

Analisa Kinerja Sistem MIMO pada Kanal Multipath Fading dengan Beamforming

Yuyun Siti Rohmah¹, Budi Prasetya², Koredianto Usman³

1,2,3 Teknik Telekomunikasi – Fakultas Elektro dan Komunikasi – Institut Teknologi Telkom

Jl. Telekomunikasi, Dayeuh Kolot Bandung 40257 Indonesia

neng_yu2n@yahoo.com, bpy@ittelkom.ac.id; kru@ittelkom.ac.id

Abstract— Pada sistem komunikasi *wireless*, sinyal transmisi akan mengalami kerusakan akibat adanya *multipath fading*, sehingga akan menurunkan performansi sistem. Hal tersebut dapat dicapai dengan menggunakan multi antena dikedua sisi *transmitter* dan *receiver*. Teknik ini dikenal sebagai MIMO (*Multi Input Multi Output*).

Salah satu skema MIMO adalah *Space Time Block Coding* (STBC) yang bertujuan untuk memaksimalkan reabilitas link komunikasi *wireless* melalui kanal fading dengan menggunakan metode *diversity antenna transmitter*. Meskipun sistem MIMO dapat meningkatkan kinerja sistem komunikasi dengan memaksimalkan SNR, tetapi interferer belum tentu bisa ditekan. Oleh karena itu, *beamforming* digunakan untuk memusatkan kemampuan array menangkap sinyal yang diinginkan sekaligus menekan sinyal yang datang dari arah lain (interferensi). Pada penelitian ini akan meneliti perbaikan kinerja dari penggabungan sistem MIMO menggunakan teknik *Space Time Block Coding* dan *beamforming*.

Dari hasil simulasi, sistem MIMO tanpa *beamforming* dan MIMO dengan *beamforming* mempunyai performansi yang sama untuk kondisi *single user*. Namun jika terdapat sinyal interferer, sistem MIMO dengan *beamforming* memberikan performansi yang lebih baik daripada sistem MIMO tanpa *beamforming*.

Index Terms— MIMO, STBC, Beamforming, Multipath fading.

I. PENDAHULUAN

PADA beberapa tahun yang akan datang, *Wireless systems* di Indonesia diperkirakan akan membutuhkan sarana komunikasi yang lebih kompleks dari sekarang. Dimana kebutuhan *bandwidth* lebih bervariasi, mulai dari yang sempit (misal untuk komunikasi suara) sampai yang sangat lebar (misal untuk pengiriman gambar/video), dengan kebutuhan kualitas sinyal yang bervariasi pula dan didukung oleh infrastruktur dengan standar dan spesifikasi yang beragam. Untuk memenuhi kebutuhan pelanggan tersebut, dikembangkan/diteliti teknologi yang mendukung.

Salah satu masalah dalam komunikasi *wireless* adalah adanya fenomena *multipath fading*. Efek *multipath* disebabkan oleh lingkungan kanal propagasi. Sinyal yang diterima oleh penerima merupakan penjumlahan dari sinyal langsung dan sejumlah sinyal terpantul dari berbagai objek. *Multipath* didefinisikan sebagai lintasan jamak dari sinyal

informasi yang dikirimkan karena perbedaan jarak tempuh masing-masing sinyal yang dikirimkan sehingga dapat menyebabkan perbedaan fasa antara sinyal langsung dan sinyal tidak langsung. Sedangkan *fading* adalah fluktuasi level daya terima akibat perubahan kondisi kanal. Metoda diversitas berperan penting dalam komunikasi *wireless* karena dapat mengurangi efek *multipath fading*. Metoda diversitas yang akan dibahas dalam Penelitian ini adalah *space time diversity*.

