

SIMULASI KINERJA *FORWARD ERROR CONTROL CODING* UNTUK SATELIT MIKRO PENGINDERAAN JARAK JAUH

Dwiyanto^{*)}, Sugihartono^{)}**

^{*)}Peneliti Bidang Bus Satelit Pusteksat LAPAN

^{**)} Sekolah Tinggi Elektronika dan Informatika, Institut Teknologi Bandung

email: dyants@yahoo.com

Diterima 13 Agustus 2011; Disetujui 29 November 2011

ABSTRACT

Micro satellite application for remote sensing in this time has been expanded and particularly supported by growth of electronics component that low power and small size. Large amount of image data, less of contact time and limited satellite's power obliges of efficiency mechanism design to assured data satellite communication is accepted properly by earth station. Various of scenario of data transmissions on micro satellite have been developed in order to ensure all data that taken by payload can be delivered and accepted by station earth truly. Forward Error Control Coding or Forward Error Correction method is mechanism that added redundancy bit to delivery data with a purpose to improve error correction of received data. FEC performance can be known by compare of different value of E_b/N_0 needed for Bit Error Rate (BER) in common without FEC. In this research conducted simulation performance FEC Reed Solomon by undertaking change of beet amount per symbol, code length and code ability in repairing symbol error. Simulation Result shows getting smaller code rate that used then ever greater code reinforcement. The simulation using forward error control coding Reed Solomon for data transmission remote sensing results code RS(255,223) have best performance with coderate 0,874 and coding gain 3,4dB on value of BER 10^{-4} .

Keywords: *Reed Solomon, QPSK, 16-QAM, Remote sensing*

ABSTRAK

Aplikasi satelit mikro *remote sensing* dalam masa sekarang sudah sangat luas terlebih didukung perkembangan komponen elektronika yang *low power* dan *small size*. Jumlah data *image* yang besar, waktu kontak sedikit dan *power* satelit yang terbatas mengharuskan adanya mekanisme efisiensi disain komunikasi satelit sehingga data diterima dengan baik oleh stasiun Bumi. Berbagai skenario transmisi data satelit mikro telah dikembangkan agar semua data yang diambil oleh *payload* dapat dikirimkan dan diterima oleh stasiun Bumi dengan benar. Metode *Forward Error Control Coding* atau *Forward Error Correction* (FEC) adalah mekanisme menambah bit-bit redundan saat pengiriman data dengan tujuan meningkatkan kemampuan koreksi kesalahan data yang diterima. Kinerja FEC dapat diketahui dengan membandingkan perbedaan kebutuhan nilai E_b/N_0 untuk *Bit Error Rate* (BER) yang sama dengan tanpa FEC. Dalam penelitian ini dilakukan simulasi kinerja FEC *Reed Solomon* dengan melakukan perubahan jumlah bit per simbol, panjang kode dan kemampuan kode dalam memperbaiki *error* simbol. Hasil simulasi menunjukkan semakin kecil laju kode yang digunakan maka penguatan kode semakin besar. Hasil simulasi *forward error control coding Reed Solomon* untuk transmisi data satelit penginderaan jauh didapatkan kode RS(255,223) memiliki kinerja paling baik dengan laju 0,874 dan penguatan kode 3,4dB untuk BER 10^{-4} .

Kata kunci: *Reed Solomon, QPSK, 16-QAM, Remote sensing*

1 PENDAHULUAN

Aplikasi satelit mikro untuk keperluan penginderaan jarak jauh saat ini berkembang luas terlebih didukung perkembangan komponen elektronika yang *low power* dan *small size*. Jumlah data *image* yang besar, waktu kontak sebentar dan *power* satelit yang terbatas menjadi suatu permasalahan tersendiri dalam komunikasi satelit mikro penginderaan jarak jauh. Permasalahan ini mengharuskan adanya mekanisme komunikasi dan efisiensi daya satelit agar semua data diterima dengan baik oleh stasiun Bumi.

Metode *Forward Error Correction* (FEC) digunakan di hampir semua sistem komunikasi digital untuk meningkatkan kinerja dengan menurunkan *Bit Error Rate* (BER) data yang diterima. Secara teoritis, FEC memungkinkan melewati jumlah informasi maksimum dalam kanal transmisi. Dalam implementasinya hal ini bisa mengurangi biaya sistem komunikasi satelit yang digunakan.

Dalam penelitian ini dilakukan perbandingan kinerja FEC *Reed solomon* dengan mengubah beberapa parameter komunikasi antara lain; kode rate, jenis modulasi, *coding gain*, kecepatan transmisi data dan lebar pita frekuensi pembawa. Hasil simulasi nantinya digunakan untuk menentukan konfigurasi sistem transmisi data yang sesuai antara satelit dan stasiun Bumi.

Tujuan penelitian ini adalah mengetahui kinerja FEC *Reed Solomon* dan mendapatkan konfigurasi FEC yang terbaik untuk transmisi data satelit mikro penginderaan jauh dengan mempertimbangkan parameter kode *Reed Solomon*, jenis modulasi, *coding gain*, kecepatan transmisi data, dan lebar pita frekuensi pembawa.

Sebagai batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

- Satelit mikro yang dianalisa adalah satelit LEO orbit polar dengan ketinggian 800 km,

- Data yang ditransmisikan adalah data *image remote sensing*,
- Modulasi data yang digunakan adalah QPSK dan 16-QAM,
- FEC yang digunakan adalah *Reed Solomon*,
- Pemodelan noise dengan distribusi gaussian (AWGN),
- Kinerja yang diamati adalah *Bit Error Rate* (BER) dan (E_s/N_0) .

