

**ANALISIS PENERAPAN *DIFFERENTIAL SPACE TIME BLOCK CODE (DSTBC)* DENGAN
TEKNIK *MULTIPLE INPUT MULTIPLE OUTPUT (MIMO)* UNTUK PENINGKATAN
PERFORMANSI SISTEM *MULTI CARRIER CODE DIVISION MULTIPLE ACCESS*
(MCCDMA)**

Noor Khairul Anwar¹, Rina Pudji Astuti², Gelar Budiman³

^{1,2,3}

Fakultas Elektro dan Komunikasi IT Telkom, Bandung

¹cahaya88@gmail.com, ²rpa@ittelkom.ac.id, ³glb@ittelkom.ac.id

Abstrak

MCCDMA (*Multi Carrier Code Division Multiple Access*) merupakan perpaduan antara CDMA (*Code Division Multiple Acces*) dan OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*). Sistem MCCDMA memiliki efisiensi spektrum yang tinggi, tahan terhadap kondisi *multipath fading*, dan mendukung layanan data berkecepatan tinggi. Sedangkan MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) merupakan penggunaan *multiple* antena baik di sisi pengirim maupun penerima. Sistem ini dapat meningkatkan unjuk kerja sistem komunikasi *wireless*. Sistem MIMO bisa diintegrasikan dengan MCCDMA dengan menerapkan skema DSTBC (MIMO DSTBC MCCDMA). Dengan adanya pengintegrasian ini dapat dihasilkan suatu sistem komunikasi yang memiliki unjuk kerja yang lebih baik dibanding sistem MCCDMA konvensional.

Pada Tugas Akhir ini dilakukan analisis penerapan *Differential Space Time Block Code (DSTBC)* dengan teknik *Multiple Input Multiple Output (MIMO)* untuk peningkatan performansi sistem *Multi Carrier Code Division Multiple Access (MCCDMA)*. Analisis dilakukan dengan membuat simulasi pada program MATLAB pada kondisi kanal AWGN dan *fading* terdistribusi Rayleigh iid (*independent and identically distributed*). Analisis yang dilakukan adalah mengukur unjuk kerja sistem berdasarkan kinerja kualitas (dengan ukuran semakin rendah BER pada sinyal terima maka semakin baik unjuk kerja kualitasnya).

Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem MIMO DSTBC MCCDMA menghasilkan unjuk kerja yang lebih baik dibanding sistem MCCDMA konvensional pada berbagai kondisi penggunaan *channel coding* dan *interleaver*, jumlah *subcarrier* maupun kecepatan pergerakan *user*. Hasil simulasi untuk pengaruh penggunaan jumlah *subcarrier* didapat bahwa pada penggunaan 32, 64, dan 128 *subcarrier*, sistem MIMO DSTBC MCCDMA menghasilkan perbaikan kinerja berturut-turut $\pm 12,51$ dB, $\pm 13,16$ dB, dan $\pm 15,16$ dB saat BER 10^{-4} . Sedangkan pada simulasi terhadap kecepatan gerak *user* didapat bahwa pada kecepatan gerak *user* 0 Km/Jam, 2,7 Km/Jam, dan 43,2 Km/Jam sistem MIMO DSTBC MCCDMA menghasilkan perbaikan kinerja berturut-turut $\pm 3,77$ dB, $\pm 14,06$ dB dan $\pm 13,82$ dB saat BER 10^{-4} .

Kata kunci = MCCDMA, OFDM, CDMA, MIMO, DSTBC, AWGN, *Rayleigh*.

Abstract

MCCDMA (*Multi Carrier Code Division Multiple Access*) is the combination of CDMA (*Code Division Multiple Access*) and OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*). MCCDMA systems have high spectrum efficiency, resistance to multipath fading conditions, and supports high-speed data services. While MIMO (*Multiple Input Multiple Output*), is the use of multiple antenna in both the transmitter and the receiver side. This system can improve the performance of wireless communication systems. MIMO systems can be integrated with the MCCDMA with apply DSTBC scheme (MIMO DSTBC MCCDMA). Given this integration can produce a communication system that has better performance than the conventional MCCDMA system.

