleigh Fading
Nilai Eb/No	0 : 10 dB
Panjang Kode Walsh	4
Sample Time (Ts)	1
Periode Chip (Tc)	1/4

3.5 Model Sistem Komunikasi

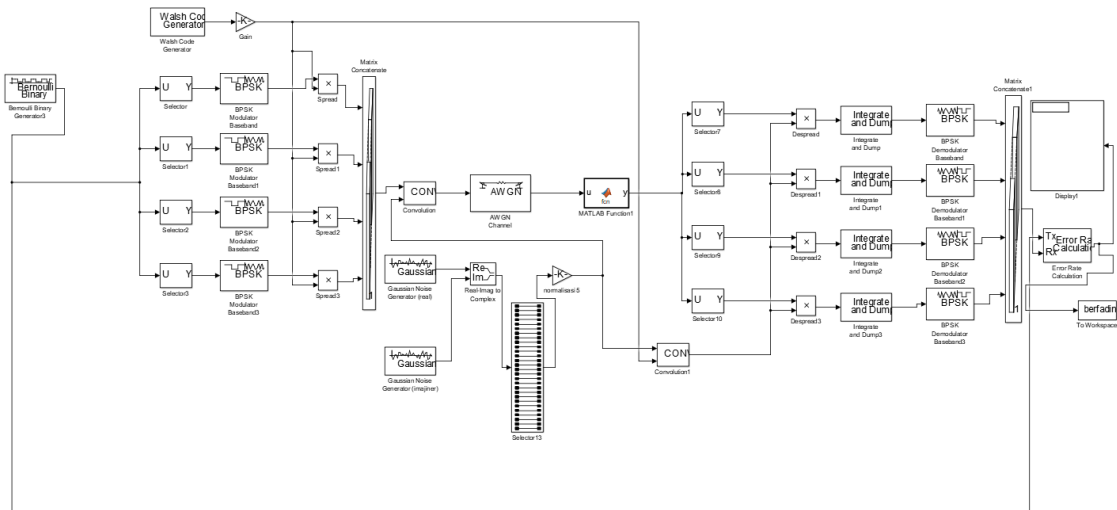
Blok diagram model sistem komunikasi digital penerapan kode BCH (7,4) pada DSSS dengan kanal Selective Fading dan AWGN dengan kode penebar Walsh ditunjukkan pada Gambar 2.



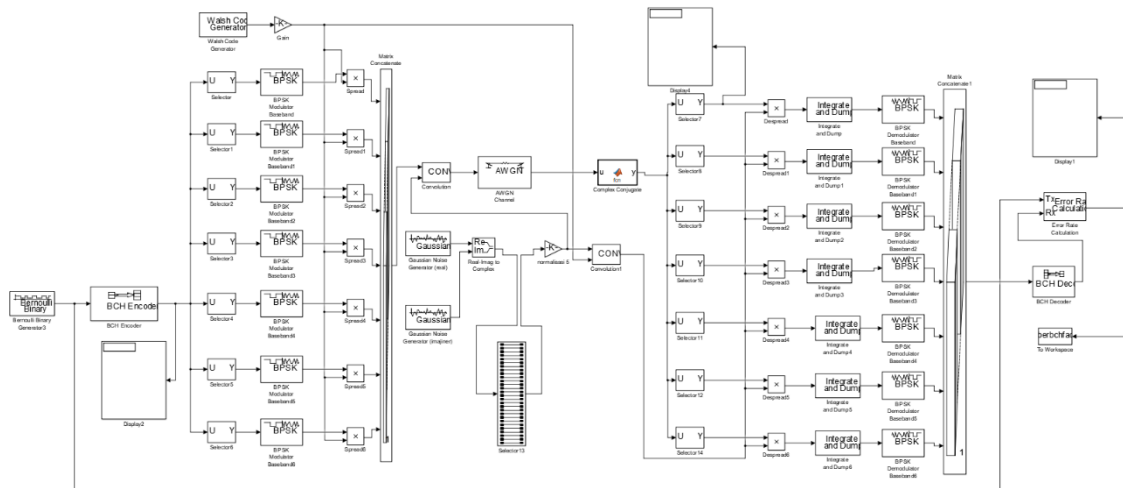
Gambar 2. Diagram Blok Pemodelan Sistem Komunikasi Digital dengan Implementasi Kode BCH (7,4) pada DSSS Menggunakan Kode Walsh pada Kanal Selective Fading dan AWGN

