

Menekan Tingkat Ber Pada Sistem Komunikasi *Direct-Sequence* CDMA(DS-CDMA) Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan *Transient* *Chaos*

Wiharto*, Jurusan Teknik Informatika, Universitas Sebelas Maret Surakarta

Abstrak—Sistem penerima konvensional pada sistem komunikasi DS-CDMA, terjadi degradasi kinerja akibat perbedaan daya dengan sinyal penginterferensi yang tinggi (Near-to-Far) dan nilai korelasi silang kode user yang berbeda tidak nol, yang mengakibatkan Multiple Access Interference (MAI). Jaringan Saraf Tiruan Transient Chaos (TCNN), sangat potensial untuk mengatasi permasalahan MAI dan Near-to-Far pada penerima konvensional DS-CDMA. Sistem penerima Jaringan Saraf Tiruan Transient Chaos (TCNN) dapat diturunkan dengan memanfaatkan fungsi Likelihood. Dengan fungsi Likelihood tersebut akan diperoleh fungsi energi atau fungsi cost dari sistem penerima multiuser DS-CDMA. Fungsi energi sistem penerima multiuser DS-CDMA diselesaikan dengan algoritma TCNN. Pengujian dilakukan dengan simulasi komputer untuk membandingkan kinerja penerima TCNN dengan konvensional. Hasil simulasi, dapat dilihat bahwa sistem penerima Jaringan Saraf Tiruan Transient Chaos dapat memberikan perbaikan kinerja dibandingkan sistem penerima konvensional (Matched Filter). Perbaikan kinerja penerima TCNN sebesar 85.092 % pada kondisi $E_1 / N_o = 6dB$, Near-to-Far $E_2 / E_1 = 6dB$, tetapi memerlukan tambahan waktu 0.4845 sekon-per-iterasi algoritma TCNN.

Kata Kunci— Likelihood, Matched Filter, Multiple Access Interference, Near-to-Far

I. PENDAHULUAN

Pada sistem komunikasi seluler dengan metode akses jamak FDMA (*Frequency Division Multiple Access*), setiap user dialokasikan sendiri-sendiri sebuah pita frekuensi, jadi dengan semakin meningkatnya jumlah user maka pita frekuensi yang tersedia akan semakin menyempit. Dengan semakin menyempitnya pita frekuensi yang tersedia, maka kapasitas user tidak ditingkatkan. Sistem akses jamak DS-CDMA (*Direct Sequence Code Division Multiple Access*) merupakan solusi untuk meningkatkan kapasitas user pada lebar pita frekuensi yang sama dengan FDMA (Miyajima dan Hasegawa, 1996)(Viterbi dan Lupas, 1999) (Caffery, 2002).

Sistem akses jamak DS-CDMA adalah penyebaran spektrum daya setiap user ke dalam kawasan pita frekuensi yang sama,

dengan menggunakan suatu kode yang berbeda untuk setiap user-nya. Pada sistem penerima DS-CDMA bekerja dengan menggunakan suatu korelator (*Matched Filter*). Korelator akan mengkorelasikan kode-kode yang digunakan setiap user-nya, jika akan mendeteksi data dari user-1, maka pada penerima akan mengkorelasikan dengan kode yang sama dengan yang digunakan user-1 pada saat di pancarkan. Korelasi dengan kode yang sama terjadi autokorelasi, sedangkan kode yang berbeda terjadi kroskorelasi. Permasalahan timbul pada saat kroskorelasi tidak bernilai nol, maka akan terjadi apa yang disebut *Multiple Access Interference* (MAI) (Souejeri dan Bilgekul, 2000) (Miyajima dan Hasegawa, 1996).

Setiap user, dari suatu RBS (*Radio Base Station*) mempunyai jarak yang berbeda-beda, ada yang jauh dan ada yang dekat. Jika user semakin dekat ke RBS maka daya yang diterima RBS semakin besar dibandingkan dengan yang semakin menjauhnya user, hal ini terjadi karena efek redaman propagasi yang merupakan fungsi jarak. Akibat efek tersebut dan akibat kroskorelasi tidak bernilai nol, maka timbul lagi suatu permasalahan permasalahan yang dikenal dengan *Near-to-Far* (jauh-dekat) (Souejeri dan Bilgekul, 2000), (Miyajima dan Hasegawa, 1996) dan (Miyajima, 1996).