This final assignment is analyzed the application of *Differential Space Time Block Code (DSTBC)* with *Multiple Input Multiple Output (MIMO)* technique to increase *Multi Carrier Code Division Multiple Access (MCCDMA)* system performance. The analysis was done by creating a simulation in MATLAB programs in AWGN channel and fading channel conditions independent and identically Rayleigh distributed. The conducted analysis is measure system performance based on performance quality (with the rule of the lower BER on the received signal, the better the performance quality).

The simulation results show that MIMO DSTBC MCCDMA systems provides better performance compared to MCCDMA conventional systems under various conditions the use of channel coding and interleaving, the number of subcarriers and user movement. The simulation results for the effect of using the number of subcarriers shows that in the use of 32, 64, and 128 subcarriers, MIMO DSTBC MCCDMA systems produce performance improvement in a row of about $\pm 12,51$ dB, $\pm 13,16$ dB, and $\pm 15,16$ dB when the BER 10^{-4} . While in simulation of the effect the user movement at speed of 0 km/hour, 2,7 km/hour, and 43,2 km/hour MIMO DSTBC produce performance improvement in a row of about $\pm 3,77$ dB, $\pm 14,06$ dB and $\pm 13,82$ dB when the BER 10^{-4} .

Keywords = MCCDMA, OFDM, CDMA, MIMO, DSTBC, AWGN, *Rayleigh*.

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan teknologi informasi dan telekomunikasi yang sangat pesat, maka sistem komunikasi *wireless* dituntut untuk menyediakan layanan data yang berkecepatan tinggi (*high data rate*) dengan QOS yang *reliable*. Dengan tersedianya layanan data berkecepatan tinggi tersebut, maka layanan komunikasi yang bersifat *multimedia* bisa dilakukan secara *realtime* dengan *service* yang beragam. Di sisi lain, salah satu permasalahan yang dihadapi oleh sistem komunikasi *wireless* adalah kondisi kanal yang tidak sepenuhnya LOS (*line of sight*) sehingga menyebabkan adanya *multipath fading*, hal ini menyebabkan penurunan unjuk kerja sistem komunikasi *wireless*.

Pada tahun 1993 diadakan penelitian mengenai kombinasi antara sistem CDMA (*Code Division Multiple Acces*) dan OFDM (*Orthogonal Frequency Division multiplexing*) yang disebut dengan *Multi Carrier Code Division Multiple Access* (MCCDMA)^[2]. *Code Division Multiple Access* adalah teknik akses jamak yang didasarkan pada sistem komunikasi spektral tersebar, dimana masing-masing pengguna diberikan suatu kode penebar yang unik dan saling *orthogonal* yang akan membedakan satu pengguna dengan pengguna yang lain. Teknik ini memiliki kemampuan yang baik dalam menjaga kerahasiaan data yang dikirim, dan anti *jamming*. Sedangkan OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) merupakan salah satu teknik modulasi yang dapat diandalkan untuk menyediakan layanan data berkecepatan tinggi dan tahan terhadap kondisi kanal *multipath fading*. Pada OFDM, spektrum antar *subcarrier* dibuat saling *overlap* sehingga memiliki efisiensi spektrum yang tinggi^[2].

Multiple Input Multiple Output (MIMO) merupakan penggunaan *multiple* antenna pada *transmitter* dan *receiver*. Sistem MIMO dapat meningkatkan unjuk kerja sistem komunikasi *wireless*^[1]. Peningkatan unjuk kerja ini diperoleh dari *gain* akibat penggunaan diversitas antenna. Pada kondisi kanal tidak dikenal oleh pengirim, untuk memanfaatkan keuntungan diversitas, maka diperlukan metode *space time coding*.

Differential space time block code merupakan salah satu metode metode *space time coding*. Teknik ini tidak memerlukan estimasi kanal baik pada sisi pengirim maupun penerima, sehingga sesuai untuk diterapkan pada kondisi lingkungan dengan mobilitas tinggi atau kanal *fading* berubah secara cepat, karena pada kondisi tersebut sulit untuk dilakukan proses estimasi secara akurat.