Model simulasi dibangun dalam dua skenario utama, yaitu sistem DSSS yang menggunakan kode Walsh tanpa pengkodean BCH, dan sistem DSSS dengan kombinasi kode Walsh dan BCH (7,4). Gambar 3 menunjukkan struktur blok simulasi untuk sistem DSSS dengan Walsh tanpa BCH, sedangkan Gambar 4 menunjukkan versi yang telah ditambahkan BCH *encoder* dan *decoder*.

Pada masing-masing skenario, proses dimulai dari sumber data biner acak yang kemudian dikodekan menggunakan BCH (hanya untuk sistem dengan BCH). Data selanjutnya disebar menggunakan Walsh code dengan panjang 4 *chip*, kemudian dimodulasi menggunakan modulasi BPSK. Sinyal termodulasi ini dikirimkan melalui kanal *selective fading* dan AWGN. Setelah diterima, sinyal mengalami proses demodulasi, *despreading*, *decoding* (jika ada), dan terakhir dibandingkan dengan data asli untuk menghitung nilai BER.



Gambar 3. Blok Simulasi DSSS dengan Walsh Code (Tanpa BCH)



Gambar 4. Blok Simulasi DSSS dengan Walsh Code dengan BCH (7,4)

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Simulasi dilakukan untuk dua konfigurasi sistem komunikasi DSSS, yaitu:

1. DSSS dengan Walsh code tanpa BCH
2. DSSS dengan Walsh code yang dikombinasikan dengan pengkodean BCH (7,4).
3. Perbandingan DSSS dengan Walsh code tanpa BCH dengan DSSS dengan Walsh code yang dikombinasikan dengan pengkodean BCH (7,4).

Tujuan utama dari perbandingan ini adalah untuk mengevaluasi sejauh mana pengaruh pengkodean BCH terhadap

performa sistem dilihat dari nilai *Bit Error Rate* (BER) terhadap E_b/N_0 dalam kondisi kanal *selective fading* dan AWGN.

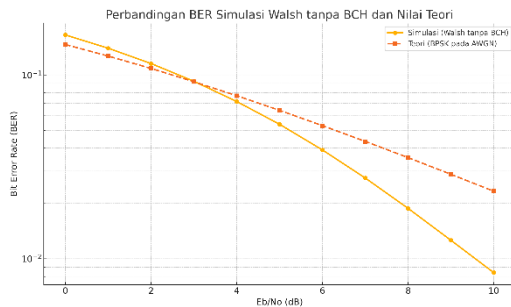
4.1 DSSS dengan Walsh code tanpa BCH

Hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai *Bit Error Rate* (BER) menurun seiring meningkatnya nilai E_b/N_0 . Sebagai contoh, pada $E_b/N_0 = 0$ dB, BER tercatat sebesar 0,1651, dan menurun hingga 0,0084 pada $E_b/N_0 = 10$ dB. Pola penurunan ini mencerminkan peningkatan kualitas sinyal seiring naiknya rasio daya sinyal terhadap noise.

Dibandingkan teori *Rayleigh fading*, simulasi dengan Walsh code

memperlihatkan hasil yang lebih baik hampir di seluruh rentang E_b/N_0 terlihat pada Gambar 5 dan Tabel 3. Misalnya, pada $E_b/N_0 = 5$ dB, simulasi menghasilkan BER sebesar 0,0539, sedangkan teori menunjukkan 0,0642. Menandakan bahwa *spreading* menggunakan kode Walsh cukup efektif dalam meredam efek *multipath*.

