

KODE GABIDULIN, KODE YANG DAPAT MENTRASMISIKAN INFORMASI “CORRECTLY”

Mona Elviyenti^{1*}, Wira Indani²

¹ Jurusan Teknik Listrik, Fakultas Teknologi Industri, Politeknik Caltex Riau
Jl. Umban Sari No.1 Rumbai, Pekanbaru 28265

² Jurusan Teknik Elektronika, Fakultas Teknologi Industri, Politeknik Caltex Riau
Jl. Umban Sari No.1 Rumbai, Pekanbaru 28265

*Email: mona@pcr.ac.id

Abstrak

Pentransmisi informasi correctly berkaitan erat dengan kecepatan dan keakuratan data yang diterima dengan bentuk aslinya terdapat lima kriteria pemenuhannya yaitu (1) proses encoding informasi yang cepat, (2) pesan hasil encoding mudah untuk ditransmisikan, (3) proses decoding informasi yang cepat, (4) pengkoreksi error yang ditempatkan pada channel terpercaya, dan (5) transmisi maksimum informasi per satuan waktu. Dari algoritma encoding dan decoding terhadap Kode Gabidulin yang telah ada, akan dianalisa dan dikembangkan dimensi dan jarak kodenya sehingga memenuhi lima kriteria tersebut, maka kode Gabidulin merupakan kode optimal yang dapat mentransmisikan informasi “correctly”.

Kata kunci: Kode Gabidulin, Encoding, Decoding, Correctly, Kode Optimal.

PENDAHULUAN

Kode-kode telah dipelajari diberbagai disiplin ilmu sains, seperti teori informasi, teknik elektro, matematika, linguistik dan komputer sains, tujuannya adalah untuk memperoleh metode yang lebih efisien dan terpercaya dalam mengkomunikasikan informasi melalui media *channel* atau penyimpanan di media digital, disebut juga transmisi informasi. Kode itu sendiri adalah suatu sistem yang memuat aturan-aturan perubahan informasi –seperti simbol-simbol, kata, suara, gambar ataupun video- kebentuk yang berbeda yang terkadang lebih pendek atau terahasiakan dari bentuk asalnya, agar pentransmisi informasi menjadi mungkin.

Terdapat lima poin penting yang harus dipenuhi oleh suatu kode agar dapat dikatakan mampu mentransmisikan informasi secara “Corecctly” (Hankerson, Gary, dkk, 2000) yaitu,

1. Proses *encoding* informasi yang cepat.
2. Pesan hasil *encoding* mudah untuk ditransmisikan
3. Proses *decoding* informasi yang cepat.
4. Pengkoreksi error yang ditempatkan pada *channel* terpercaya
5. Transmisi maksimum informasi per satuan waktu.

Kode Gabidulin adalah salah satu jenis kode yang banyak digunakan saat ini pada jalur komunikasi melalui media elektronik. Silva dan

Kschischang (Silva & Kschischang, 2009), telah membuat algoritma *encoding* dan *decoding* untuk kode *Gabidulin* dan dibuktikan pada penelitian mereka sebagai yang tercepat. Kode *Gabidulin* juga dapat ditransmisikan dengan *near-optimal* di *channel* terumit sekalipun (Silva & Kschischang, 2009), (Otter & Kschischang, 2008), (Silva, Kschischang & Otter, 2008). Hasil penelitian Silva & Kschischang telah memenuhi poin (1), (3) dan (5) dari lima poin untuk menyatakan suatu kode dapat mentransmisikan informasi secara “correctly”. Untuk mendapatkan kode yang sempurna, oleh sebab itu penulis melakukan penelitian “Kode Gabidulin, Kode yang Dapat Mentransmisikan Informasi “Correctly””.

Dengan memenuhi poin (2) dan (4), pada kriteria kode yang dapat mentransmisikan informasi “correctly”.

