

PERBANDINGAN *BIT ERROR RATE* KODE REED-SOLOMON DENGAN KODE BOSE-CHAUDHURI-HOCQUENGHEM MENGUNAKAN MODULASI 32-FSK

Eva Yovita Dwi Utami*, Liang Arta Saelau dan Andreas A. Febrianto

Program Studi Teknik Elektro, Universitas Kristen Satya Wacana

*Corresponding author, e-mail : eva.utami@staff.uksw.edu

Abstrak— Kode Reed-Solomon (RS) dan kode Bose-Chaudhuri-Hocquenghem (BCH) merupakan kode pengoreksi *error* yang termasuk dalam jenis kode blok siklis. Kode pengoreksi *error* diperlukan pada sistem komunikasi untuk memperkecil *error* pada informasi yang dikirimkan. Dalam makalah ini, disajikan hasil penelitian kinerja BER sistem komunikasi yang menggunakan kode RS, kode BCH, dan sistem yang tidak menggunakan kode RS dan kode BCH, menggunakan modulasi 32-FSK pada kanal *Additive White Gaussian Noise* (AWGN), Rayleigh dan Rician. Kemampuan memperkecil *error* diukur menggunakan nilai Bit Error Rate (BER) yang dihasilkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kode RS seiring dengan penambahan nilai SNR, menurunkan nilai BER yang lebih curam bila dibandingkan sistem dengan kode BCH. Sedangkan kode BCH memberikan keunggulan saat SNR bernilai kecil, memiliki BER lebih baik daripada sistem dengan kode RS.

Kata Kunci : BCH, Reed Solomon, BER

Abstract— Reed-Solomon (RS) Code and Bose-Chaudhuri-Hocquenghem (BCH) code are cyclic block codes class of error-correcting code. Error correcting code is required in communication system to reduce error of transmitted information from transmitter to receiver. In this paper, we present the investigation result of BER performance of communication system using RS code, BCH code and the system without error-correcting code. The simulation of the system is built using Matlab. The simulated communication system also use 32-Frequency Shift Keying modulation, and the encoded information which are investigated will propagate through AWGN, Rician and Rayleigh channel. Code performances is measured using bit error rate (BER) values. The results show that RS code performance in higher SNR, decrease BER values sharper than BCH code. But BCH code gives superior performance in lower SNR values.

Keywords : BCH, Reed Solomon, BER

Copyright © 2016 JNTE. All rights reserved

1. PENDAHULUAN

Tujuan sistem komunikasi adalah membawa sinyal informasi dari suatu titik (yaitu pengirim atau *transmitter*) ke titik yang lainnya (yaitu penerima atau *receiver*) melalui kanal komunikasi. Informasi yang diterima diharapkan sama dengan yang dikirimkan. Namun selama proses transmisi, dapat terjadi distorsi pada informasi karena ketidaksempurnaan kanal. Selain itu adanya derau dan sinyal penginterferensi dari sumber lain akan menyebabkan informasi yang diterima tidak lagi seperti yang dikirimkan [1].

Dalam sistem komunikasi digital, sinyal informasi yang dikirimkan berupa bit atau simbol. Karena adanya efek gangguan, derau

dan interferensi, bit atau simbol yang diterima menjadi tidak sama dengan yang dikirimkan atau telah mengalami *error*. Untuk mengatasinya, telah dikembangkan berbagai teknik *error-detecting code* yaitu teknik pengkodean untuk mendeteksi adanya *error* serta teknik *error-correcting code* yaitu teknik pengkodean untuk mengoreksi *error*. Pengkodean dilakukan dengan menambahkan bit atau simbol tambahan (*redundancy*) pada informasi yang akan dikirimkan pada proses transmisi, dan kemudian didekodekan dengan suatu algoritma tertentu pada *receiver* agar dapat dideteksi dan dikoreksi. Dengan teknik pengoreksi *error*, laju kesalahan bit atau *bit error rate* (BER) dapat diturunkan. Kode pengoreksi *error* terbagi atas 2 bagian, yaitu kode blok (*block code*) dan kode

konvolusional (*convolution code*). Contoh kode pengoreksi *error* yang merupakan kode blok adalah kode Reed-Solomon (RS) dan kode Bose-Chaudhuri-Hocquenghem (BCH).

