

SIMULASI PENYANDIAN KANAL PADA JARINGAN GPRS (GENERAL PACKET RADIO SERVICE)

Arif Hanafi SB (L2F 096 568)
Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

ABSTRAK

Pengiriman sinyal pada kanal transmisi dapat dipengaruhi oleh derau. Untuk melindungi data digital tersebut terhadap galat maka perlu dilakukan penyandian. Penyandian kanal pada jaringan GPRS menggunakan beberapa skema penyandian yang dikembangkan dari skema yang digunakan pada jaringan GSM.

Proses penyandian dan pengawasandian diharapkan mampu mendeteksi dan mengoreksi galat yang terjadi sehingga persentase antara bit galat dan bit yang diterima semakin kecil, dengan demikian kualitas informasi yang dipertukarkan semakin baik.

Tugas Akhir ini memaparkan dan mendeskripsikan proses penyandian dan pengawasandian pada jaringan GPRS dalam bentuk simulasi program. Jenis penyandian yang digunakan adalah USF, sandi Blok, konvolusi, puncturing, dan interleaving.

Algoritma yang digunakan memiliki validitas dan tingkat koreksi galat yang baik. Validitas algoritma ditentukan berdasarkan sejauh mana kata sandi dapat dikembalikan ke bentuk semula baik tanpa atau dengan adanya derau. Sandi konvolusi merupakan tahapan penyandian dengan tingkat koreksi galat yang paling baik. Pada kanal logikal PDTCH, penyandian skema 2 merupakan alternatif yang terbaik karena memiliki ukuran bit per paket yang cukup banyak, koreksi galat dan kecepatan data yang tinggi.

I PENDAHULUAN

GPRS (*General Packet Radio Service*) merupakan teknologi komunikasi data berbasis pensaklaran paket yang dikembangkan pada jaringan GSM konvensional. Untuk mengintegrasikan GPRS ke jaringan GSM yang telah ada, maka arsitektur jaringan ditambah dengan titik jaringan baru yang disebut *GPRS Support Node* (GSN). GSN bertanggung jawab atas pengiriman dan perutean paket data antara MS dan PDN.

Pengiriman informasi melalui jaringan komunikasi menimbulkan risiko kesalahan. Keluaran kanal transmisi dapat berbeda dengan masukan yang diberikan. Pada pengiriman data biner, kesalahan berupa perubahan bit 0 menjadi bit 1, atau sebaliknya. Untuk mengurangi probabilitas galat pengiriman informasi, dilakukan penyandian kanal.

Tugas Akhir ini mendeskripsikan proses penyandian kanal-kanal logikal. Deskripsi ini berupa simulasi program dengan menggunakan perangkat lunak Delphi 7.

II DASAR TEORI

Kanal-kanal logikal pada jaringan GPRS adalah sebagai berikut.

1. *Packet Common Control Channel* (PCCCH), digunakan untuk mengendalikan pensinyalan paket data,

terdiri atas *Packet Random Access Control Channel* (PRACH), *Packet Paging Channel* (PPCH), *Packet Access Grant Channel* (PAGCH) dan *Packet Notification Channel* (PNCH).

2. *Packet Broadcast Control Channel* (PBCCH), digunakan untuk memancarkan (*broadcast*) informasi sistem spesifik paket data.
3. *Packet Data Traffic Channel* (PDTCH), dialokasikan untuk pengiriman paket data. PDTCH bersifat *uni-directional*, baik *uplink* (PDTCH/U) untuk paket yang berasal dari MS, maupun *downlink* (PDTCH/D) untuk paket yang menuju ke MS.
4. *Packet Dedicated Control Channel* (PDCH), digunakan untuk mengirimkan informasi pensinyalan dan estimasi *timing advance*, terdiri atas *Packet Associated Control Channel* (PACCH) dan *Packet Timing Advance Control Channel Uplink/Downlink* (PTCCH_{UP/DL})

Penyandian kanal logikal dilakukan dengan melewatkan bit-bit informasi ke *encoder*. *Encoder* akan mengolah bit-bit informasi tersebut sehingga dihasilkan kata sandi. Pada penerima kata sandi dilewatkan ke *decoder* untuk mendeteksi dan mengoreksi galat yang terjadi.

