

Evaluation of MFSK Modulation for Data Transmission over GSM Voice Channel

Evaluasi Modulasi MFSK untuk Transmisi Data Melalui Kanal Suara GSM

Rika Sustika *, Oka Mahendra

Pusat Penelitian Informatika
Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia
Komplek LIPI, Jl Cisitua No 21/154D Bandung
Indonesia

Abstract

In this paper, performance of MFSK (M-ary Frequency Shift Keying) modulation scheme for data transmission over GSM (Global System for Mobile Communication) voice channel is evaluated. The performance is analyzed in terms of bit error rate (BER). This evaluation is done to determine M order that will be chosen for application on data transmission over GSM voice channel. On the simulation process, data are encoded into symbols and modulated using MFSK modulator become speech like waveform. The voice than coded using CELP (Code Excited Linear Prediction) algorithm, and sent over the air that modelled as AWGN (Additive White Gaussian Noise) channel. At the receiver side, the received speech like signal are demodulated and converted back to data. From the simulation using fix signal to noise ratio ($E_b/N_0 = 6$ dB), we achieved a bit rate of 2.5 kbps with BER 2.01×10^{-3} for $M=4$, 2.22×10^{-3} for $M=8$, and 1.87×10^{-3} for $M=16$.

keywords: GSM, MFSK, modulation, voice channel

Abstrak

Pada tulisan ini, dievaluasi performansi skema modulasi MFSK (*M-ary Frequency Shift Keying*) untuk aplikasi pengiriman data melalui kanal suara GSM (*Global System for Mobile Communication*). Parameter yang dievaluasi berupa kesalahan bit transmisi yang dinyatakan dengan laju kesalahan bit atau *bit error rate* (BER). Evaluasi ini dilakukan untuk menentukan besarnya orde M yang akan dipilih pada aplikasi pengiriman data digital melalui kanal suara GSM. Pada proses simulasi, data digital dikodekan menjadi simbol-simbol lalu dimodulasi menggunakan modulator MFSK menjadi data menyerupai pembicaraan (suara). Suara yang dihasilkan dikodekan dengan algoritma CELP (*Code Excited Linear Prediction*), kemudian dikirimkan melalui udara yang dimodelkan sebagai kanal AWGN (*Additive White Gaussian Noise*). Di sisi penerima, sinyal terima yang menyerupai suara ini didemodulasi dan dikonversi kembali menjadi data digital. Dari simulasi menggunakan E_b/N_0 (*signal to noise ratio*) sebesar 6 dB, diperoleh laju bit 2,5 kbps dengan BER $2,01 \times 10^{-3}$ untuk $M=4$, $2,22 \times 10^{-3}$ untuk $M=8$, dan $1,87 \times 10^{-3}$ untuk $M=16$.

kata kunci: GSM, MFSK, modulasi, kanal suara

1. PENDAHULUAN

Sistem kontrol dan monitoring dari jarak jauh banyak dipergunakan saat ini untuk berbagai aplikasi, diantaranya adalah untuk monitoring lingkungan, kontrol dan monitoring industri, manajemen pertanian modern, perdagangan, dan

lain-lain. Pada sistem kontrol dan monitoring jarak jauh, *datalogger* yang mengumpulkan data hasil pengukuran harus mengirimkan data hasil pengukuran ke komputer pusat yang berada jauh dari lokasi pengukuran. Ada beberapa cara untuk mengirimkan data dari *datalogger* ke komputer pusat, diantaranya melalui jaringan telepon kabel, melalui koneksi internet, atau melalui jaringan telepon nirkabel.