Solusi yang digunakan untuk mengatasi kedua permasalahan MAI dan *Near-to-Far* pada sistem DS-CDMA adalah dengan membangun sistem penerima optimum untuk mendeteksi sinyal multiuser tersebut dengan menggunakan *Maximum Likelihood Sequence Estimation* (MLSE), tetapi sistem tersebut mempunyai kompleksitas yang meningkat secara eksponensial dengan meningkatnya jumlah user. Permasalahan kompleksitas pada sistem penerima optimum, mendorong untuk membangun sistem penerima sub-optimum dengan kompleksitas rendah. (Meng, 2000) (Soujeeri dan Bilgekul, 2000) (Kechriotis dan Manolagos, 1996) (Wong dan Ghosh, 2000) (Wen dan Shixin, 1998) (Miyajima dan Hasegawa, 1996) (Poor, 2000) (Miyajima, 1996) (Tan, 1999).

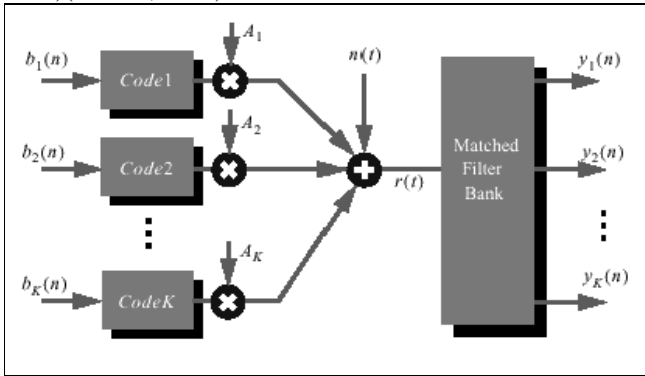
Untuk membangun sistem penerima sub-optimum pada sistem komunikasi DS-CDMA dapat memanfaatkan jaringan saraf tiruan Hopfield (Soujeeri dan Bilgekul, 2000) (Kechriotis dan Manolagos, 1996) (Miyajima, 1996) (Miyajima dan Hasegawa, 1996), Modified Transient Chaos (Wen dan Shixin, 1998), Radial Base Function (RBF) (Tanaka, 2001), backpropagasi (Wong dan Ghosh, 2000), dan jaringan saraf tiruan probabilistik (Ibikunle dan Yixin, 1999). Maka dalam tulisan ini akan membahas sistem penerima sub-optimum

*Wiharto adalah staf pengajar dan peneliti di Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sebelas Maret Surakarta, Jawa Tengah (e-mail: wi_harto@uns.ac.id)

dengan memanfaatkan jaringan saraf tiruan Transient Chaos (TCNN) untuk menekan tingkat BER pada sistem komunikasi DS-CDMA. Kinerja sistem komunikasi DS-CDMA diukur dengan menggunakan tolok ukur BER (*Bit Error rate*).

II. CARA PENELITIAN

Tahapan dalam penelitian ini terbagi menjadi beberapa tahapan, tahapan pertama menganalisa sistem penerima DS-CDMA untuk mendapatkan energi fungsi sistem komunikasi DS-CDMA. Sistem komunikasi DS-CDMA adalah sistem multiple akses dengan setiap user menggunakan sistem *Spread Spectrum Direct Sequence* (SSDS) dan dengan modulasi BPSK, dimana kode antara user satu dengan lainnya berbeda tetapi frekuensi pembawanya sama. Model kanal sistem DS-CDMA dapat ditunjukkan pada Gambar 1 (Tanaka, 2001)(Tanaka, 2000).



