

SANDI PROTEKSI GALAT YANG TIDAK SAMA SECARA SERIAL BERDASARKAN MODULASI TRELIS TERSANDI DENGAN KONSTELASI SINYAL ASK

Eva Yovita Dwi Utami

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik – UKSW

Jalan Diponegoro 52-60, Salatiga 50711

INTISARI

Hal yang harus diperhatikan dalam proses pengiriman informasi dari suatu tempat (pengirim) ke tempat yang lain (penerima) adalah galat yang sering menyertainya. Kemungkinan terjadinya galat pada saat pengiriman cukup besar, sehingga dapat mengakibatkan informasi yang dikirimkan tidak sama dengan informasi yang diterima dan menurunkan kinerja sistem. Untuk mengatasi masalah tersebut diperlukan sistem yang dapat mengoreksi galat, yaitu sistem penyandian. Sandi koreksi galat lebih ditujukan pada sistem komunikasi digital, dengan informasi yang diolah dalam bentuk *bit*. Bit-bit informasi ini dikirimkan melalui suatu kanal. Dengan menggunakan sandi proteksi galat yang tidak sama secara serial maka proteksi data dapat ditingkatkan dan galat yang dihasilkan dapat diperkecil.

Kata Kunci : *mapping*, konstelasi sinyal,

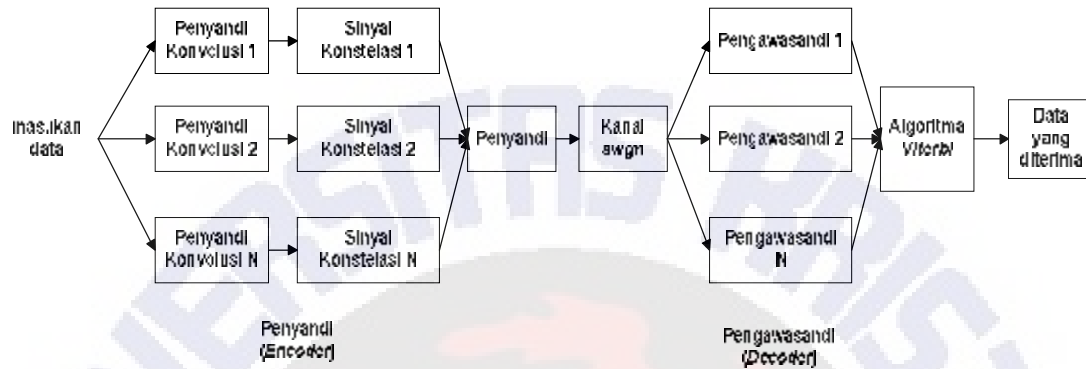
PENDAHULUAN

Sandi proteksi galat yang tidak sama secara serial (*Serial Unequal Error Protection*) merupakan proses penyandi data yang mempunyai perbedaan laju penyandian dan konstelasi sinyal. Masukan berupa data acak *biner* {0,1} yang disandikan konvolusional dengan laju penyandian 1/2, 1/3 dan 1/4. Selanjutnya proses *mapping* dilakukan dengan menggunakan konstelasi sinyal yang sesuai dengan laju penyandiannya, yaitu laju penyandian 1/2 menggunakan konstelasi sinyal 4-ASK, laju penyandian 1/3 menggunakan konstelasi sinyal 8-ASK dan laju penyandian 1/4 menggunakan konstelasi sinyal 16-ASK. Jika data tanpa penyandian, proses *mapping* menggunakan konstelasi sinyal 2-ASK. Kemudian data dikirimkan melewati suatu kanal AWGN. Ketika data sampai di penerima dilakukan proses *demapping* dan dilanjutkan proses pengawasandi dengan menggunakan algoritma *viterbi* (*hard decision decoding*).

PEMODELAN SISTEM

Blok Diagram Sistem

Sistem yang akan dianalisis dibagi menjadi 2 bagian yaitu penyandi (*Encoder*) dan pengawasandi (*Decoder*).