Pada kegiatan penelitian yang sedang dilakukan saat ini, untuk pengiriman data dari *datalogger* ke komputer pusat, jaringan yang digunakan adalah jaringan telepon nirkabel, yaitu melalui saluran

*Corresponding Author. Tel: +6222-2504711

Email: rika@informatika.lipi.go.id

Received: 19 Apr 2014; revised: 14 May 2014; accepted: 21 May 2014

Published online: 30 May 2014

© 2014 INKOM 2014/14-NO308

suara GSM. Meskipun GSM juga mengembangkan layanan untuk komunikasi data, saluran suara dipilih karena pada dasarnya layanan dasar GSM adalah untuk komunikasi suara sehingga layanan ini tersedia di semua wilayah cakupan GSM yang sudah hampir mencakup seluruh wilayah Indonesia.

Tujuan dari penulisan tulisan ini adalah untuk mengevaluasi performansi modulator MFSK yang digunakan untuk memodulasi data digital menjadi sinyal yang menyerupai suara. Evaluasi diperlukan untuk menjadi pertimbangan dalam penentuan besarnya orde M yang dapat digunakan pada aplikasi pengiriman data melalui kanal suara GSM. Ada beberapa orde M dari MFSK yang disimulasikan dan dievaluasi, yaitu $M=4, 8, \text{ dan } 16$.

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk memodulasi data agar dapat ditransmisikan melalui kanal suara. Chmayssani mengevaluasi performansi modulasi menggunakan *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM) dan *Frequency Shift Keying* (FSK) yang mengusulkan transmisi data melebihi 3 kbps dengan BER kurang dari 3×10^{-3} [1]. Katugampala membuat desain data modem berupa *signal synthesizer* dan menggunakan *speech production model* sebagai parameter suara. Pada *Enhanced Full Rate* (EFR) metoda ini mencapai *throughput* 3 kbps dengan BER 0.29×10^{-3} [2]. Rashidi menggunakan metoda yang sama dengan Katugampala, tetapi dengan parameter yang berbeda. Pada kanal *Full Rate* (FR), *throughput* yang dicapai adalah 2 kbps dengan BER 3×10^{-4} [3]. B. Kotnik membandingkan performansi modulasi FSK dengan *Autoregressive Demodulation and Modulation Algorithm* (ARDMA), dan diperoleh bahwa pada laju bit yang rendah, FSK lebih baik, sedangkan pada yang laju bit yang tinggi, ARDMA yang lebih baik performansinya [4].

Tulisan ini diorganisasikan sebagai berikut, pada Bagian 2 dasar teori yaitu modulasi MFSK dan *error correcting code* dan *speech coder* akan disajikan. Sedangkan model sistem dipresentasikan pada Bagian 3. Bagian 4 berisi pembahasan simulasi dan hasil terhadap sistem yang diusukan. Tulisan ini, ditutup dengan kesimpulan pada Bagian 5.

2. DASAR TEORI

2.1 Modulasi MFSK

Modulasi MFSK atau M -ary FSK adalah skema modulasi dimana informasi digital ditransmisikan melalui perubahan frekuensi diskrit dari gelombang pembawanya. Pada modulasi digital MFSK, aliran data biner dibagi-bagi menjadi kelompok-kelompok data yang terdiri dari n bit, dimana $n = \log_2 M$. Oleh karena itu terdapat M buah pesan, yang dapat kita nyatakan sebagai m_i , dimana $i = 1, 2, \dots, M$ [5]. Dalam setiap interval simbol T

dikirimkan salah satu dari M buah sinyal tersebut, yaitu $S_1(t), S_2(t), \dots, S_M(t)$, dengan frekuensi yang berbeda-beda.

Secara umum, persamaan modulasi FSK untuk setiap sinyal adalah [5]:

$$S_i(t) = A \cos(\omega_i t + \Phi_i), 0 \leq t \leq T, i = 1, 2, \dots, M \quad (1)$$

dimana A adalah amplitudo sinyal dan T adalah perioda simbol. Jika fasa sama untuk semua i , sinyal dikatakan koheren. Biasanya diasumsikan $\Phi_i = 0$ untuk MFSK koheren [5].