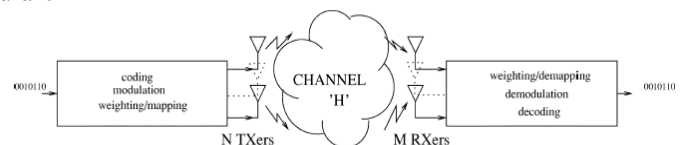
Selain masalah *multipath fading* diatas, pada sistem komunikasi *wireless* sering kali sinyal dari *user* yang diinginkan dan penginterferensi menduduki band frekuensi yang sama tetapi keduanya datang dari arah yang berbeda sehingga mempunyai *Angles-of-Arrival* (AOA) yang berbeda. Hal ini dapat diatasi dengan teknik *beamforming*. *Beamforming* adalah suatu teknik yang digunakan untuk *steer* antena dalam menentukan arah dari sumber sinyal yang diinginkan sekaligus menekan sinyal interferensi yang datang dari arah lain. Dalam teknik *beamforming*, algoritma adaptif digunakan untuk menentukan nilai pembobotan pada setiap elemen antena. Pembobot tersebut nantinya digunakan untuk *steer beam* menuju *user* yang diinginkan dan *steer null* kearah yang interferensi, sehingga *beamforming* dapat disebut juga sebagai *spatial filtering* sinyal.

Pada penelitian ini akan dianalisis dan disimulasikan performansi kinerja dari skema *Space Time Coding* pada sistem MIMO pada kanal *flat fading* dan *frequency selective fading* yang berdistribusi *Rayleigh*. Sedangkan untuk menekan *interferer* digunakan teknik *beamforming*. Dimana konfigurasi sistem MIMO yang akan diteliti adalah maksimal sampai 2 antena pengirim dan 2 antena penerima.

II. DASAR TEORI

2.1 Sistem MIMO

MIMO merupakan suatu teknik diversitas pada antena pemancar dan penerima saja, dimana tujuannya adalah untuk meningkatkan efisiensi spektrum dan perbaikan kualitas saluran.



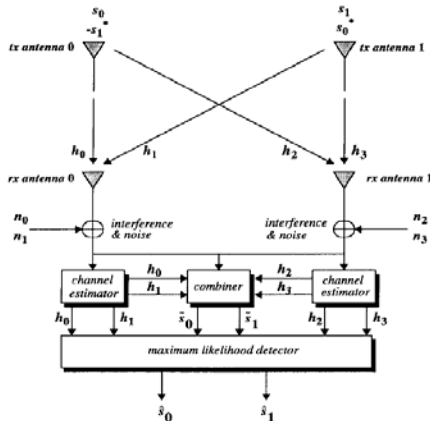
Gambar 2.1 digram blok MIMO secara umum

2.2 Orthogonal Space Time Block Code

Skema transmisi *orthogonal space time block code* merupakan skema transmisi yang diperkenalkan oleh *Alamouti*, seperti yang terlihat pada gambar 2.2 berikut ini:

$$\begin{matrix}
 & T_{x0} & T_{x1} \\
 t & \begin{bmatrix} S_0 & S_1 \end{bmatrix} \\
 t+1 & \begin{bmatrix} -S_1^* & S_0^* \end{bmatrix}
 \end{matrix}$$

Gambar 2.2 Skema Matriks Transmisi Orthogonal Space Time Block Code [15]



Gambar 2.3 Skema Transmisi Dengan 2 Antena Tx & 2 Antena Rx [15]

Pada saat t , T_{x0} memancarkan sinyal S_0 dan T_{x1} memancarkan sinyal S_1 , kemudian saat $t+T$, T_{x0} memancarkan sinyal $-S_1^*$ dan T_{x1} memancarkan sinyal S_0^* . Tanda * merupakan operasi konjugat dari persamaan sinyal yang dimaksud.

Tabel 2.1 : Notasi Sinyal Terima Pada Skema 2x2 [15]

	rx antenna 0	rx antenna 1
time t	r_0	r_2
time $t+T$	r_1	r_3

Berdasarkan gambar 2.3 dan tabel 2.1, persamaan seluruh sinyal terima adalah:

$$\begin{aligned}
 r_0 &= h_0 s_0 + h_1 s_1 + n_0 \\
 r_1 &= -h_0 s_1^* + h_1 s_0^* + n_1 \\
 r_2 &= h_2 s_0 + h_3 s_1 + n_2 \\
 r_3 &= -h_2 s_1^* + h_3 s_0^* + n_3
 \end{aligned} \quad (2.1)$$

n_0, n_1, n_2 dan n_3 adalah variabel acak kompleks yang mewakili interferensi dan noise termal.