Gambar 1. Blok Diagram Penyandi (*Encoder*) dan Pengawasandi (*Decoder*).

Blok Diagram Penyandi

Pada Gambar 1 ditunjukkan blok diagram penyandi. Tiap-tiap subblok dijelaskan sebagai berikut.

1. Masukan data

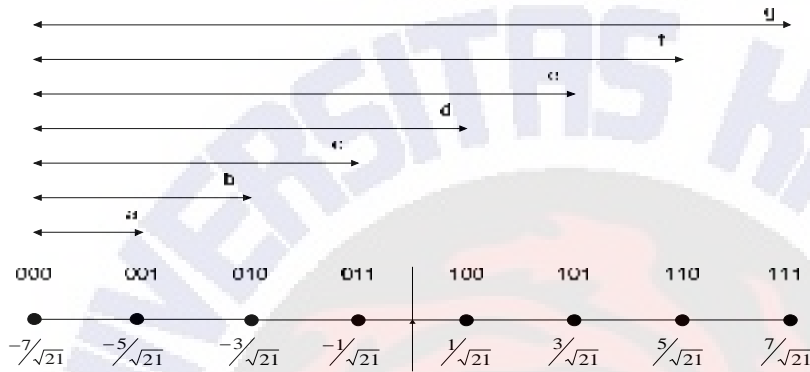
Data yang dikirim dibangkitkan berupa nilai *bit* '0' dan '1' yang tidak memiliki pola tertentu atau acak.

2. Penyandi konvolusi

Sandi proteksi galat yang tidak sama secara serial (*Serial Unequal Error Protection*) merupakan suatu penyandi data yang mempunyai perbedaan laju penyandian dan konstelasi sinyal. Pada Gambar 1 masukan data dibagi menjadi N aras penyandi konvolusi yaitu 1, 2,..., N dengan menggunakan laju penyandian yang berbeda. Semakin besar N, maka jumlah *bit* keluaran penyandi akan semakin banyak. Konstelasi sinyal yang digunakan dibagi menjadi 1, 2,..., N sesuai dengan laju penyandiannya. Pada penelitian ini digunakan penyandi *TCM* dengan laju penyandian 1/2, 1/3 dan 1/4, yang mempunyai panjang masing-masing *register* 3.

3. *Mapping* (pemetaan)

Konstelasi sinyal pada proses *mapping* sesuai dengan laju penyandiannya yaitu laju penyandian 1/2 menggunakan konstelasi sinyal 4-ASK, laju penyandian 1/3 menggunakan konstelasi sinyal 8-ASK dan laju penyandian 1/4 menggunakan konstelasi sinyal 16-ASK. Jika data tanpa penyandian dilakukan proses *mapping* menggunakan konstelasi sinyal 2-ASK. Pemetaan konstelasi sesuai dengan *natural mapping* yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. *Mapping* Menggunakan Sinyal Konstelasi 8-ASK [2].

$$a^2 = \left[\left(-\frac{5}{\sqrt{21}} \right) - \left(-\frac{7}{\sqrt{21}} \right) \right]^2 = 0,19 \quad (1.a)$$

$$b^2 = \left[\left(-\frac{3}{\sqrt{21}} \right) - \left(-\frac{7}{\sqrt{21}} \right) \right]^2 = 0,762 \quad (1.b)$$

$$c^2 = \left[\left(-\frac{1}{\sqrt{21}} \right) - \left(-\frac{7}{\sqrt{21}} \right) \right]^2 = 1,714 \quad (1.c)$$

$$d^2 = \left[\left(\frac{1}{\sqrt{21}} \right) - \left(-\frac{7}{\sqrt{21}} \right) \right]^2 = 3,047 \quad (1.d)$$

$$e^2 = \left[\left(\frac{3}{\sqrt{21}} \right) - \left(-\frac{7}{\sqrt{21}} \right) \right]^2 = 4,762 \quad (1.e)$$

$$f^2 = \left[\left(\frac{5}{\sqrt{21}} \right) - \left(-\frac{7}{\sqrt{21}} \right) \right]^2 = 6,857 \quad (1.f)$$

$$g^2 = \left[\left(\frac{7}{\sqrt{21}} \right) - \left(-\frac{7}{\sqrt{21}} \right) \right]^2 = 9,333 \quad (1.g)$$

Dari Persamaan (1.a) sampai (1.g) didapat nilai tiap-tiap *bit* pada proses *mapping* yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Jarak Antar *Bit* Menggunakan Sinyal Konstelasi 8-ASK.