Teknik MIMO bisa diintegrasikan dengan MCCDMA dengan menerapkan skema DSTBC (DSTBC-MCCDMA)^[11]. Pada Tugas Akhir sebelumnya^[3] hanya diteliti tentang perbandingan

skema vertikal *encoder* dan horizontal *encoder* pada MIMO DSTBC, dan Tugas Akhir^[4] hanya diteliti tentang teknik *combining* pada MCCDMA. Sedangkan pada Tugas Akhir ini, dilakukan penelitian tentang penerapan DSTBC dengan teknik MIMO pada sistem MCCDMA (MIMO DSTBC MCCDMA) untuk selanjutnya dianalisis unjuk kerja sistem dengan berbagai macam kondisi seperti penggunaan *subcarrier*, kecepatan gerak *user*, penggunaan *channel coding* dan *interleaving*.

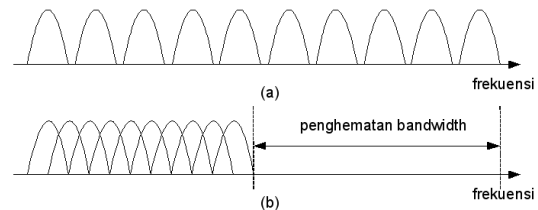
2. Dasar Teori

2.1. Konsep Dasar Sistem Komunikasi MCCDMA

Secara definitif, sistem komunikasi spektral tersebar adalah suatu teknik modulasi dimana pengiriman sinyal menduduki lebar pita frekuensi melebihi spektrum frekuensi minimal yang dibutuhkan untuk menyebarkan suatu informasi.

2.2 OFDM

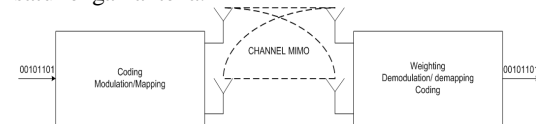
OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) merupakan teknik modulasi *multicarrier*, dimana antar *subcarrier* saling orthogonal satu sama lain. Dengan sifat orthogonalitas ini maka antar *subcarrier* dapat dibuat *overlapping* tanpa menimbulkan efek *intercarrier interference* (ICI).



Gambar 1. Spektrum Multi Carrier (a) Tidak Overlap (b) Overlap Orthogonal^[9]

2.3 MIMO

Sistem MIMO merupakan sistem transmisi (pengirim – penerima) dimana jumlah antenna baik pengirim maupun penerima terdiri dari beberapa elemen antenna (N antenna pengirim dan M antenna penerima). Proses sebelum sinyal dikirim melalui beberapa antenna tersebut antara lain pengkodean, modulasi, mapping, yang dapat dilakukan secara terpisah atau tergabung dalam satu lengan antenna.



Gambar 2. Representasi fisik sistem MIMO^[9]

2.4 Kanal MIMO

Skema transmisi *orthogonal space time block code* merupakan skema transmisi yang diperkenalkan oleh Alamouti, seperti yang terlihat pada gambar 3 berikut ini:

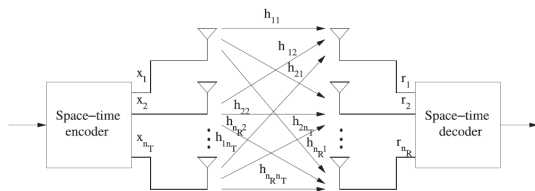
$$\begin{matrix}
 & T_{x1} & T_{x2} \\
 t & \begin{bmatrix} S_1 & S_2 \\ -S_2^* & S_1^* \end{bmatrix} \\
 t+1 & &
 \end{matrix}$$

Gambar 3. Skema Matriks Transmisi *Orthogonal Space Time Block Code* ^[11]

Sedangkan persamaan matriks kanal pada sistem MIMO (N-antenna *transmit* dan M-antenna *receive*) secara umum adalah sebagai berikut :

$$H = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & \dots & h_{1N} \\ h_{21} & h_{22} & \dots & h_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{M1} & h_{M2} & \dots & h_{M,N} \end{bmatrix} \quad (1)$$

dimana $h_{m,n}$ menyatakan respon kanal dari antenna transmit ke-N ke antenna terima ke-M. Pada gambar 2.4 menunjukkan ilustrasi skema MIMO untuk sejumlah n_T antenna pengirim dan n_R antenna penerima.



Gambar 4. Skema Transmisi sistem MIMO ^[11]

Pada saat t , T_{x1} memancarkan sinyal S_1 dan T_{x2} memancarkan sinyal S_2 , kemudian saat $t+T$, T_{x1} memancarkan sinyal $-S_2^*$ dan T_{x2} memancarkan sinyal S_1^* . Tanda * merupakan operasi *conjugate* dari persamaan sinyal yang dimaksud.