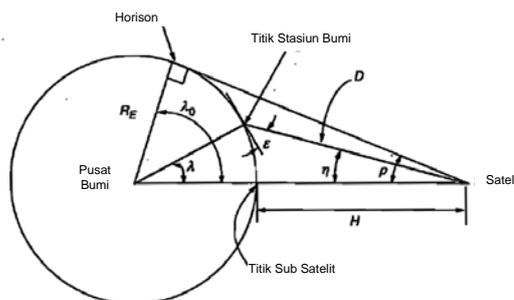
2 LANDASAN TEORI

2.1 Ukuran Data Satelit

Ukuran data satelit *remote sensing* ditentukan oleh jumlah pita sensor, jumlah piksel sensor *image* yang digunakan, kuantisasi, dan waktu *passing* satelit. Waktu *passing* satelit ditentukan dari ketinggian orbit dan minimal sudut elevasi antena stasiun Bumi yang digunakan. Gambaran posisi stasiun Bumi dan satelit dapat dilihat dalam geometri satelit terhadap Bumi yang ditunjukkan dalam Gambar 2-1.

Secara sederhana ukuran data satelit dapat diperoleh dengan persamaan:

- Ukuran Data = Jumlah piksel x kuantisasi x jumlah pita x (panjang lintasan/*Ground Sample Distance* (GSD)) (2-1)



Gambar 2-1: Geometri Satelit terhadap Bumi

- Waktu transmit = waktu *passing* x Number Transmit.
- Data Rate = ukuran data/waktu transmit

Jumlah waktu transmit dapat diketahui dari lama waktu kontak satelit dengan stasiun Bumi. Waktu kontak satelit dapat diperoleh dengan membagi

360° dengan sudut maksimal satelit terlihat oleh stasiun Bumi dikalikan waktu periode orbit. Periode orbit (P) satelit dapat diselesaikan dengan persamaan:

$$P = 1658699 \times 10^{-4} \times (6378,14 + h)^{3/2} \text{ (menit)} \quad (2-2)$$

Keterangan:

P = Periode orbit

h = Ketinggian orbit satelit terhadap permukaan Bumi

Jika didefinisikan untuk sudut maksimum pusat Bumi, λ_{mak} sebagai jari-jari area akses observasi. Dua kali λ_{mak} dinamakan *swath width* sebagai lebar dari liputan area Bumi. Suatu titik di permukaan Bumi merupakan fungsi dari λ_{mak} dan sudut *off track* λ dimana sudut ini tegak lurus dengan titik tersebut dengan lintasan yang dilewati orbit. Bagian dari orbit F_{view} dimana titik tersebut dapat dilihat adalah:

$$F_{\text{view}} = \cos^{-1} \left(\frac{\cos \lambda_{\text{maks}}}{\cos \lambda} \right) / 180^\circ \quad (2-3)$$

Sehingga *time of view* (T_{of}) atau waktu kontak satelit dengan stasiun Bumi dapat dicari dengan persamaan:

$$T_{\text{of}} = P \cdot F_{\text{view}} = \frac{P}{180^\circ} \times \cos^{-1} \left(\frac{\cos \lambda_{\text{maks}}}{\cos \lambda} \right) \text{ menit} \quad (2-4)$$

2.2 Forward Error Correction

Forward error correction dapat meningkatkan kualitas *link* transmisi dengan menurunkan BER dimana hal ini menjadi kriteria *service quality* dengan menurunkan kebutuhan E_b/N_0 yang menjadi pertimbangan dalam analisis *link budget*. *Coding gain* (ΔG) merupakan perbedaan kebutuhan E_b/N_0 antara sistem menggunakan pengkodean dan sistem referensi dalam BER tertentu.

$$\Delta G = (E_b / N_0)_{\text{ref}} - (E_b / N_0)_{\text{cod}} \text{ (dB)} \quad (2-5)$$

ΔG = Coding gain

$\frac{E_b}{N_0}_{\text{ref}}$ = kebutuhan E_b/N_0 tanpa coding

$\frac{E_b}{N_0}_{\text{cod}}$ = kebutuhan E_b/N_0 dengan coding

Kualitas pengkodean dapat juga diapresiasi dalam penghematan C/N_0 dan C/N .

$$\begin{aligned} C/N_0 &= E_b/N_0 + 10 \log R_b \text{ (dB)} \text{ dan} \\ C/N &= E_b/N_0 + 10 \log R_b - 10 \log W \text{ (dB)} \end{aligned} \quad (2-6)$$

Dalam aplikasi sistem komunikasi, *forward error correction* atau biasa disebut *channel coding* merupakan metode yang sangat efisien untuk meningkatkan kualitas transmisi karena menurunkan kebutuhan E_b/N_0 untuk mendapatkan BER tertentu sehingga menurunkan kebutuhan besar daya pancar. Hal ini akan menurunkan kebutuhan elemen RF dan antena sehingga akan menurunkan kebutuhan daya, ukuran dan *cost* dari pembuatan satelit.

2.3 Reed Solomon

Kode *Reed Solomon* adalah kode blok bukan biner yang biasa disingkat sebagai $RS(n,k)$ dimana variabel n adalah panjang kode yang terdiri dari susunan beberapa simbol, k adalah jumlah simbol data yang dikodekan dan $2t$ adalah jumlah paritas simbol. Penggambaran struktur kode *Reed Solomon* ditunjukkan dalam Gambar 2-2. Laju kode merupakan perbandingan antara jumlah simbol data dan jumlah simbol kode yang dihasilkan (k/n).



Gambar 2-2: Gambar struktur kode *Reed Solomon*

Jumlah kode disusun dari n urutan m -bit simbol dimana m adalah bilangan integer positif yang nilainya lebih dari 2. $RS(n,k)$ konvensional dituliskan dengan persamaan:

$$(n, k) = (2^m - 1, 2^m - 1 - 2t) \quad (2-7)$$

Dimana t adalah kemampuan meng-koreksi *error* simbol dan $n-k=2t$ adalah jumlah paritas simbol.