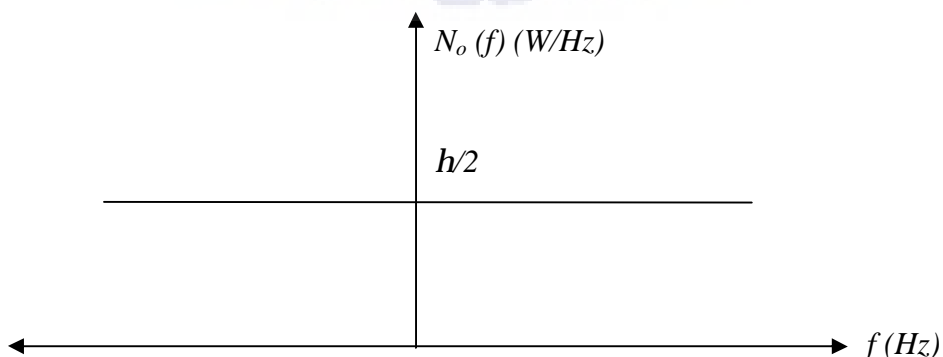
	Jarak antar <i>bit</i>
000 → 000	0
000 → 001	0,19
000 → 010	0,762
000 → 011	1,714
000 → 100	3,047
000 → 101	4,762
000 → 110	6,857
000 → 111	9,333

Kanal

Kanal yang digunakan adalah *Additive White Gaussian Noise (AWGN)*. *AWGN* merupakan derau yang sering terjadi pada sistem komunikasi yang sering juga disebut derau putih karena spektrum frekuensinya tersebar secara merata pada tiap-tiap nilai frekuensi (seperti cahaya putih). Rapat spektral daya *AWGN* dua sisi adalah:

$$N_o(f) = \frac{h}{2} \text{ W/Hz}, \tag{2}$$

ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Spektrum Dua Sisi Derau

Blok Diagram Pengawasandi

Tiap-tiap subblok pada diagram pengawasansi yang ditunjukkan pada gambar 1 dapat dijelaskan sebagai berikut.

1. Demapping

Demapping merupakan suatu proses untuk mengembalikan kembali data yang telah dipetakan dan melewati suatu kanal, menjadi deretan *bit-bit* yang sesuai dengan keluaran penyandi.