Gambar 1. Model Kanal Sistem DS-CDMA

Sinyal yang ditransmisikan sistem DS-CDMA sejumlah K user, dimana setiap user bekerja dengan modulasi DS-BPSK (*Direct Sequence-Binary Phase Shift Keying*). Sinyal yang diterima pada RBS dapat dituliskan

$$r(t) = S(t) + n(t) \tag{1}$$

dimana $n(t)$ adalah *adaptive white gaussian noise* (AWGN) yang merupakan gangguan pada kanal propagasi, dengan sepektral daya dua sisi $No/2$ dan

$$S(t) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} \sum_{k=1}^K b_k^{(i)} s_k(t - iT_b - \tau_k) \tag{2}$$

dimana $b_k^{(i)} \in \{-1, 1\}$ adalah transmisi bit ke- i dari user ke- k . T_b adalah interval bit data dan $\tau_k \in [0, T_b)$ adalah delay waktu untuk user ke- k , kasus pada tesis ini sistem DS-CDMA pada kondisi *Synchronous*, dimana $\tau_k = 0, k = 1, 2, \dots, K$ dan tanpa adanya *loss-loss* yang umum. Gelombang pembawa (*carrier*) untuk user ke- k , dengan interval bit $[0, T_b]$ adalah

$$s_k(t) = A_k c_k(t) \cos(\omega_c t + \theta_k) \tag{3}$$

dimana A_k adalah amplitudo sinyal user ke- k , ω_c adalah frekuensi pembawa, θ_k fasa user ke- k . Energi sinyal per bit untuk user ke- k ditunjukkan dengan menggunakan E_k atau dikenal dengan nama energi bit,

$$P_k = \frac{A_k^2}{2} \tag{4}$$

$$E_k = P_k T_b$$

dimana P_k adalah daya sinyal user ke- k . Sinyal *spreading* (code yang digunakan) dapat dituliskan (Cooper dan McGillem, 1986) (Peterson, dkk, 1995)

$$c_k(t) = \sum_{j=0}^{N-1} c_j^{(k)} pT_c(t - jT_c) \tag{5}$$

dimana $pT_c(t)$ adalah pulsa unit rectangular dengan interval T_c , dengan nilai seperti ditunjukkan pada persamaan (6),

$$pT_c(t) = \begin{cases} 1, & 0 \leq t \leq T_c \\ 0, & \text{lainnya} \end{cases} \tag{6}$$

dan T_c adalah interval chip, dan $\{c_j^{(k)} \in \{-1, 1\}\}$, N adalah panjang periode kode dengan nilai $N = T_b / T_c$ yang dikenal dengan *processing gain*.

Sistem penerima DS-CDMA dapat dimodelkan seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Sinyal keluaran *Matched Filter* (MF) untuk K user dapat dituliskan dalam suatu vektor

$$\mathbf{y}^{(i)} = [y_1^{(i)}, y_2^{(i)}, \dots, y_K^{(i)}]^T \tag{7}$$

Dimana

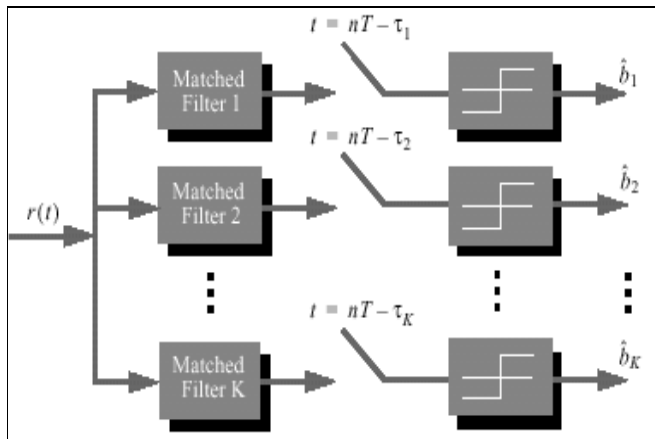
$$y_k^{(i)} = \int_{iT_b}^{(i+1)T_b} r(t) \cdot s_k(t - iT_b) dt \tag{8}$$

dimana $k = 1, 2, \dots, K$, sehingga untuk kasus $i = 0$, dan mengabaikan index i maka $y_k^{(i)}$ dapat dijabarkan menjadi suatu persamaan vektor

$$\mathbf{y} = \mathbf{R}\mathbf{A}\mathbf{b} + \mathbf{n} \tag{9}$$

dengan parameter-parameternya dapat didefinisikan berikut : \mathbf{R} adalah matriks kroskorelasi dari kode penebar s_1, s_2, \dots, s_K dan elemen dari \mathbf{R} dapat didefinisikan

