

UNJUK KERJA PENYAMA TURBO PADA SISTEM CODE DIVISION MULTIPLE ACCESS (CDMA)

Eva Yovita Dwi Utami

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik – UKSW

Jl. Diponegoro 52-60, Salatiga

Email : eva.utami@staff.uksw.edu

INTISARI

Penelitian ini bertujuan mengetahui unjuk kerja penyama turbo pada sistem *Code Division Multiple Access (CDMA)* dalam mengurangi *BER* akibat pengaruh interferensi. Pada sistem penerima *CDMA* konvensional setelah data dikirimkan, kemudian diterima dan diawasandakan, tidak terdapat pengolahan data lebih lanjut. Sedangkan pada sistem *CDMA* dengan penyama turbo terdapat proses penapisan dan pemrosesan data yang telah diawasandakan, sehingga laju galat *bit* data informasi dapat dikurangi.

Hasil penelitian menunjukkan sistem *CDMA* yang menggunakan penyama turbo dapat menghasilkan nilai *BER* yang lebih kecil dibandingkan sistem *CDMA* konvensional. Pada nilai $E_b/N_0 = 14$ dB, nilai *BER* untuk sistem *CDMA* konvensional adalah $9,3401 \cdot 10^{-3}$ sedangkan nilai *BER* untuk sistem *CDMA* dengan penyama turbo adalah $4,5381 \cdot 10^{-3}$. Penelitian juga menunjukkan bahwa semakin besar jumlah pengulangan dalam sistem penyama turbo, makin besar pula pengurangan laju galat *bit* data informasi pada sistem *CDMA*, untuk pengulangan sebanyak 4 kali dengan nilai $E_b/N_0 = 14$ dB diperoleh nilai *BER* sebesar $1,0761 \cdot 10^{-5}$.

1. PENDAHULUAN

Pada sistem komunikasi bergerak seluler, *Code Division Multiple Access* atau *CDMA* merupakan teknik akses jamak yang menggunakan metode spektrum tersebar. Spektrum tersebar yang digunakan dalam sistem *CDMA* ini adalah *Direct-Sequence Spread Spectrum (DS-SS)*.

Transmisi isyarat gelombang melewati beberapa lintasan (lintasan jamak) antara pengirim dan penerima mengakibatkan isyarat yang diterima mengalami perubahan amplitudo. Hal ini dikarenakan isyarat tersebut merupakan superposisi isyarat-isyarat dari lintasan yang berbeda dengan fase yang berbeda. Akibatnya terjadi penerimaan kuat isyarat yang bervariasi dan acak yang terdistribusi *Rayleigh*.

Panjang lintasan dan penundaan isyarat yang berbeda-beda mengakibatkan isyarat lintasan jamak sampai pada penerima dengan variasi waktu tunda. Sebuah pulsa yang dikirimkan oleh pemancar akan diterima oleh penerima bukan lagi sebagai sebuah pulsa melainkan sebuah pulsa yang menyebar yang disebut *delay spread*. *Delay Spread* ini dapat menimbulkan *Inter-symbol Interference (ISI)*, karena setiap simbol akan saling bertumbukan dengan simbol sebelum dan sesudahnya. Untuk mengurangi pengaruh interferensi dan meningkatkan kualitas isyarat yang diterima pada sistem *CDMA* maka digunakan metode ekualisasi atau penyama.

Sistem penyama pada umumnya terdiri dari penyama linear yang parameter tapisnya ditetapkan dengan algoritma tertentu. Selanjutnya simbol akan diumpangkan ke sistem estimasi yang terdiri dari *demodulator*, *deinterleaver*, dan pengawasandi [1], [2], [3], [4]. Sistem penyama turbo merupakan sistem penyama adaptif dan pengawasandian kanal yang dilakukan secara berurutan dalam beberapa proses pengulangan [3], [4].

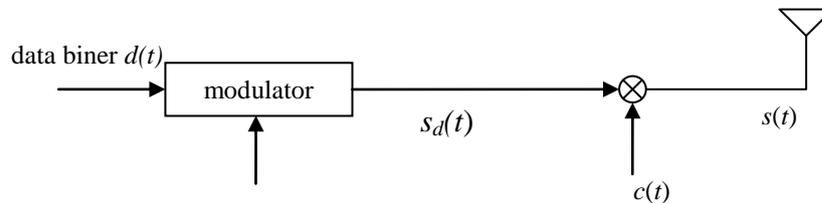
Penggunaan sistem penyama turbo pada sistem *CDMA* diharapkan akan mampu menekan angka kesalahan *bit* informasi sehingga akan meningkatkan kualitas isyarat yang diterima pada sistem *CDMA*. Nilai *BER* digunakan untuk melihat perbandingan kinerja sistem *CDMA* yang menggunakan metode konvensional dengan *CDMA* yang menggunakan sistem penyama turbo.