Tahapan penyandian pada pengirim adalah USF Precoding, sandi Blok, penambahan bit tail,

konvolusi, puncturing, dan interleaving. Proses pengawasdian pada penerima merupakan kebalikan proses penyandian pada pengirim, tahapannya adalah deinterleaving, depuncturing, dekonvolusi (algoritma Viterbi), deBlok, dan decoding.

2.1 USF Precoding

Beberapa bit awal disandikan sebagai bit-bit *USF precoding*. Penentuan bit *USF precoding* ini berdasarkan tabel yang telah ditentukan (*table looking*) seperti ditunjukkan pada Tabel 1. Proses pengawasdian dilakukan dengan membandingkan kata sandi dengan hasil *precoding* pada tabel tersebut. Hasil pengawasdian adalah $d(x)$ yang menghasilkan $u'(x)$ yang memiliki jarak minimum terhadap kata sandi yang terkecil.

Tabel 1 Penyandaian USF Precoding

Masukan $d(0),d(1),d(2)$	Keluaran	
	Precoding Pertama $u'(0),u'(1),\dots,u'(5)$	Precoding kedua $u'(0),u'(1),\dots,u'(11)$
000	000 000	000 000 000 000
001	001 011	000 011 011 101
010	010 110	001 101 110 110
011	011 101	001 110 101 011
100	100 101	110 100 001 011
101	101 110	110 111 010 110
110	110 011	111 001 111 101
111	111 000	111 010 100 000

2.2 Sandi Blok

Pada tahapan ini akan dibangkitkan polinomial generator $G(x)$ yang dihasilkan dari matriks bit-bit masukan. Kata sandi merupakan hasil perkalian antara bit masukan dan polinomial generator $G(x)$. Kata sandi terdiri atas bit-bit masukan dan $(n-k)$ bit paritas.

Pada proses pengawasdian, bit yang diterima $(r(x))$ dikalikan dengan matriks transpose paritas (H^T) . Perkalian ini menghasilkan vektor *sindrome* $(s(x))$. Penentuan galat berdasarkan bit *sindrome* yang dihasilkan. Apabila *sindrome* berisi bit-bit nol maka diasumsikan tidak terjadi galat pada pengiriman informasi, namun apabila *sindrome* berisi beberapa bit 1 maka diasumsikan terjadi galat pada saat pengiriman informasi. Posisi galat dapat ditentukan berdasarkan pola *coset leader* $(e(x))$. Pola *coset leader* dan *sindrome* diperoleh dengan menggunakan rumusan $s = eH^T$.

2.3 Konvolusi

Penyandian konvolusi terdiri atas m keadaan register geser, v penambah modulo-2, dan sebuah multiplekser paralel-serial untuk menyatukan keluaran penyandi ke dalam rentetan kata sandi tunggal. Data masukan digeser sepanjang register geser dan menghasilkan k bit dalam satu waktu. Keluaran diperoleh dengan melakukan konvolusi terhadap rentetan informasi dengan menggunakan generator polinomial.

Proses pengawasdian menggunakan algoritma Viterbi. Algoritma ini terdiri atas beberapa level dan keadaan. Pada setiap level terjadi transisi keadaan yang ditentukan oleh bit keluaran dekonvolusi. Transisi keadaan ini akan membentuk lintasan tertentu.

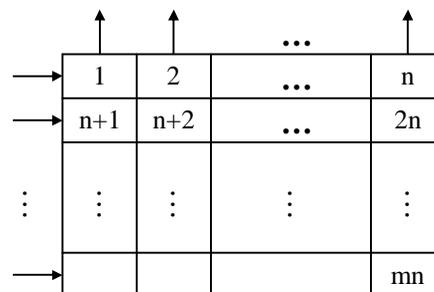
Lintasan-lintasan yang dibentuk menghasilkan bit-bit interpretasi. Bit-bit ini dibandingkan dengan bit-bit keluaran konvolusi. Perbedaan antara bit keluaran konvolusi dan bit interpretasi dinyatakan sebagai bit beda (*discrepancies bit*). Lintasan dengan akumulasi bit beda terkecil diasumsikan sebagai keluaran dekonvolusi.