Namun keakuratannya dalam pendeteksian dan pengkoreksian belum teruji secara matematis maupun teknis. Oleh karena itu penulis akan menyempurnakan algoritma Kode Gabidulin yang telah di rancang oleh Silva & Kschischang sehingga selain cepat namun juga akurat dalam mentransmisikan informasi serta juga. Berdasarkan

Kode yang akurat dalam mentransmisikan informasi disebut dengan kode optimal, yaitu dapat mentransmisikan informasi dengan cepat dengan jumlah kata kode yang maksimum dan mampu mengkoreksi

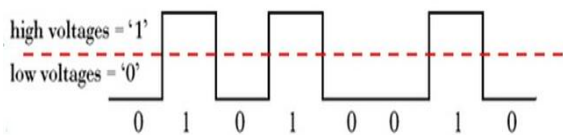
error atau setidaknya mampu mendeteksi jumlah error. Dengan menemukan dimensi yang mungkin untuk Kode Gabidulin sehingga memenuhi kriteria kode optimal dan mengujikan algoritma encode dan dekodenya, sehingga diperoleh kriteria Kode Gabidulin, yang dapat mentransmisikan informasi “correctly”.

TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan pustaka dalam penelitian ini meliputi tiga kelompok pembahasan. Pembahasan pertama merupakan tinjauan singkat mengenai sistem komunikasi digital pada media *channel*, sebagai pengantar atau pengenalan tentang peranan ilmu pengkodean pada saat pentransmisian informasi. Pembahasan kedua berkaitan dengan Kode Gabidulin, yang merupakan objek penelitian ini. Penelitian ini dimulai dengan pendekatan secara matematis, dan pada pembahasan ketiga akan diberikan keterangan dari notasi-notasi aljabar linier yang digunakan dan dasar-dasar matematisnya.

2.1 Sistem Komunikasi Digital

Sistem komunikasi digital adalah sebuah sistem komunikasi yang berbasis sinyal digital. Sinyal digital adalah sinyal data dalam bentuk pulsa yang dapat mengalami perubahan yang tiba-tiba dan mempunyai besaran 0 dan 1. Biasanya sinyal ini juga dikenal dengan sinyal diskrit (Kadir, 2007).

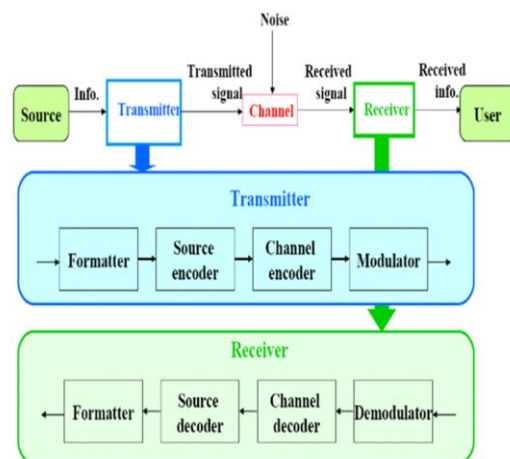


Gambar 1 Gambar sinyal digital

Komunikasi digital memiliki banyak keunggulan, antara lain sinyal digital dapat dibangkitkan ulang (*regenerated*) dengan lebih mudah dibandingkan dengan sistem analog. Pada saat informasi dipancarkan dalam bentuk sinyal digital, walaupun telah menempuh jarak yang cukup jauh keutuhan data haruslah tetap terjaga. Sinyal digital tersebut akan melalui serangkaian *repeater station* (*stasiun pengulang*) yang berfungsi untuk melindungi dan memperkuat sinyal sepanjang jalur perjalanan transmisi. Gangguan berupa cuaca buruk dan noise dapat memengaruhi transmisi sinyal

digital. Hal tersebut dapat dihindari, dimana pada *repeater station* sinyal digital dapat diregenerasi. Sinyal-sinyal yang rusak dengan teknik digital, dimana laju kesalahan (*error rate*) yang kecil dapat diperoleh menggunakan deteksi dan koreksi kesalahan, sehingga diperoleh sinyal baru yang identik (Wibisono dan Lydia, 2011).