Kode *Reed Solomon* merupakan kode yang mempunyai kemungkinan jarak kode minimum paling besar karena

jarak kode Reed-Solomon ditentukan oleh jumlah simbol yang mempunyai urutan berbeda. Jarak kode minimum untuk Reed Solomon dituliskan dengan $d_{\min} = n - k + 1$ dan kemampuan mengkoreksi sejumlah maksimal t error simbol, dimana t dapat dituliskan dengan persamaan:

$$t = \left\lfloor \frac{d_{\min} - 1}{2} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{n - k}{2} \right\rfloor \quad (2-8)$$

Dalam Reed Solomon dikenal istilah peluang simbol error dimana dapat dituliskan:

$$P_E \approx \frac{1}{2^m - 1} \sum_{j=t+1}^{2^m-1} j \binom{2^m-1}{j} p^j (1-p)^{2^m-1-j} \quad (2-9)$$

Keterangan:

P_E = peluang error deteksi simbol,

p = peluang simbol yang error, t kemampuan kode mengkoreksi error simbol dan m jumlah bit per simbol.

Kode Reed Solomon sistematis merupakan fungsi dari pesan yang dikirimkan $m(X)$, generator polinomial $g(X)$ dan jumlah simbol paritas $2t$. Generator polinomial yang digunakan mengikuti persamaan:

$$c(x) = m(X)X^{2t} + m(X) \text{ mod } g(X) \quad (2-10)$$

dimana $g(X)$ adalah

$$g(X) = g_0 + g_1X + g_2X^2 + g_3X^3 + \dots + g_{2t-1}X^{2t-1} + g_{2t}X^{2t} \quad (2-11)$$

Derajat generator polinomial adalah sama dengan jumlah paritas simbol yang digunakan. Kode RS (255,239) dengan $2t= 16$ maka akan didapatkan generator polinomial:

$$g(X) = (X - \alpha)(X - \alpha^2)(X - \alpha^3)\dots(X - \alpha^{15})(X - \alpha^{16}) \quad (2-12)$$

Sehingga didapatkan:

$$g(X) = X^{16} + 59X^{15} + 13X^{14} + 104X^{13} + 189X^{12} + 68X^{11} + 209X^{10} + 30X^9 + 8X^8 + 163X^7 + 65X^6 + 41X^5 + 229X^4 + 98X^3 + 50X^2 + 36X + 59 \quad (2-13)$$

Dan enkoder LSFR yang didapatkan dari persamaan 2-13 dapat ditunjukkan dalam Gambar 2-3.

Setiap simbol informasi yang masuk diikuti dengan pulsa sinyal untuk mengindikasikan awal sebuah pesan. Setelah 239 siklus clock, enkoder mulai menggabungkan 16 simbol paritas ke pesan untuk menjadikan jumlah kode menjadi 255 simbol.

Setelah melewati kanal transmisi yang mengandung derau, data yang diencode dapat direpresentasikan sebagai:

$$r(X) = c(X) + e(X) \quad (2-14)$$

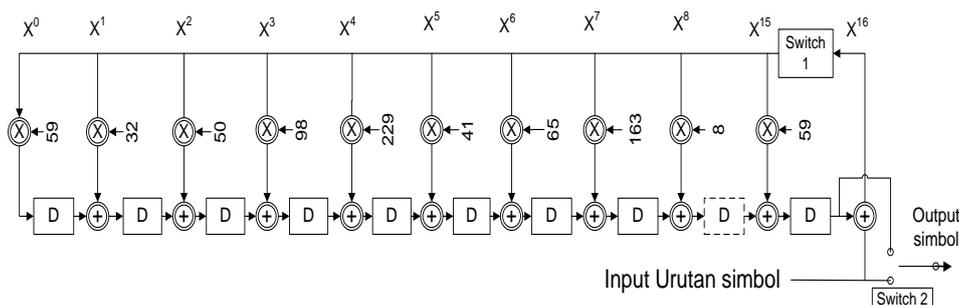
dimana $e(X)$ merepresentasikan error polynomial dengan derajat sama dengan $c(X)$ dan $r(X)$.

Jika dekoder mengevaluasi adanya $e(x)$, pesan yang dikirim $c(x)$ akan dikembalikan dengan cara menambahkan pesan diterima $r(x)$ dengan error polynomial $e(x)$, seperti ditunjukkan dalam persamaan:

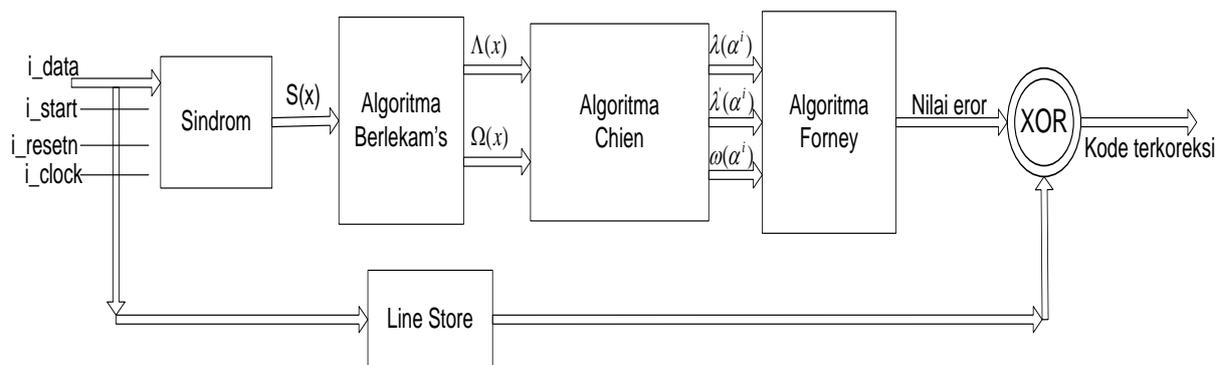
$$c(x) = r(x) + e(x) \\ = c(x) + e(x) + e(x) = c(x) \quad (2-15)$$

$e(x) + e(x) = 0$ karena penambahan dalam bidang Galois.