Kode RS dan BCH merupakan kode siklis yang unik karena proses pengoreksiannya dilakukan sekaligus untuk beberapa bit, sehingga kode RS dan BCH memiliki kecepatan komputasi yang lebih tinggi dibandingkan jenis pengoreksian *error* yang proses koreksinya dilakukan untuk tiap bit. Selain itu, kedua kode tersebut juga mempunyai tingkat akurasi yang tinggi.

Pada penelitian [2], kinerja BER kode RS dengan modulasi M-FSK diteliti pada kondisi kanal AWGN dengan variasi jumlah bit *redundancy* dan panjang kode. Penelitian [3] membahas kinerja BER kode RS pada kanal AWGN, Rayleigh dan Rician. Pada [4] dilaporkan kinerja kode RS dan BCH menggunakan modulasi BPSK dan QPSK pada kanal Rayleigh, dengan hasil kode RS memiliki kinerja BER lebih baik daripada kode BCH.

Pada makalah ini dilaporkan hasil penelitian kinerja BER kode RS dan BCH menggunakan modulasi 32-FSK pada kanal AWGN, Rayleigh dan Rician. Penelitian dilakukan dengan cara memodelkan dan menyimulasikan sistem komunikasi digital yang terdiri dari *encoder-decoder* RS dan BCH dan modulator-demodulator 32-FSK. Simulasi dirancang menggunakan Matlab/Simulink.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kode Reed-Solomon

Kode RS merupakan pengkodean siklis nonbiner yang berguna sebagai “*error-correcting code*”. Pengaplikasian kode ini banyak ditemukan pada *CD player* dan dapat digunakan pada aplikasi *deep space*. Persamaan kode RS secara umum dinyatakan dalam (n,k) dengan n merupakan panjang kata kode dalam simbol dan k merupakan panjang informasi yang akan dikodekan dalam simbol [5]. Dengan demikian kode yang ditambahkan sejumlah $n-k$.

Kelebihan kode Reed-Solomon dibandingkan kode pendeteksi atau kode pengoreksi yang lain adalah kode RS sangat efektif terhadap *burst error* dan kode RS memiliki kemampuan koreksi lebih banyak karena data diolah dalam simbol (*non-binary*

code). Kode ini dapat memperbaiki hingga t simbol *error* [5] yaitu

$$t = \frac{n-k}{2} \tag{1}$$

dengan t merupakan jumlah simbol yang dapat diperbaiki dari *error* yang didapat. Misal kode RS $(n,k) = (255,247)$, maka $t=(255-247)/2=4$ simbol.

2.2. Kode Bose-Chaudhuri-Hocquenghem (BCH)

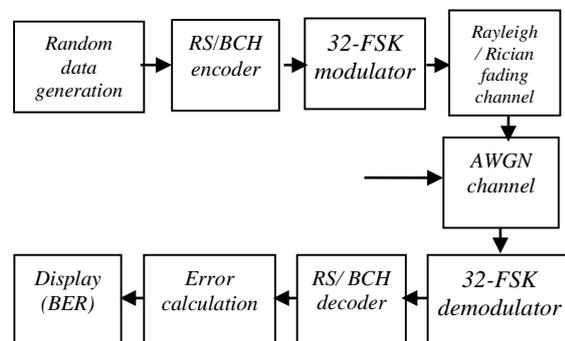
Kode BCH merupakan salah satu kode siklis yang ditemukan pada tahun 1959 oleh Hocquenghem sebagai metode pengkodean siklis yang memiliki tingkat perbaikan kesalahan yang tinggi dengan pengkodean yang lebih spesifik. Selanjutnya pada tahun 1960 metode tersebut disempurnakan oleh Bose dan Chaudhuri. Persamaan kode BCH secara umum (n,k) dengan n merupakan panjang kata kode dalam bit dan k merupakan panjang informasi yang akan dikodekan dalam bit [6].