$$R_{k,l} = \int_0^{T_b} s_k(t) s_l(t) dt \tag{10}$$



Gambar 2. Model Sistem Penerima Konvensional

A adalah sebuah matrik diagonal yang nilainya tidak nol, yang elemennya A_1, A_2, \dots, A_K . $\mathbf{b} = [b_1, b_2, \dots, b_K]^T$, adalah vektor bit informasi yang dikirimkan. \mathbf{n} adalah vektor noise. Untuk penerima konvensional, demodulasi bit informasi untuk setiap user bersifat independent dan membiarkan MAI. Matriks bit-bit informasi yang dideteksi, $\hat{\mathbf{b}} = [\hat{b}_1, \hat{b}_2, \dots, \hat{b}_K]^T$, ditunjukkan oleh persamaan berikut :

$$\hat{\mathbf{b}} = \text{sign}(\mathbf{y}) \tag{11}$$

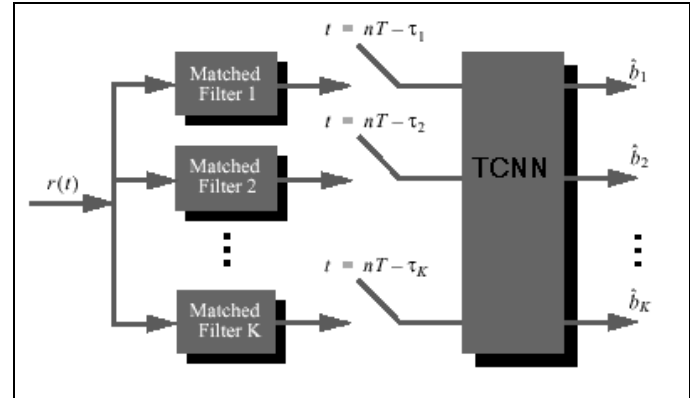
Berdasarkan fakta bahwa permasalahan optimisasi dapat dijabarkan dengan *Maximum Likelihood Sequence Estimation* (MLSE). Dengan *Maximum likelihood* maka akan didapatkan suatu sistem penerima multiuser yang optimum. Pada sistem penerima optimum akan memilih bit paling mungkin,

$\hat{\mathbf{b}} = [\hat{b}_1, \hat{b}_2, \dots, \hat{b}_K]^T$, serupa dengan pemilihan *noise* yang direalisasikan dengan energi minimum, (Poor, 2000) (Verdu dan Ruxandra, 1989)

$$\hat{\mathbf{b}} = \arg \max_{\mathbf{b} \in \{-1, +1\}^K} \left[\int_0^{T_b} S(t)r(t)dt - \frac{1}{2} \int_0^{T_b} [S(t)]^2 dt \right] \tag{12}$$

$$\hat{\mathbf{b}} = \arg \min_{\mathbf{b} \in \{-1, +1\}^K} \int_0^{T_b} [r(t) - S(t)]^2 dt \tag{13}$$

dimana energi minimum sama dengan energi fungsi dari jaringan saraf tiruan transient chaos (TCNN), sehingga persamaan (13) akan dapat diselesaikan dengan menggunakan algoritma TCNN. Model sistem penerima multiuser DS-CDMA dengan jaringan saraf tiruan transient chaos (TCNN) dengan jumlah user K, dapat ditunjukkan pada Gambar 3,



Gambar 3. Sistem Penerima DS-CDMA dengan TCNN

Fungsi energi dari sistem penerima multiuser DS-CDMA (energi fungsi permasalahan) yang ditunjukkan persamaan (13) diturunkan sehingga menjadi dalam bentuk matriks,

$$\hat{\mathbf{b}} = \arg \min_{\mathbf{b} \in \{-1, +1\}^K} \left(\frac{1}{2} \mathbf{b}^T \mathbf{R} \mathbf{b} - \mathbf{b} \mathbf{y}^T \right) \tag{14}$$