Tabel 1. Notasi sinyal terima pada skema 2×2 ^[11]

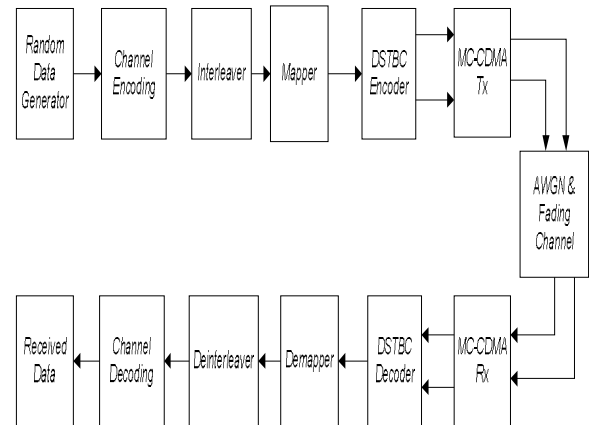
	rx antenna 1	rx antenna 2
Waktu t	r1	r3
Waktu t+T	r2	r4

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

$$\begin{aligned}
 r1 &= h_{11}S_1 + h_{12}S_2 + n_1 \\
 r2 &= -h_{11}S_2^* + h_{12}S_1^* + n_2 \\
 r3 &= h_{21}S_1 + h_{22}S_2 + n_3 \\
 r4 &= -h_{21}S_2^* + h_{22}S_1^* + n_4 \quad (2)
 \end{aligned}$$

$n_1, n_2, n_3,$ dan n_4 adalah variabel acak kompleks yang mewakili interferensi dan *noise thermal*.

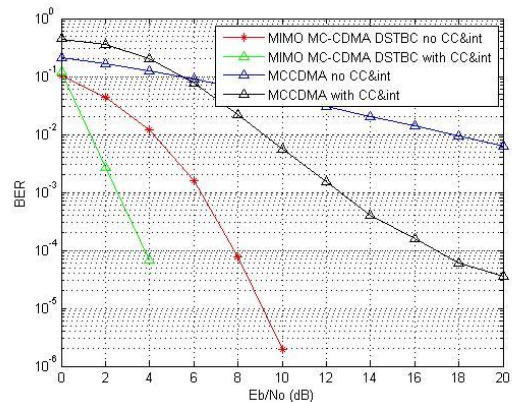
3. Pemodelan Sistem MIMO DSTBC MCCDMA



Gambar 5. Model sistem MIMO DSTBC MCCDMA

4. Analisis Hasil Simulasi

4.1 Kinerja Sistem Terhadap Penggunaan *channel coding & interleaver*



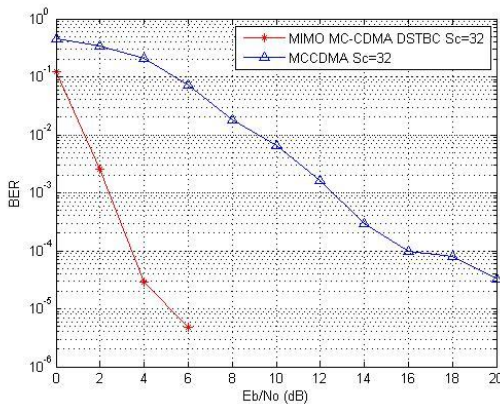
Gambar 6. Perbandingan kinerja sistem menggunakan *channel coding* dan *interleaver* terhadap sistem tanpa menggunakan *channel coding* dan *interleaver*

Dari gambar diatas terlihat bahwa sistem yang menggunakan *channel coding* dan *interleaver* menghasilkan unjuk kerja yang lebih baik dibanding sistem yang sama tanpa menggunakan *channel coding* dan *interleaver*. Pada sistem MIMO DSTBC MCCDMA yang menggunakan *channel coding* dan *interleaver* untuk mencapai BER target 10^{-4} membutuhkan E_b/N_0 $\pm 3,80$ dB sedangkan bila tidak menggunakan *channel coding* dan *interleaver* membutuhkan E_b/N_0 yang lebih besar yaitu $\pm 7,82$ dB, terdapat selisih kinerja $\pm 4,02$ dB. Begitu pula pada sistem MCCDMA yang menggunakan *channel coding* dan *interleaver* untuk mencapai BER target 10^{-4} membutuhkan E_b/N_0 $\pm 16,96$ dB, sedangkan jika tidak menggunakan *channel coding* dan *interleaver* membutuhkan E_b/N_0 yang lebih besar yaitu >20