Arsitektur decoder kode yang diterima ditunjukkan dalam Gambar 2-4. Pertama kali yang dilakukan dekoder adalah menghitung sindrom kode yang diterima untuk mendeteksi jika ada potensi kesalahan yang terjadi selama transmisi. Jika polinomial *sindrome*, $S(x)$ tidak sama dengan nol berarti kode yang diterima mengandung kesalahan dan akan dikoreksi jika jumlah kesalahan yang terjadi kurang dari 8.



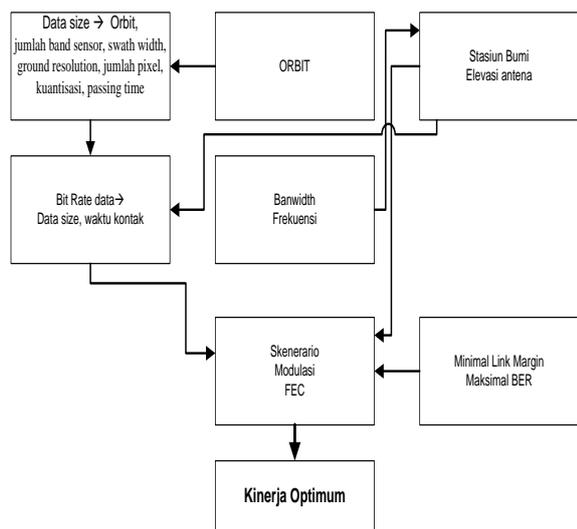
Gambar 2-3: Encoder LSFR RS(225,239)



Gambar 2-4: Algoritma Decoding RS (255,239)

3 METODOLOGI

Pada penelitian ini metodologi yang digunakan adalah simulasi dengan mempertimbangkan beberapa parameter desain komunikasi satelit seperti ditunjukkan dalam Gambar 3-1.



Gambar 3-1: Alur dan hubungan antar parameter satelit

Parameter satelit yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

Parameter Orbit

- Tipe orbit : SSPO
- Ketinggian orbit : $h = 800$ km
- Eccentricity : $e \approx 0$ (circular)
- Inclination : $i = 98.5153$

Parameter Sensor

- Swath width : 100 km
- GSD : 20 m

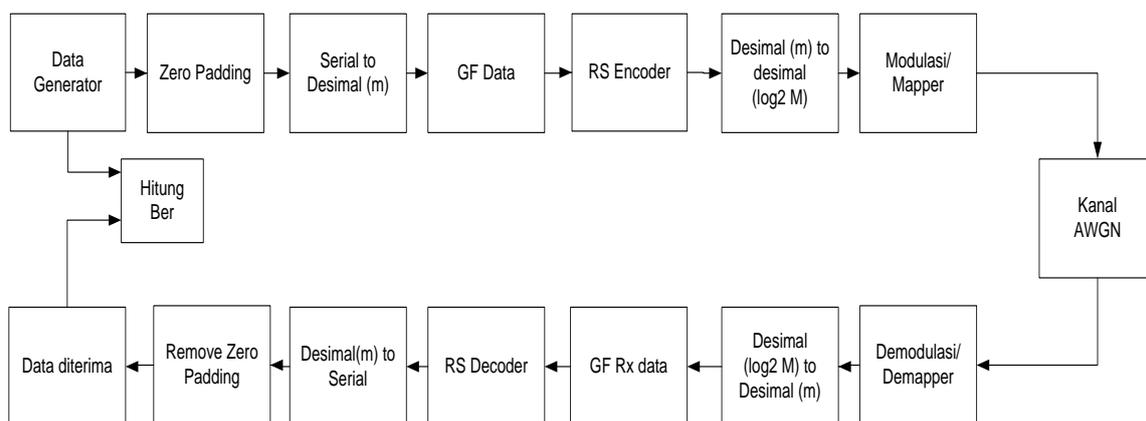
- Jumlah Piksel : 5000
- Kuantisasi : 8 bit
- Jumlah pita : 4 (Visible & NIR)
- Panjang lintasan : 2.000.000 m

Parameter Komunikasi

- Sudut Elevasi antenna GS: 10°
- Waktu terima data : sepanjang waktu kontak
- Lebar pita frekuensi : 10 MHz (pita X)

Berdasarkan parameter-parameter di atas akan dihitung ukuran data yang dihasilkan sensor *remote sensing*, waktu kontak satelit dengan stasiun Bumi dan kecepatan transfer data. Tahap selanjutnya adalah melakukan simulasi kinerja pengkodean *Reed Solomon* dengan perangkat lunak Matlab 7.1 dari Mathwoks dengan mengikuti alur seperti dalam Gambar 3-2.

Sistem disimulasikan dengan mengubah panjang kode n . Panjang kode n yang disimulasikan adalah 31, 63 dan 255. Parameter kedua adalah mengubah nilai kemampuan untuk mengoreksi kode t . Hasil simulasi kode *Reed Solomon* dianalisis dan dibandingkan kinerjanya untuk setiap konfigurasi jumlah bit per simbol, panjang simbol dan kemampuan mengoreksi kesalahan, simulasi dengan mapper yang berbeda dan simulasi dengan membandingkan sistem tanpa koding dengan sistem menggunakan koding kanal.



Gambar 3-2: Alur simulasi kinerja pengkodean Reed Solomon

4 SIMULASI DAN ANALISA OPTIMASI FEC

4.1 Simulasi FEC

Dalam penelitian ini yang pertama dilakukan adalah mendapatkan kebutuhan kecepatan transmisi data. Kecepatan transmisi ini adalah perbandingan jumlah data dan waktu kontak yang tersedia. Hasil perhitungan ukuran data satelit yang didapatkan adalah:

$$\begin{aligned}
 \text{Ukuran data} &= \text{Jumlah piksel} \times \text{kuantisasi} \\
 &\quad \times \text{jumlah pita} \times (\text{panjang lintasan/GSD}). \\
 &= 5.000 \times 8 \times 4 \times (2.000.000 / 20) \\
 &= 16 \text{ Giga bit}
 \end{aligned}$$

Selanjutnya menghitung waktu kontak antara stasiun Bumi dan satelit dengan orbit yang telah ditentukan. Hasil penghitungan waktu kontak satelit dengan stasiun Bumi dapat dilihat dalam Tabel 4-1.