Pemrosesan sinyal digital dapat diartikan sebagai proses operasi yang dilakukan pada sebuah sinyal untuk memanipulasi atau mentransformasi karakteristik-karakteristiknya menggunakan teknik pengkodean melalui media fisik yang disebut *channel*. Teknik pengkodean pada sistem komunikasi digital merupakan teknik yang mengubah sumber informasi menjadi deretan sinyal digital (*diskrit*), sehingga secara garis besar komponen komunikasi digital terdiri atas pengkodean sumber, pengkodean *channel*, modulator, demodulator, *channel decoder*, dan sumber decoder serta *channel komunikasi* yang dapat dipengaruhi oleh noise dan fading.



Gambar 2 Blok diagram sistem komunikasi digital.

Bagian terpenting dari diagram yang akan dibahas pada penelitian ini adalah bagian yang dapat dipengaruhi oleh noise dimana error mungkin terjadi. Untuk itu diperkenalkan kode pendeteksi dan pengkoreksi kesalahan. Teknik pengkodean untuk pendeteksian dan pengkoreksian kesalahan dikenal juga sebagai kode pengontrolan error, yang secara luas diterapkan pada internet, perekaman secara digital (*digital recording*) dan penyimpanan digital (*digital storage*).

2.2 Kode Pengontrolan Error

Kode pengontrolan error secara sistematis di tanamkan kedalam pesan sebelum di transmisikan, kode yang di tanamkan tersebut bekerja untuk mengenali bentuk asli dari pesan yang di transmisikan sehingga saat pesan mengalami korupsi perubahan pada pesan asli dapat dideteksi (*error detection*) dan dikoreksi. Agar dapat lebih mudah memahami laporan penelitian ini, beberapa istilah umum pada permasalahan kode pengontrolan error.

1. *Encoding*, fungsi *encoding* dengan parameter k, n adalah $E : F_q^k \rightarrow F_q^n$ yang memetakan pesan m yang terdiri dari k simbol dari keseluruhan alfabet yang digunakan dalam himpunan domain (contoh, alfabet dari himpunan biner adalah 0 dan 1 sehingga $F_2 = \{0, 1\}$) kedalam string yang lebih panjang $E(m)$ yaitu dengan panjang n pada F_q . String hasil encode $E(m)$ disebut sebagai katakode.
2. Kode pengontrolan error, merupakan kumpulan semua kata kode yang digunakan untuk meng-encode pesan.
3. *Rate* (r), merupakan rasio dari jumlah simbol informasi dengan panjang kode ($r = k/n$), $0 < r < 1$. *Rate* adalah parameter yang penting pada pengkodean, untuk mengukur jumlah penambahan bit kode oleh fungsi *encoding*, diukur dalam bit perdetik.
4. *Decoding*, fungsi *decoding* dengan parameter k, n adalah $D : F_q^n \rightarrow F_q^k$ yang memetakan katakode dengan panjang n yang berkemungkinan mengalami distorsi selama proses transmisi oleh *noise* atau *fading*, ke pesan dengan panjang k (yang menurut *decoder* merupakan pesan asli yang ditransmikan).
5. Jarak (*distance*), adalah jarak minimum kode diukur berdasarkan seberapa jauh perbedaan (koordinat) setiap katakode yang berbeda.
6. *Syndrome* (s), adalah suatu pattern yang mendiagnosa apakah pada suatu katakode w telah tekorupsi oleh *noise*, dimana $s = wH^T$ untuk H adalah *parity-check* matriks.