Tahapan selanjutnya adalah memetakan energi fungsi system penerima DS-CDMA dengan energi fungsi dari jaringan saraf tiruan Transient Chaos (TCNN). Blok diagram TCNN yang ditunjukkan pada Gambar 3 tersebut berisi algoritma TCNN, yang di jabarkan dengan persamaan (15-17) berikut, dimana jumlah user, $K = n$

$$\Phi(n) = \text{tanh}(n / \epsilon)$$

$$x_i(t) = \Phi(u_i(t)) \tag{15}$$

$$u_i(t+1) = \rho u_i(t) + \alpha \left(\sum_{j=1, j \neq i}^n w_{ij} x_j(t) + I_i \right) - z_i(t) x_i(t) \tag{16}$$

$$z_i(t+1) = \beta z_i(t) \tag{17}$$

$(i = 1, \dots, n)$

dimana, x_i adalah keluaran dari neuron ke- i , u_i state internal dari neuron ke- i , w_{ij} bobot koneksi dari neuron j ke neuron i , α parameter skala yang nilainya positif, ρ faktor damping neuron membrane dengan nilai $0 \leq \rho \leq 1$, ϵ merupakan parameter kecuraman dari fungsi aktivasi neuron ($\epsilon > 0$), $w_{ii} = 0$, $w_{ij} = w_{ji}$, $z_i(t)$ bobot koneksi *self-feedback*, β faktor damping dari $z_i(t)$ dengan nilai $0 \leq \beta \leq 1$ dan (Chen dan Aihara, 1997) (Wen dan Shixin, 1998) (Tan, 1999)(Wang dan Smith, 1986).

$$\sum_{j=1, j \neq i}^n w_{ij} x_j + I_i = - \frac{\partial E}{\partial x_i} \tag{18}$$

dengan E energi fungsi dan n jumlah neuron, berdasarkan persamaan (18) dapat diturunkan menjadi,

$$E = -\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} x_i x_j - \sum_{i=1}^n I_i x_i \quad (19)$$

jika persamaan (19) tersebut diubah kedalam bentuk matriks maka,

$$E(\mathbf{x}) = -\frac{1}{2} \mathbf{x}^T \mathbf{W} \mathbf{x} - \mathbf{x}^T \mathbf{I} \quad (20)$$

dimana $\mathbf{x} = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T$, \mathbf{W} , matriks bobot dengan ukuran $n \times n$, dengan n jumlah neuron, Dari kedua persamaan (14) dan (20) tersebut dapat dipetakan, sehingga dapat diketahui hubungan variabel-variabel dari kedua persamaan tersebut. Dari hasil pemetaan dapat diperoleh hubungan, $\hat{\mathbf{b}} = E(\mathbf{v})$, $\mathbf{b} = \mathbf{x}$, $\mathbf{R} = -\mathbf{w}$, $\mathbf{y} = \mathbf{I}$.

Tahapan terakhir adalah mengimplementasikan sistem komunikasi DS-CDMA dengan penerima konvensional dan dengan penerima yang telah terintegrasi TCNN ke dalam suatu program komputer dengan menggunakan MATLAB. Untuk selanjutnya dilakukan percobaan terhadap sistem yang telah diimplementasikan ke program tersebut. Percobaan dilakukan dengan mengirimkan 1000 bit untuk setiap kondisi, kemudian dihitung nilai BER-nya, percobaan tersebut dilakukan sebanyak 10 kali, untuk kemudian diambil nilai BER rata-ratanya sebagai tolak ukur kinerja sistem DS-CDMA.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

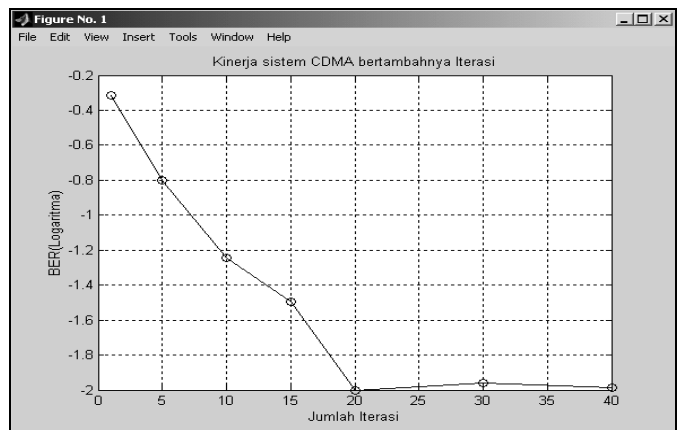
Spesifikasi simulasi untuk sistem komunikasi DS-CDMA konvensional dan sistem komunikasi DS-CDMA yang telah terintegrasi dengan TCNN adalah jumlah user dua ($K = 2$), panjang kode yang digunakan untuk masing-masing user tiga ($N = 3$). Kanal sistem berada dalam lingkungan AWGN, jika delay propagasi user ke- k adalah $\tau_k = 0$ (Sistem *Synchronous* DS-CDMA).