Blok *combiner* pada gambar 2.15 membuat dua sinyal berikut yang akan dikirimkan ke detektor *maximum likelihood* :

$$\begin{aligned}
 \tilde{s}_0 &= h_0^* r_0 + h_1 r_1^* + h_2^* r_2 + h_3 r_3^* \\
 \tilde{s}_1 &= h_1^* r_0 - h_0 r_1^* + h_3^* r_2 - h_2 r_3^*
 \end{aligned} \quad (2.2)$$

2.3 Estimasi Kanal dengan Orthogonalitas STBC

Pada antena Rx-0, sinyal-sinyal terima r_0 dan r_1 berdasarkan persamaan 2.1 dapat dijadikan persamaan matriks berikut :

$$\begin{bmatrix} r_0 \\ r_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_0 & s_1 \\ -s_1^* & s_0^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_0 \\ h_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_0 \\ n_1 \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

Demikian juga pada antena Rx-1, sinyal-sinyal terimanya dijadikan persamaan matriks berikut :

$$\begin{bmatrix} r_2 \\ r_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_0 & s_1 \\ -s_1^* & s_0^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_2 \\ h_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_2 \\ n_3 \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

Dari persamaan 2.3 dan 2.4 kita dapat mengetahui h_0, h_1, h_2 dan h_3 , dengan melakukan proses invers matriks pada persamaan tersebut. Sehingga diperoleh persamaan hasil estimasi kanal dari antena Rx-0 dan Rx-1 berikut [24]:

$$\begin{bmatrix} \tilde{h}_0 \\ \tilde{h}_1 \end{bmatrix} = \frac{1}{|s_0|^2 + |s_1|^2} \begin{bmatrix} s_0 & s_1 \\ -s_1^* & s_0^* \end{bmatrix}^H \left[\begin{bmatrix} r_0 \\ r_1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} n_0 \\ n_1 \end{bmatrix} \right] \quad (2.5)$$

$$\begin{bmatrix} \tilde{h}_2 \\ \tilde{h}_3 \end{bmatrix} = \frac{1}{|s_0|^2 + |s_1|^2} \begin{bmatrix} s_0 & s_1 \\ -s_1^* & s_0^* \end{bmatrix}^H \left[\begin{bmatrix} r_2 \\ r_3 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} n_2 \\ n_3 \end{bmatrix} \right] \quad (2.6)$$

2.4 Pemodelan kanal

2.4.1 Fading

Pada sistem komunikasi *wireless*, kondisi lingkungan kanal propagasi bersifat *time variant* karena pergerakan relatif penerima terhadap pemancar yang menghasilkan perubahan lintasan propagasi. Perambatan sinyal antara pemancar dan penerima melalui berbagai lintasan yang berbeda (*multipath*), sehingga sinyal yang diterima di penerima merupakan penjumlahan dari sinyal-sinyal tidak langsung. Lintasan yang berbeda-beda tersebut mengakibatkan kuat sinyal penerimaan menjadi bervariasi.

2.4.2 Model Rayleigh fading

Distribusi Rayleigh mempunyai fungsi kerapatan probabilitas (*probability density function* - pdf) diberikan oleh [3] :

$$p(r) = \begin{cases} \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right) & (0 \leq r < \infty) \\ 0 & (r < 0) \end{cases} \quad (2-7)$$

dimana σ adalah nilai rms dari level sinyal yang diterima sebelum detektor, dan σ^2 adalah daya waktu rata-rata dari sinyal yang diterima sebelum detektor.

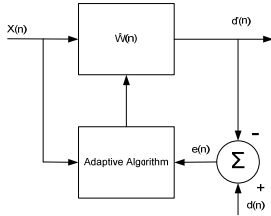
2.5 Konsep Dasar Beamforming

Beamforming adalah proses pembentukan beam menuju ke arah user yang diinginkan serta menekan sinyal dari arah lain. Dengan demikian, beamforming bisa dikatakan sebagai spatial filtering sinyal.

Pembentukan beam ke arah sinyal yang diinginkan bisa dilakukan dengan memberikan pembobotan secara adaptif pada elemen antenna di sistem penerima maupun pemancar.

Algoritma Adaptif

Algoritma adaptif menentukan pembobotan secara iteratif. Salah satu algoritma adaptif yang digunakan yaitu LMS (Least Mean Square).