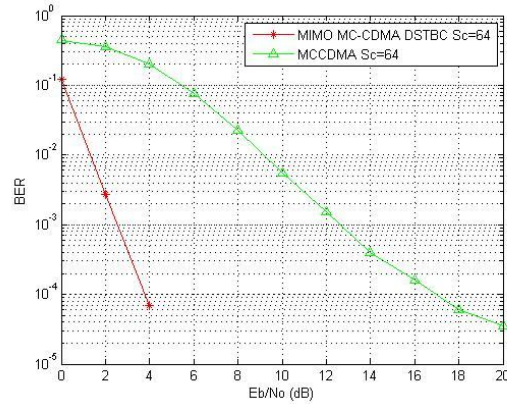
dB, terdapat selisih kinerja >3,04 dB. Perbaikan kinerja ini terjadi karena kemampuan blok *channel coding* untuk mendeteksi dan memperbaiki *error* yang terjadi di penerima akibat adanya berbagai gangguan terhadap sinyal selama proses transmisi. Kemudian blok *interleaver* mempunyai peran dalam mengurangi terjadinya *burst error* (*error* yang berurutan), pola *burst error* akan disebar dalam waktu, untuk selanjutnya akan ditangani oleh *decoder* dimana dianggap sebagai pola *error* yang *random*.

Jika dibandingkan unjuk kerja antara sistem MIMO DSTBC MCCDMA terhadap MCCDMA, terlihat bahwa MIMO DSTBC MCCDMA menghasilkan unjuk kerja yang lebih baik dibanding MCCDMA, perbaikan kinerja yang diberikan adalah $\pm 13,16$ dB. Perbaikan kinerja ini disebabkan karena keuntungan yang diberikan dengan adanya penerapan teknik diversitas, dalam hal ini adalah diversitas ruang dimana sinyal yang dikirim adalah sinyal info beserta sinyal replikanya, jika sinyal info mengalami gangguan yang besar, masih terdapat sinyal replikanya yang dimungkinkan mengalami gangguan yang lebih kecil, dengan demikian akan dihasilkan unjuk kerja yang lebih bagus dibanding sistem tanpa diversitas.

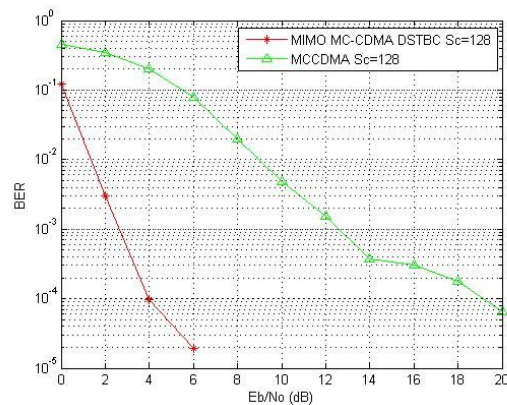
4.2 Kinerja Sistem Terhadap Pengaruh Penggunaan Jumlah Subcarrier



Gambar 7. Perbandingan kinerja sistem MIMO DSTBC MCCDMA terhadap MCCDMA pada penggunaan 32 subcarrier



Gambar 8. Perbandingan kinerja sistem MIMO DSTBC MCCDMA terhadap MCCDMA pada penggunaan 64 subcarrier

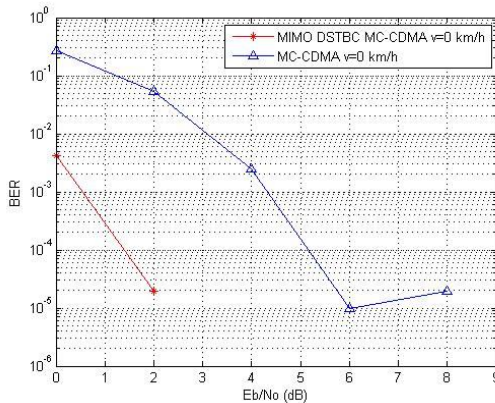


Gambar 9. Perbandingan kinerja sistem MIMO DSTBC MCCDMA terhadap MCCDMA pada penggunaan 128 subcarrier