2. SISTEM CDMA DENGAN PENYAMA TURBO

2.1. Code Division Multiple Access (CDMA)

Sistem komunikasi *CDMA* menggunakan teknik *Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)*. Suatu deretan kode yang bersifat acak semu dan menyerupai derau dibangkitkan untuk menyandikan data sebelum dikirimkan. Deretan acak semu dibangkitkan oleh sebuah pembangkit sandi acak semu atau *pseudorandom generator (PRG)* [2]. Dengan deretan kode yang berbeda dan unik untuk setiap pengguna yang berbeda maka sistem *CDMA* memiliki kemampuan untuk melakukan akses jamak yaitu mengirimkan informasi dari banyak pengguna pada alokasi pita

frekuensi dan waktu yang bersamaan. Agar tidak terjadi interferensi antar pengguna CDMA, setiap pengguna memiliki sandi acak semu yang saling orthogonal [5]. Sandi ini disebut sandi acak semu (*Pseudorandom Noise*) [2]. Gambar 1 menunjukkan ilustrasi proses pengiriman DS-SS.



Gambar 1. Pemancar untuk CDMA.

Isyarat informasi/data biner $d(t)$ dimodulasikan sehingga menghasilkan isyarat termodulasi $s_d(t)$. Proses penebaran dilakukan dengan mengalikan isyarat termodulasi $s_d(t)$ dengan sandi penebar $c(t)$ menghasilkan isyarat $s(t)$. Bit-bit sandi penebar disebut sebagai *chip* [1].

Pada bagian penerima, isyarat yang diterima adalah $r(t)$ yang merupakan $s(t)$ versi tertunda dan telah melewati kanal nirkabel. Isyarat tersebut dikalikan kembali dengan isyarat acak semu $c'(t)$ yang merupakan salinan isyarat $c(t)$ pada bagian pengirim. Isyarat $c'(t)$ disebut dengan isyarat referensi yang diperoleh dari proses sinkronisasi sandi. Jika diasumsikan proses sinkronisasi terjadi dengan sempurna, maka $c'(t) = c(t)$. Perkalian $r(t)$ dengan $c(t)$ menghasilkan kembali isyarat informasi termodulasi BPSK $s_d(t)$. Proses mendapatkan kembali isyarat informasi termodulasi dari isyarat spektrum tersebar dinamakan *despreading*. Isyarat $s_d(t)$ selanjutnya didemodulasikan untuk memperoleh kembali isyarat informasi biner $d(t)$.

2.2. Sistem Penyandian dan Pengawasandi

Fungsi sistem penyandian dalam sistem komunikasi digital adalah untuk mendeteksi dan mengoreksi kesalahan data yang diterima sehingga kesalahan dalam pengiriman data dapat ditekan [6]. Sistem penyandian untuk tujuan ini adalah penyandian deret terstruktur menggunakan *Forward Error Correction (FEC)* yang dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu penyandian blok dan penyandian konvolusional. Penyandian blok memiliki laju sandi lebih tinggi daripada penyandian konvolusional, namun penyandian blok memiliki kemampuan koreksi kesalahan lebih rendah dibandingkan penyandian konvolusional. Pada sistem komunikasi yang

melewati kanal dengan peluang kesalahan tinggi, penyandian konvolusional lebih sering digunakan [2], [6].

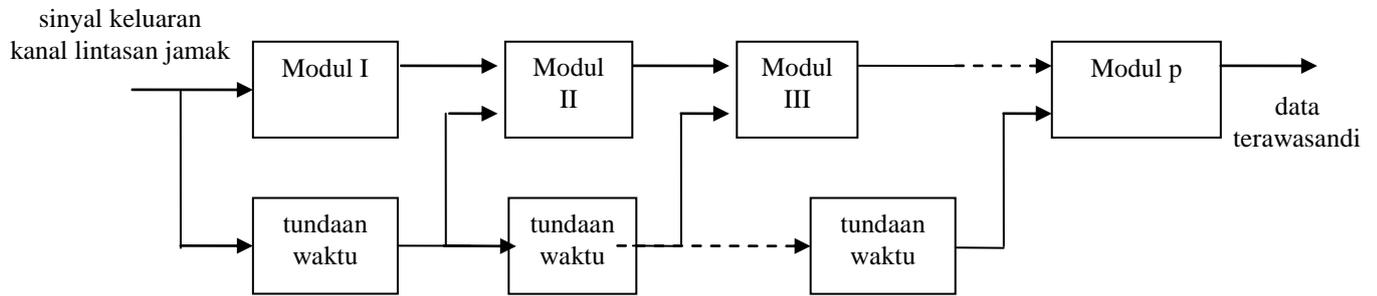
Penyandi konvolusional terdiri dari register geser, penjumlah modulo-2 dan *multiplexer* [2]. Parameter pada penyandi konvolusional dinyatakan dalam laju sandi R yang merupakan perbandingan jumlah bit masukan k terhadap bit keluaran n dan panjang batas (*constraint length*, K) yang merupakan jumlah register geser yang digunakan.

