

***Bit Error Rate* pada Sistem MIMO MC-CDMA dengan Teknik Alamouti-STBC**

Sekar Harlen¹, Eva Yovita Dwi Utami², Andreas A. Febrianto³

Program Studi Teknik Elektro,
Fakultas Teknik Elektronika dan Komputer,
Universitas Kristen Satya Wacana, Salatiga

¹sekarharlen@gmail.com, ²eva.utami@staff.uksw.edu, ³andreas.febrianto@staff.uksw.edu

Ringkasan

Pada makalah ini dilaporkan hasil penelitian sistem MIMO MC-CDMA dengan teknik Alamouti *Space Time Block Code* (STBC) menggunakan dua antena pengirim dan dua antena penerima. Kinerja sistem diukur dengan nilai *Bit Error Rate* (BER). Sistem yang diteliti disimulasikan dengan Matlab, dengan variasi jumlah pengguna, jumlah subpembawa, kecepatan pergerakan pengguna dan frekuensi Doppler. Hasil simulasi menunjukkan BER sistem MIMO MC-CDMA tidak mengalami penurunan yang tajam ketika jumlah pengguna dan frekuensi Doppler meningkat. Sedangkan simulasi dengan peningkatan jumlah subpembawa mampu menurunkan nilai BER sistem. Simulasi juga menunjukkan sistem MIMO-MC-CDMA memiliki kinerja sistem yang lebih baik dibandingkan sistem MC-CDMA yang ditunjukkan dengan nilai BER sistem MIMO MC-CDMA berada pada orde 10^{-4} dan sistem MC-CDMA pada orde 10^{-1} .

Kata kunci: MIMO, MC-CDMA, STBC

1. Pendahuluan

Sistem komunikasi pita lebar melalui jaringan nirkabel di masa sekarang dan mendatang harus mampu menyediakan jenis layanan yang beragam dengan kualitas layanan yang tidak kalah dengan teknologi transmisi melalui jaringan fisik (kabel dan serat optik). Teknik akses radio yang dipertimbangkan untuk memenuhi hal tersebut adalah pengembangan sistem komunikasi *multiple input multiple output* (MIMO) berbasis multi antena dan modulasi *multicarrier code division multiple access* (MC-CDMA) yang memungkinkan pengguna mengakses kanal secara simultan melalui subpembawa dengan kode penebar yang berbeda. Permasalahan yang harus dihadapi oleh sistem komunikasi radio bergerak adalah adanya propagasi jalur jamak yang menyebabkan isyarat di penerima terdiri dari isyarat langsung dan isyarat tertunda dengan magnitudo dan fase isyarat yang bervariasi serta waktu tunda yang berbeda-beda. Hal ini mengakibatkan terjadinya peredupan atau *fading* pada sistem komunikasi bergerak.

Sistem *Code Division Multiple Access* (CDMA) merupakan sistem komunikasi dengan menggunakan teknik spektrum tersebar yang mampu mentransmisikan informasi dari pengguna yang berbeda pada kanal frekuensi yang sama, sehingga diperoleh efisiensi lebar pita yang tinggi. Sistem CDMA diperbarui dengan teknik MC-CDMA. Pada MC-CDMA, deretan kode penebar tidak diaplikasikan pada ranah waktu melainkan pada ranah frekuensi, kode *chip* penebar yang berbeda dipetakan pada setiap subpembawa. Setiap subpembawa memiliki *data rate* identik dengan *data rate* input aslinya, dengan

demikian mengurangi kenaikan laju data karena penebaran dalam pita frekuensi yang lebih lebar [1]. Penelitian tentang MC-CDMA dalam [2] dan [3] melaporkan unjuk kerja dan analisis BER pada sistem MC-CDMA. Peningkatan kinerja MC-CDMA diteliti melalui cara penggabungan MC-CDMA dengan sistem *multicode* pada [4]. Sistem CDMA dan MC-CDMA ini masih menemui kendala karena adanya peningkatan kapasitas pengguna dan banyaknya galat yang terjadi pada proses pengiriman dan penerimaan data yang disebabkan oleh penggunaan antenna tunggal. Untuk mengatasi kendala ini dikembangkan sistem MIMO yang memiliki lebih dari satu antenna pemancar dan penerima. Sistem ini dianggap efektif karena dapat meningkatkan kapasitas pengguna dan mengurangi terjadinya galat pada data yang diterima.