Gambar 2.4 Blok diagram adaptif filter

Vektor pembobotan ditentukan secara rekursif dengan persamaan sebagai berikut :

$$w(n+1) = w(n) + \mu x(n) * e(n) \quad (2.7)$$

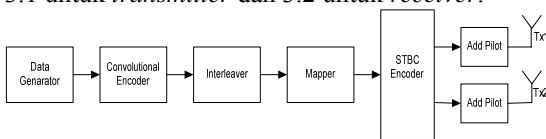
Dengan $e(n) = d(n) - w_n^T x(n) \quad (2.8)$

Pada persamaan diatas, μ adalah step-size yang menentukan konvergensi dari algoritma adaptif. Syarat algoritma LMS adalah diketahuinya sinyal transmit. Hal ini dipenuhi dengan mengirimkan beberapa sinyal pilot atau sinyal training secara periodik yang umumnya diketahui di sistem penerima.

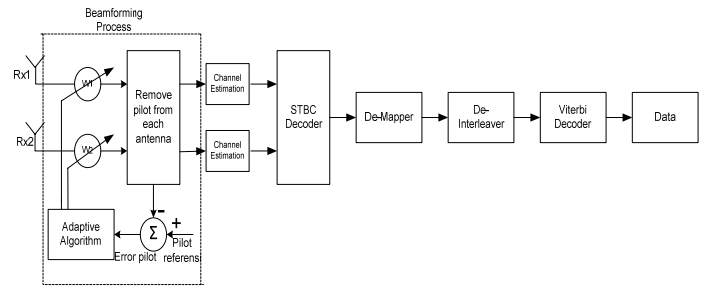
III. PEMODELAN SISTEM

3.1. Blok Diagram Transmitter dan Receiver pada Sistem MIMO (Multi Input Multi Output)

Pada Penelitian ini, sistem MIMO yang dirancang dimodelkan oleh blok diagram yang ditunjukkan pada gambar 3.1 untuk transmitter dan 3.2 untuk receiver.



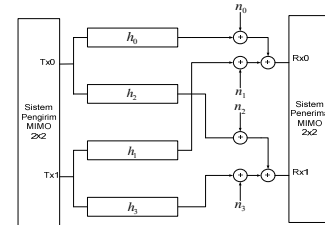
Gambar 3.1 Blok Diagram Transmitter Sistem MIMO



Gambar 3.2 Blok Diagram Receiver Sistem MIMO dengan Beamforming

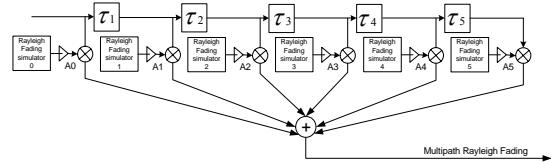
3.2 Pemodelan Kanal

3.2.1 Pemodelan Kanal MIMO 2x2 Secara Umum



Gambar 3.3 Pemodelan Kanal Untuk Sistem MIMO 2x2

3.2.2 Pemodelan Kanal Multipath Fading



Gambar 3.4 Pemodelan Kanal Multipath Fading

3.3 Perencanaan Parameter Simulasi

3.3.1 Parameter kanal dan Sinyal Baseband

Tabel 3.1 Parameter Simulasi kanal dan sinyal baseband

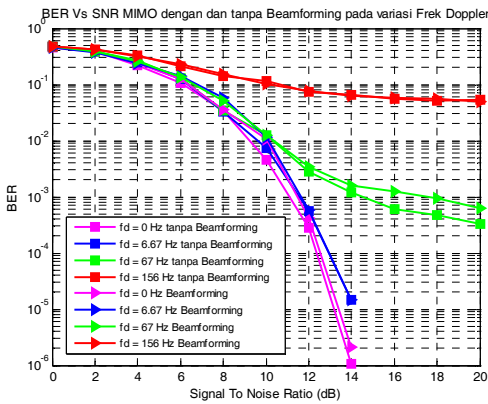
Channel Parameter	
Frekuensi Carrier	2.4 GHz
Wavelength (m)	0.125
Number of Paths	6 (IMT 2000 Vehicular A channel model)
Path Delays (μ s)	[0 0.31 0.71 1.091 1.73 2.51]
Path gains (dB)	[0 -1 -9 -10 -15 -20]
Maximum Doppler Spread (Hz)	0, 6.67, 22.22, 67, 156
User Velocity (km/h)	0, 3, 10, 30, 70
Coherence Bandwidth (MHz)	0.541
Coherence Time (ms)	0.1499, 0.045, 0.0149, 0.00641
Baseband Parameter	
Bit Rate (Mbps)	2
Trellis Encoder Polynomial Generator (octal)	$g_0=171, g_1=133$
Number of Register	6
Code Rate	1/2
Interleaver	Block Interleaver, 8x12
Mapper	QPSK