2. Pengawasandi

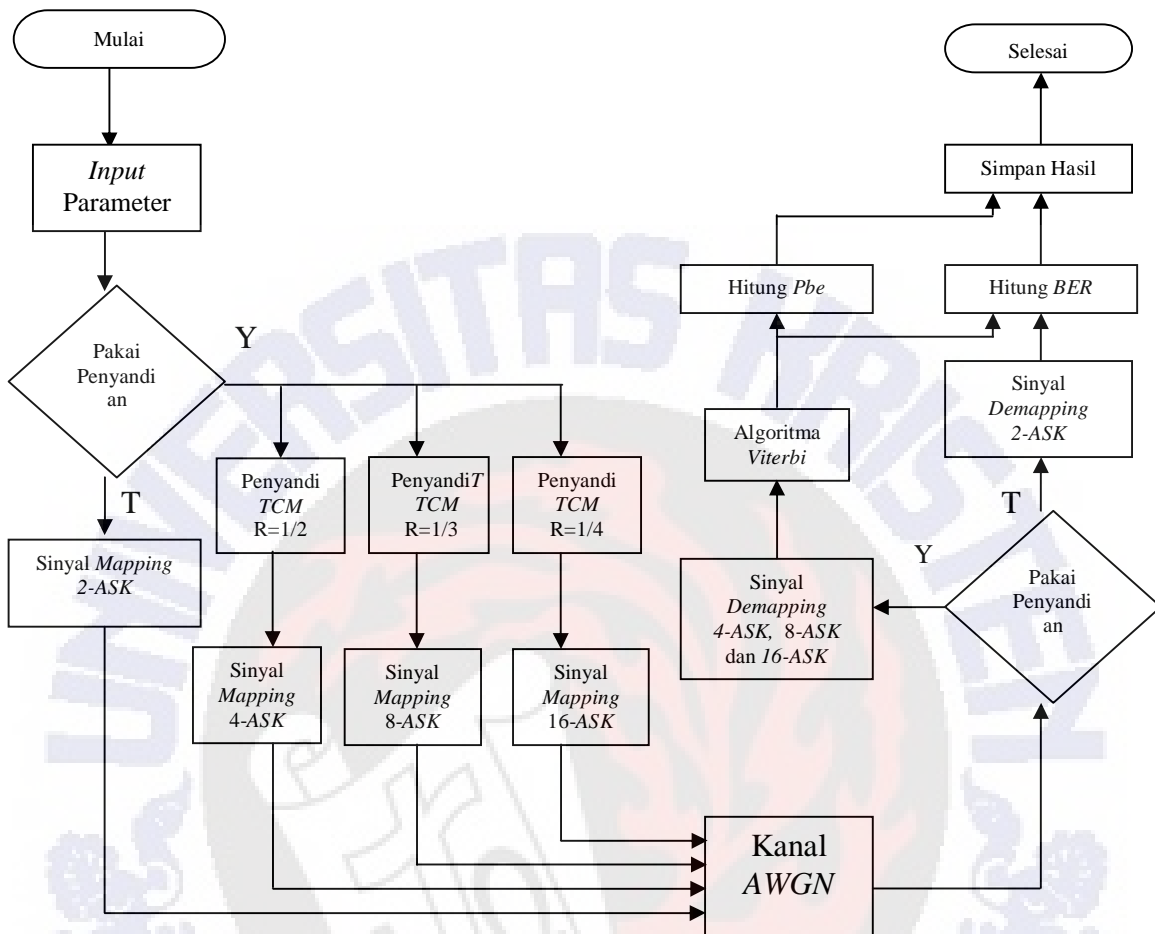
Pengawasandi yang digunakan adalah algoritma *viterbi* dengan deteksi *hard decision decoding*. Algoritma *viterbi* merupakan suatu algoritma untuk melakukan *Forward Error Correction (FEC)* berdasarkan penyandi konvolusi yang kinerjanya tergantung pada laju penyandian dan panjang *register* yang digunakan. Jika data masukan 1010 maka didapatkan data keluaran 111 001 100 001, tetapi karena adanya derau selama pengiriman data maka urutan sandi yang diterima berubah menjadi 111 001 101 001. Proses pengawasandi mengembalikan, data yang dikirim 1010 menjadi data yang diterima 1011 sehingga terdapat 1 galat yang terjadi selama proses pengawasandi *viterbi* yang ditunjukkan pada Tabel 2. Pada saat t_3 terdapat galat pada sandi yang diterima yang disebabkan oleh adanya derau. Namun dengan menggunakan pengawasandi *viterbi* data yang diterima dikoreksi sehingga sama dengan data yang dikirimkan. Pada proses pengawasandi *viterbi* menggunakan teknik *FEC* yang merupakan salah satu cara mendeteksi galat yang memungkinkan penerima memperbaiki galat secara otomatis.

Tabel 2. Perbandingan *Bit* setelah Proses Pengawasandi *Viterbi*.

	t_1	t_2	t_3	t_4
Data asli	1	0	1	0
Data yang dikirim	111	001	100	001
Data yang diterima	111	001	101	110
Proses <i>viterbi</i>	111	001	100	110
Data asli sesudah <i>viterbi</i>	1	0	1	1

Diagram Alir Program Simulasi

Diagram alir simulasi ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 4. Gaftar Alir Simulasi.