Kemampuan memperbaiki kesalahan pada teknik BCH dinyatakan sebagai t dalam bentuk persamaan [6]

$$t \geq \frac{n-k}{m} \tag{2}$$

dengan t menunjukkan jumlah bit yang mampu diperbaiki.

3. METODOLOGI



Gambar 1. Model sistem komunikasi dengan modulasi 32-FSK dan kode koreksi RS/BCH

Penelitian ini diawali dengan membuat simulasi menggunakan perangkat lunak Matlab,

dengan data masukan pesan yang berasal dari data acak yang dihasilkan oleh program Matlab. Data masukan pesan berupa data biner acak sejumlah 832000 bit yang akan disusun dalam suatu matriks 832000×1 . Sistem yang disimulasikan ditunjukkan pada Gambar 1.

Encoder RS menggunakan *system object* pada Matlab dengan *syntax* `comm.RSEncoder`. Data biner acak sejumlah 832000 bit tidak sekaligus diproses langsung, melainkan dibagi dalam *frame*. Setiap *frame* dikodekan per 16 bit masukan dengan kode RS(31,16) dan dikodekan per 26 bit masukan dengan kode RS(31,26). Untuk kode RS(31,16) terdapat 2600 *frame* dan kode RS(31,26) terdapat 1600 *frame*.

Encoder BCH menggunakan *system object* pada Matlab dengan *syntax* `comm.BCHEncoder`. Data biner acak sejumlah 832000 bit tidak sekaligus diproses langsung, tetapi dibagi dalam *frame*. Setiap *frame* dikodekan per 16 bit masukan dengan kode BCH (31,16) dan dikodekan per 26 bit masukan dengan kode BCH (31,26). Untuk kode BCH(31,16) terdapat 2600 *frame* dan kode BCH(31,26) terdapat 1600 *frame*.

Tabel 1. *Properties* `comm.BCHEncoder`.

<code>CodewordLength</code>	Panjang kata kode dalam <i>bit</i> . Disimbolkan dengan n yang diatur 31. Bila tidak diatur maka akan <i>default</i> 15.
<code>MessageLength</code>	Panjang informasi dalam <i>bit</i> . Disimbolkan dengan k yang diatur 16 dan 26. Bila tidak diatur maka akan <i>default</i> 5.
<code>GeneratorPolynomial</code>	Polinomial generator. Nilainya otomatis menyesuaikan dengan n dan k yang digunakan. <i>Default</i> nya menyesuaikan $(n, k) = (15, 5)$.
<code>PrimitivePolynomial</code>	Polinomial primitif. Nilainya otomatis menyesuaikan dengan n dan k yang digunakan. <i>Default</i> nya adalah [1 0 0 1 1].

Informasi yang telah dikodekan kemudian dimodulasi 32-FSK sebelum ditransmisikan.

Pada proses transmisi sinyal melewati kanal di mana dalam simulasi dilakukan untuk kanal AWGN saja, kanal AWGN ditambah Rayleigh dan AWGN ditambah Rician. Pada penerima, dilakukan demodulasi dan pendekodean untuk mendapatkan informasi asli. Untuk mengukur kinerja kode dilakukan perhitungan BER pada nilai SNR yang ditingkatkan dari 5 sampai 25 dB. Setiap subsistem dalam Gambar 1 tersebut disimulasikan dengan *system object* pada Matlab. Salah satu contoh *properties system object* ditunjukkan pada Tabel 1.

Berdasarkan Tabel 1, generator polinomial dan polinomial primitif pengkode RS dan BCH yang digunakan dalam simulasi dibangkitkan secara otomatis oleh *system object* Matlab berdasarkan nilai n dan k yang dimasukkan.

Untuk menyimulasikan pengiriman data dan pengaruh kanal pada kinerja BER maka digunakan parameter simulasi sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.