Pada MFSK, pemisahan frekuensi biasanya bersifat uniform [5]. Agar sinyal saling ortogonal, pemisahan frekuensi antar sinyal adalah $m/2T$ dan pemisahan minimum antara frekuensi yang berdekatan adalah $1/2T$ atau dapat dinyatakan dengan $2\Delta f$. Pemisahan frekuensi ini juga dapat dinyatakan dalam istilah index modulasi h , dimana $h = 2\Delta f t$ [5].

Frekuensi yang digunakan pada modulasi MFSK dapat dinyatakan dengan persamaan berikut [1]:

$$f(t) = f_c + h \sum_a^b a_k g(t - kT) \quad (2)$$

dimana f_c adalah frekuensi pembawa, T adalah perioda simbol, a_k adalah simbol, dan $g(t)$ adalah impuls ternormalisasi. Untuk implus $g(t)$ yang *rectangular*, frekuensi simpangan antara dua frekuensi yang berdekatan dinyatakan dengan persamaan berikut [1]:

$$f_d = h \frac{R_b}{k} \quad (3)$$

dimana f_d adalah frekuensi simpangan, h adalah indeks modulasi, dan k adalah jumlah bit per simbol pada modulasi orde M dan R_b adalah laju biner. Karena data dikirimkan melalui kanal suara yang didesain untuk karakteristik suara manusia, maka spektrum modulasi dibatasi oleh spektrum antara 300 s.d 3400 Hz.

$$f_{min} = f_c - \left[\frac{M-1}{2} \right] f_d > 300 Hz$$

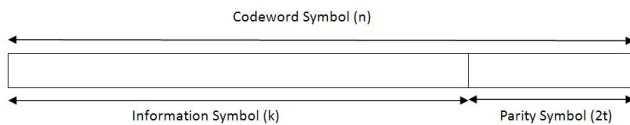
$$f_{max} = f_c + \left[\frac{M-1}{2} \right] f_d < 3400 Hz$$

2.2 Error Correction Coding

Error correction coding adalah proses penambahan sejumlah kode untuk meminimasi kesalahan data terima yang sangat mungkin terjadi karena adanya *noise* pada kanal. Kode-kode ini mampu untuk mendeteksi kesalahan data dan juga memiliki kemampuan untuk memperbaiki kesalahan yang terjadi dengan kapasitas tertentu. Pada penelitian

ini digunakan *error correction coding* berupa kode Reed Solomon (RS).

Kode Reed Solomon adalah kode *non binary* dengan simbol-simbol yang terdiri dari urutan m buah bit setiap simbolnya, dimana m adalah integer positif yang memiliki nilai lebih dari 2. Kode Reed Solomon dinyatakan dengan $RS(n, k, t)$, dimana n adalah panjang *codeword*, k adalah jumlah simbol informasi, t adalah kemampuan mengoreksi kesalahan. Hubungan antara ukuran simbol (m) dan *codeword* (n) dinyatakan dengan $n = 2^m - 1$ [6]. Struktur dari kode Reed Solomon dapat dilihat pada Gambar 1 [7].



Gambar 1. Reed Solomon Code

Pada kode Reed Solomon, operasi aritmatika dilakukan dalam *Galois Field (GF)*. *Galois Field* adalah *finite field*, yang berarti merupakan himpunan yang memiliki elemen terbatas. Untuk setiap bilangan prima p , akan ada *finite field* $GF(p)$ yang terdiri dari sejumlah p bilangan. *Finite Field* $GF(p)$ dapat dikembangkan ke *field* p^m elemen. Ini disebut sebagai *extension field* dari $GF(p)$ dan dinotasikan $GF(p^m)$ dengan m adalah bilangan integer bukan 0. Sebagai contoh, untuk $p = 2$, selain bilangan biner 0 dan 1, ada tambahan elemen unik yang disebut dengan elemen primitif α dan setiap elemen bukan nol pada $GF(2^m)$ dapat direpresentasikan ke dalam bilangan pangkat dari α . Himpunan dari *Galois Field* 2^m dapat dinyatakan dengan himpunan berikut ini.