Dalam sistem komunikasi seluler, nilai BER dikelompokkan ke dalam 8 range, mulai dari kinerja terburuk sampai terbaik. Kinerja terbaik berada pada kategori 0, dengan $BER < 0.2\%$ dan terendah pada kategori 7 dengan $BER > 12.8\%$ (Setiadi, 2002).

TABEL 1
RANGE KINERJA SISTEM KOMUNIKASI SELULER.

Kinerja Sistem	BER
0	$BER < 0.2\%$
1	$0.2\% < BER < 0.4\%$
2	$0.4\% < BER < 0.8\%$
3	$0.8\% < BER < 1.6\%$
4	$1.6\% < BER < 3.2\%$
5	$3.2\% < BER < 6.4\%$
6	$6.4\% < BER < 12.8\%$
7	$BER > 12.8\%$

Simulasi pertama, adalah simulasi pengaruh jumlah iterasi pada algoritma TCNN terhadap kinerja sistem DS-CDMA. Dengan menggunakan parameter perbandingan energi bit user-1, E_1 , dengan rapat spektral daya noise, N_o adalah $E_1 / N_o = 6dB$. Untuk perbandingan energi bit user-2 dengan user-1, $E_2 / E_1 = 6dB$. Nilai $E_2 / E_1 = 6dB$, mengandung pengertian bahwa user-1 mendapat interferensi *Near-to-Far* sebesar 6 dB (user-1 letaknya lebih jauh dari RBS dibandingkan user-2). Parameter algoritma TCNN $\alpha = 1.15$, $\beta = 0.987$, $\rho = 0.8$, $\varepsilon = 0.3125$. Berdasarkan hasil simulasi yang ditunjukkan pada Gambar 5, kinerja sistem akan membaik dengan meningkatnya jumlah iterasi TCNN. Pada kondisi jumlah iterasi mencapai 20, algoritma TCNN mulai mencapai konvergensi. Jadi pada saat jumlah iterasi dinaikkan, maka kinerja sistem DS-CDMA cenderung konstan, berdasarkan Tabel 1, kinerja sistem termasuk dalam kategori 3 ($BER = 1\%$).



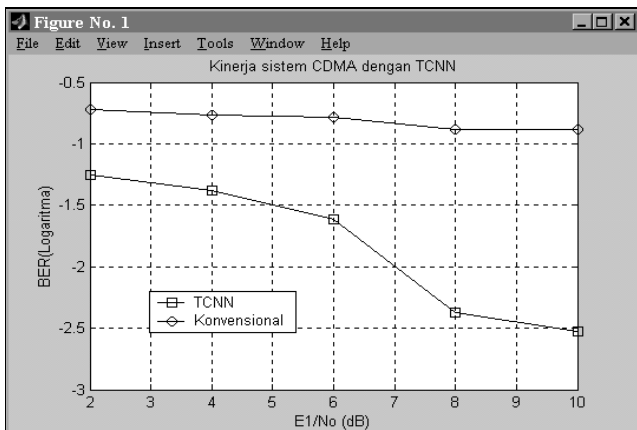
Gambar 4. Pengaruh Jumlah Iterasi Terhadap Kinerja Sistem DS-CDMA

Simulasi kedua, adalah simulasi untuk melihat kinerja sistem penerima DS-CDMA konvensional atau *Matched Filter* (MF) dan TCNN karena pengaruh AWGN. Parameter yang digunakan $E_2 / E_1 = 6dB$, sedangkan parameter algoritma TCNN $\alpha = 1.15$, $\beta = 0.987$, $\rho = 0.8$, $\varepsilon = 0.3125$, iterasi = 20.