2.4 Puncturing

Puncturing merupakan proses pengurangan jumlah bit informasi dan bit paritas. Proses ini secara sederhana dilakukan dengan menghilangkan bit-bit tertentu pada struktur kata sandi.

2.5 Interleaving

Interleaving dan deinterleaving dilakukan dengan menggunakan matriks $m \times n$. Pada proses Interleaving, kata sandi dari *encoder* dimasukkan perbaris dan dibaca per kolom (seperti ditunjukkan pada Gambar 1), sedangkan pada deinterleaving, kata sandi dari demodulator dimasukkan per kolom dan dibaca per baris.



Gambar 1 Interleaving.

III IMPLEMENTASI PENYANDIAN

3.1 PDTCH Skema 1, PACCH, PBCCH, PAGCH, PPCH, PNCH dan PTCCH_{downlink}

a. Blok masukan

Pesan yang dikirimkan ke *encoder* terdiri atas 184 bit informasi

b. Sandi blok

Blok masukan berupa 184 bit informasi akan ditambahkan dengan 40 bit paritas yang digunakan untuk mendeteksi dan mengoreksi kesalahan. Polinomial pembangkit yang digunakan adalah.

$$G(x) = (x^{23} + 1)(x^{17} + x^3 + 1)$$

Penyandian siklis ini dilakukan dalam bentuk sistimatis sehingga diperoleh polinomial

$$d(0)x^{223} + d(1)x^{222} + \dots + d(183)x^{40} + p(1)x^{38} + \dots + p(38)x + p(39)$$

dengan $\{p(0), p(10), \dots, p(39)\}$ adalah bit-bit paritas.

c. Penambahan bit *tail*

Empat bit *tail* berupa bit 0 (0000) ditambahkan ke blok informasi dan paritas sehingga menghasilkan 228 bit .

d. Konvolusi

Blok pesan berisi 228 bit ini dikonvolusikan dengan pesat penyandian $\frac{1}{2}$. Polinomial pembangkit yang digunakan adalah

$$G_0 : 1 + x^3 + x^4$$

$$G_1 = 1 + x + x^3 + x^4$$

Penyandian konvolusi ini menghasilkan 456 kata sandi $\{c(0), c(1), \dots, c(455)\}$, dan didefinisikan sebagai berikut

e. *Interleaving*

$$i(B, j) = c(n, k)$$

dengan

$$k = 0, 1, 2, \dots, 455$$

$$n = 0, 1, \dots, N, N+1, \dots$$

$$B = B_0 + 4n + (k \bmod 4)$$

$$J = 2((49k) \bmod 57) + ((k \bmod 8) \text{ div } 4)$$

3.2 PDTCH Skema 2

a. Blok masukan

Pesan yang dikirimkan ke *encoder* terdiri atas 271 bit informasi $\{d(0), d(1), \dots, d(270)\}$. Pesan ini dikirimkan dalam mode *burst*.

b. USF *precoding*

Tiga bit pertama $\{d(0), d(1), d(2)\}$ diubah ke dalam enam bit *precoding* $\{u'(0), u'(1), \dots, u'(5)\}$. Perubahan ini berdasarkan Tabel 1.

c. Sandi blok

Blok pesan ditambahkan dengan 16 bit paritas yang didefinisikan dalam GF(2) dengan polinomial sebagai berikut :

$$d(0)x^{286} + \dots + d(270)x^{16} + p(0)x^{15} + \dots + p(15)$$

d. Penambahan bit *tail*

Empat bit *tail* berupa bit 0 (0000) ditambahkan ke blok informasi dan paritas sehingga menghasilkan 294 bit $\{u(0), u(1), \dots, u(293)\}$.