Algoritma *Viterbi* merupakan algoritma pengawasandi untuk penyandi konvolusional, yang cara kerjanya membandingkan urutan data yang diterima dengan data pada semua jalur pada diagram *Trellis*. Algoritma *Viterbi* menggunakan prinsip *maximum likelihood decoding* yaitu memilih satu jalur sebagai urutan data yang dikirim jika jalur tersebut memiliki peluang lebih besar dibandingkan dengan jalur yang lain [1]. Pada algoritma *Viterbi* ada dua teknik yang bisa dipakai yaitu *Hard Decision Viterbi Decoder* dan *Soft Decision Viterbi Decoder*. Untuk teknik *hard decision* masukan terdiri dari dua aras saja sedangkan untuk teknik *soft decision* masukan terdiri dari aras-aras nilai terkuantisasi.

Dalam sistem komunikasi, *interleaver* berfungsi untuk mengubah urutan data dengan aturan tertentu [1]. Dengan adanya pengubahan urutan data tersebut, maka jika terjadi *burst error* atau ledakan galat, rentetan kesalahan data yang panjang dapat dihindari. Hal ini dikarenakan pada saat data diterima akan dilakukan proses *de-interleaving* atau pengurutan kembali data sesuai urutan semula, sehingga *burst error* akan menjadi acak, yang akan lebih mudah dikoreksi pada saat proses rekonstruksi.

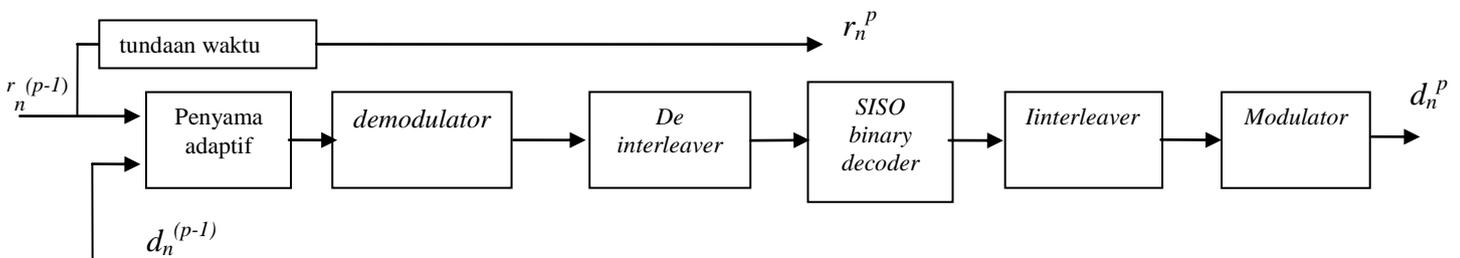
2.3. Sistem Penyama Turbo

Sistem penyama turbo merupakan sistem penyama adaptif dan pengawasandian kanal yang dilakukan secara berurutan dalam beberapa proses pengulangan [3], [4]. Skema prinsip kerja sistem penyama turbo dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema Prinsip Kerja Sistem Penyama Turbo.

Penyama Turbo pada setiap modul terdiri atas penyama adaptif sebagai *Adaptive Interference Canceller (AIC)*, *demodulator*, *deinterleaver*, *soft-in soft-out (SISO) binary decoder* yang berfungsi sebagai pengawasandi sekaligus penyandi, *interleaver*, dan modulator [4]. Skema penyusun setiap modul dapat dilihat pada Gambar 3.