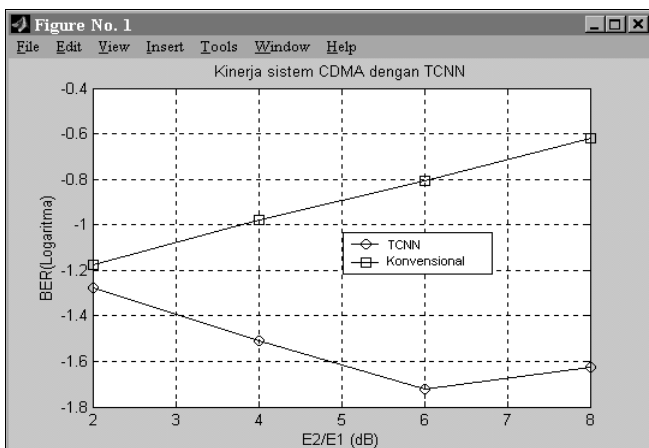
Simulasi kinerja sistem DS-CDMA dengan model penerima TCNN dan konvensional, jika interferensi *Near-to-Far* meningkat. Parameter AWGN $E_1 / N_o = 6dB$, sedangkan parameter TCNN $\alpha = 1.15$, $\beta = 0.987$, $\rho = 0.8$, $\varepsilon = 0.3125$, iterasi = 20.

Faktor perbaikan kinerja sistem DS-CDMA dengan TCNN dapat dihitung berdasarkan grafik pada Gambar 5 maupun Gambar 6 dengan menggunakan persamaan berikut

$$\%f_p = \frac{|BER_1 - BER_2|}{BER_1} \times 100\% \quad (21)$$



Gambar 5. Kinerja Sistem Konvensional dan TCNN Karena Noise



Gambar 6. Pengaruh Near-to-far Terhadap Kinerja Sistem DS-CDMA

dimana f_p adalah faktor perbaikan yang dapat dilakukan, BER_1 adalah BER (nilai linier) sistem pada dengan penerima konvensional, sedangkan BER_2 adalah BER (nilai linier) sistem penerima dengan TCNN.

Simulasi terakhir, adalah simulasi untuk melihat delay yang terjadi akibat pengaruh terintegrasinya TCNN ke dalam sistem DS-CDMA, dengan melihat delay yang terjadi, TCNN membutuhkan waktu proses yang lebih lama dibandingkan dengan sistem penerima konvensional. Parameter yang digunakan adalah $E_1 / N_o = 6dB$, $E_2 / E_1 = 6dB$, $\alpha = 1.15$, $\beta = 0.987$, $\rho = 0.8$, $\varepsilon = 0.3125$, iterasi = 20.

Berdasarkan Tabel 2, dengan terintegrasinya algoritma TCNN ke dalam sistem penerima multiuser DS-CDMA membutuhkan tambahan waktu proses rata-rata untuk setiap iterasi algoritma TCNN sebesar 0.4845 detik.

TABEL 2
PERBANDINGAN WAKTU PROSES SISTEM DS-CDMA KONVENSIONAL DENGAN TCNN

Sampel	1	2	3	4	5	Rata
Konvensional	561.18	560.45	567.44	562.93	559.74	562.35
TCNN	562.22	572.21	585.23	578.31	562.22	572.04