e. Konvolusi

Blok pesan berisi 294 bit ini dikonvolusikan dengan pesat penyandian $\frac{1}{2}$. Polinomial pembangkit yang digunakan adalah persamaan :

$$G_0 : 1 + x^3 + x^4$$

$$G_1 = 1 + x + x^3 + x^4$$

Penyandian konvolusi ini menghasilkan 588 kata sandi $\{c(0), c(1), \dots, c(587)\}$.

dengan $k = 0, 1, \dots, 293$; $u(k) = 0$ untuk $k < 0$

f. *Puncturing*

Sebagian bit kata sandi dibuang sehingga tidak ditransmisikan. Bit yang dibuang didefinisikan

$$C(3+4j)$$

dengan $j = 3, 4, \dots, 146$; kecuali $j = 9, 21, 33, 45, 57, 69, 81, 93, 105, 117, 129$ dan 141.

Proses *Puncturing* menghasilkan 456 bit kata sandi $\{c(0), c(1), \dots, c(455)\}$.

g. *Interleaving*

$$i(B, j) = c(n, k)$$

dengan

$$k = 0, 1, 2, \dots, 455$$

$$n = 0, 1, \dots, N, N+1, \dots$$

$$B = B_0 + 4n + (k \bmod 4)$$

$$J = 2((49k) \bmod 57) + ((k \bmod 8) \text{ div } 4)$$

3.3 PDTCH Skema 3

a. Blok masukan

Pesan yang dikirimkan ke *encoder* terdiri atas 315 bit informasi $\{d(0), d(1), \dots, d(314)\}$.

b. USF *precoding*

Tiga bit pertama $\{d(0), d(1), d(2)\}$ diubah ke dalam 6 bit *Precoding* $\{u'(0), u'(1), \dots, u'(5)\}$. Perubahan ini berdasarkan Tabel 1.

c. Sandi blok

Blok pesan ditambahkan dengan 16 bit paritas yang didefinisikan dalam GF(2) dengan polinomial sebagai berikut :

$$d(0)x^{330} + \dots + d(314)x^{16} + p(0)x^{15} + \dots + p(15)$$

d. Penambahan bit *tail*

Empat bit *tail* berupa bit 0 (0000) ditambahkan ke blok informasi dan paritas sehingga menghasilkan 338 bit $\{u(0), u(1), \dots, u(337)\}$.

e. Konvolusi

Blok pesan berisi 338 bit ini dikonvolusikan dengan pesat penyandian $\frac{1}{2}$. Polinomial pembangkit yang digunakan adalah persamaan :

$$G_0 : 1 + x^3 + x^4$$

$$G_1 = 1 + x + x^3 + x^4$$

Penyandian konvolusi ini menghasilkan 676 kata sandi $\{c(0),c(1),\dots,c(675)\}$.

f. *Puncturing*

Sebagian bit kata sandi dibuang sehingga tidak ditransmisikan. Bit yang dibuang didefinisikan sebagai berikut :

$$C(3+6j) \text{ dan } C(5+6j)$$

dengan $j = 2,3,\dots,111$.

Proses *Puncturing* menghasilkan 456 bit kata sandi $\{c(0),c(1),\dots,c(455)\}$.

g. *Interleaving*

$$i(B,j) = c(n,k)$$

dengan

$$k = 0,1,2,\dots,455$$

$$n = 0,1,\dots,N,N+1,\dots$$

$$B = B_0 + 4n + (k \bmod 4)$$

$$J = 2((49k) \bmod 57) + ((k \bmod 8) \text{ div } 4)$$

3.4 PDTCH Skema 4

a. Blok masukan

Pesan yang dikirimkan ke *encoder* terdiri atas 431 bit informasi $\{d(0),d(1),\dots,d(430)\}$.

b. USF *precoding*

Tiga bit pertama $\{d(0),d(1),d(2)\}$ diubah ke dalam 12 bit *Precoding* $\{u'(0),u'(1),\dots,u'(5)\}$. Perubahan ini berdasarkan Tabel 1.