2.3 Kode Gabidulin

Kode Gabidulin merupakan salah satu blok kode linier, yang elemennya dari suatu kelompok alfabet berhingga dikenal juga dengan istilah lapangan hingga F_q . Gabidulin (Gabidulin, 1985) mengkonstruksi (n, k) kode

linier rank-metric, dengan (n, k) kode gabidulin merupakan dimensi dari suatu kode atas kelompok elemen pada lapangan hingga F_q^n yaitu perluasan dari F_q untuk setiap q perpangkatan bilangan prima dan m bilangan bulat positif. Berdasarkan konstruksi yang dibuat oleh Gabidulin, yaitu generalisasi dari kode linier *Maximum Rank Distance (MDR)* kemudian kode hasil konstruksi tersebut disebut dengan kode *Gabidulin*, untuk d adalah jarak kode, memenuhi ketaksamaan $d \leq n - k + 1$ dan $m \geq n$, *parity-check* matriks dari Kode Gabidulin pada F_q^n yaitu $\mathbf{H} = [h_j^{(i)}]$ dimana $0 \leq i \leq n - k - 1$; $0 \leq j \leq n - 1$ dan elemen - elemen $h_0, h_1, \dots, h_{n-1} \in F_q^m$ bebas linier pada F_q . Tujuan dari pengkonstruksian ini adalah untuk mendapatkan kode yang optimal, yaitu harus memenuhi persamaan dimensi $k = n - d - 1$, atau jarak rank $d = n - k - 1$.

Pada kode pengontrolan error, kode gabidulin bekerja secara sistematis membangun kode-kode yang dapat mendeteksi dan memperbaiki sejumlah acak error dengan menambahkan elemen - elemen pada bagian *encoding*. Kode Gabidulin mampu mengkoreksi berbagai error mencapai $t = (d - 1) / 2$.

Metode yang digunakan untuk decoding kode Gabidulin, yaitu algoritma Berlekamp-Massey dan persamaan kunci Welch-Berlekamp, dimana dilakukan pendekatan transform-domain pada time-domain. Untuk meningkatkan kemampuan algoritma menyelesaikan perhitungan yang kompleks pada time-domain, akan digunakan optimal atau *low-complexity* basis normal.

METODE PENELITIAN

Adapun langkah-langkah yang sudah dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

3.1 Pendekatan Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan studi literatur berkenaan dengan konstruksi kode Gabidulin, dan menentukan batasan nilai yang tepat untuk dimensi dan jarak minimum kode agar pengontrolan kode lebih optimal. Penulis akan menganalisa algoritma terdahulu, apa saja variabel dependent yang di pengaruhi oleh dimensi dan jarak kode, dan menggunakan metode literatur matematis untuk melakukan

pengkontruksian kode agar sesuai dengan variabel dan persamaan pada algoritma tersebut.

3.2 Menganalisa kontruksi kode Gabidulin dengan menggunakan Matlab

Analisa dilakukan pada perangkat lunak Matlab. Berdasarkan hal ini akan di ketahui performa kode Gabidulin dari kontruksi yang baru dikembangkan berpatokan pada jumlah bit dan simbol yang mampu dideteksi dan dikoreksi. Kemudian menggunakan algoritma *Fast Encoding and Decoding of Gabidulin Codes* (Silva & Kschischang, 2009) akan di evaluasi kecepatan *Encoding and Decoding* berdasarkan jumlah operasi perkalian dan penjumlahan yang dibutuhkan dalam satu kali uji coba. Dan untuk melihat hasilnya, dilakukan perbandingan dari hasil yang telah diperoleh sebelumnya oleh Silva dan Kschischang untuk kecepatan yang berparameter pada operasi perkalian dan penjumlahan, serta standar performa untuk Decoders (Gadouleau dan Yan, 2010; Jadhao dan Gawande, 2012), yaitu kemampuan kode untuk mendeteksi dan mengkoreksi error yang diakibatkan oleh *noise*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk memperoleh hasil dari penelitian ini, pendekatan yang dilakukan dengan pendekatan studi literatur. Diperoleh kontruksi kode Gabidulin yang lebih optimal sesuai dengan aturan aljabar pada lapangan hingga F_q , untuk q adalah bilangan prima.

Teorema 4.1 Kode Gabidulin $C_{n,k}$ yang dibangun dari n vektor yang saling bebas linier pada F_q dan berdimensi k adalah kode dengan jarak rank minimum.