$$GF(2^m) = \{0, 1, \alpha^1, \alpha^2, \alpha^3, \dots, \alpha^{2^m-2}\} \quad (4)$$

Sebuah kode Reed Solomon $RS(n, k, t)$ dibuat dengan membentuk kode *generator polinomial*. Polinomial tersebut terdiri dari $n - k = 2t$ faktor, yaitu

$$g(x) = g_0 + g_1x + g_2x^2 + \dots + g_{2t-1}x^{2t-1} + x^{2t} \quad (5)$$

Derajat dari polinomial tersebut merupakan jumlah simbol pariti, yaitu $2t$. Jika akar pertama adalah α^p maka akar dari $g(x)$ adalah $\alpha^p, \alpha^{p+1}, \alpha^{p+2}, \dots, \alpha^{p+2t-1}$. Sehingga kode *generator polinomial* menjadi

$$g(x) = (x + \alpha^p)(x + \alpha^{p+1}) \dots (x + \alpha^{p+2t-1}) \quad (6)$$

2.3 Speech Coder

Pada komunikasi data melalui kanal suara GSM, sinyal suara ditransmisikan pada kanal suara yang

merupakan kanal transmisi dengan *bandwidth* terbatas yang cukup untuk membawa suara manusia. *Speech coder* atau *voice coder* atau *vocoder* didesain untuk mengkompres sinyal suara (*speech compression*) pada sisi pengirim. Tujuan dari *speech compression* adalah untuk merepresentasikan suara pembicaraan secara digital dengan sesedikit mungkin bit tetapi dengan level kualitas suara yang masih dapat diterima [8].

Kanal suara GSM menggunakan beberapa tipe *codec* standar untuk mengkompres atau dekompress sinyal suara, yaitu *Full Rate (FR)*, *Half Rate (HR)*, *Enhanced Full Rate (EFR)*, dan *Adaptive Multi Rate (AMR)* [8]. Teknologi *voice coder* ini berbasis pada algoritma CELP [1] yang menggunakan metoda *analysis by synthesis (AbS)*. Prinsip dasar dari *encoder CELP* adalah, sinyal suara direpresentasikan dengan menggunakan model *autoregressive (AR)*.

$$X_n = \sum_{i=1}^L a_i X_{n-i} + e_n \quad (7)$$

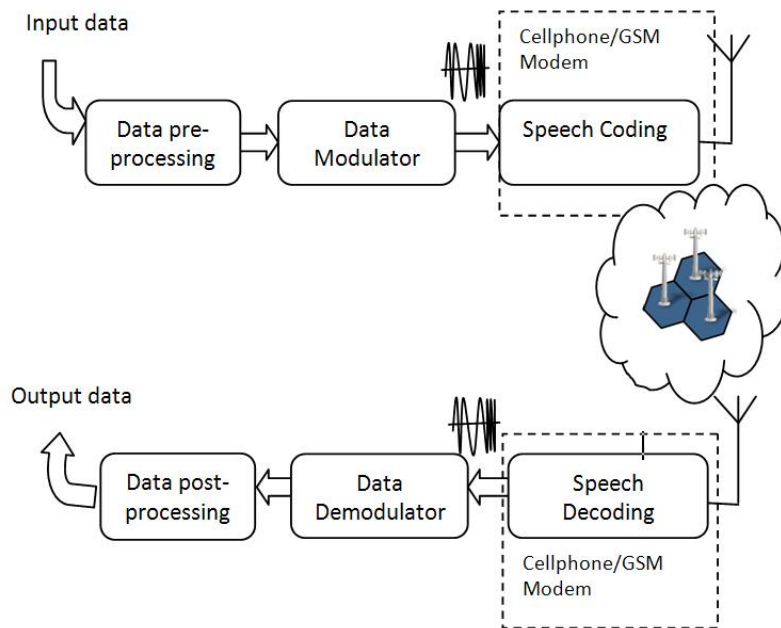
Setiap cuplikan direpresentasikan sebagai kombinasi linear dari L cuplikan sebelumnya, ditambah dengan derau putih. Koefisien bobot a_1, a_2, \dots, a_L disebut dengan *linear prediction coefficient (LPC)*. Setiap cuplikan dari input suara dibagi menjadi blok-blok, yang masing-masing terdiri dari N buah cuplikan (disebut *frame*). Setiap *frame* pada umumnya memiliki panjang 10-20 ms (berarti $N=80-160$ cuplikan). Setiap *frame* dibagi menjadi blok yang lebih kecil, yang terdiri dari k buah cuplikan yang disebut *subframes* [1].