Tingginya BER pada E_b/N_0 rendah disebabkan oleh sinyal yang belum cukup kuat untuk mengatasi *noise*, sehingga bit yang diterima sering keliru. Secara keseluruhan, sistem DSSS dengan Walsh *code* menunjukkan peningkatan performa yang konsisten terhadap *selective fading* dan AWGN, terutama ketika rasio E_b/N_0 mulai meningkat.



Gambar 5. Kurva BER terhadap E_b/N_0 untuk Sistem DSSS dengan Walsh Code tanpa BCH dibandingkan dengan Teori BER Rayleigh

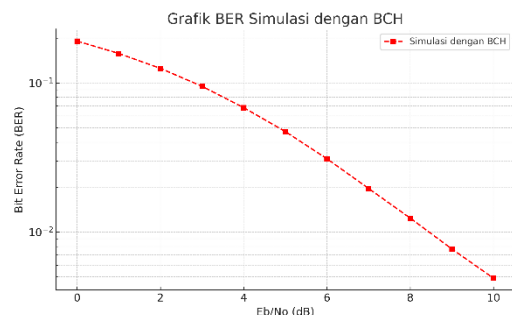
Tabel 3. Hasil Simulasi DSSS Walsh tanpa BCH

E_b/N_0 (dB)	Bit Error Rate (BER)	
	Simulasi	Teori
0	0,1651	0,1464
1	0,1398	0,1267
2	0,1154	0,1085
3	0,0924	0,0919
4	0,0717	0,0771
5	0,0539	0,0642
6	0,0391	0,0530
7	0,0275	0,0435
8	0,0188	0,0355
9	0,0126	0,0288
10	0,0084	0,0233

4.2 DSSS dengan Walsh code yang dikombinasikan dengan pengkodean BCH (7,4)

Simulasi pada sistem DSSS yang menerapkan kode penyebar Walsh serta pengkodean koreksi kesalahan BCH (7,4) dilakukan untuk mengukur kinerja sistem terhadap perubahan rasio E_b/N_0 pada kanal *selective fading* yang disertai derau AWGN. Hasil simulasi pada Gambar 6 menunjukkan bahwa nilai *Bit Error Rate* (BER) cenderung menurun seiring meningkatnya nilai E_b/N_0 . Sebagai contoh, pada E_b/N_0 sebesar 0 dB, BER berada di angka 0,1908 dan terus menurun hingga mencapai 0,0049 saat E_b/N_0 mencapai 10 dB. Penurunan ini menunjukkan bahwa semakin tinggi rasio daya sinyal terhadap *noise*, maka kualitas sinyal yang diterima menjadi lebih baik.

Secara keseluruhan, hasil simulasi (dapat dilihat pada Tabel 4 (BER Simulasi dengan BCH)) ini memperlihatkan bahwa sistem DSSS dengan kode Walsh dan BCH (7,4) tetap mampu beroperasi dengan baik dalam kanal *selective fading* yang cukup menantang, terutama pada kondisi E_b/N_0 menengah hingga tinggi. Sistem ini menunjukkan peningkatan performa BER yang stabil saat rasio E_b/N_0 meningkat, menandakan keberhasilan penggabungan teknik spread spectrum dan pengkodean kesalahan dalam memperkuat komunikasi digital.



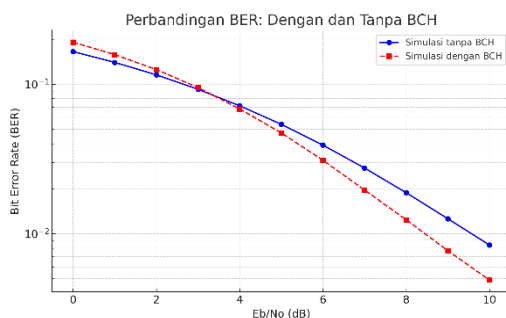
Gambar 6. Kurva BER terhadap E_b/N_0 untuk Sistem DSSS dengan Walsh Code menggunakan BCH

4.3 Perbandingan DSSS dengan Walsh code tanpa BCH dengan DSSS dengan Walsh code yang dikombinasikan dengan pengkodean BCH (7,4).