Teorema 4.2 Misal $h = (h_0, \dots, h_{n-1})$ merupakan himpunan elemen-elemen yang berbeda dari K , $m \geq n$ dan $\text{rank}(h) = m$. Misalkan k bilangan bulat positif yang lebih kecil dai m . Misalkan H matriks $m \times n$ pada F_q diperoleh dari penambahan elemen di h_i pada basis K/F_q . C adalah suatu kode $[n, n-m]$ yang parity-check matriksnya H . Sehingga kode $C_{h,k}$ merupakan kode dengan jarak rank minimum jika dan hanya jika jarak minimum d dari C lebih besar atau sama dengan $k + 1$.

Berikut adalah metode untuk pengkonstruksian Kode Gabidulin yang memenuhi memenuhi teorema 4.2 :

1. Bangkitkan kode C pada F_q dengan parameter $[n, k, d]$, set $m = n - k$

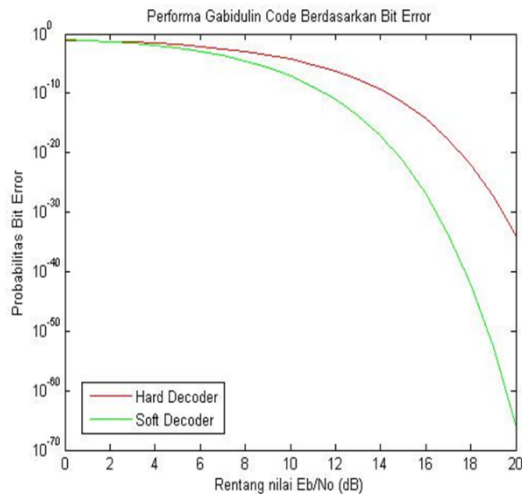
2. Konstruksi parity-check matriks H dari C dengan ukuran $m \times n$, jarak $d = n - k + 1$.

$$H = \begin{bmatrix} h_0 & h_1 & \dots & h_{n-1} \\ h_0^{[1]} & h_1^{[1]} & \dots & h_{n-1}^{[1]} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_0^{[d-2]} & h_1^{[d-2]} & \dots & h_{n-1}^{[d-2]} \end{bmatrix}$$

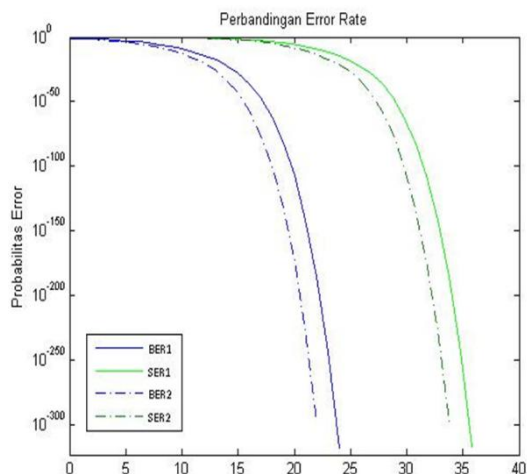
3. Menentukan basis dari F_{q^m} dari F_q
4. Mengkonstruksi $\mathbf{a} = (a_0, \dots, a_n)$ di F_{q^m} berdasarkan hasil pada tahap (2) dan (3)
5. Tentukan k , yang memenuhi $1 \leq k \leq d$, diperoleh $d - 1$ berada pada kode $[n, k] C_{h,k}$ pada F_{q^m} dengan jarak rank $d_R = m - k + 1$.

Untuk mengetahui performa kode Gabidulin pada pentransmisian informasi yang melibatkan kode pengotrol error (pendeteksian dan pengoreksian error) diujikan menggunakan matlab yang berpatokan pada ratio energi perbit E_b (pengunaan bit data) dengan kepadatan spektral *noise* N_0 (E_b/N_0) yaitu bit/s/Hz atau desibel (db). Dalam pengujian ini penulis menggunakan parameter optimal untuk kode Gabidulin dimana dimensi kode sama dengan jumlah simbol dan lebih satu dari panjang pesan, $n \leq m$ dan $n = k + 1$. Pengujian dilakukan pada channel AWGN.