3.3.2 Parameter Beamforming

1. Sistem terdiri dari dua array antenna dengan jarak pisah 0.5λ
2. Dalam sistem yang dibuat, diasumsikan tidak ada interferensi antar array antenna
3. Jarak antara antenna transmitter dan receiver cukup jauh (transmitter dianggap sebagai sumber titik) sehingga sudut kedatangan pada sub-array antenna receiver pertama dianggap sama dengan sudut kedatangan untuk sub-array antenna receiver kedua
4. Pergerakan user yang terjadi tidak merubah sudut datang sinyal terhadap arah pergerakan antenna (user bergerak mendekati dan menjauhi antenna)

IV. ANALISA HASIL SIMULASI

4.1. Perbandingan Kinerja sistem MIMO dengan dan tanpa Beamforming pada kanal Rayleigh dengan kecepatan pergerakan user yang berbeda

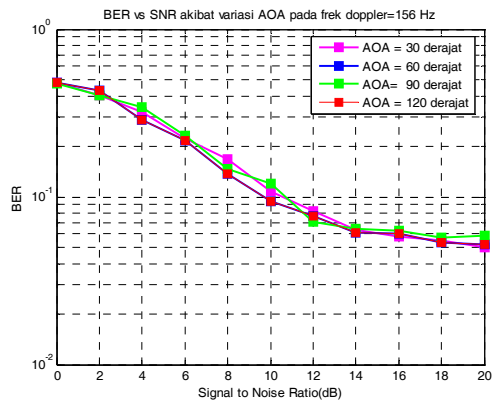


Gambar 4.1 Perbandingan Performansi Sistem MIMO dengan dan tanpa Beamforming pada Frek doppler yang berbeda

Dari gambar 4.1 diatas dapat dilihat bahwa jika sistem MIMO tanpa algoritma adaptif *beamforming* dibandingkan dengan sistem MIMO yang menggunakan algoritma adaptif *beamforming*, performansi kedua sistem tidak memperlihatkan perbedaan yang signifikan. Hal ini karena sistem dikondisikan untuk *single user*.

4.2. Perbandingan Kinerja Sistem MIMO dengan Beamforming pada Sudut Kedatangan (Angle Of Arrival) yang berbeda

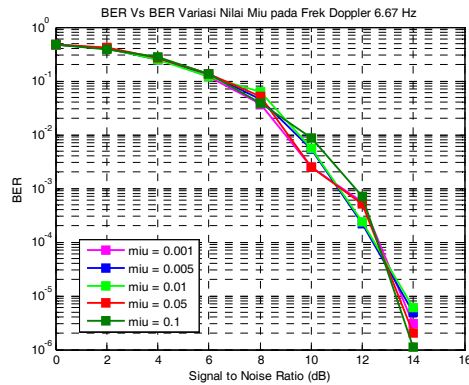
Pada Frekuensi Doppler Maksimum = 156 Hz



Gambar 4.2 Performansi Sistem MIMO Beamforming pada Frek Doppler 156 Hz dengan AOA yang berbeda

Dari ketiga gambar diatas dapat dilihat bahwa performansi sistem untuk masing-masing nilai frek doppler maksimum pada *angle of arrival* (AOA) yang berbeda tidak mengurangi kinerja sistem. Hal ini dikarenakan pada simulasi ini hanya dikondisikan untuk *single user*. Selain itu, pada sistem MIMO dengan *beamforming* terdapat *steering factor* yang akan *steer beam* antenna ke arah datangnya sinyal dan memberikan pembobotan terhadap sinyal yang datang sesuai yang dihasilkan oleh algoritma adaptif *beamforming* yang digunakan.