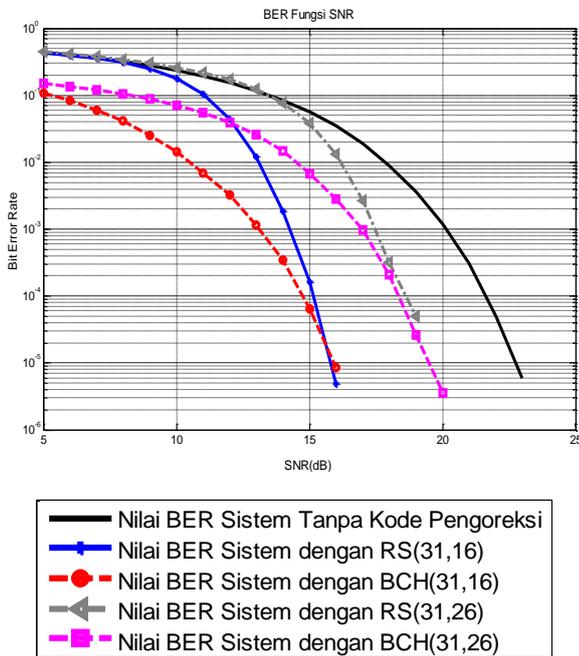
Tabel 2. Parameter Simulasi

Parameter	Nilai
Jumlah data (bit)	832000
Kecepatan kendaraan (km/jam)	60
Frekuensi pembawa (MHz)	1800
Periode simbol (detik)	5×10^{-7}
Parameter K pada kanal Rician	40

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

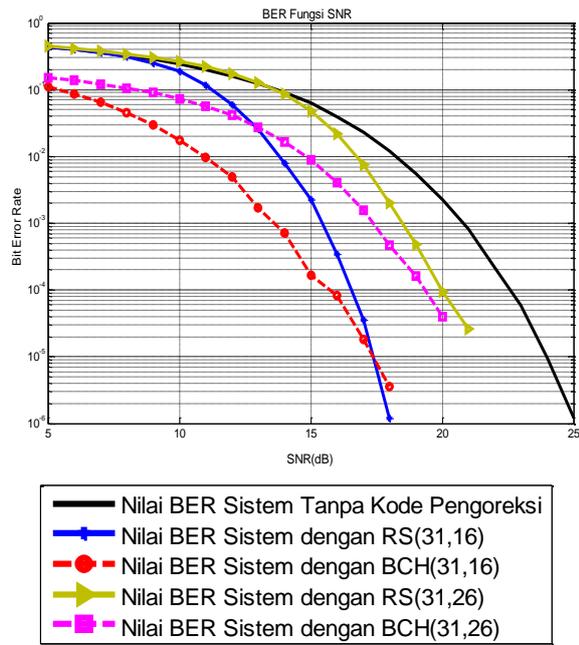
Gambar 2 menunjukkan hasil simulasi sistem dengan dan tanpa kode pengoreksi *error* pada kanal AWGN Sistem dengan kode koreksi mampu menurunkan nilai BER dari sistem tanpa kode koreksi. Dapat dilihat bahwa kinerja kode RS (31,16) dalam menurunkan BER lebih baik daripada kode RS (31,26). Demikian juga dengan kode BCH (31,16) yang memiliki kinerja BER lebih baik daripada kode BCH(31,26) Hal ini dikarenakan nilai n dikurangi k ($n-k$) yang menentukan jumlah *error* yang dapat diperbaiki, lebih besar pada kode dengan $(n,k)=(31,16)$ daripada $(n,k)=(31,26)$. Sementara itu jika kode RS dengan kode BCH diperbandingkan, hasilnya menunjukkan bahwa kode BCH pada SNR yang rendah memiliki kinerja BER yang lebih baik daripada kode RS. Akan tetapi dengan pertambahan SNR, grafik kode RS semakin

curam dan lebih cepat menurunkan nilai BER sampai mendekati nol dibandingkan dengan kode BCH, sehingga kinerja kedua kode menjadi serupa. Dari hasil simulasi, pada SNR 17 dB, nilai BER kode RS (31,16) dan kode BCH (31,16) sama-sama mendekati nol. Sedangkan nilai BER kode RS (31,26) dan BCH (31, 26) mendekati sama pada SNR di atas 18 dB.