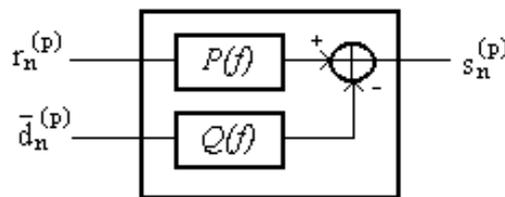
Gambar 3. Struktur Penyama Turbo

Pada penyama turbo, mula-mula isyarat *training* dikirimkan terlebih dahulu untuk memastikan algoritma adaptif konvergen. Pada pengulangan yang pertama penyama turbo hanya akan mendapat masukan dari cuplikan isyarat keluaran transmisi r_n dan semua koefisien kanal pada setiap tap masih sama dengan nol. Masukan penyama adaptif $P(f)$ adalah isyarat r_n , dan pembaharuan koefisien ditentukan oleh

$$P_{n+1} = P_n + \mu R_n \left[G_n - \hat{D}_n \right] \quad (1)$$

dengan P_n adalah vektor koefisien tapis saat ini, P_{n+1} adalah vektor koefisien tapis untuk pengulangan selanjutnya, G_n adalah vektor keluaran tapis $P(f)$ saat ini, D_n adalah tanggapan yang diinginkan saat ini yang berupa replika isyarat *training*, R_n adalah vektor masukan penyama saat ini, dan μ adalah parameter langkah atau *step size parameter*. Koefisien pembobot tapis yang berubah selama proses adaptif berlangsung akan dicari nilai rata-ratanya sehingga didapat satu vektor koefisien pembobot yang dipakai untuk menapis isyarat informasi yang terdistorsi.

Setelah melewati proses penapisan, isyarat informasi akan didemodulasi, lalu data informasi akan diurutkan kembali oleh *deinterleaver*, diawasandakan dan kemudian disandakan kembali oleh *SISO binary converter*, untuk kemudian diacak dan dimodulasi kembali sehingga dihasilkan simbol estimasi \bar{d}_n . Isyarat estimasi ini bersama dengan isyarat yang diterima r_n akan menjadi masukan bagi penyama adaptif pada modul berikutnya, seperti terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Struktur Penyama Adaptif Sistem Penyama Turbo

Pada modul kedua dan selanjutnya, penyama adaptif tersusun atas dua tapis adaptif, $P(f)$ dan $Q(f)$. Untuk setiap perulangan, penyama turbo akan diumpani oleh cuplikan isyarat terdistorsi, $r_n^{(p-1)}$, dan cuplikan isyarat estimasi modul sebelumnya, $\bar{d}_n^{(p-1)}$. Pembaharuan koefisien pembobot tapis $P(f)$ dan $Q(f)$ mengikuti persamaan berikut.

$$\begin{aligned} P_{n+1} &= P_n - \mu R_n (s_n - \hat{d}_n) \\ Q_{n+1} &= Q_n + \mu \bar{D}_n (s_n - \hat{d}_n) \end{aligned} \quad (2)$$

P_n dan Q_n masing-masing adalah vektor koefisien pembobot tapis $P(f)$ dan $Q(f)$. μ adalah *step size parameter*, R_n dan \bar{D}_n adalah vektor simbol terdistorsi dan simbol estimasi saat ini. Nilai $(s_n - \hat{d}_n)$ adalah galat yang merupakan selisih keluaran

penyama adaptif, s_n dan simbol estimasi \hat{d}_n . Selanjutnya isyarat s_n akan mengalami proses berulang kembali sehingga dihasilkan simbol estimasi baru, \bar{d}_n .

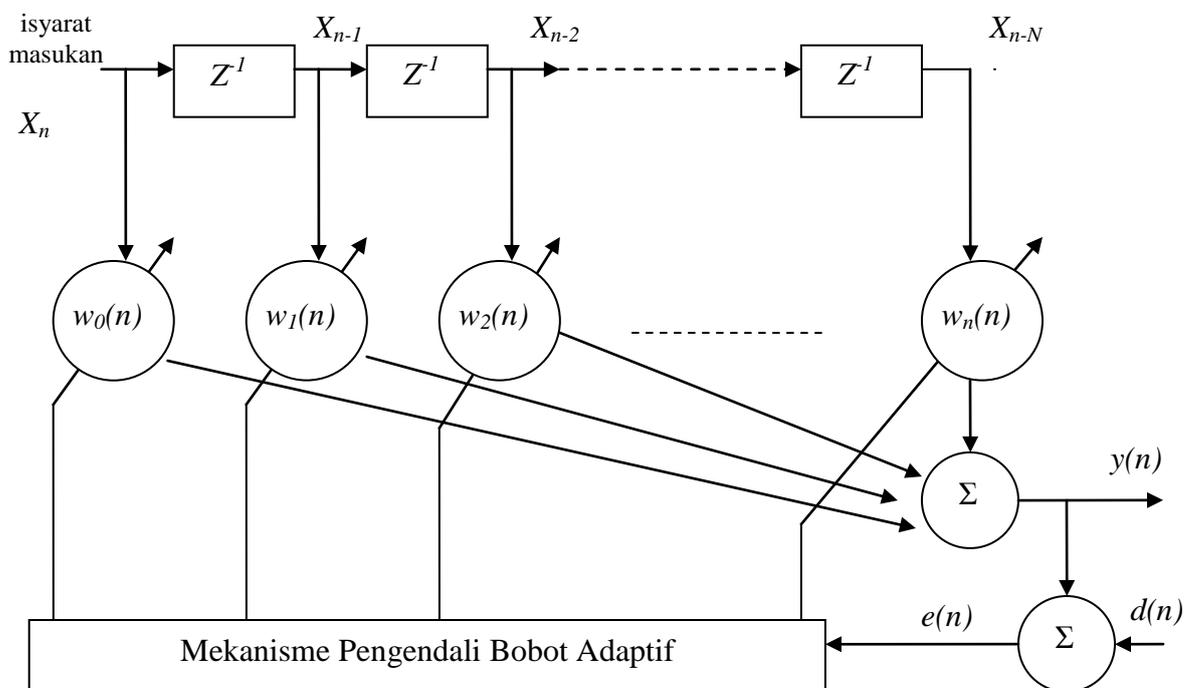
Nilai *MSE* (*Mean Square Error*) untuk tiap perulangan dinyatakan dengan