c. Sandi blok

Blok pesan ditambahkan dengan 16 bit paritas yang didefinisikan dalam GF(2) dengan polinomial sebagai berikut :

$$d(0)x^{446} + \dots + d(430)x^{16} + p(0)x^{15} + \dots + p(15)$$

Apabila dibagi dengan polinomial pembangkit $x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$ maka dihasilkan sisa pembagian berupa bit paritas, seperti persamaan (3.16). Hasil penyandian blok berupa 456 bit kata sandi $\{c(0),c(1),\dots,c(455)\}$.

d. *Interleaving*

$$i(B,j) = c(n,k)$$

dengan

$$k = 0,1,2,\dots,455$$

$$n = 0,1,\dots,N,N+1,\dots$$

$$B = B_0 + 4n + (k \bmod 4)$$

$$J = 2((49k) \bmod 57) + ((k \bmod 8) \text{ div } 4)$$

3.5 PTCCH_{uplink} dan PRACH

a. Blok masukan

Pesan yang dikirimkan ke *encoder* terdiri atas 8 bit informasi $\{d(0),d(1),\dots,d(7)\}$.

b. Sandi Blok

Blok pesan ditambahkan dengan 6 bit paritas yang didefinisikan dalam GF(2) dengan polinomial sebagai berikut.

$$d(0)x^{13} + \dots + d(7)x^6 + p(0)x^5 + \dots + p(5)$$

Enam bit paritas BSIC $\{B(0),B(1),\dots,B(5)\}$ dari BS yang dituju oleh akses random, ditambahkan secara modulo 2 dengan 6 bit paritas $\{p(0),p(1),\dots,p(5)\}$. Hasil penjumlahan ini berupa 6 bit warna (*colour bits*) yang didefinisikan sebagai berikut :

$$C(k) = b(k) + p(k); k = 0,1,\dots,5$$

dengan

$b(0)$ adalah MSB dari penyandian *colour* PLMN

$b(5)$ adalah LSB dari penyandian *colour* BS

c. Penambahan bit *tail*

Empat bit *tail* berupa bit 0 (0000) ditambahkan ke blok informasi dan paritas sehingga menghasilkan 18 bit $\{u(0),u(1),\dots,u(17)\}$.

d. Konvolusi

Blok pesan berisi 18 bit ini dikonvolusikan dengan pesat penyandian $\frac{1}{2}$. Polinomial pembangkit yang digunakan adalah persamaan

$$G0 : 1 + x^3 + x^4$$

$$G1 : 1 + x + x^3 + x^4$$

Penyandian konvolusi ini menghasilkan 36 kata sandi $\{c(0),c(1),\dots,c(355)\}$.

IV HASIL SIMULASI DAN ANALISIS

Pada pengujian tanpa adanya galat, proses pengawasandian menghasilkan susunan bit yang sama dengan blok masukan. Hal ini menunjukkan validitas algoritma pengawasandian yang digunakan untuk mengembalikan kata sandi ke bentuk semula. Pesan yang dikirimkan dapat diinterpretasikan dengan benar oleh penerima sehingga tidak ada informasi yang hilang.

Pada pengujian dengan adanya galat, *decoder* dapat mendeteksi dan mengoreksi seluruh atau sebagian galat yang terjadi. Efektifitas pengawasandian ditentukan oleh algoritma yang digunakan (jenis skema penyandian), jumlah galat, dan posisi galat pada runtun bit yang dikirimkan.

Penyandian setiap kanal logikal terdiri atas beberapa tahapan penyandian. Setiap penyandian memiliki jumlah bit masukan dan karakteristik pengoreksian galat yang berbeda-beda. Pada sandi blok dan konvolusi, hasil koreksi galat akan dijadikan sebagai masukan untuk koreksi galat pada tahapan selanjutnya. Sedangkan hasil koreksi galat USF *Precoding* tidak akan mempengaruhi proses pengawasandian pada tahapan berikutnya.

Pada Tugas Akhir ini, tahapan penyandian yang diamati dari simulasi adalah sebagai berikut.