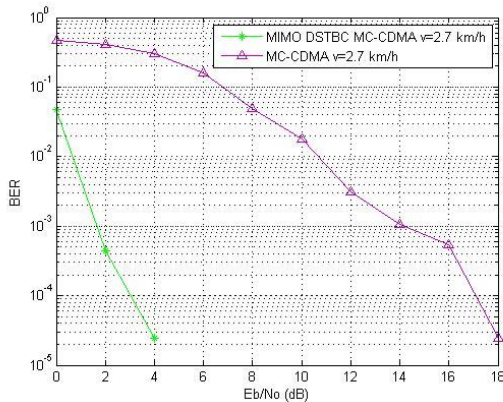
Dari gambar diatas terlihat bahwa pada berbagai penggunaan jumlah subcarrier 32, 64 dan 128, sistem MIMO DSTBC MCCDMA menghasilkan kinerja yang lebih baik dibandingkan sistem MCCDMA konvensional. Pada penggunaan 32 subcarrier, untuk mencapai BER target 10^{-4} , sistem MIMO DSTBC MCCDMA membutuhkan Eb/No $\pm 3,45$ dB, sedangkan MCCDMA membutuhkan Eb/No yang lebih besar yaitu $\pm 15,96$ dB sehingga terdapat perbaikan kinerja yang diberikan oleh MIMO DSTBC MCCDMA yaitu $\pm 12,51$ dB. Kemudian pada penggunaan 64 subcarrier, untuk mencapai BER target 10^{-4} , sistem MIMO DSTBC MCCDMA membutuhkan Eb/No $\pm 3,80$ dB, sedangkan MCCDMA membutuhkan Eb/No yang lebih besar yaitu $\pm 16,96$ dB sehingga terdapat perbaikan kinerja yang diberikan oleh MIMO DSTBC MCCDMA yaitu $\pm 13,16$ dB. Pada penggunaan 128 subcarrier, untuk mencapai BER target 10^{-4} , sistem MIMO DSTBC MCCDMA membutuhkan Eb/No $\pm 3,99$ dB, sedangkan MCCDMA membutuhkan Eb/No yang lebih besar yaitu $\pm 19,15$ dB sehingga terdapat perbaikan kinerja yang diberikan oleh MIMO DSTBC

MCCDMA yaitu $\pm 15,16$ dB. Perbaikan kinerja ini terjadi karena keuntungan yang diberikan oleh adanya penerapan teknik diversitas sehingga mampu menghasilkan kinerja yang lebih baik dibandingkan sistem MCCDMA konvensional.

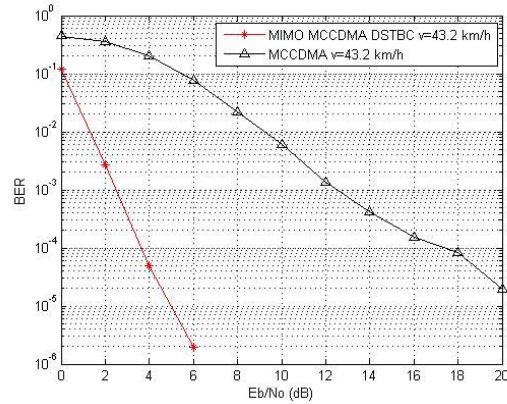
4.3 Kinerja Sistem Terhadap Pengaruh Kecepatan Gerak User



Gambar 10. Perbandingan kinerja sistem MIMO DSTBC MCCDMA terhadap MCCDMA pada kecepatan gerak user 0 Km/Jam



Gambar 11. Perbandingan kinerja sistem MIMO DSTBC MCCDMA terhadap MCCDMA pada kecepatan gerak user 2.7 Km/Jam



Gambar 12. Perbandingan kinerja sistem MIMO DSTBC MCCDMA terhadap MCCDMA pada kecepatan gerak user 43.2 Km/Jam