$$MSE = E\left\{\left|s_n - \hat{d}_n\right|^2\right\} \quad (3)$$

2.4. Tapis Adaptif dengan Algoritma *Least Mean Square (LMS)*

Least Mean Square (LMS) adalah salah satu algoritma adaptif yang dapat dipakai dalam sistem penyama. Algoritma ini memiliki kelebihan pada perhitungan yang tidak terlalu kompleks serta mudah diimplementasikan, namun memiliki kelemahan, dalam hal waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kondisi konvergen [1], [2]. Konvergen adalah kondisi saat nilai peubah tak bebas, memiliki nilai tertentu saat nilai peubah bebasnya memiliki nilai tak hingga. Dalam sistem adaptif kondisi konvergen dapat terjadi apabila untuk nilai n atau perulangan tak berhingga, nilai *MSE* tetap pada suatu konstanta tertentu.

Tapis adaptif yang akan digunakan dalam sistem penyama ini adalah tapis adaptif transversal



Gambar 5. Blok Diagram Tapis Adaptif Transversal [2].

Tapis adaptif tersusun atas M tap tapis dengan masing-masing koefisien tiap tap disebut $w_n(n)$, indeks $n = 0, 1, 2, \dots, M-1, M-2$, menyatakan tap ke- n . Isyarat $x(n)$ merupakan masukan yang akan ditapis oleh tapis adaptif. Koefisien tapis akan selalu diadaptasi untuk mendapatkan keluaran tapis seperti yang diharapkan. Jika $d(n)$ adalah tanggapan yang diinginkan yaitu representasi polar simbol biner ke- n yang dikirimkan, dan $e(n)$ adalah isyarat galat, maka isyarat galat $e(n)$ adalah selisih antara tanggapan yang diinginkan $d(n)$, dengan nilai keluaran tapis saat ini $y(n)$, dituliskan

$$e(n) = d(n) - y(n) \quad (4)$$

Dari blok diagram tapis adaptif transversal di atas dan dengan memakai algoritma *LMS*, maka koefisien pembobot tapis untuk perulangan selanjutnya, dinyatakan sebagai berikut

$$\hat{w}(n+1) = \hat{w}(n) + \mu x(n)e(n) \quad (5)$$

dengan $w(n+1)$ merupakan pembaharuan koefisien pembobot tapis, $w(n)$ merupakan pembobot tapis saat ini, μ merupakan parameter langkah adaptasi, $x(n)$ merupakan masukan yang akan ditapis oleh tapis adaptif, dan $e(n)$ merupakan isyarat galat. Keluaran tapis dapat ditulis sebagai

$$y(n) = x^T(n) + \hat{w}(n) \quad (6)$$

Untuk langkah pertama nilai pembobot tapis saat ini, $\hat{w}(n)$ diset 0 pada $n = 0$.

Terdapat dua syarat konvergensi yang harus dicapai, yakni konvergensi nilai *MSE* serta konvergensi nilai rata-rata koefisien pembobot tapis. Nilai μ berpengaruh pada lamanya proses adaptasi serta nilai *MSE* yang dicapai pada saat konvergen.