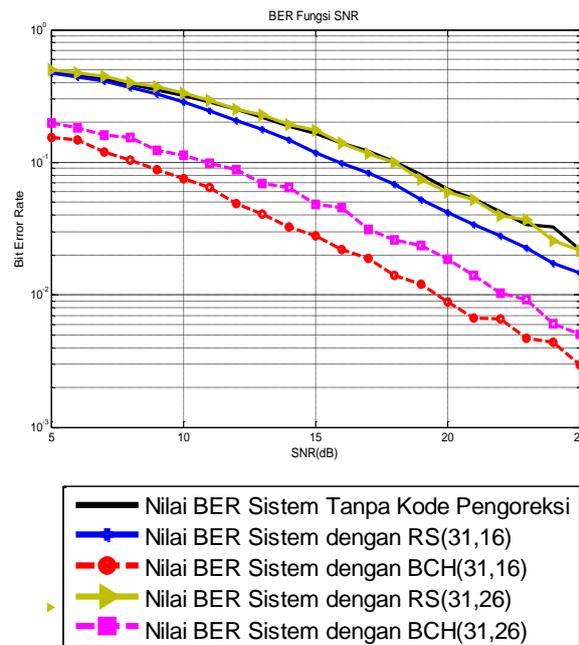
Gambar 2. Hasil penelitian sistem dengan modulasi 32-FSK pada kanal AWGN

Gambar 3 menunjukkan hasil simulasi sistem tanpa kode pengoreksi *error*, sistem dengan kode koreksi *error* BCH dan RS pada kanal Rician. Dapat ditunjukkan bahwa nilai BER kode BCH lebih baik pada saat SNR rendah, tetapi dengan peningkatan nilai SNR, penurunan nilai BER kode RS (31,16) menjadi lebih cepat dan mendekati nilai BER kode BCH (31,16). Hal yang sama terjadi jika penurunan nilai BER kode RS(31,26) dibandingkan dengan kode BCH (31,26). Hasil simulasi juga menunjukkan nilai BER RS (31,16) dan BCH (31,16) mencapai nol pada SNR sebesar 19 dB. Seperti halnya pada kanal AWGN, hasil simulasi pada kanal Rician ini juga menunjukkan bahwa kode BCH maupun RS dengan $(n,k) = (31,16)$ memberikan hasil lebih baik dalam menurunkan BER dibandingkan dengan $(n,k) = (31,26)$.



Gambar 3. Hasil penelitian sistem dengan modulasi 32-FSK pada kanal *fading* Rician

Simulasi sistem komunikasi yang dilewatkan pada kanal Rayleigh tanpa kode koreksi *error* dan dengan kode pengoreksi *error* BCH dan RS ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil penelitian sistem dengan modulasi 32-FSK pada kanal *fading* Rayleigh

Dari grafik dapat diamati bahwa kinerja BER kode-kode koreksi *error* yang paling baik menurunkan nilai BER adalah kode BCH(31,16), diikuti oleh BCH (31,26), kode RS (31,16), dan RS (31,26). Dengan demikian pada kanal Rayleigh, kinerja BER kode BCH lebih baik daripada kode RS. Hasil simulasi menunjukkan diperlukan SNR yang lebih tinggi lagi untuk menurunkan BER menjadi mendekati nol. Hasil simulasi ini juga menunjukkan bahwa kode BCH maupun RS dengan $(n,k) = (31,16)$ memberikan hasil lebih baik dalam menurunkan BER dibandingkan dengan $(n,k) = (31,26)$.

Dari ketiga kanal yang disimulasikan untuk kedua kode pengoreksi *error* diperoleh bahwa nilai BER paling rendah atau kinerja BER yang paling baik adalah pada kanal AWGN dan yang terburuk adalah pada kanal Rayleigh. Kinerja BER pada kanal Rician berada di tengah-tengahnya. Kanal AWGN merupakan pemodelan kanal ideal, sehingga terjadinya *error* akan segera dapat dikoreksi oleh kode koreksi *error*. Sementara itu kanal Rician memodelkan kondisi kanal fisik radio *line of sight*, di mana di antara pengirim dan penerima tidak terdapat penghalang. Namun demikian kanal radio ini bersifat meredam sehingga meningkatkan peluang terjadinya *error* lebih besar daripada kanal AWGN. Kanal *fading* Rayleigh merupakan kanal fisik/kanal radio yang bersifat *non line of sight* di mana antara pengirim dan penerima terdapat penghalang dan terjadi pantulan serta hamburan pada sinyal yang dikirimkan. Kanal *fading* Rayleigh juga memperhitungkan efek Doppler akibat adanya pergerakan pengguna atau objek pemantul. Hal ini menyebabkan informasi yang dikirimkan rentan mengalami *burst error* sehingga nilai BER meningkat pada saat diterima dibandingkan dengan kanal AWGN dan Rician.