Dari gambar diatas, terlihat bahwa sistem MIMO DSTBC MCCDMA menghasilkan kinerja yang lebih baik dibanding sistem MCCDMA konvensional pada berbagai kondisi kecepatan gerak user. Pada kecepatan gerak user 0 Km/Jam (frekuensi *Doppler* 0 Hz) untuk mencapai BER target 10^{-4} sistem MIMO DSTBC MCCDMA membutuhkan E_b/N_0 $\pm 1,39$ dB sedangkan MCCDMA membutuhkan E_b/N_0 yang lebih besar yaitu $\pm 5,16$ dB sehingga terdapat perbaikan kinerja yang diberikan oleh MIMO DSTBC MCCDMA sebesar $\pm 3,77$ dB. Begitu pula pada kecepatan gerak user 2,7 Km/Jam (frekuensi *Doppler* 12,5 Hz) untuk mencapai BER target 10^{-4} sistem MIMO DSTBC MCCDMA membutuhkan E_b/N_0 $\pm 3,02$ dB sedangkan MCCDMA membutuhkan E_b/N_0 yang lebih besar yaitu $\pm 17,08$ dB sehingga terdapat perbaikan kinerja yang diberikan oleh MIMO DSTBC MCCDMA sebesar $\pm 14,06$ dB. Sedangkan pada kecepatan gerak user 43,2 Km/Jam (frekuensi *Doppler* 200 Hz) untuk mencapai BER 10^{-4} sistem MIMO DSTBC MCCDMA membutuhkan E_b/N_0 $\pm 3,64$ dB sedangkan MCCDMA membutuhkan E_b/N_0 yang lebih besar yaitu $\pm 17,46$ dB sehingga terdapat perbaikan kinerja yang diberikan oleh MIMO DSTBC MCCDMA sebesar $\pm 13,82$ dB. Perbaikan kinerja ini disebabkan karena keuntungan yang diberikan dengan adanya *gain diversity* yang diperoleh dari penerapan teknik diversitas sehingga mampu menghasilkan unjuk kerja yang lebih baik dibanding sistem MCCDMA konvensional.

Jika dibandingkan pengaruh kecepatan gerak user terhadap masing-masing sistem, maka setiap terjadi kenaikan frekuensi *Doppler* juga diikuti dengan kenaikan E_b/N_0 . Dari gambar di atas terlihat bahwa pada kecepatan 0 Km/Jam untuk mencapai BER target 10^{-4} sistem MIMO DSTBC MCCDMA membutuhkan E_b/N_0 $\pm 1,39$ dB, sedangkan pada kecepatan 2,7 Km/Jam membutuhkan E_b/N_0 yang lebih besar yaitu $\pm 3,02$ dB, begitu pula pada kecepatan 43,2 Km/Jam

membutuhkan Eb/No yang lebih besar yaitu $\pm 3,64$ dB. Sedangkan pada MCCDMA untuk mencapai target BER 10^{-4} pada kecepatan 0 Km/Jam, 2,7 Km/Jam, dan 43,2 Km/Jam dibutuhkan Eb/No berturut-turut $\pm 5,16$ dB, 17,08 dB dan 17,46 dB. Hal ini disebabkan karena pada kecepatan yang lebih tinggi maka *Doppler shift* yang dialami sinyal akan meningkat. Sinyal yang datang merupakan kumpulan sinyal-sinyal dengan pergeseran frekuensi yang berbeda, sehingga akumulasinya menyebabkan pelebaran spektrum frekuensi. Secara fisik dapat dikatakan bahwa semakin tinggi kecepatan, maka semakin besar pelebaran spektrum yang dihasilkan.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Dari hasil simulasi dan analisis yang dilakukan terhadap kinerja sistem MIMO DSTBC MCCDMA dan MCCDMA, maka diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem MIMO DSTBC MCCDMA dan MCCDMA yang menggunakan *channel coding* dan *interleaver* menghasilkan unjuk kerja yang lebih baik dibanding sistem yang sama tanpa salah satu dan tanpa keduanya. Saat BER 10^{-4} sistem MIMO DSTBC MCCDMA yang menggunakan *channel coding* dan *interleaver* menghasilkan perbaikan kinerja $\pm 4,02$ dB terhadap sistem yang sama tanpa menggunakan *channel coding* dan *interleaver*. Sedangkan pada sistem MCCDMA perbaikan kinerja yang dihasilkan adalah $> 3,04$ dB terhadap sistem yang sama tanpa menggunakan *channel coding* dan *interleaver*. Namun, jika dibandingkan kinerja antara sistem MIMO DSTBC MCCDMA terhadap MCCDMA maka MIMO DSTBC MCCDMA menghasilkan kinerja yang lebih baik, adapun perbaikan kinerja yang diberikan adalah $\pm 13,16$ dB.
2. Sistem MIMO DSTBC MCCDMA menghasilkan unjuk kerja yang lebih baik dibandingkan sistem MCCDMA konvensional pada penggunaan berbagai jumlah *subcarrier*. Adapun perbaikan kinerja yang diberikan pada penggunaan 32, 64 dan 128 *subcarrier* saat BER 10^{-4} berturut-turut adalah $\pm 12,51$ dB, $\pm 13,16$ dB, dan $\pm 15,16$ dB.
3. Setiap terjadi kenaikan frekuensi *Doppler*, maka kinerja sistem akan mengalami penurunan. Namun, Sistem MIMO DSTBC MCCDMA menghasilkan unjuk kerja yang lebih baik dibandingkan sistem MCCDMA konvensional pada berbagai kecepatan gerak *user*. Perbaikan kinerja yang diberikan saat BER 10^{-4} pada kecepatan gerak *user* 0 Km/Jam, 2,7 Km/Jam dan 43,2 Km/Jam berturut-turut adalah $\pm 3,77$ dB, $\pm 14,06$ dB dan $\pm 13,82$ dB.