Probability of bits Error (P_{be})

Kemungkinan galat yang terjadi dari sejumlah *bit* yang dikirimkan lebih dikenal sebagai *probability of error* disingkat sebagai P_{be} . Nilai P_{be} ini selanjutnya digunakan sebagai salah satu kriteria dari kinerja sistem komunikasi digital. Peluang galat yang dihasilkan tergantung data yang diterima kemudian dibandingkan dengan keluaran kondisi cabang pada diagram *trellis* sehingga terdapat perbedaan *bit-bit*. Munculnya perbedaan *bit* tersebut dihitung sebagai P_{be} . Untuk mencari nilai P_{be} dengan menggunakan Persamaan (3)

$$P_b \leq \frac{1}{2m} \operatorname{erfc} \frac{\partial}{\partial I} T(X, I) \Big|_{I=1, X=e^{-1Es/4N_0}} \quad (3)$$

Bit Error Rate (BER)

Pada pengawasandi *viterbi*, data yang diterima dibandingkan dengan data yang dikirimkan sehingga didapatkan kemungkinan terjadinya galat. Nilai *BER* didapatkan dari jumlah galat *bit* pada data keluaran sistem dibandingkan dengan jumlah *bit* data.

$$BER = \frac{\text{jumlah galat bit}}{\text{jumlah bit data}} \quad (4)$$

Pada simulasi dilakukan perhitungan nilai *BER* dengan pengulangan sebanyak 30-50 kali untuk setiap nilai E_b/N_o dengan jumlah panjang data adalah 256, 512, 1024, 2048. Setelah pengulangan, akan dihitung nilai *BER* yang merupakan rata-rata dari pengulangan yang telah dilakukan.

Nilai *BER UEP* dihasilkan dengan menjumlahkan galat yang terjadi pada masing-masing laju penyandian yang digunakan kemudian dibagi dengan panjang data atau dengan menjumlah nilai *BER* pada masing-masing penyandi kemudian dibagi dengan total laju penyandian yang digunakan.

Asymptotic Coding Gain (ACG)

Asymptotic Coding Gain (ACG) merupakan penurunan nilai E_b/N_o pada sistem dengan penyandian dibandingkan dengan sistem tanpa penyandian untuk mencapai nilai *BER* yang sama. Dengan menggunakan diagram *state*, dapat ditentukan jarak *hamming* dan d_{free} pada proses penyandian. Jarak *hamming* merupakan perbandingan *bit* pada jalur-jalur diagram *state* dengan *bit* awal 000. Nilai d_{free} didapatkan dengan memilih lintasan yang mempunyai jarak *hamming* paling rendah.. Nilai d_{free}^2 didapatkan dengan menjumlah jarak antar *bit* pada lintasan yang dilalui pada diagram *trellis*. Nilai *ACG* didapatkan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$g = 10 \log_{10} \left(\frac{d_{free}^2 / E}{d_{min}^2 / E'} \right) \quad (5)$$

dengan d_{free}^2 = jarak terendah kuadrat *Euclidean* bebas;

d_{min}^2 = jarak terendah antar *bit*;

d_{free} = jarak terendah *hamming* bebas;