Sistem dengan kode RS(31,16) dan kode BCH (31,16) dapat menurunkan nilai BER yang lebih baik dibandingkan sistem dengan kode RS(31,26) dan kode BCH(31,26). Hal ini disebabkan oleh kemampuan mengoreksi *error* dari kode RS (31,16) sebesar $t = \frac{31-16}{2} = 7,5 \approx 7$ simbol lebih besar dibandingkan kemampuan mengoreksi kode RS(31,26) sebesar $t = \frac{31-26}{2} = 2,5 \approx 2$ simbol. Untuk kode BCH(31,16) dengan kode BCH (31,26), kemampuan mengoreksi *error* kode BCH(31,16)

sebesar $t = \frac{31-16}{5} = 3 \text{ bit}$ lebih besar dibandingkan kode RS (31,26) sebesar $t = \frac{31-26}{5} = 1 \text{ bit}$.

Dari nilai-nilai kemampuan mengoreksi *error* di atas diketahui kode RS (31,16) dapat mengoreksi sistem yang mengalami BER sebesar atau di bawah $\frac{7}{31} = 0,2258 = 22,58\%$ menjadi sistem dengan nilai BER sebesar 0. Untuk kode RS (31,26), dapat mengoreksi sistem yang mengalami BER sebesar atau di bawah $\frac{2}{31} = 0,0645 = 6,45\%$ menjadi sistem dengan nilai BER sebesar 0. Untuk kode BCH (31,16), dapat mengoreksi sistem yang mengalami BER sebesar atau di bawah $\frac{3}{31} = 0,0968 = 9,68\%$ menjadi sistem dengan nilai BER sebesar 0. Untuk kode BCH(31,26), dapat mengoreksi sistem yang mengalami BER sebesar atau di bawah $\frac{1}{31} = 0,0323 = 3,23\%$ menjadi sistem dengan nilai BER sebesar 0.

Dapat diamati kode pengoreksi *error* seharusnya dapat mengoreksi *error* dimanapun posisinya sehingga sistem bebas dari *error* dengan syarat BER pada sistem sama atau lebih kecil dari kemampuan mengoreksi kode pengoreksi *error*. Tetapi pada penelitian, misal pada sistem dengan modulasi 32-FSK yang menggunakan kanal AWGN tanpa kode pengoreksi dengan SNR sebesar 11 dB dicapai nilai BER sebesar 19,6505%. Dengan SNR yang sama, sistem dengan modulasi 32-FSK yang menggunakan kanal AWGN dan kode pengoreksi RS (31,16) memiliki BER sebesar 10,3584%. Seharusnya kode RS (31,16) dapat mengoreksi hingga BER yang didapat 0%. Hal ini disebabkan oleh letak *error* menumpuk pada suatu *frame* sehingga pada *frame* itu banyaknya *error* melebihi kemampuan mengoreksi dari kode RS (31,16). Sehingga ada *frame-frame* yang tidak bisa dikoreksi bebas dari *error*, yang berakibat BER yang didapat tidak 0%.

Keunggulan sistem dengan kode RS (31,16) adalah seiring dengan penambahan nilai SNR, dalam penelitian terlihat penurunan nilai BER yang lebih curam bila dibandingkan sistem dengan kode BCH (31,16). Hal ini disebabkan oleh kemampuan mengoreksi kode RS lebih besar daripada kode BCH.