Hasil penghitungan menunjukkan semakin besar sudut elevasi stasiun Bumi yang digunakan maka waktu kontak yang terjadi semakin menurun. Hal ini dapat dilihat dari nilai elevasi antenna stasiun Bumi 00 hingga 600 waktu kontak yang terjadi menurun dari 916 detik hingga 122 detik. Dengan mengambil sudut elevasi antenna stasiun Bumi

100, waktu kontak satelit dan stasiun Bumi adalah 637 detik.

Berdasar waktu kontak yang didapatkan, dilakukan penghitungan kecepatan transmisi data dan lebar pita untuk tiap modulasi dan laju kode yang akan disimulasikan. Hasil penghitungan kecepatan transmisi dan lebar pita ditunjukkan dalam Tabel 4-2.

Hasil perhitungan menunjukkan kecepatan transmisi dan lebar pita akan semakin kecil jika nilai laju kode yang digunakan semakin besar. Secara teori lebar pita yang diperlukan untuk modulasi 16-QAM dengan laju kode yang akan disimulasikan masih lebih kecil dari alokasi lebar pita yang diijinkan. Dengan alokasi lebar pita 10MHz, data yang diambil satelit dapat dikirim keseluruhan dalam sekali satelit lewat. Tetapi kondisi berbeda terjadi jika menggunakan modulasi QPSK. Lebar pita QPSK yang diperlukan lebih besar dari lebar pita yang diijinkan sehingga diperlukan mekanisme yang berbeda agar dengan alokasi lebar pita yang tersedia dapat maksimal dipergunakan. Mekanisme yang bisa dilakukan adalah dengan mengkompresi data sumber sehingga jumlah data yang harus dikirimkan semakin sedikit.

Tabel 4-1: TABEL PERHITUNGAN WAKTU KONTAK BERDASAR SUDUT ELEVASI ANTENNA STASIUN BUMI

Elevasi GS (°)	h (km)	½ Beam Antenna Satelit (°)	D (km)	Coverage (km ²)	t kontak (det)
0	800	63	3.293	28.471.819	918
5	800	62	2.784	19.836.720	764
10	800	61	2.367	13.844.348	637
15	800	59	2.033	9.745.510	533
20	800	57	1.769	6.942.460	450
25	800	54	1.560	5.005.617	382
30	800	50	1.395	3.645.108	326
35	800	47	1.264	2.671.293	279
40	800	43	1.159	1.961.209	239
45	800	39	1.074	1.434.767	204
50	800	35	1.006	1.039.173	174
55	800	31	951	739.109	146
60	800	26	907	510.584	122

Tabel 4-2: TABEL HASIL PERHITUNGAN KECEPATAN TRANSMISI DAN LEBAR PITA

Data (Gbit)	R (Mbps)	Parameter kode			Data rate (Mbps)	Lebar pita(MHz)	
		n	k	t		QPSK	16-QAM
16	25,12	1	1	-	25,12	12,56	6.28
16	25,12	23	31	4	33,85	16,93	8.46
16	25,12	27	31	2	28,84	14,42	7.21
16	25,12	29	31	1	26,85	13,42	6.71
16	25,12	51	63	4	31,03	15,51	7.76
16	25,12	55	63	3	28,77	14,38	7.19
16	25,12	59	63	1	26,82	13,41	6.71
16	25,12	223	255	16	28,72	14,36	7.18
16	25,12	239	255	8	26,80	13,4	6.7
16	25,12	247	225	4	22,88	11,44	5.72

Mekanisme yang kedua adalah dengan menghentikan pengambilan *image* jika yang dilalui adalah laut dan jika bertemu dengan daratan maka proses pengambilan *image* dilanjutkan lagi. Hal ini akan mengurangi total ukuran data yang dikumpulkan sehingga dapat mengurangi kecepatan transfer data dengan waktu kontak yang sama. Mekanisme yang ketiga yang bisa dilakukan adalah dengan penjadwalan waktu pengiriman data. Sensor tetap mengambil data sepanjang orbit tetapi sebagian disimpan

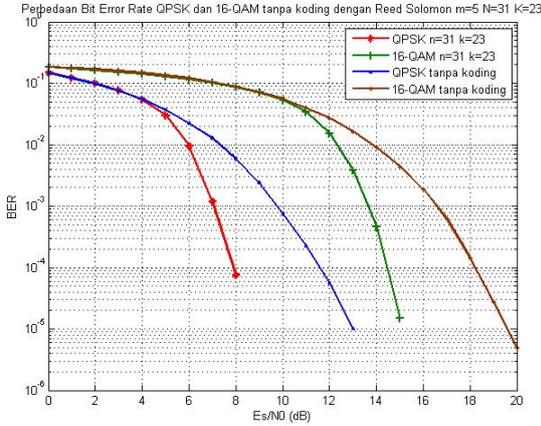
dan dikirimkan pada saat malam hari karena pada saat malam hari sensor tidak efektif mengambil gambar.