Untuk mengetahui performa kode Gabidulin pada pentransmisian informasi yang melibatkan kode pengotrol error (pendeteksian dan pengoreksian error) diujikan menggunakan matlab yang berpatokan pada ratio energi perbit E_b (pengunaan bit data) dengan kepadatan spektral *noise* N_0 (E_b/N_0) yaitu bit/s/Hz atau desibel (db). Dalam pengujian ini penulis menggunakan parameter optimal untuk kode Gabidulin dimana dimensi kode sama dengan jumlah simbol dan lebih satu dari panjang pesan, $n \leq m$ dan $n = k + 1$. Pengujian dilakukan pada channel AWGN.



Gambar 3. Pengujian performa kode Gabidulin pada decoder dengan jarak minimum diketahui (hard decision decoder) dan decoder dengan nilai batas atas dan batas bawah yang ditentukan, untuk $n = m$ dan $n = k + 1$, dimana $k = 3$.

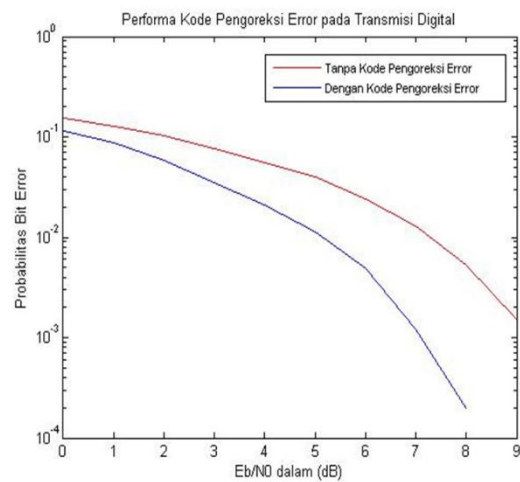


Gambar 4. Perbandingan Error rate berdasarkan bit (Bit Error Rate, BER) dan simbol (Simbol Error Rate, SER) yang pertama untuk $n = m$ dan yang kedua $n = \frac{1}{4} m$.

Berdasarkan gambar 3 dan 4, pendeteksian dan pengoreksian error menggunakan kode Gabidulin memberikan performa yang sangat baik dengan semakin kecilnya probabilitas error walau kuantitas noise pada channel semakin besar. Untuk perbandingan performa berdasarkan objek pengamatan error dan dimensi kode, dari gambar 4. terlihat jelas bahwa kode Gabidulin

bekerja lebih baik dalam mendeteksi dan mengkoreksi informasi dalam bentuk bit dibandingkan bentuk simbol namun batas toleransi level noise yang dapat diterima dalam perhitungan menggunakan bit lebih rendah dibandingkan pendeteksian dan pengoreksian error menggunakan simbol. BER maupun SER sama – sama baik untuk kode Gabidulin dengan dimensi $n = \frac{1}{4} m$.

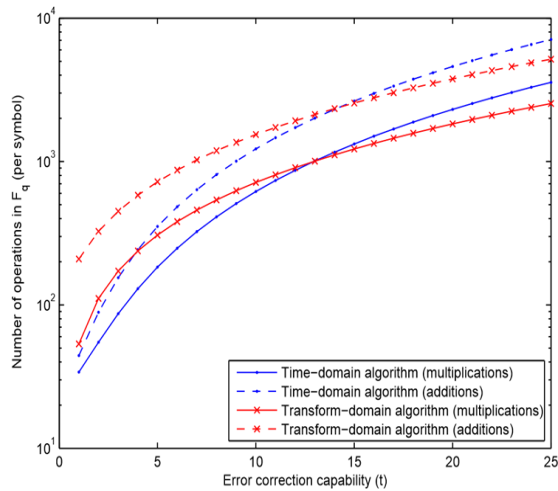
Dengan diperolehnya performa yang sangat baik untuk kode Gabidulin dalam pendeteksian dan pengkoreksian error. Berikutnya pengujian dilakukan pada simulasi transmisi informasi digital pada channel AWGN.