3. MODEL SISTEM

Model sistem yang digunakan untuk implementasi transmisi data melalui saluran komunikasi suara GSM dapat dilihat pada Gambar 2.

Pada tahap implementasi, proses yang dilakukan di sisi pengirim adalah mengubah input data hasil pengukuran menjadi data yang menyerupai suara, sehingga data bisa ditransmisikan melalui saluran suara jaringan GSM. Input data merupakan data hasil pengukuran dari *datalogger*. Untuk sistem monitoring lingkungan, input data merupakan besaran-besaran hasil pengukuran sensor seperti temperatur, kelembaban, curah hujan, dan lain-lain. Input data kemudian melewati tahap *data preprocessing*, yang bisa terdiri dari beberapa proses, diantaranya:

- Mengubah input data yang bukan biner menjadi data biner
- Mengacak input data untuk meningkatkan keamanan data (*scrambling*)



Gambar 2. Model Sistem

- Melakukan pengkodean kanal (*channel coding*) untuk meminimasi kesalahan pengiriman data
- Mengubah data dari serial menjadi paralel, dan sebagainya.

Data modulator digunakan untuk memodulasi data digital hasil proses *data preprocessing* sehingga menjadi data analog yang menyerupai data suara. Data yang sudah dimodulasi kemudian dikirimkan melalui jaringan GSM melalui modem GSM atau telepon seluler yang memiliki fungsi *speech coding* di dalamnya.

Di sisi penerima, sinyal suara yang diterima didemodulasi menggunakan demodulator MFSK. Data hasil demodulasi diolah kembali dengan proses *post processing* yang disesuaikan dengan proses yang dilakukan di sisi pengirim. Data ini merupakan data pengukuran di lapangan, yang terbaca oleh stasiun master dan digunakan untuk kontrol/monitoring terhadap sistem yang ada di lapangan.

4. SIMULASI DAN HASIL

Untuk mengevaluasi performansi modulator MFSK pada pengiriman data melalui kanal suara GSM, dilakukan simulasi menggunakan program Matlab. Gambar 3 adalah diagram blok simulasi, yang dapat dibagi menjadi 3 sub sistem utama, yaitu *error correction*, modulasi, dan *speech coding*.

Pada proses simulasi, input dibangkitkan secara acak sebanyak $2,3 \times 10^4$ bit. Setelah itu dilakukan proses untuk *error correction* menggunakan kode

Reed Solomon. Tabel I berikut ini adalah parameter yang digunakan pada pengkodean Reed Solomon.