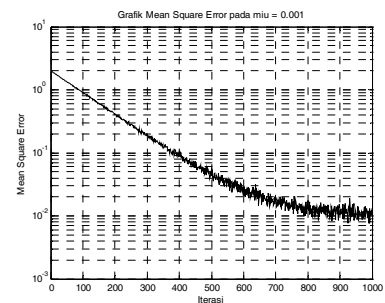
4.3 Perbandingan Kinerja Sistem MIMO dengan Algoritma Adaptif Beamforming pada faktor μ yang berbeda (frek doppler = 6.67 Hz)



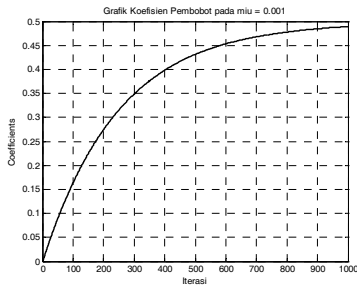
Gambar 4.3 Performansi Sistem MIMO Beamforming pada frek doppler 6.67 Hz dengan Nilai μ yang berbeda

4.4 Pengaruh terhadap Kecepatan Konvergensi pada frek doppler = 0 Hz

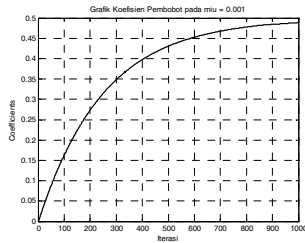
$\mu = 0.001$



Gambar 4.4(a) Grafik Minimum Mean Square Error pada $\mu = 0.001$ untuk SNR 20 dB

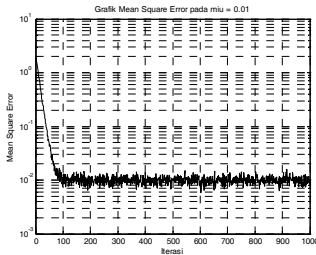


Gambar 4.4(b) Grafik Koefisien Pembobot antenna ke-1 pada $\mu = 0.001$ untuk SNR 20 dB

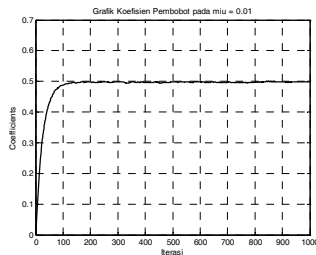


Gambar 4.4(c) Grafik Koefisien Pembobot antenna ke-2 pada $\mu = 0.001$ untuk SNR 20 dB

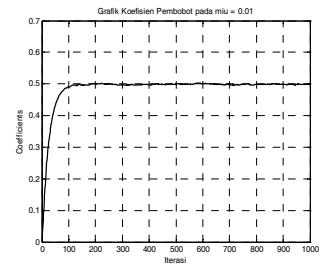
➤ $\mu = 0.01$



Gambar 4.4(d) Grafik Minimum Mean Square Error pada $\mu = 0.01$ untuk SNR 20 dB

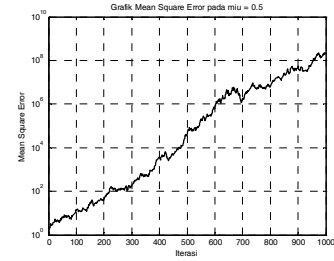


Gambar 4.4(e) Grafik Koefisien Pembobot antenna ke-1 pada $\mu = 0.01$ untuk SNR 20 dB

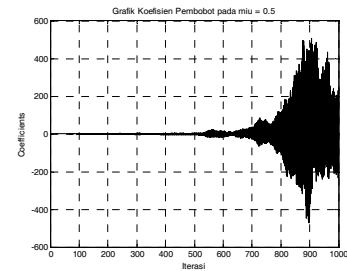


Gambar 4.4(f) Grafik Koefisien Pembobot antenna ke-2 pada $\mu = 0.01$ untuk SNR 20 dB

➤ $\mu = 0.5$



Gambar 4.4(g) Grafik Minimum Mean Square Error pada $\mu = 0.5$ untuk SNR 20 dB



Dari percobaan- percobaan di atas, dapat dilihat bahwa semakin besar nilai μ (*stepsize*) maka akan meningkatkan kecepatan konvergensi sistem untuk mendapatkan pembobotan optimum yang menghasilkan *mean square error* yang minimum. Akan tetapi, menyebabkan ripple pada grafik sinyal semakin banyak. Sebaliknya, semakin kecil nilai μ akan menyebabkan semakin lambat sistem mencapai konvergensi, tetapi grafik dari sinyal yang dihasilkan akan mulus sehingga mudah dalam menentukan nilai *mean square error*. Terdapat batasan nilai μ yang digunakan supaya konvergensi sistem masih tercapai. Dari hasil percobaan diatas untuk SNR 20 dB konvergensi sistem tidak tercapai pada $\mu = 0.5$.