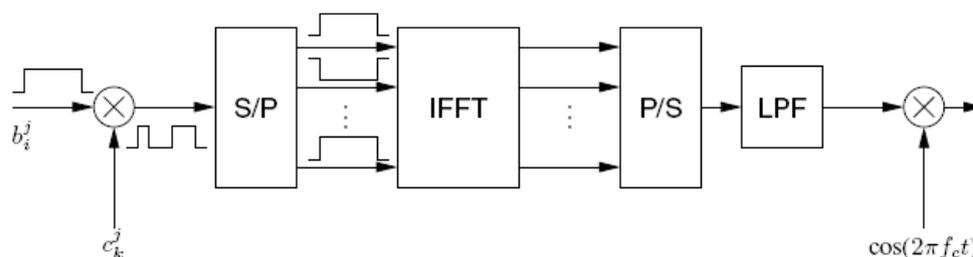
Teknik MIMO memberikan *data rate* lebih tinggi tanpa penambahan *bandwidth* dan dapat diperoleh laju galat yang lebih kecil, sehingga MIMO digabungkan dengan sistem MC-CDMA sebagaimana dilaporkan dalam [5], yang membahas kinerja MIMO-MC-CDMA menggunakan modulasi FSK. Profil MIMO pada sistem nirkabel umumnya dapat direalisasikan dengan skema BELL labs *architecture* klasik (VBLAST–*Vertical Bell Laboratories Space Time architecture*) dan skema *Space Time Block Codes* (STBC)[6]. Pada [7] dibahas penelitian unjuk kerja MIMO-MC-CDMA menggunakan *Space Time Frequency Spreading* (STFS) pada kanal *frequency selective fading* yang menunjukkan pencapaian maksimal penggunaan *space diversity*. Teknik V-Blast MIMO pada sistem MC-CDMA yang menggunakan dua jenis penyandian kanal dan skema ekualisasi yang berbeda diteliti pada [8]. Sedangkan skema STBC pada MIMO-MC-CDMA diteliti pada [9].

Dalam makalah ini dilaporkan hasil penelitian sistem MIMO-MC-CDMA dengan teknik Alamouti-STBC yang disimulasikan dengan Matlab. Analisis *bit error rate* dilakukan pada variasi jumlah pengguna, kecepatan pergerakan pengguna dan jumlah sub pembawa. Kinerja MIMO-MC-CDMA juga akan dibandingkan dengan sistem MC-CDMA.

2. Dasar Teori

2.1. Sistem MC-CDMA

MC-CDMA merupakan teknik meletakkan isyarat yang akan dikirimkan dengan menggunakan beberapa frekuensi pembawa (subpembawa). Sistem ini melakukan proses penebaran (*spreading*) pada ranah frekuensi. Gambar 1 menunjukkan sistem MC-CDMA pada bagian pengirim.



Gambar 1. Pemancar Sistem MC-CDMA [1].

2.2. Sistem MIMO

Sistem MIMO merupakan sistem transmisi (pengirim – penerima) dengan jumlah antenna baik pengirim maupun penerima terdiri dari beberapa elemen antenna (N antenna pengirim dan M antenna penerima), secara umum dirumuskan sebagai berikut.

$$y = H \cdot x + n \quad (1)$$

dengan :

y = isyarat yang diterima sejumlah N antenna;

x = isyarat yang dipancarkan sejumlah M antenna;

n = deraupada N antenna; dan

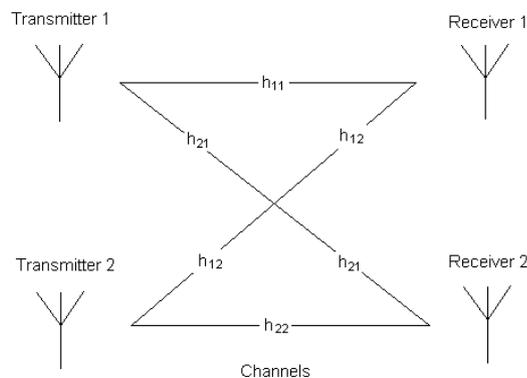
H = kanal komunikasi radio yang menghubungkan pemancar dan penerima.