Tabel I. Parameter kode Reed Solomon

No	Parameter	Nilai
1	Jumlah bit per simbol (m)	5
2	Panjang <i>codeword</i> (n)	31
3	Panjang bit informasi (k)	23

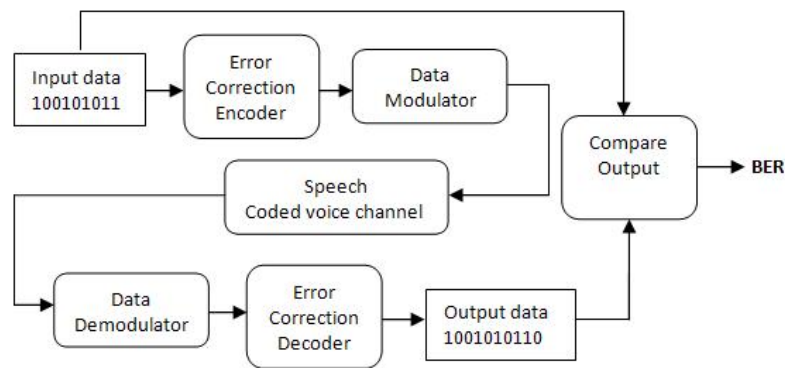
Pada pengkodean ini dilakukan pemetaan dari bit mejadi simbol berupa angka desimal, kemudian diubah menjadi struktur RS code (menjadi nilai-nilai *galois field*). Nilai *galois field* diubah kembali menjadi *array* nilai-nilai desimal, kemudian diubah lagi menjadi integer dan akhirnya menjadi data-data biner yang siap untuk dimodulasi oleh modulator MFSK.

Dengan modulasi MFSK, bit-bit yang ditransmisikan diubah menjadi sinyal analog dengan frekuensi tertentu. Parameter-parameter yang digunakan pada modulasi MFSK dapat dilihat pada Tabel II berikut ini.

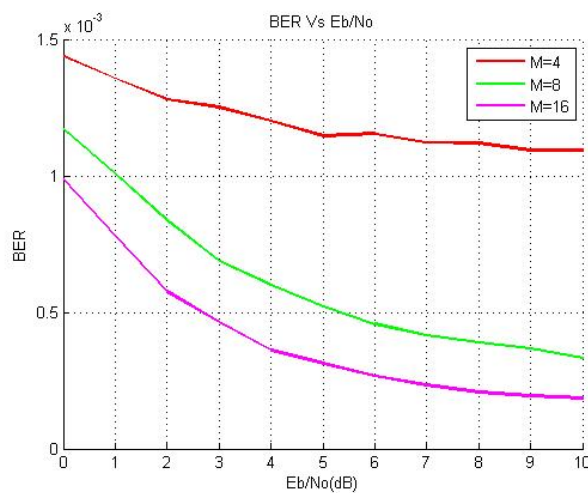
Tabel II. Parameter modulasi MFSK

No	Parameter	Nilai
1	Frekuensi pencuplikan	8000 Hz
2	Jumlah cuplikan per simbol	50
3	Pemisahan frekuensi	100 Hz

Dari hasil simulasi, parameter-parameter tersebut merupakan nilai optimal yang dapat menghasilkan BER yang paling kecil.



Gambar 3. Diagram blok simulasi



Gambar 4. $N = 80$

Speech coded voice channel digunakan untuk mensimulasikan kanal komunikasi antara modulator dan demodulator. Untuk memodelkan *speech coded* pada kanal suara GSM, pada simulasi ini sinyal hasil modulasi MFSK dikompres menggunakan *speech coder* dengan algoritma CELP. Pada sistem GSM, *voice codec* didesain untuk 8000 cuplikan/detik [5]. Input data dibagi menjadi beberapa frame atau blok (N) dengan panjang antara 10 sampai dengan 20 ms (80-160 cuplikan/frame) [1].