V. KESIMPULAN

1. Sistem MIMO tanpa *beamforming* dan MIMO dengan *beamforming* untuk kondisi *single user* memberikan performansi sistem yang sama untuk setiap variasi frekuensi doppler maksimum. Namun, jika terdapat sinyal penginterferensi performansi sistem MIMO dengan *beamforming* lebih baik daripada sistem MIMO tanpa *beamforming*.
2. Pada sistem MIMO dengan *beamforming* untuk *single user*, sudut kedatangan AOA (*Angle of Arrival*) user tidak

berpengaruh terhadap performansi sistem. Hal ini dibuktikan dengan dihasilkannya performansi sistem yang sama untuk sudut datang berbeda pada kecepatan pergerakan *user* yang sama.

3. Faktor μ (*step-size*) tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap performansi sistem. Hal ini dikarenakan μ adalah faktor penentu konvergensi sistem algoritma adaptif pada teknik *beamforming*. Semakin besar nilai μ maka sistem akan semakin cepat konvergen, tetapi akan menyebabkan *ripple* semakin banyak sehingga penentuan nilai *mean square error* semakin sulit. Terdapat batas-batas nilai μ yang digunakan agar sistem masih dapat konvergen. Untuk SNR 5 dB, pada $\mu = 0.43$ sistem sudah tidak konvergen, untuk SNR 10 dB sistem sudah tidak konvergen pada $\mu = 0.48$, sedangkan untuk SNR = 20 dB sistem sudah tidak konvergen pada $\mu = 0.5$.

REFERENSI

- [1] Alamouti SM, "A Simple Transmit Diversity Technique for Wireless Communication", IEEE Journal on Selected Areas in Communication, vol 16 No.8, October 1998.
- [2] A.v. Zelst, T.W.Schenk, "Throughput Enhancement for Wireless Communication Systems using the Multiple Antenna Technique MIMO", Wireless.
- [3] David Gesbert, Mansoor Shafi, Da-Shan Shiu, Peter J. Smith, Ayman Naguib, "From Theory to Practice : An Overview of MIMO Space-Time Coded Wireless Systems", Tutorial Paper, IEEE Journal On Selected Areas In Communication Vol. 21, No.3 April 2003, Oslo University, Norway.
- [4] Valenti, M.C, and Baker, D.A, "The Impact of Channel Estimation Errors on Space-Time Block Codes", Wireless Communications Research, Lab West Virginia University, 2004.
- [5] Theodore, S.Rappaport, "Wireless Communication", Prentice Hall, 2002.
- [6] Richard Van Nee, Ramjee Prasad, "OFDM for Wireless Multimedia Communication", Artech House, Boston, London, 2000.
- [7] Venkatasubramanian, Ramasamy, "Beamforming for MC-CDMA", Blacksburg : Virginia Polytechnic Institute and State University. January 2003.
- [8] Fakoukakis, F.E., Diamantis, S.G., cs, "Development of An Adaptive and A Switched Beam Smart Antenna System for Wireless Communications", Greece : Democritus University of Thrace.
- [9] Manickam, Seetha, "Adaptive Beamforming Algorithm for Smart Antenna Systems in a CDMA Mobile Communication Systems", USA : Department of Electrical and Computer Engineering Michigan Technological University.
- [10] "Systems Aspects of Smart Antennas Technology", Helsinki University of Technology Communications Laboratory.
- [11] Paulraj, A.J, Lessbert, D cs, "Smart Antennas for Mobile Communication", John Wiley Publishing.
- [12] Hayes, Manson H, "Statistical Digital Signal Processing and Modeling", wiley.
- [13] Budiman, Gelar, "Konfigurasi MIMO MC-CDMA Pada Fading Rayleigh", Program Pasca Sarjana STT Telkom. 2005.
- [14] Firdaus, Eko, "Analisa Performansi MIMO OFDM pada WLAN", STT Telkom. 2005.