Pengaruh jumlah tap tapis, M , akan mempengaruhi konvergensi nilai *MSE*. Kondisi yang harus dipenuhi agar *MSE* konvergen adalah

$$E \mathcal{A}[n] \text{ konvergen} : 0 < \mu < \frac{2}{\sum_i \lambda_i} \quad (7)$$

dengan $\lambda_i, i = 1, 2, \dots, M$ adalah nilai eigen matriks korelasi tap masukan. Kondisi kestabilan ini juga dapat dinyatakan dalam bentuk

$$0 < \mu < \frac{2}{\text{rata-rata kuadrat tap masukan}} \quad (8)$$

Sementara itu, kondisi agar konvergensi rata-rata vektor pembobot tercapai adalah

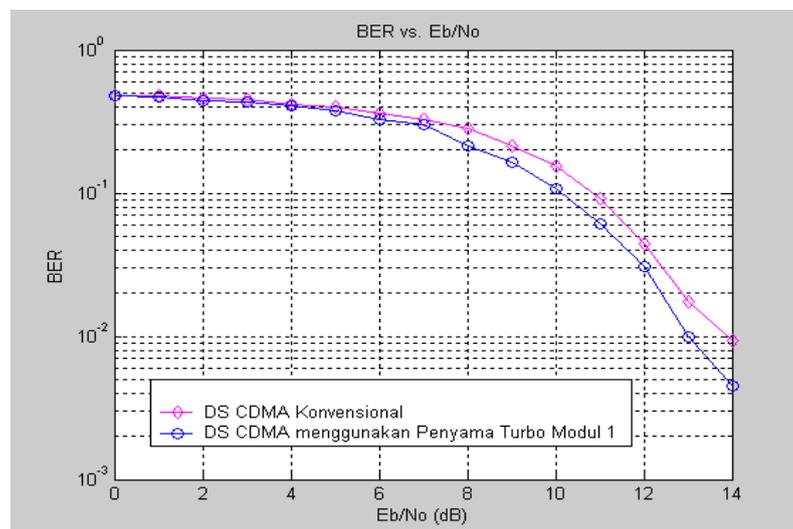
$$E \mathcal{A}[n] \text{ konvergen} : 0 < \mu < \frac{2}{\lambda_{\max}} \quad (9)$$

dengan λ_{\max} adalah nilai terbesar matriks korelasi *tap* masukan. Jika kedua kondisi pada persamaan ini tercapai maka *LMS* akan konvergen.

3. HASIL SIMULASI DAN PEMBAHASAN

Gambar 6 menampilkan hasil simulasi berupa grafik hubungan *BER* fungsi *Eb/No* yang menunjukkan perbandingan nilai *BER* sistem *CDMA* konvensional dengan sistem *CDMA* menggunakan penyama turbo. Nilai *BER* fungsi *Eb/No* yang dihasilkan sistem *CDMA* konvensional dengan Sistem *CDMA* menggunakan penyama turbo diperlihatkan dalam Tabel 1. Dapat ditunjukkan bahwa sistem *CDMA* menggunakan penyama turbo memiliki unjuk kerja yang lebih baik dibanding sistem *CDMA* konvensional, yaitu menghasilkan nilai *BER* yang lebih rendah. Hal ini dikarenakan di dalam sistem *CDMA* yang menggunakan penyama turbo terdapat proses penapisan dengan penyama adaptif yang tidak terdapat di dalam sistem *CDMA* konvensional.

Dalam simulasi ini digunakan spesifikasi jumlah lintasan jamak 3, jumlah data masukan 1000 *bit* dan jumlah pengguna 10.



Gambar 6. Grafik Hubungan *BER* Fungsi *Eb/No* antara Sistem *CDMA* Konvensional dengan Sistem *CDMA* Menggunakan Penyama Turbo pada Lintasan Jamak dan Banyak Pengguna

Tabel 1. Hubungan *BER* Fungsi *E_b/N_o* antara Sistem *CDMA* Konvensional dengan Sistem *CDMA* Menggunakan Penyama Turbo pada Lintasan Jamak.

<i>E_b/N_o</i> (dB)	<i>BER</i>	
	Konvensional	Penyama Turbo
4	0,41442	0,4056
8	0,28579	0,2135
14	0,0093401	0,0045381

Penurunan *BER* untuk sistem *CDMA* menggunakan sistem penyama turbo terhadap sistem *CDMA* konvensional ditunjukkan oleh Tabel 2.