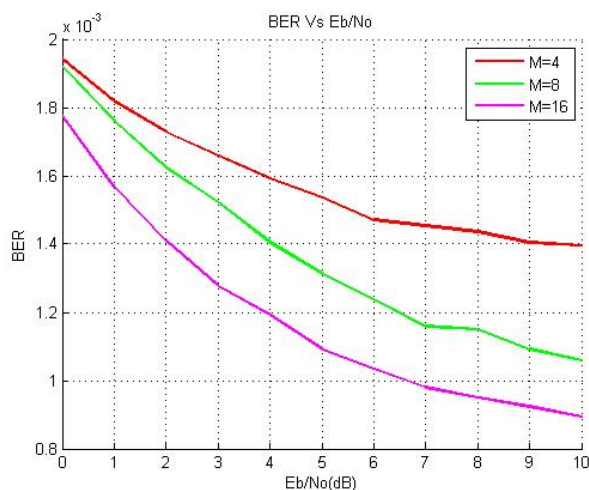
Hasil demodulasi dan *error decoding* dievaluasi dengan cara membandingkan input data dengan output data yang diperoleh. Perbedaan yang terjadi dinyatakan dengan parameter BER.

Berikut ini adalah gambar hasil simulasi untuk tiga buah panjang frame (N) yang berbeda. Gambar 4 untuk panjang frame 80 cuplikan, Gambar 5 untuk panjang frame 120 cuplikan, dan Gambar 6 untuk panjang frame 160 cuplikan. Seperti terlihat pada Tabel I, kode Reed Solomon yang digunakan adalah RS(31,23), yang mengkodekan setiap 5 bit data menjadi satu simbol. Jumlah bit informasi pada

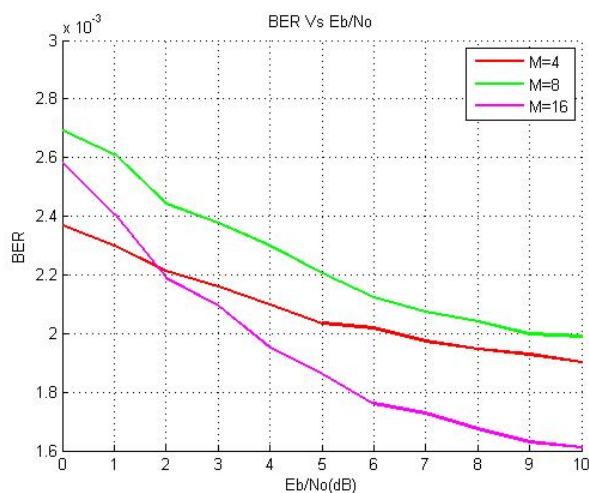
setiap codeword adalah 23 buah bit dan *pariti*-nya 8 bit.

Dari grafik pada Gambar 4 dan 5 terlihat bahwa BER semakin kecil untuk orde M yang semakin besar, atau BER yang terkecil dicapai pada orde $M=16$. Hasil ini sesuai dengan teori yang diperoleh pada referensi [9], yang menyatakan bahwa probabilitas kesalahan akan menurun jika orde M bertambah. Hasil yang berbeda terjadi pada saat jumlah cuplikan per frame adalah 160. Dapat dilihat pada Gambar 6, nilai BER yang paling kecil tetap ditunjukkan saat $M=16$, tetapi $M=4$ lebih baik performansinya daripada $M=8$. Hal ini menunjukkan bahwa performansi dari pengiriman data digital melalui kanal suara tidak hanya dipengaruhi oleh tahap modulasi tetapi juga proses kompresi suara yang dilakukan. Proses kompresi ini yang dinyatakan dengan jumlah cuplikan pada setiap frame pada algoritma CELP.

Untuk contoh lebih lanjut, proses transmisi data disimulasikan dengan menggunakan besar $E_b/N_0=6$ dB. Dari hasil simulasi diperoleh laju bit 2,5 kbps



Gambar 5. N = 120



Gambar 6. N = 160

dengan nilai BER seperti terlihat pada Tabel III berikut ini.