4.1 USF Precoding

Dari hasil pengamatan tampak bahwa koreksi galat tergantung pada jumlah dan posisi bit kesalahan pada kata sandi. Untuk *Precoding* jenis pertama (PDTCH skema 2 dan 3), pengawasandian hanya mampu mendeteksi dan mengoreksi sebuah kesalahan dimanapun posisi bit kesalahan berada.

Untuk *precoding* jenis kedua (PDTCH skema 4), proses pengawasandian dapat mengoreksi satu atau dua bit galat dimanapun bit galat itu berada. Koreksi ini juga dapat dilakukan terhadap dua bit galat runtun.

4.2 Sandi Blok

Pada simulasi ini, *decoder* hanya didesain untuk mengoreksi satu atau dua bit kesalahan. *Decoder* mampu mendeteksi satu bit kesalahan dimanapun bit itu berada. Untuk 2 bit kesalahan, hasil pengawasandian tergantung pada posisi bit kesalahan. Apabila pola galat ini menghasilkan pola sindrome yang telah dibentuk oleh pola galat sebelumnya, maka koreksi galat dilakukan dengan menggunakan nilai pola galat sebelumnya. Pada kondisi ini *decoder* hanya mengoreksi sebagian bit galat yang terjadi.

Sandi blok tidak memberikan hasil yang maksimal karena perbandingan jumlah bit galat yang dapat dikoreksi terhadap bit yang dikirimkan relatif kecil. Pada kanal logikal jaringan GPRS, sandi blok hanya didesain untuk mendeteksi terjadinya kesalahan. Koreksi kesalahan dilakukan pada tahapan konvolusi. Sandi ini lebih khusus digunakan untuk mengelompokkan bit-bit informasi yang akan dikirimkan menjadi paket-paket. Hal ini dimaksudkan untuk memudahkan proses pengoreksian kesalahan pada tahapan konvolusi.

4.3 Konvolusi

Penyandian jenis ini merupakan tahapan yang dapat mengoreksi bit galat lebih banyak dibandingkan tahapan yang lainnya. Pada kanal logikal jaringan GPRS, konvolusi didesain untuk mengoreksi bit kesalahan yang telah dideteksi oleh penyandian blok.

Dari hasil pengamatan tampak bahwa perbandingan jumlah bit kesalahan yang dapat dikoreksi terhadap jumlah bit kesalahan yang terjadi relatif besar. Hal ini menunjukkan keandalan penyandian ini dalam mengoreksi bit kesalahan.

4.4 Interleaving

Proses *interleaving* tidak digunakan untuk mendeteksi dan mengoreksi kesalahan yang terjadi. Proses ini hanya digunakan untuk mengacak posisi bit-bit yang akan dikirimkan. Pengacakan dimaksudkan untuk mencegah kegagalan

pengawasandian terhadap bit kesalahan yang terjadi secara runtun.

Pada jaringan GPRS terdapat empat skema penyandian untuk kanal logikal paket data. Keempat skema penyandian ini memiliki algoritma dan jumlah bit masukan per paket yang berbeda-beda. Perbedaan tersebut ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Perbandingan empat skema penyandian kanal logikal PDTCH.

PDTCH	Skema Pegkodean			
	Skema 1	Skema 2	Skema 3	Skema 4
Jenis Penyandian	- Sandi Blok - konvolusi	- USF Precoding - Sandi Blok - Konvolusi	- USF Precoding - Sandi Blok - Konvolusi	- USF Precoding - Sandi Blok
Blok masukan	184	271	315	431
Bit paritas	16	16	16	16
Bit tail	4	4	4	-
Keluaran Konvolusi	456	588	676	-
Bit Puncturing	-	132	220	-
Kecepatan data (kbits/s)	9.05	13.4	15.6	21.4

PDTCH skema 2 merupakan jenis penyandian yang paling sering digunakan dibandingkan tiga skema yang lainnya. Skema penyandian ini memiliki jumlah bit masukan per paket yang cukup besar sehingga menghasilkan kecepatan data yang cukup tinggi. Risiko galat yang terjadi pada saluran transmisi relatif kecil dan mampu mengoreksi kesalahan dalam jumlah yang cukup besar.