4.2 Hasil Simulasi dan Analisis Kinerja FEC Reed Solomon

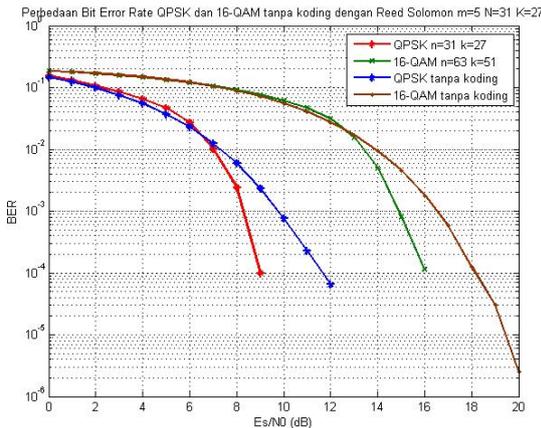
Pada proses ini dilakukan simulasi dan analisa kinerja *forward error control coding* dengan membandingkan pengaruh laju kode dan modulasi terhadap bit *error rate* dan E_s/N_0 . Kode *Reed Solomon* yang disimulasikan dapat dilihat dalam Tabel 4-3.

Tabel 4-3: KODE REED SOLOMON N=5

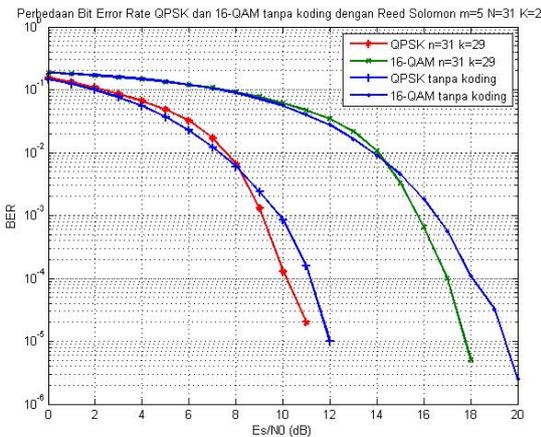
m	5	6	8
n	31	63	255
k	23,27,29	51,55,59	223,239,247
t	4,2,1	4,3,1	16,8,4



Gambar 4-1: Grafik penguatan kode untuk RS(31,23)



Gambar 4-2: Grafik penguatan kode untuk RS(31,27)



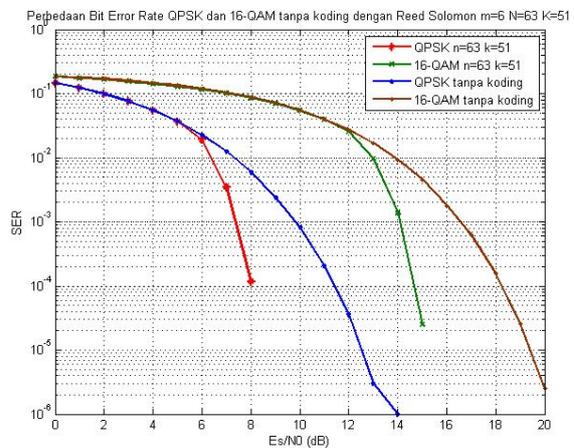
Gambar 4-3: Grafik penguatan kode untuk RS(31,29)

Dari grafik di Gambar 4-1, Gambar 4-2 dan Gambar 4-3 hasil simulasi dengan nilai panjang simbol $m=5$ dan panjang kode $n=31$ dapat dilihat dengan bertambahnya nilai k yang digunakan kinerja *Reed Solomon* semakin menurun. Hal ini dapat dilihat untuk $E_s/N_0=8$ dB, BER yang dihasilkan untuk panjang informasi $k=23$ adalah $7,5 \cdot 10^{-5}$ untuk $k=27$ menjadi $2,43 \cdot 10^{-3}$ dan untuk $k=29$ menjadi $5,98 \cdot 10^{-3}$. Penguatan terbesar terjadi pada nilai $k=23$ dengan mapping 16-QAM yaitu penguatan kode sebesar 3,7 dB untuk BER 10^{-4} dan penguatan kode terkecil adalah untuk $k=29$ dengan mapping QPSK yaitu sebesar 1 dB.

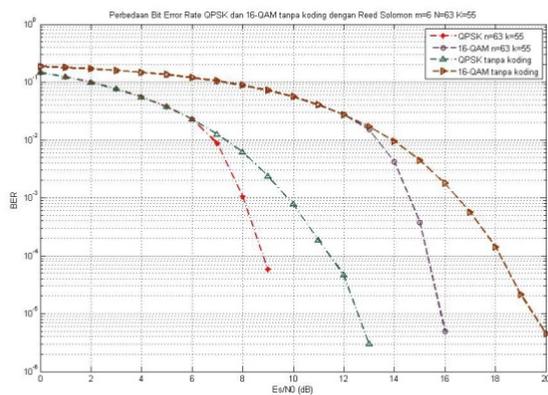
Penurunan *code rate* akan meningkatkan kinerja kode *Reed Solomon* dari BER $7,5 \cdot 10^{-5}$ untuk $k=23$, $2,43 \cdot 10^{-3}$ untuk $k=27$ $5,98 \cdot 10^{-3}$ untuk $k=29$ dengan panjang kode $n=31$. Pertambahan penguatan kode semakin besar ketika nilai BER dibawah 10^{-2} . Sedangkan nilai BER di atas 10^{-2} penguatan kode kurang dari 1dB. Hasil tabulasi simulasi penguatan kode untuk $n=31$ dapat dilihat dalam Tabel 4-4.