2.3 Space Time Block Code (STBC)

Teknik *STBC* pada sistem *MIMO* dikembangkan oleh Alamouti (1998) yang kemudian dikenal sebagai *Alamouti-STBC*. Dengan menggunakan $M = 2$ antenna pemancar dan $N = 2$ antenna penerima, matriks generator kode Alamouti ini diberikan sebagai

$$G = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 \\ -x_2^* & x_1^* \end{bmatrix} \quad (2)$$

Isyarat x_1 dan x_2 ditransmisikan pada dua antenna dalam slot waktu pertama, dan isyarat $-x_2^*$ dan x_1^* ditransmisikan pada dua antenna dalam slot waktu kedua. Sehingga, kedua isyarat x_1 dan x_2 ditransmisikan dalam dua slot waktu. Skema transmisi *Alamouti-STBC* ditunjukkan pada Gambar 2 dan notasi isyarat terimanya ditunjukkan pada Tabel 1.



Gambar 2. Skema Transmisi Alamouti-STBC [10].

Tabel 1. Notasi Isyarat yang Diterima Menurut Skema *Alamouti 2x2*.

	R_{x1}	R_{x2}
Saat t	y_{11}	y_{21}
Saat $t + T$	y_{12}	y_{22}

Berdasarkan skema transmisi *Alamouti-STBC* di atas, persamaan isyarat yang diterima pada R_{x1} adalah :

$$y_{11} = h_{11}x_1 + h_{12}x_2 + n_{11} \quad (3)$$

$$y_{12} = -h_{11}x_2^* + h_{12}x_1^* + n_{12} \quad (4)$$

Persamaan isyarat yang diterima pada R_{x2} adalah :

$$y_{21} = h_{21}x_1 + h_{22}x_2 + n_{21} \quad (5)$$

$$y_{22} = -h_{21}x_2^* + h_{22}x_1^* + n_{22} \quad (6)$$

Sehingga pengawasandi *STBC* akan menerima kembali dua isyarat yang dikirimkan sebagai berikut :

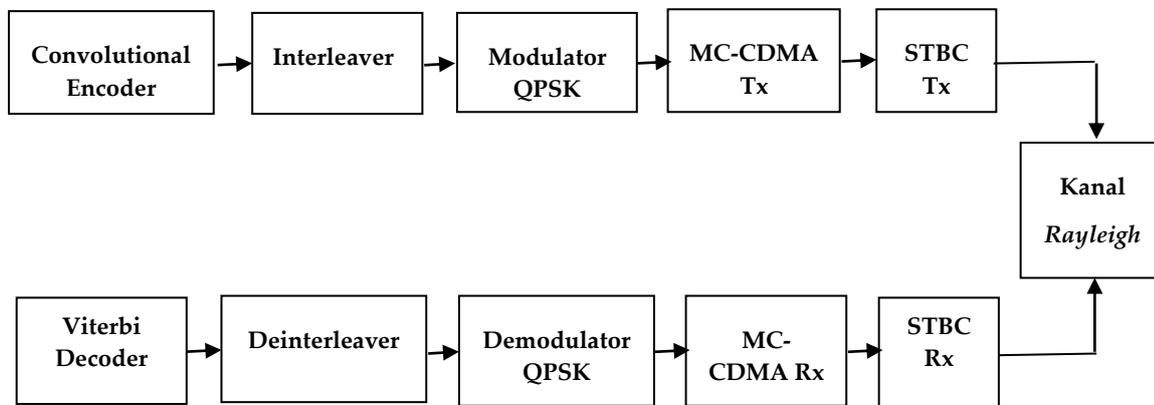
$$\hat{x}_1 = h_{11}^*y_{11} + h_{12}^*y_{12} + h_{21}^*y_{21} + h_{22}^*y_{22} \quad (7)$$

$$\hat{x}_2 = h_{12}^*y_{11} - h_{11}^*y_{12} + h_{22}^*y_{21} - h_{21}^*y_{22} \quad (8)$$

3. Metode Penelitian

3.1. Pemodelan Sistem

Pemodelan sistem diperlihatkan pada Gambar 3 yang dibagi dalam dua bagian besar yaitu sistem Pengirim dan Penerima.