V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Penyandian kanal dilakukan untuk mendeteksi dan mengoreksi kesalahan yang terjadi pada kanal transmisi untuk mengurangi *misinterpretasi* blok pesan yang diterima.
2. Sandi Blok digunakan untuk mendeteksi terjadinya galat dan mengelompokkan bit-bit masukan per paket.
3. Konvolusi merupakan tahapan penyandian yang paling efektif dalam mengoreksi bit galat yang terjadi.
4. Hasil pengawasandian dipengaruhi oleh jumlah dan posisi bit galat pada runtun bit yang dikirimkan.
5. Penyandian kanal PDTCH skema 2 merupakan alternatif terbaik karena memiliki ukuran bit per paket yang

cukup banyak dan kemampuan koreksi galat yang cukup baik.

5.2 Saran

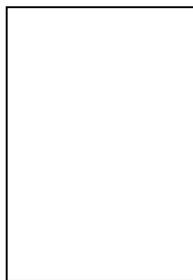
Setelah menyelesaikan simulasi ini dapat diberikan beberapa saran sebagai berikut.

1. Validitas pengiriman informasi hendaknya mendapatkan perhatian penting untuk mencegah terjadinya kesalahan interpretasi terhadap bit-bit yang diterima.
2. Proses pengawasandian untuk mengoreksi semua bit galat yang terjadi memang sulit untuk direalisasikan, namun metode yang ada perlu terus dikembangkan untuk meningkatkan tingkat efektifitas koreksi galat.
3. Pada masa yang akan datang diharapkan terdapat penulisan dan penelitian yang menganalisa tentang unjuk kerja perangkat *encoder* dan *decoder* secara lebih detail, baik pada jaringan GPRS maupun jaringan 3G.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Alam, M.A., *Belajar Sendiri Borland Delphi 6.0*, Elex Media Computindo, Jakarta, 2001
- [2] Bettstetter,C., Vogel,H.J., Eberspacher,J., *GSM Phase 2+; General Packet Radio Service (GPRS); Architecture, Protocols and Air Interface*, IEEE *Communication Surveys*; vol2;no3, 1999
- [3] Hamming,R.W., *Coding and Information Theory*, Prentice-Hall Inc, New Jersey, 1980
- [4] Kadir,A., *Pemrograman Pascal*, ANDI, Yogyakarta, 2002
- [5] Proakis, J.G., *Digital Communications* McGraw-Hill, International Edition, Singapore, 2001
- [6] Poli,A., Huguet,L., *Error Correcting Codes Theory and Applications*, Prentice-Hall Inc, New Jersey, 1992
- [7] Rappaport,T.S., *Wireless Communications Principles and Practice*, Prentice-Hall Inc, New Jersey, 1996

- [8] Rhee,M.Y., *Error Correcting Coding Theory*, McGraw-Hill Inc, Singapore, 1989
- [9] Robert,G.W., *Telecommunication Transmission Systems*, McGraw-Hill Inc, Singapore,1993
- [10] Tanenbaum, A.S., *Computer Networks*, Prentice Hall Inc, New Jersey, 1996
- [11] Taub,H., Schilling,D.L., *Principle of Communication Systems*, McGraw-Hill Inc, Singapore, 1986
- [12], *3GPP TS 45.03, Digital Cellular Telecommunications System (Phase 2+); Channel Coding*, <http://www.etsi.org>, Desember 2004



Arif Hanafi (L2F 096 568)
Mahasiswa Jurusan Teknik
Elektro Universitas Diponegoro
Semarang mengambil
konsentrasi telekomunikasi. Saat
ini sedang menyelesaikan S1 di
jurusan Teknik Elektro UNDIP
Semarang

Menyetujui

Pembimbing 1

Wahyudi, S.T.,M.T.
NIP. 132 086 662

Pembimbing 2

Imam Santoso, S.T., M.T.
NIP. 132 162 546