Tabel 4-4: HASIL SIMULASI PENGUATAN KODE N=31

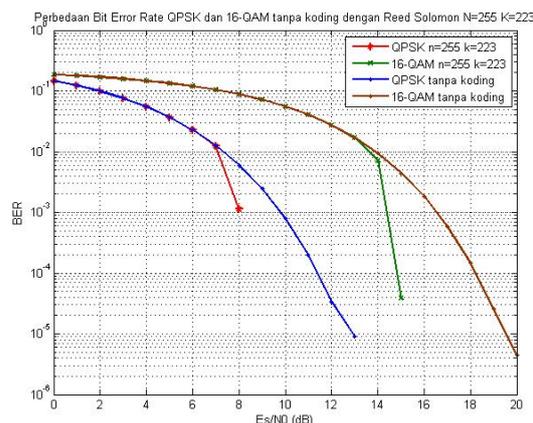
n=31	QPSK			16-QAM		
	k	23	27	29	23	27
10^{-2}	1,6	0,4	-	1,6	0,4	-0,1
10^{-3}	2,8	1,8	0,9	2,9	1,6	0,7
10^{-4}	3,7	2,6	1	3,9	1,2	1,2



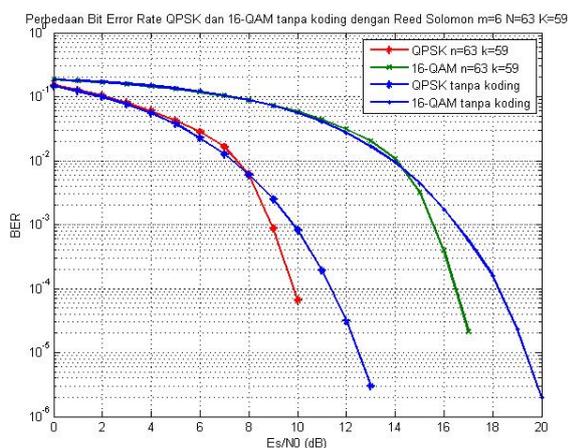
Gambar 4-4: Grafik penguatan kode untuk RS(63,51)



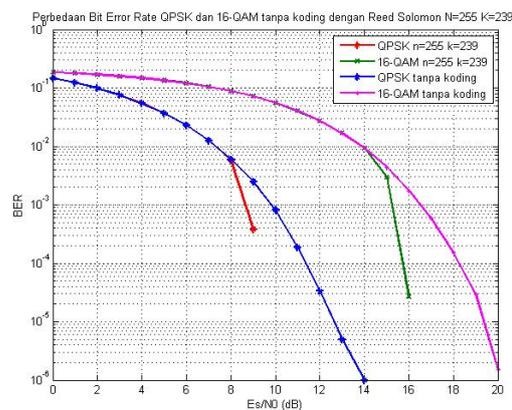
Gambar 4-5: Grafik penguatan kode untuk RS(63,55)



Gambar 4-7: Grafik penguatan kode untuk RS(255,223)



Gambar 4-6: Grafik penguatan kode untuk RS(63,59)

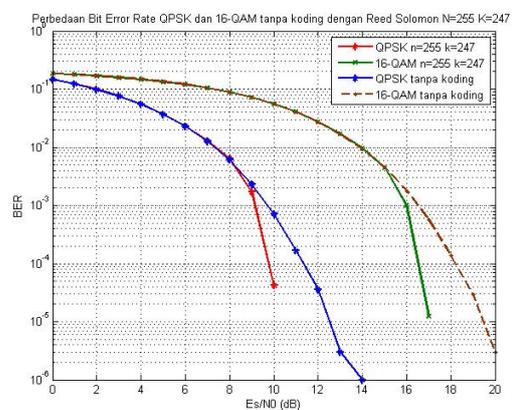


Gambar 4-8: Grafik penguatan kode untuk RS(255,239)

Hasil simulasi dengan nilai $m=6$ dan $n=63$ terjadi penguatan kode terbesar untuk $k=51$ dengan modulasi 16-QAM dengan penguatan kode sebesar 3,4 dB untuk BER 10^{-4} . Pertambahan penguatan kode untuk semua simulasi semakin besar ketika nilai BER dibawah 10^{-2} . Sedangkan nilai BER diatas 10^{-2} terjadinya penguatan kode kurang dari 1dB untuk nilai $k=55$ dan $k=59$. Penguatan kode yang terjadi rata-rata untuk mapping 16-QAM lebih besar daripada QPSK. Hasil tabulasi simulasi penguatan kode untuk simulasi $n=63$ dapat dilihat dalam Tabel 4-5.

Tabel 4-5: HASIL SIMULASI PENGUATAN KODE N=63

n=63	QPSK			16-QAM		
k	51	55	59	51	55	59
10^{-2}	1,4	0,6	-0,2	1,4	0,8	-0,1
10^{-3}	2,6	1,8	0,9	2,6	1,8	0,9
10^{-4}	-	2,6	1,7	3,4	3	1,8



Gambar 4-9: Grafik penguatan kode untuk RS(255,247)

Dari grafik hasil simulasi dengan nilai $m=8$ dan $n=255$ dapat dilihat dengan bertambahnya nilai k yang digunakan kinerja Reed Solomon semakin menurun. Hal ini disebabkan karena kemampuan mengkoreksi kesalahan data yang diterima juga semakin menurun. Penguatan terbesar terjadi pada nilai $k=223$ dengan modulasi 16-QAM dengan penguatan

kode sebesar 3,4 dB untuk BER 10^{-4} . Pertambahan penguatan kode semakin besar ketika nilai BER dibawah 10^{-2} . Sedangkan nilai BER di atas 10^{-2} penguatan kode kurang dari 1dB. Hasil tabulasi simulasi penguatan kode untuk simulasi $n=255$ dapat dilihat dalam Tabel 4-6.

Tabel 4-6: HASIL SIMULASI PENGUATAN KODE N=255

N=255	QPSK			16-QAM		
	K	223	239	247	223	239
10^{-2}	0,2	0	0	0,4	0	0
10^{-3}	2	1,2	0,6	2,2	1,2	0,5
10^{-4}	-	-	1,6	3,4	2,4	1,6

Dari Gambar 4-7, Gambar 4-8 dan Gambar 4-9, ketika jumlah nilai k atau kode rate dinaikkan, kinerja kode semakin menurun. Kinerja yang paling bagus adalah RS(255,223) yang mempunyai kemampuan memperbaiki 16 error simbol dengan penguatan kode 3,4 dB.