Sedangkan keunggulan sistem dengan kode BCH (31,16) adalah saat SNR bernilai kecil, sistem dengan kode BCH memiliki BER lebih

baik daripada sistem dengan kode RS. Hal ini disebabkan oleh proses pengoreksian masing-masing kode pengoreksi *error*. Kode BCH mengoreksi *error* dengan besar *bit* 0 atau 1 sedangkan kode RS mengoreksi *error* dengan besar symbol 0 sampai n , misal kode RS (31,16) mengoreksi *error* dengan besar simbol 0,1,2,3,...,31. Saat kode pengoreksi *error* dapat mengoreksi *error* dengan benar maka tidak akan terjadi masalah, tetapi bila gagal dalam mengoreksi *error*, kode BCH mempunyai peluang yang lebih besar mendapat keluaran yang sama dengan masukan dibandingkan kode RS.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan beberapa hal berikut ini. Kode RS dan kode BCH dengan selisih $(n-k)$ yang lebih besar mampu menurunkan nilai BER lebih baik. Kode RS dan kode BCH dengan panjang kata kode dan panjang informasi (n, k) yang sama masing-masing memiliki keunggulan. Keunggulan sistem dengan kode RS adalah seiring dengan penambahan nilai SNR, terutama dalam penelitian pada kanal AWGN dan Rician, terlihat penurunan nilai BER yang lebih curam bila dibandingkan sistem dengan kode BCH. Hal ini disebabkan oleh kemampuan mengoreksi kode RS lebih besar daripada kode BCH. Keunggulan sistem dengan kode BCH adalah saat SNR bernilai kecil, sistem dengan kode BCH memiliki BER lebih baik daripada sistem dengan kode RS. Hal ini disebabkan oleh proses pengoreksian masing-masing kode pengoreksi *error*. Pada setiap kode pengoreksi kanal Rayleigh menunjukkan nilai BER paling buruk dibandingkan kanal Rician dan AWGN. Pada kanal Rayleigh kinerja kode BCH lebih baik dibandingkan kode RS pada rentang nilai SNR 0-25 dB.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Haykin, S., *Communication Systems 4th ed.*, John Wiley and Sons, Inc. (2001).
- [2] Mahajan, S. & Singh, G. *BER Performance of Reed-Solomon Code Using M-ary FSK Modulation in AWGN Channel*, International Journal of

- Advances in Science and Technology, Vol. 3, No.1, 7-15 (2011)
- [3] Shanmugasundaram, T.A., Nachiappa, A., *An Insight into BER Performance of Reed-Solomon coded M-FSK under AWGN, Rayleigh and Rician Fading Channels*, International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering Vol. 2, Issue 4, 1488-1492 (April 2013)
- [4] Lone, F. R., Puri, A., Kumar, S., *Performance Comparison of Reed Solomon Code and BCH Code over Rayleigh Fading Channel*, International Journal of Computer Application, vol. 71, no. 20, 23-26 (2013)
- [5] Sklar, B., *Digital Communications: Fundamentals and Applications, 2nd Edition*, (2001)
- [6] Lin, S., Costello, D. J. Jr., *Error Control Coding: Fundamentals and Applications*, Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs, New Jersey (1983)

Biodata Penulis

Eva Yovita Dwi Utami, memperoleh gelar Sarjana Teknik dari jurusan Teknik Elektro Sekolah Tinggi Teknologi Telkom, Bandung dan gelar Magister Teknik dari Departemen Teknik Elektro Universitas Indonesia. Saat ini sebagai staf pengajar program studi Teknik Elektro Universitas Kristen Satya Wacana, Salatiga dengan minat penelitian dalam bidang Komunikasi Nirkabel dan Antena dan Propagasi.

Liang Arta Saelau, memperoleh gelar Sarjana Teknik dari program studi Teknik Elektro Universitas Kristen Satya Wacana, Salatiga.

Andreas A. Febrianto, memperoleh gelar Sarjana Teknik dari jurusan Teknik Elektro Universitas Kristen Satya Wacana, dan gelar Magister Teknik dari Departemen Teknik Elektro Universitas Gajah Mada. Saat ini sebagai staf pengajar program studi Teknik Elektro Universitas Kristen Satya Wacana, Salatiga dengan minat penelitian dalam bidang Pengolahan Sinyal Informasi.