Gambar 3. Model Sistem MIMO-MC-CDMA

Pada pemodelan sistem, input ke sistem MIMO-MC-CDMA berupa data bit 1 dan 0 yang dibangkitkan secara acak. Data ini kemudian disandikan oleh *encoder* untuk proteksi terhadap adanya galat transmisi, menggunakan penyandi Konvolusional. Kemudian *interleaver* akan mengubah susunan data dengan cara data dibagi menjadi beberapa blok berbeda. Aliran bit masukan akan mengisi matriks *interleaver* dalam urutan baris demi baris sedangkan pada keluaran *interleaver*, bit-bit akan keluar sesuai urutan kolom. Data yang telah di-*interleaving* masuk ke modulator *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK), Blok *serial-to-parallel* berfungsi untuk mengkonversikan data serial menjadi data paralel, yang disesuaikan dengan jumlah subpembawa yang digunakan.

Pada sistem MC-CDMA, dilakukan beberapa tahapan proses pada data yang berasal dari modulator. Terdapat blok *copier* pada sistem MC-CDMA untuk menggandakan data yang dikirim agar data yang dikirim melalui masing-masing subpembawa adalah data yang sama. Pada *spreader* terjadi proses penebaran data pengguna yang akan dikirim dengan kode-kode penebar CDMA. Kode penebar yang digunakan pada sistem MC-CDMA ini adalah *m-sequence*. Blok IFFT merupakan inti dari modulasi MC-CDMA, karena IFFT berfungsi sebagai modulator yang akan membangkitkan subpembawa yang saling orthogonal satu dengan yang lain.

Isyarat yang melewati kanal akan mengalami derau, sehingga pada simulasi akan ditambahkan *Additive White Gaussian Noise* (AWGN). Dalam simulasi kanal juga dimodelkan mengalami *Rayleigh fading*. Distribusi *Rayleigh* digunakan untuk

menjelaskan perubahan waktu selubung isyarat yang mengalami peredupan yang diterima, atau selubung satu komponen jalur jamak. Selain itu kecepatan pergerakan pengguna akan mempengaruhi parameter modulasi frekuensi yang acak karena adanya Doppler *shift*. Perhitungan parameter dispersi waktu dan *Doppler Shift* didasarkan pada referensi [11]

Pada sistem penerima akan terjadi proses sebaliknya. Pada blok penerima MC-CDMA dilakukan Fast Fourier Transform (FFT). FFT akan menggantikan proses demodulasi pada sistem MC-CDMA. Kode *m-sequence* yang digunakan pada modul *spreader* digunakan lagi pada proses *despreader*, tujuannya agar data tiap-tiap pengguna dapat diperoleh kembali. Blok *Parallel to Serial* berfungsi mengubah deretan data paralel menjadi deretan data serial. Agar kembali diperoleh data pada frekuensi *baseband* dilakukan demodulasi QPSK, yaitu mengalikan kembali dengan frekuensi pembawa seperti pada blok modulasi QPSK. Pada *deinterleaver*, bit-bit akan diurutkan kembali seperti urutan semula sebelum proses *interleaving*. Untuk mengoreksi adanya galat yang terjadi dilakukan pengawasandian menggunakan pengawasandi Konvolusional yang diimplementasikan menggunakan algoritma Viterbi. Algoritma ini dapat menemukan dan mengoreksi adanya galat transmisi.