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi, integrasi jaringan saraf tiruan *Transient Chaos* (TCNN) ke dalam sistem penerima multiuser DS-CDMA memberikan kinerja sistem dengan perbaikan 85.092 % pada kondisi $E_1 / N_o = 6dB$ dan interferensi *Near-to-Far*, $E_2 / E_1 = 6dB$ dibandingkan dengan sistem penerima konvensional (*Matched Filter*). Jadi integrasi TCNN ke dalam sistem komunikasi *Direct Sequence Code Division Multiple Access* (DS-CDMA) mampu menekan tingkat BER akibat permasalahan *Multiple-Access Interference* (MAI) dan *Near-to-Far*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1.] Caffery, James, 2002, "Multiuser Communication Theory", University of Cincinnati, Dept. of ECECS, Cincinnati, OH 45221-0030.
- [2.] Chen, L. and K. Aihara, 1997, "Chaotic Simulated Annealing by a Neural Network Model with Transient Chaos", *IEEE Trans On Neural Networks*, Vol. 8, No. 6, pp. 915-930.
- [3.] Cooper, George R. and Clare D. McGillem, 1986, "Modern Communications and Spread Spectrum". McGraw-Hill Inc. Singapore.
- [4.] Ibikunle, Frank and Zhong Yixin, 1999, "Neural Network Implementation of the Optimum CDMA Multi-user Detector". *The Journal of China Universities of Posts and Telecommunications* Vol. 6, No.1.
- [5.] Kechriotis, George I. and E.S. Manolako "Hopfield Neural Network Implementation of the Optimal CDMA Multiuser Detector", *IEEE Trans. Neural Networks*, Vol. 7, No. 1, pp. 131 - 141.
- [6.] Meng, Teresa, 2000, "Multiuser Detection for CDMA Systems", <http://dualist.stanford.edu/~ee487/projects/>.
- [7.] Miyajima, Teruyuki, 1996, "An Adaptive Multiuser Receiver Using a Hopfield Network". *IEICE Trans. On Fundamental*, Vol. E79-A, No.5, pp.652-654.
- [8.] Miyajima, Terayuki and Takaaki Hasegawa, 1996, "Multiuser Detection Using a Hopfield Network for Asynchrone Code-Division Multiple-Access Systems". *IEICE Trans. On Fundamental*, Vol.E79-A, no.12,pp.1963-1971.
- [9.] Peterson, Roger L., Ziemer, Rodger E., and David E. Borth, 1995, "Introduction to Spread Spectrum Communications". Prentice Hall Inc. New Jersey.
- [10.] Poor, Vince, 2000, "MULTIUSER DETECTION : Signal Processing for Multiple-Access Channels", ISIT2000.
- [11.] Setiadi, Disi, 2002, "Mengintip Kinerja Jaringan GSM". *NeoTek*, Oktober 2002.
- [12.] Soujeri, Ebrahim and Hüseyin Bilgekul, 2000, "Hopfield Neural Network Detection of Coded Multicarrier CDMA Signals". Department of Electrical & Electronics Engineering Eastern Mediterranean University, Famagusta, Mersin-10, Turkey.
- [13.] Tanaka, Toshiyuki, 2000, "Analysis of Bit Error Probability of Direct-Sequence CDMA Multiuser Demodulators". Department of Electronics and Information Engineering Tokyo Metropolitan University Hachioji, Tokyo 192-0397, Japan.

- [14.] Tanaka, Toshiyuki, 2001, "*Performance Analysis of Neural CDMA Multiuser Detector*". Tokyo Metropolitan University Graduate School of Engineering 1-1 Minami-Osawa, Hachioji-shi, Tokyo, 192-0397, Japan.
- [15.] Tan, Ying, 1999, "*Neural Computation Approach for the Maximum-Likelihood Sequence Estimation of Communications Signal*", Department of Electronic Engineering and Information Science, University of Science and Technology of China.
- [16.] Verdu, Sergio and Ruxandra Lupas, 1989, "Linear Multiuser Detectors for Synchronous Code-Division Multiple-Access Channels", *IEEE Trans. On Information Theory*, Vol. 35, No. 1.
- [17.] Viterbi, Andrew J., 1999, "*The History of Multiple Access and the Future of Multiple Services through Wireless Communication*", QUALCOMM Incorporated.
- [18.] Wang, Lipo and Kate Smith, 1998, "On Chaotic Simulated Annealing", *IEEE Trans. On Neural Networks*, Vol. 9, No. 4.
- [19.] Wen, Zhong and Cheng Shixin, 1998, "*Multi-user Detection in DS/CDMA Systems Based on Modified Transiently Chaotic Neural Network*", National Communication Research Laboratory Department of Radio Engineering, Southeast University Nanjing 210096, P. R. China.
- [20.] Wong, Tan F. and Rahuldeva Ghosh, 2000, "*Neural Networks for Multi-user Detection in Code-Division Multiple-Access Communications*". Project Report, Spread Spectrum And CDMA. Florida of University.