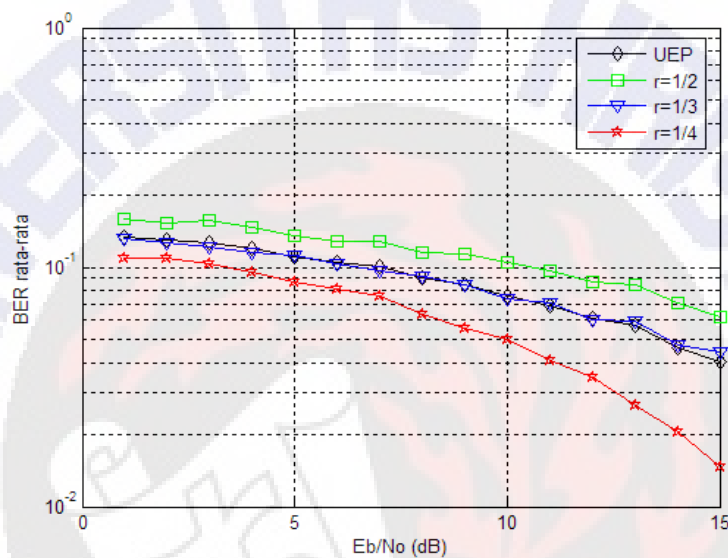
E = menyatakan energi dengan menggunakan sistem penyandian; dan

E' = menyatakan energi dengan menggunakan sistem tanpa penyandian.

HASIL PENELITIAN DAN ANALISISNYA

Pengaruh Laju Penyandian terhadap Unjuk Kerja BER

Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem dengan laju penyandian 1/4 mendapatkan nilai BER yang paling baik jika dibandingkan dengan laju penyandian 1/2 dan 1/3.



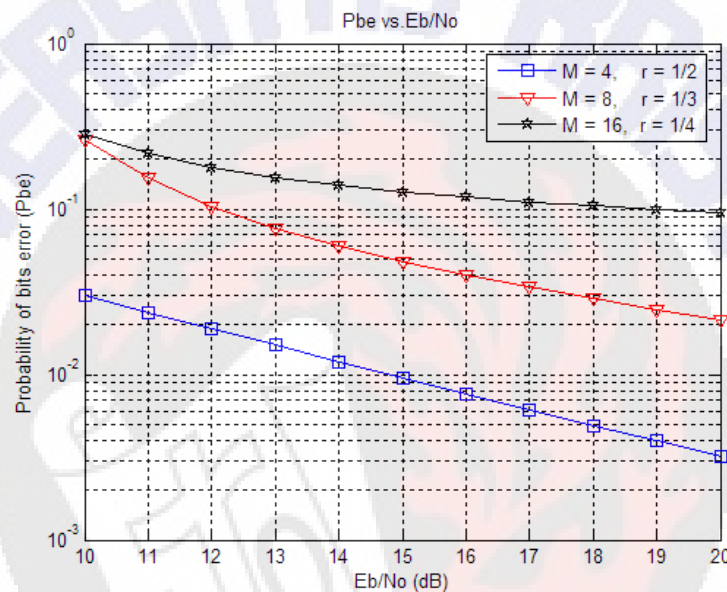
Gambar 5. Grafik BER Rata-rata Fungsi E_b/N_o untuk Sistem Menggunakan r Penyandi Konvolusi yang Berbeda.

Nilai BER UEP didapatkan dengan menjumlah BER pada semua laju penyandian kemudian dibagi dengan jumlah laju penyandian yang digunakan. Semakin kecil laju penyandian dan semakin banyak jumlah penyandian yang digunakan maka nilai BER UEP akan semakin rendah. Dari grafik terlihat bahwa dengan menggunakan E_b/N_o tertentu maka didapatkan semakin kecil laju penyandiannya, nilai BER yang dihasilkan akan semakin kecil.

Penyandi konvolusi mampu menghasilkan nilai BER yang lebih rendah dibanding sistem tanpa penyandian. Semakin kecil laju penyandi yang digunakan, maka nilai BER yang dihasilkan semakin rendah, dimana BER yang dihasilkan sistem menggunakan laju penyandi $r = 1/2$ sebesar $1.1 \cdot 10^{-1}$, $r = 1/3$ sebesar $7 \cdot 10^{-2}$, $r = 1/4$ sebesar $5 \cdot 10^{-2}$ dan tanpa penyandian sebesar $2,5 \cdot 10^{-1}$, pada kondisi E_b/N_o 10 dB.