3.2 Parameter Simulasi

Dalam menyimulasikan sistem MIMO-MC-CDMA, digunakan parameter-parameter simulasi dan nilai-nilainya ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Parameter Simulasi

Parameter Simulasi	Nilai Parameter
Jumlah bit data	1024
Frekuensi pembawa	900 MHz
Jumlah pengguna	10, 20, 30
Jumlah subpembawa	8, 16
Frekuensi Doppler	33,33 Hz, 41,67 Hz, 66,67 Hz, 83,33 Hz
Kecepatan pergerakan pengguna	40 km/jam, 50 km/jam
SNR	0 30 dB

4. Hasil dan Pembahasan

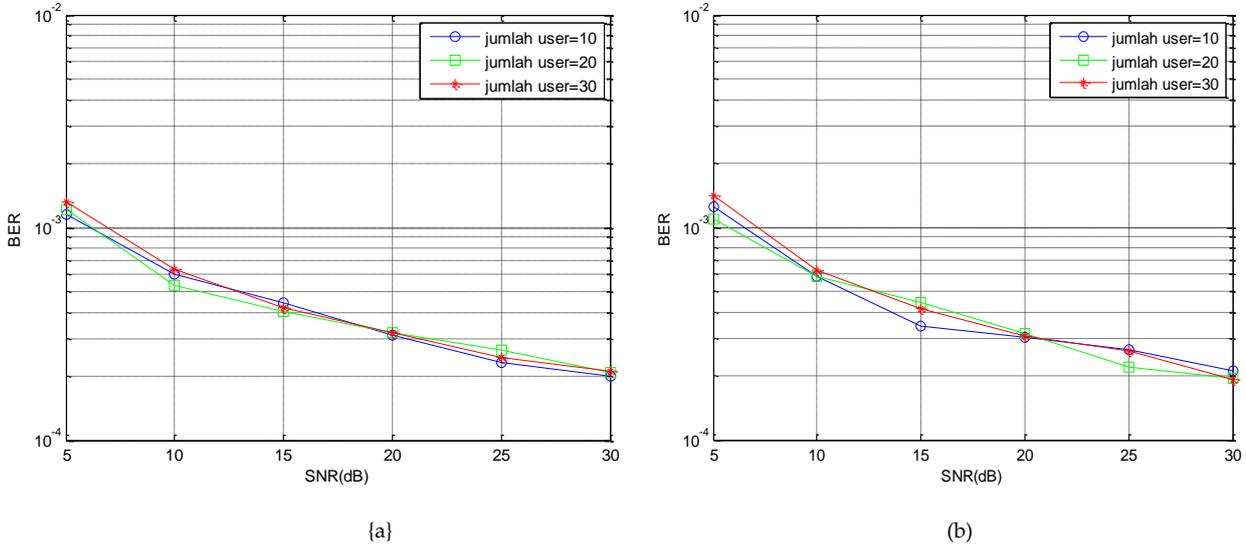
4.1 Hasil Simulasi berdasarkan Jumlah Pengguna

Simulasi ini dilakukan untuk melihat pengaruh jumlah pengguna terhadap kinerja sistem *MIMO MC-CDMA* pada kanal *multipath Rayleigh fading* dengan jumlah *bit* data yang ditransmisikan adalah 1024 *bit*. Variasi jumlah pengguna yang digunakan adalah 10, 20, dan 30 pengguna.

Dari hasil simulasi pada Gambar 4 terlihat bahwa kinerja sistem untuk variasi jumlah pengguna yang berbeda tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa sistem *MIMO MC-CDMA* mampu mengatasi variasi banyaknya jumlah pengguna. Semakin banyak jumlah pengguna, nilai *BER* sistem pada *SNR* yang sama akan akan meningkat. Misalnya pada *SNR* 30 dB, nilai *BER* yang didapat adalah $1,9094 \times 10^{-4}$, $1,9271 \times 10^{-4}$, dan $1,9401 \times 10^{-4}$.