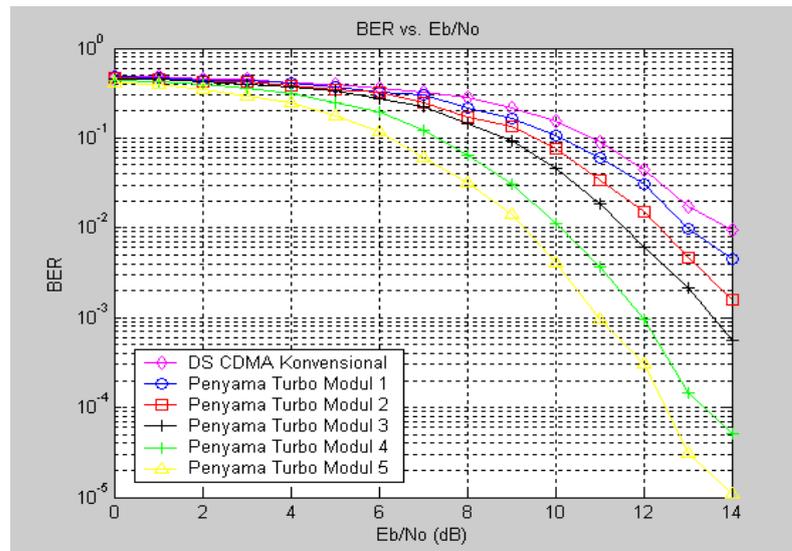
Tabel 2. Penurunan *BER* Sistem *CDMA* dengan Sistem Penyama Turbo

<i>E_b/N_o</i> (dB)	Penurunan <i>BER</i> (dB)
4	0,093 dB
8	1,264 dB
14	3,134 dB.

Hasil simulasi untuk peningkatan jumlah pengulangan modul pada sistem *CDMA* menggunakan Penyama Turbo ditampilkan pada Gambar 7. Dalam sistem penyama turbo dapat dilakukan pengulangan modul, sebagai upaya untuk meningkatkan kinerjanya. Terdapat enam grafik hasil simulasi dalam *BER* fungsi *E_b/N_o* yang menunjukkan perbandingan sistem-sistem *CDMA* konvensional, sistem *CDMA* menggunakan penyama turbo dengan pengulangan modul 1, 2, 3, 4 dan 5. Dalam simulasi ini digunakan spesifikasi jumlah lintasan jamak 3, jumlah data masukan 1000 *bit* dan jumlah pengguna 10.

**UNJUK KERJA PENYAMA TURBO PADA SISTEM CODE DIVISION
MULTIPLE ACCESS (CDMA)**

Eva Yovita Dwi Utami



Gambar 7. Grafik Hubungan *BER* Fungsi *Eb/No* antara Sistem *CDMA* Konvensional dengan Sistem *CDMA* Menggunakan Penyama Turbo dengan Pengulangan Modul pada Lintasan Jamak dan Banyak Pengguna

Gambar 7 memperlihatkan bahwa semakin banyak jumlah pengulangan modul dalam sistem penyama turbo, akan memberikan nilai *BER* yang lebih rendah. Nilai *BER* yang dihasilkan oleh Gambar 7 di atas dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Hubungan *BER* Fungsi *Eb/No* Sistem *CDMA* Konvensional dan *CDMA* Menggunakan Penyama Turbo dengan Pengulangan

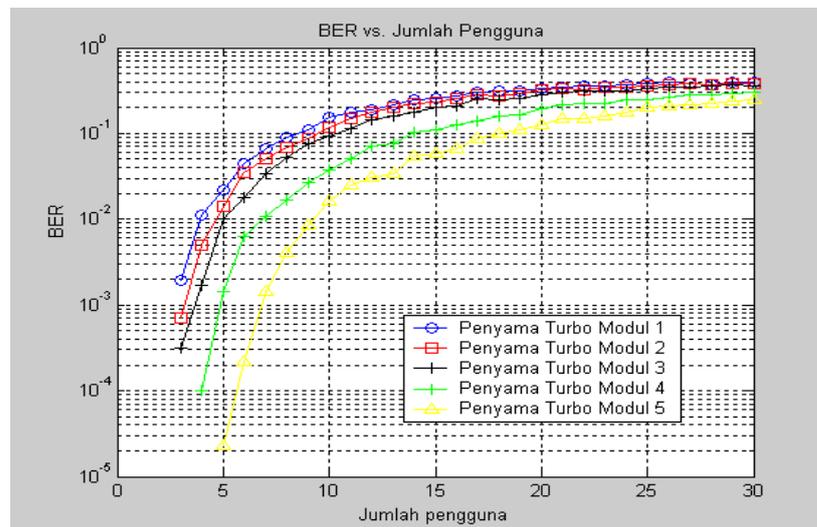
<i>Eb/No</i> (dB)	<i>BER</i>					
	Konvensional	Penyama Turbo				
		Modul I	Modul II	Modul III	Modul IV	Modul V
4	0,41442	0,4056	0,38863	0,36868	0,31025	0,25142
8	0,28579	0,2135	0,16904	0,14416	0,065178	0,031726
14	0,0093401	0,0045381	$1,5736 \cdot 10^{-3}$	$5,5838 \cdot 10^{-4}$	$5,0761 \cdot 10^{-5}$	$1,0761 \cdot 10^{-5}$

Peningkatan kinerja dapat terjadi karena adanya sistem penyama adaptif dan pengawasandian kanal yang dilakukan secara berurutan dalam beberapa proses pengulangan. Penurunan nilai *BER* untuk sistem *CDMA* menggunakan sistem penyama turbo dengan peningkatan jumlah pengulangan terhadap sistem *CDMA* konvensional secara lengkap ditunjukkan oleh Tabel 4.