Pengaruh Konstelasi Sinyal terhadap *Probability of bits error (Pbe)*

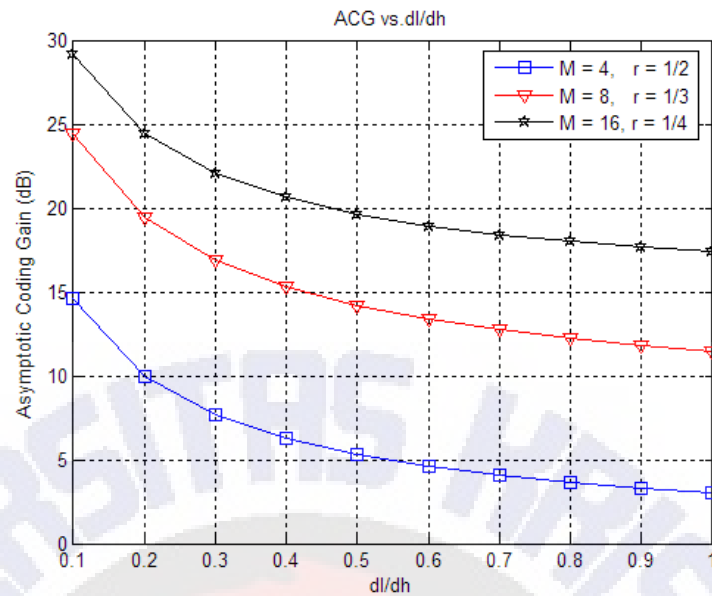
Dari grafik terlihat bahwa konstelasi sinyal *M*-ary ASK dengan *M* semakin besar, maka nilai *Pbe* atau peluang terjadinya galat akan semakin besar. Untuk mendapatkan *Pbe* sebesar 1.10^{-2} menggunakan 4-ASK ($r = 1/2$) diperlukan E_b/N_o sekitar 15 dB, untuk 8-ASK ($r = 1/3$) dan *Pbe* sebesar 1.10^{-1} diperlukan E_b/N_o sekitar 12 dB dan untuk 16-ASK ($r = 1/4$) dengan *Pbe* sebesar 1.10^{-1} membutuhkan E_b/N_o sekitar 18 dB. Dapat dilihat juga bahwa semakin besar perbandingan daya sinyal terhadap daya derau akan menurunkan kemungkinan terjadinya galat dalam penerimaan suatu informasi.



Gambar 6. Grafik *Pbe* Rata-rata Fungsi E_b/N_o untuk Sistem Menggunakan *r* Penyandi Konvolusi yang Berbeda.

Pengaruh Sinyal Konstelasi terhadap *Asymptotic Coding Gain (ACG)*

Asymptotic Coding Gain merupakan penurunan nilai E_b/N_o pada sistem dengan penyandian dibandingkan dengan sistem tanpa penyandian untuk mencapai nilai *BER* yang sama. Semakin besar sinyal konstelasi *M*-ary ASK maka energi (E_s) pada sinyal tersebut akan semakin besar sehingga jarak antar *bit* nya akan semakin kecil.



Gambar 7. Grafik ACG Fungsi $b = \frac{dl}{dh}$ untuk Sistem Menggunakan r Penyandi Konvolusi yang Berbeda.

Untuk mendapatkan nilai ACG digunakan Persamaan 5. Nilai d_{free}^2 didapatkan dengan menjumlah nilai pada lintasan yang dipilih, dengan semakin besarnya E_s maka nilai d_{min}^2 (jarak terendah antar *bit*) akan semakin kecil.