Peningkatan kecepatan transmisi data karena adanya penambahan bit paritas masih dapat dikompensasi dengan adanya penguatan kode yang dihasilkan. Mengingat untuk mendapatkan nilai minimal S/N_0 adalah menjumlahkan nilai E_b/N_0 dengan $10\log(\text{Bit rate})$, sehingga jika kecepatan data bertambah maka nilai S/N_0 yang dibutuhkan juga

akan bertambah. Untuk kode RS(31,23) kenaikan nilai bit rate adalah 1,3dB, sedangkan penguatan kode yang dihasilkan untuk 16-QAM untuk BER 10^{-4} adalah 3,9 dengan demikian penurunan nilai S/N_0 adalah 2,6dB. Kondisi penurunan S/N_0 paling rendah dicapai dalam simulasi yang telah dilakukan untuk BER 10^{-4} adalah RS(255,223) dengan mapping 16-QAM dimana penurunan kebutuhan nilai S/N_0 adalah 3,12 dB diikuti RS(31,23) dengan mapping yang sama. Tabulasi kompensasi kenaikan data yang ditransmisikan dengan penguatan kode yang dihasilkan ditunjukkan dalam Tabel 4-7.

Mempertimbangkan jumlah data, lebar pita dan waktu kontak maka pemilihan kode dengan jumlah kode yang panjang lebih menguntungkan. Hal ini disebabkan karena dengan nilai n yang besar memungkinkan mendapatkan kemampuan mengkoreksi kesalahan data lebih banyak dengan laju kode yang tinggi. Hal ini dapat dilihat dengan membandingkan antara RS(31,23), RS (63,51) dan RS(255,223). Nilai laju kode RS(31,23) adalah 0,742, laju kode RS(63,51) adalah 0,41 dan RS(255,233) adalah 0,874. Ketiganya mempunyai penguatan kode yang hampir sama tetapi dari jumlah kode yang dihasilkan RS (31.23) mempunyai jumlah bit kode paling besar.

Tabel 4-7: TABULASI KOMPENSASI KENAIKAN BIT RATE DENGAN PENGUATAN KODE

k	n	$10\log(n/k)$	16-QAM		QPSK	
			10^{-3}	10^{-4}	10^3	10^{-4}
23	31	1,30	2,9	3,9	2,8	3,7
27	31	0,60	1,6	1,2	1,8	2,6
29	31	0,29	0,7	1,2	0,9	1
51	63	0,92	2,6	3,4	2,6	-
55	63	0,59	1,8	3	1,8	2,6
59	63	0,28	0,9	1,8	0,9	1,7
223	255	0,58	2,2	3,4	2	-
239	255	0,28	1,2	2,4	1,2	-
247	255	0,14	0,5	1,6	0,6	1,6

5 KESIMPULAN

Dari hasil simulasi dan analisis yang dilakukan terhadap kinerja kode Reed Solomon dengan *mapping* QPSK dan 16-QAM diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

Penurunan *code rate* akan meningkatkan kinerja kode Reed Solomon dari BER $7,5 \cdot 10^{-5}$ untuk $k=23$, $2,43 \cdot 10^{-3}$ untuk $k=27$, $5,98 \cdot 10^{-3}$ untuk $k=29$ dengan panjang kode=31. Hal ini karena penurunan *code rate* akan menambah bit paritas dan kemampuan mengkoreksi kesalahan data.

Penggunaan kode reed solomon meningkatkan kinerja perbaikan BER dari $4,4 \cdot 10^{-3}$ menjadi $1,5 \cdot 10^{-5}$ untuk *mapping* 16-QAM dan $5,9 \cdot 10^{-3}$ menjadi $7,5 \cdot 10^{-5}$ untuk QPSK. hingga lebih baik dibanding dengan tanpa kode. Hal ini dapat dilihat untuk semua simulasi terjadi penurunan E_s/N_0 untuk mendapatkan BER yang sama.

Dengan E_s/N_0 yang sama RS (31,23) mempunyai kinerja yang paling bagus dari semua kode yang disimulasikan yaitu BER dari $4,4 \cdot 10^{-3}$ menjadi $1,5 \cdot 10^{-5}$ untuk $E_s/N_0=8$.

Dengan laju kode yang hampir sama antara RS(63,59) dan RS(255,239), kode yang lebih panjang akan memiliki kinerja yang lebih baik hal ini bisa dilihat untuk $E_s/N_0=16$ terjadi penurunan BER dari $3 \cdot 10^{-4}$ menjadi $2,7 \cdot 10^{-5}$.

Dengan mempertimbangkan besarnya data dan lebar pita serta waktu

akses yang terbatas maka kombinasi kode RS dengan $n=255$ dan 16-QAM adalah yang paling sesuai dengan laju kode 0,87-0,96 dan penguatan *gain* hingga 3,4dB.

DAFTAR RUJUKAN

- Fortescue, Peter, 2003. *Spacecraft System Engineering*, John Wiley & Sons, Ltd., West Sussex, England.
- Haykin, Simon, 2001. *Communication System*, 4rd ed, John Wiley & Sons, Inc., New York, USA.
- ITU, 2002. *Handbook on Satellite Communications*, 3rd ed., John Wiley & Son, Inc. New York, USA.
- Kolawole, Michael O., 2002: *Satellite Communication Engineering*, Marcel Dekker, Inc, New York, USA.
- Sklar, Bernard, 2003. *Digital Communications Fundamentals and Applications*, 2nd ed, Prentice Hall, Inc., New Jersey, USA.
- Wai, K. C. C., Yang S. J., 2006. *Field Programmable Gate Array Implementation of Reed-Solomon Code, RS(255,239)*, Xelic Inc., Pittsford, New York.
- Wertz, James R., 1999. *Space Mission Analysis and Design*, 3rd sediton, Microcosm Press, El Segundo California, USA.
- Xiong, Fuqin, 2000. *Digital Modulation Techniques*, Artech House, Inc., Norwood, MA USA.