Tabel 4 Penurunan BER Sistem CDMA Menggunakan Penyama Turbo dengan Pengulangan Modul Terhadap CDMA Konvensional

<i>E_b/N_o</i> (dB)	Penurunan BER (dB)			
	Modul II	Modul III	Modul IV	Modul V
4	0,279 dB	0,507 dB	1,257 dB	2,170 dB
8	2,228 dB	2,9719 dB	6,419 dB	9,546 dB
14	7,787 dB	12,23 dB	22,648 dB	29,38 dB

Hasil simulasi untuk perubahan jumlah pengguna dan jumlah pengulangan modul pada sistem CDMA menggunakan penyama turbo ditampilkan dalam Gambar 8. Simulasi dilakukan dengan jumlah data masukan 1000 bit dan jumlah pengguna divariasikan dari 1-30, pada kanal lintasan jamak. Dapat ditunjukkan bahwa penambahan jumlah pengguna akan meningkatkan nilai BER, karena interferensi yang terjadi semakin besar. Untuk mengatasi peningkatan nilai BER pada jumlah pengguna yang bertambah, diperlukan penyama turbo yang modul pengulangannya lebih besar. Untuk mempertahankan kinerja BER yang sama pada jumlah pengguna yang lebih besar diperlukan modul perulangan yang lebih banyak, hal ini diperlihatkan pada nilai BER dalam Tabel 5.



Gambar 8. Grafik BER fungsi Jumlah Pengguna pada Sistem CDMA dengan Peningkatan Pengguna Divariasikan dari 1-30 Pengguna

**UNJUK KERJA PENYAMA TURBO PADA SISTEM CODE DIVISION
MULTIPLE ACCESS (CDMA)**

Eva Yovita Dwi Utami

Tabel 5. Hubungan *BER* Fungsi Jumlah Pengguna Sistem *CDMA* Menggunakan
Penyama Turbo dengan nilai $E_b/N_0 = 6$ dB

Jumlah Pengguna yang Aktif	<i>BER</i>				
	Penyama Turbo dengan Pengulangan				
	Modul I	Modul II	Modul III	Modul IV	Modul V
5	0.022	0.014	0,010	$1,45 \cdot 10^{-4}$	$2,3 \cdot 10^{-5}$
10	0.15239	0.11919	0.092487	0.037665	0.016244
20	0.33391	0.3201	0.27858	0.19239	0.1269
30	0.39716	0.37929	0.35827	0.30538	0.24731

4. KESIMPULAN

Sistem *CDMA* menggunakan penyama turbo dapat menghasilkan nilai *BER* yang lebih kecil dibandingkan sistem *CDMA* konvensional. Kinerja sistem *CDMA* dengan penyama turbo akan meningkat dengan peningkatan jumlah pengulangan modul. Penurunan nilai *BER* dalam sistem *CDMA* menggunakan penyama turbo dapat terjadi dikarenakan adanya sistem penyama adaptif dan pengawasandian kanal yang dilakukan secara berurutan dalam beberapa proses pengulangan, sehingga laju galat *bit* informasi akibat pengaruh adanya *Inter-symbol Interference (ISI)* dapat dikurangi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Goldsmith, Andrea, “*Wireless Communications*”, Cambridge University Press, 2005.
- [2] Rappaport, Theodore S, “*Wireless Communication System Principle And Practice*”, 2nd edition, Prentice-Hall, 2002.
- [3] Ruttik, Kalle, “*Introduction to Turbo Processing*”, Communications Laboratory Helsinki University of Technology, Finland, 2006.
- [4] Wang, Xiaodong, “Iterative (Turbo) Soft Interference Cancellation and Decoding for Coded CDMA”, *IEEE Transactions on Communications*, vol 47, no.7, Juli 1999.
- [5] Morinaga, Norihiko dan Ryuji Kohno, “*Wireless Communication Technologies : New Multimedia Systems*”, The Kluwer International Series in Engineering and Computer Science, 2002.
- [6] B. Skalar, “*Digital Communications*”, Prentice-Hall, New Jersey, 1988.