5.2 Saran

1. Pada penelitian selanjutnya dapat mengembangkan sistem dengan penggunaan jumlah antena yang semakin variatif sehingga dapat dilakukan analisis secara menyeluruh terhadap sistem MIMO.
2. Pada penelitian selanjutnya dapat diteliti mengenai kapasitas sistem MIMO DSTBC MCCDMA dibandingkan dengan sistem MCCDMA agar dapat diketahui seberapa besar penguatan kapasitasnya.
3. Pada penelitian selanjutnya dapat dianalisis perancangan antena dan *link budget*.
4. Pada penelitian selanjutnya dapat dianalisis unjuk kerja untuk jumlah *user* yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Vucetic, Branka, and Jinhong Yuan. 2003. *Space-Time Coding*. England: John Wiley & Sons Ltd.
- [2] Hara, Shinsuke, and R. Prasad. 1997. *Overview of Multi Carrier CDMA*. IEEE Communication Magazine, vol. 29, pp. 126- 133.
- [3] Yolanda, Indria Sari. 2005. *Perbandingan Performansi MIMO DSTBC Dengan Skema Vertikal Encoder Dan Horizontal Encoder*. Tugas akhir. Bandung: IT Telkom.
- [4] Febrian, Roland. 2006. *Analisis Perbandingan Teknik Combining Pada Sistem MCCDMA*. Tugas Akhir. Bandung : IT Telkom.
- [5] Proakis, John G. 1995. *Digital Communications*. McGraw Hill, 3rd.
- [6] Proakis, John G., Salehi Masoud. 1994. *Communication System Engineering*. Prentice Hall.
- [7] Rappaport, Theodore S. 2002. *Wireless Communications*. Prentice Hall.
- [8] Van Nee, Richard, Ramjee Prasad. 2000. *OFDM for Wireless Multimedia Communications*. London: Artech House.
- [9] Budiman, Gelar. 2005. *Konfigurasi MIMO MCCDMA Pada Kanal Fading Rayleigh*. Tesis. Bandung: IT Telkom.

- [10] Solihah, Nomarhinta. 2009. *Analisa Perbandingan kinerja Penggunaan Teknik Subkanalisasi FUSC dan PUSC Pada mobile WiMax IEEE 802.16 e Arah Downlink*. Tugas Akhir. Bandung : IT Telkom.
- [11] M. Alamouti, Siavash. 1998. *A simple Transmit Diversity Technique for Wireless Communication*. IEEE Journal on Selected Areas in Communication, vol. 16, no. 8, pp. 1451-1458.
- [12] N. Kumaratharan, P. Dananjayan, dan M. Padmavathy. 2008. *Performance Improvement of MCCDMA System Through DSTBC Site Diversity*. JATIT Journal.