Dengan semakin besarnya energi maka *coding gain* yang dihasilkan akan semakin besar untuk mendapatkan unjuk kerja yang sama antara sistem menggunakan penyandian dan tanpa penyandian. Dengan mengubah nilai peubah $b = \frac{dl}{dh}$, didapatkan semakin kecil nilai b atau nilai jarak dh semakin besar, maka nilai ACG semakin besar. Untuk $b = 1$ dengan menggunakan laju penyandian 1/2 membutuhkan *coding gain* sebesar 3,5 dB, jika menggunakan laju penyandian 1/3 membutuhkan *coding gain* sebesar 11,5 dB dan laju penyandian 1/4 membutuhkan *coding gain* sebesar 17,5 dB.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem dengan penyandi konvolusi mampu menekan nilai *BER* karena kemampuannya untuk mengoreksi galat pada data yang diterima sehingga unjuk kerja sistem dapat ditingkatkan. Keuntungan yang diberikan oleh sistem dengan penyandian dapat diukur sebagai *coding gain*, yang dapat didefinisikan sebagai penurunan nilai E_b/N_o pada sistem dengan penyandian dibandingkan dengan sistem tanpa penyandian untuk mencapai nilai *BER* yang sama.

Semakin kecil laju penyandian yang digunakan, maka nilai *BER* yang dihasilkan semakin rendah. Dengan semakin kecilnya laju penyandian maka *coding gain* yang dihasilkan akan semakin besar. Ini dikarenakan dengan semakin kecil nilai *r* penyandi maka energi yang dibutuhkan untuk mendapatkan nilai *BER* yang sama dengan sistem tanpa penyandian semakin kecil

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian dan analisis hasil simulasi maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

1. Dengan semakin kecilnya laju penyandian maka *coding gain* yang dihasilkan akan semakin besar. Ini dikarenakan dengan semakin kecil nilai *r* penyandi maka energi yang dibutuhkan untuk mendapatkan nilai *BER* yang sama dengan sistem tanpa penyandian akan semakin kecil.
2. Sistem menggunakan penyandi konvolusi mampu menghasilkan nilai *BER* yang lebih rendah dibanding sistem tanpa penyandian. Semakin kecil laju penyandi yang digunakan, maka nilai *BER* yang dihasilkan semakin rendah.
3. Dengan menggunakan nilai *Eb/No* tertentu maka didapatkan semakin kecil laju penyandiannya (semakin besar *bit* keluarannya) atau semakin besar jumlah *M-ary* sinyal maka nilai *Pbe* yang dihasilkan akan semakin besar.
4. *Asymptotic Coding Gain* merupakan selisih nilai *SNR* pada sistem dengan penyandian dan sistem tanpa penyandian untuk mencapai unjuk kerja yang sama. Semakin besar jumlah sinyal konstelasi *M-ary ASK* maka *coding gain* yang diperlukan juga akan semakin besar. Untuk $b = 1$ menggunakan laju penyandian $1/2$ membutuhkan *coding gain* sebesar 3,5 dB, laju penyandian $1/3$ membutuhkan *coding gain* sebesar 11,5 dB dan laju penyandian $1/4$ membutuhkan *coding gain* sebesar 17,5 dB.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Ezio Biglieri, Dariush Divsalar, Peter J Mc Lane, Marvin K Simon., ” *Introduction to Trellis-Coded Modulation with Applications*” , Macmillian, New York. 1991.
- [2]. Arnold M. Michelson, Allen H. Levesque, ”*Error-Control Techniques for Digital Communication*”, Prentice Hall International, Inc, 1990.
- [3]. Proakis, John G., ”*Digital Communication*”, McGraw Hill Book Company, 1983.
- [4]. Pursley, Michael B., ”*Introduction to Digital Communication*”, Pearson Educational International, 2005.
- [5]. Well, Richard B., ”*Applied Coding and Information Theory for Engineers*”, Prentice-Hall, Inc., Indian, 2004.
- [6]. D. K. Asano, R. Kohno, ”*Serial Unequal Error Protection Codes based on Trellis Coded Modulation*”, IEEE Trans. Commun., June 1997.
- [7]. M. Matsunaga, D. K. Asano, R. Kohno., ”*Unequal Error Protection Based on Multidimensional Coded Modulation Using Several Convolutional Encoders*”, IEEE ICCS/ISPACS, 1996.
- [8]. D. K. Asano, R. Kohno, ” *A TCM-based Unequal Error Protection Scheme for Intelligent Communication*”, Theory and App. (ISITA '96), Sept 1996.