Pada simulasi sistem DSSS yang menggunakan BCH (7,4), terlihat pada Tabel 4 nilai E_b/N_0 rendah (0–3 dB), performa BER justru sedikit lebih buruk dibandingkan sistem tanpa BCH. Misalnya, pada $E_b/N_0 = 0$ dB, BER dengan BCH mencapai 0,1908, sedangkan tanpa BCH hanya 0,1651. Hal ini terjadi karena *noise* yang dominan menyebabkan bit-bit yang diterima mengalami banyak kesalahan, sehingga proses *decoding* BCH justru memperbesar kesalahan ketika data terlalu rusak.

Namun, mulai dari $E_b/N_0 \geq 4$ dB, sistem dengan BCH mulai menunjukkan keunggulan yang jelas. Sebagai contoh, pada $E_b/N_0 = 6$ dB, BER sistem dengan BCH turun ke 0,0310, lebih baik dari sistem tanpa BCH yang masih berada di 0,0391. Tren ini terus berlanjut hingga $E_b/N_0 = 10$ dB, di mana BER sistem dengan BCH hanya 0,0049.

Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa pengkodean BCH (7,4) mulai efektif saat tingkat gangguan kanal menurun, khususnya di atas 3 dB. Karena BCH (7,4) hanya dapat mengoreksi satu kesalahan per blok 7 bit, maka manfaat koreksi errornya baru terasa saat jumlah *bit error* cukup rendah akibat sinyal yang lebih bersih.



Gambar 7. Kurva BER terhadap E_b/N_0 untuk Sistem DSSS dengan Walsh Code dan BCH dibandingkan dengan DSSS dengan Walsh Code tanpa BCH

Tabel 4. Hasil Simulasi DSSS Walsh dengan BCH

E_b/N_0 (dB)	BER Simulasi tanpa BCH	BER Simulasi dengan BCH
0	0,1651	0,1908
1	0,1398	0,1576
2	0,1154	0,1252
3	0,0924	0,0949
4	0,0717	0,0683
5	0,0539	0,0472
6	0,0391	0,0310
7	0,0275	0,0196
8	0,0188	0,0124
9	0,0126	0,0077
10	0,0084	0,0049

5. KESIMPULAN

Dari hasil simulasi serta analisis terhadap sistem *Direct Sequence Spread Spectrum* (DSSS) dengan teknik penyebaran berbasis kode Walsh pada kanal *selective fading* dan AWGN, dapat disimpulkan bahwa sistem ini menunjukkan kinerja komunikasi digital yang stabil dan optimal. Penerapan pengkodean korektif BCH (7,4) terbukti efektif dalam menurunkan nilai BER secara signifikan, khususnya pada rentang E_b/N_0 menengah hingga tinggi. Kombinasi antara kode Walsh dan BCH (7,4) memberikan kinerja yang stabil dan mampu meningkatkan ketahanan sistem terhadap efek *multipath* dan *noise* pada kanal yang kompleks. Dengan panjang kode Walsh yang tetap dan metode *spreading* per bit, sistem tetap menunjukkan efisiensi dan efektivitas dalam skenario komunikasi digital satu pengguna.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Proakis, J. G. (2001). *Digital Communications* (Edisi ke-4). New York: McGraw-Hill.
- [2] Simon, M. K., Omura, J. K., Scholtz, R. A., & Levitt, B. K. (2005). *Spread Spectrum Communications Handbook* (Revised Edition). McGraw-Hill.
- [3] S. Lin and D. J. Costello, *Error Control Coding: Fundamentals and*

Applications, 2nd ed., Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 2004.

- [4] L. M. Siahaan, E. Setijadi, dan D. Kuswidiastuti, "Rancang Bangun Modulator BPSK untuk Komunikasi Citra pada ITS-Sat," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 2, no. 2, 2013.
- [5] Rappaport, T. S. (2002). *Wireless Communications: Principles and Practice* (Edisi ke-2). Upper Saddle River: Prentice Hall.
- [6] A. Goldsmith, *Wireless Communications*, Cambridge University Press, 2005.
- [7] S. Haykin, *Digital Communication Systems*, 1st ed. Hoboken, NJ: Wiley, 2013.