Tabel III. Bit Error Rate

Panjang frame	Jumlah ary FSK	BER
80	4	$1,17 \times 10^{-3}$
80	8	$5,59 \times 10^{-4}$
80	16	$3,30 \times 10^{-4}$
120	4	$1,48 \times 10^{-3}$
120	8	$1,29 \times 10^{-3}$
120	16	$1,10 \times 10^{-3}$
160	4	$2,01 \times 10^{-3}$
160	8	$2,22 \times 10^{-3}$
160	16	$1,87 \times 10^{-3}$

Dari Tabel III terlihat bahwa nilai BER yang terkecil diperoleh untuk panjang frame paling kecil, yaitu N=80. Semakin besar panjang frame, maka nilai BER pun semakin besar. Untuk aplikasi pada

Enhanced Full Rate GSM yang menggunakan panjang frame 160 cuplikan per frame, BER terkecil diperoleh pada modulasi dengan orde M paling besar, yaitu M=16.

Selain faktor orde M dan banyaknya cuplikan setiap frame, pemakaian kode Reed Solomon yang digunakan pun mempengaruhi besarnya BER di penerima. Untuk memperbaiki BER, dapat dilakukan beberapa cara, diantaranya adalah dengan memperbesar jumlah bit parity yang digunakan atau memperbesar *codeword* (*n*) dengan *code rate* yang konstan [7].

5. KESIMPULAN

Untuk aplikasi pada kanal GSM *enhanced full rate* pada laju bit 2,5 kbps, modulasi MFSK dengan M=4, 8, maupun 16, dapat memberikan nilai BER lebih rendah dari 3×10^{-3} . Dari hasil simulasi ini dapat dikatakan bahwa penggunaan

modulasi MFSK dengan tiga orde M yang berbeda menghasilkan BER yang masih dapat diterima pada aplikasi pengiriman data melalui kanal suara GSM. Dari hasil simulasi, BER terbaik diperoleh untuk orde M paling besar, yaitu $M=16$. Karena perbedaan performansi berdasarkan perbedaan orde M tidak terlalu signifikan, ada beberapa hal lain yang perlu dipertimbangkan dan perlu dievaluasi pada pemilihan orde M untuk aplikasi. Hal tersebut diantaranya adalah kompleksitas rangkaian modulator, efisiensi daya, serta efisiensi bandwidth.

Daftar Pustaka

- [1] T. Chmayssani and G. Baudoin, "Data transmission over voice dedicated channels using digital modulations," in *Radioelektronika, 2008 18th International Conference*, April 2008, pp. 1–4.
- [2] N. Katugampala, K. Al-Naimi, S. Villette, and A. Kondoz., "Real time end to end secure voice communications over gsm voice channel," in *13th European Signal Processing Conference*, September 2005.
- [3] M. Rashidi, A. Sayadiyan, and P. Mowlae, "Data mapping onto speech-like signal to transmission over the gsm voice channel," in *40th Southeastern Symposium on System Theory (SSST)*, March 2008, pp. 54–58.
- [4] B. Kotnik, Z. Mezgec, J. Svecko, and A. Chowdhury, "Data transmission over gsm voice channel using digital modulation technique based on autoregressive modeling of speech production," *Digital Signal Processing*, vol. 19, no. 4, 2009.
- [5] P. Xiong, *Digital Modulation Technique*. Artech House, London, 2006.
- [6] A. Shahbazi, A. H.R., A. Sayadiyan, and S. Mosayyebpour, "Data transmission over gsm adaptive multi rate voice channel using speech-like symbols," in *2010 International Conference on Signal Acquisition and Processing*, February 2010, pp. 63–67.
- [7] S. Mahajan and G. Singh, "Ber performance of reed solomon code using m ary fsk modulation in awgn channel," *International Journal of Advances in Science and Technology*, 2011.
- [8] Z. Mezgec, A. Chowdhury, and B. Kotnik., "Implementation of pcccd-ofdm-ask robust data transmission over gsm speech channel," *Informatica*, 2009.
- [9] M. E. Haque, M. G. Rashed, and M. H. Kabir, "A comprehensive study and performance comparison of m-ary modulation schemes for an efficient wireless mobile communication system," *International Journal of Computer Science, Engineering and Applications (IJSEA)*, 2011.