Gambar 5. Performa kode pengkoreksian error pada transmisi digital, yaitu channel AWGN. Untuk jumlah data 9999, dimensi kode $n = 6$.

Dari gambar 5 dapat diambil kesimpulan walaupun dalam kondisi yang kompleks kode Pengkoreksian error dapat berperforma dengan sangat baik dilihat dari selisih probabilitas bit error antara pentransmian tanpa kode pengkoreksian error dengan yang menggunakan kode pengkoreksian error.

Keseluruhan pengujian performa kode pendeteksian dan pengkoreksian error mengaju pada hasil (Gadouleau dan Yan, 2010; Jadhao dan Gawande, 2012) bahwa probabilitas error kecil dari 0,2. Untuk perhitungan jarak kode yang optimal penulis menggunakan program online codetables.de.



Gambar 6. Kompleksitas operasi pada Decoding berdasarkan jumlah operasi aljabar berdasarkan domain waktu dan transformasi linier terhadap performa pengkoreksian error, untuk $m = n$ dan $d = 2t + 1$

Pada pengkonstruksian kode Gabidulin yang dilakukan pada penelitian ini diperoleh jarak minimum yang lebih kecil, namun pada perhitungan basis normal tidak jauh berbeda dari penelitian sebelumnya (Silva & Kschischang, 2009), sehingga tidak terjadi peningkatan percepatan performa yang signifikan. Dari gambar 6 hasil yang diperoleh tidak berbeda dengan penelitian sebelumnya (Silva & Kschischang, 2009)

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian ini diperoleh kesimpulan dengan meminimalkan jarak kode Gabidulin, panjang dimensi lebih kecil dari blok pesan ($n < m$), pendeteksian dan pengkoreksian kode mampu mengkoreksi error lebih baik, khususnya pengkoreksian dalam bentuk bit. Kode pengkoreksian error pun berkerja dengan baik saat diuji pada pentransmisian digital di channel AWGN, dengan keseluruhan performa probabilitas pengkoreksian error lebih kecil dari 0,2.

Encoding dan decoding tercepat saat ini dikembangkan oleh Silva & Kschischang di tahun 2009. Dan dari pengembangan yang dilakukan pada penelitian ini hasil yang diperoleh tidak jauh berbeda dari sebelumnya. Dengan peningkatan performa pengkoreksian error dan dengan kecepatan yang tidak berbeda secara signifikan dengan encoding dan decoding yang tercepat saat ini. Maka kode

Gabidulin mampu mentransmisikan informasi ‘correctly’.

DAFTAR PUSTAKA

Delsarte. P. Bilinear forms over a finite field, with applications to coding theory. (1978). J. Combin. Theory Ser. A 25 pp. 226-241.

Gabidulin, E.M. Theory of codes with maximum rank distance, Probl. Inf. Transm. 21 (1985), pp. 1-12.

Gadouleau, Maximilien, and Zhiyuan Yan, On the Decoder Error Probability of Rank Metric Codes and Constant-Dimension Codes (2010). arXiv:0812.2379v4.

Guruswami, Vankatesan, List Decoding of Error-Correcting Codes (2001), Massachusetts Institute of Technologie.

Jadhao ,Vishal G, Prof.Prafulla D. Gawande, Performance Analysis of Linear Block Code, Convolution code and Concatenated code to Study Their Comparative Effectiveness. (2012). Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSRJEEE) Volume 1, Issue 1 (May-June 2012), PP 53-61.

Kadir, Abdul. Teknologi informasi dan Komunikasi. (2007). Yudhistira.

Silva, D. and F. R. Kschischang, Fast Encoding and Decoding of Gabidulin Codes. (2009). Proc. of 2009 IEEE International Symposium on Information Theory, ISIT’09.

S. Gao, J. von zur Gathen, D. Panario, and V. Shoup, “Algorithms for exponentiation in finite fields,” J. Symbolic Computation, vol. 29, pp. 879–889, 2000.

Wibisono, Gunawan dan Sari, Lidya, Teknik Pengkodean dan Sistem Komunikasi Digital. (2011). Informatika