Peningkatan kecepatan pengguna sebesar 10 km/jam tidak terlalu mempengaruhi nilai *BER* yang didapat. Terlihat bahwa nilai *BER* yang dihasilkan saat *SNR* 5 dB dan 30

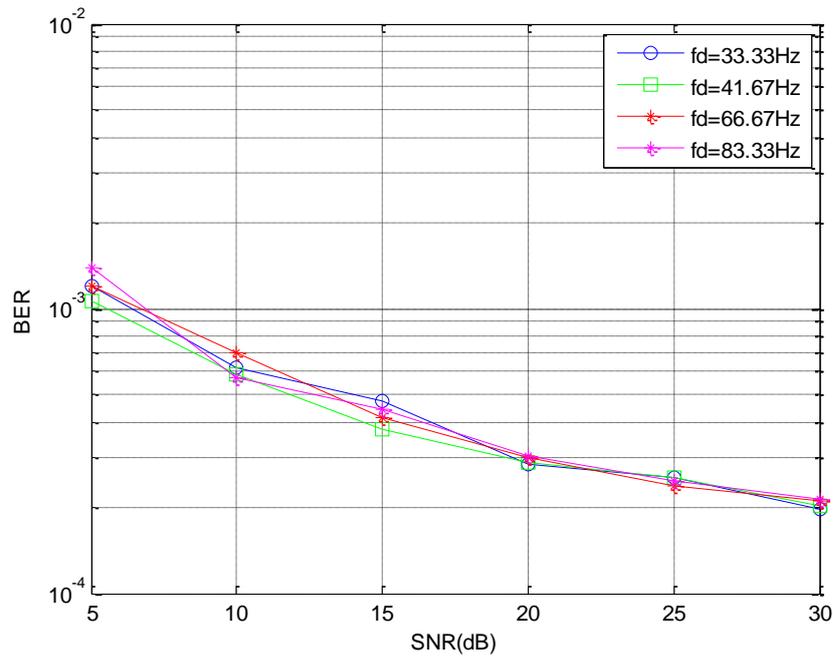
dB tidak berbeda jauh dengan nilai *BER* pada saat kecepatan pengguna 40 km/jam. Saat *SNR* 30 dB, nilai *BER* yang didapat untuk jumlah pengguna 10, 20, dan 30 berturut-turut adalah $2,0052 \times 10^{-4}$, $2,0703 \times 10^{-4}$, dan $2,1007 \times 10^{-4}$.



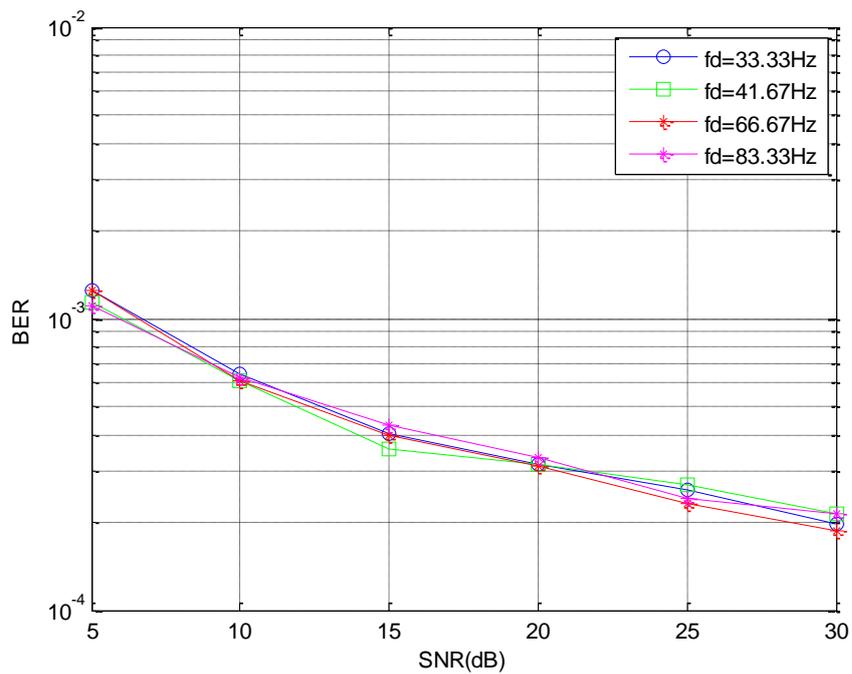
Gambar 4. Grafik Kinerja *MIMO MC-CDMA* pada $f_c = 900$ MHz dan (a) kecepatan kendaraan $v = 40$ km/jam, (b) kecepatan kendaraan $v = 50$ km/jam

4.2 Hasil Simulasi berdasarkan Frekuensi *Doppler*

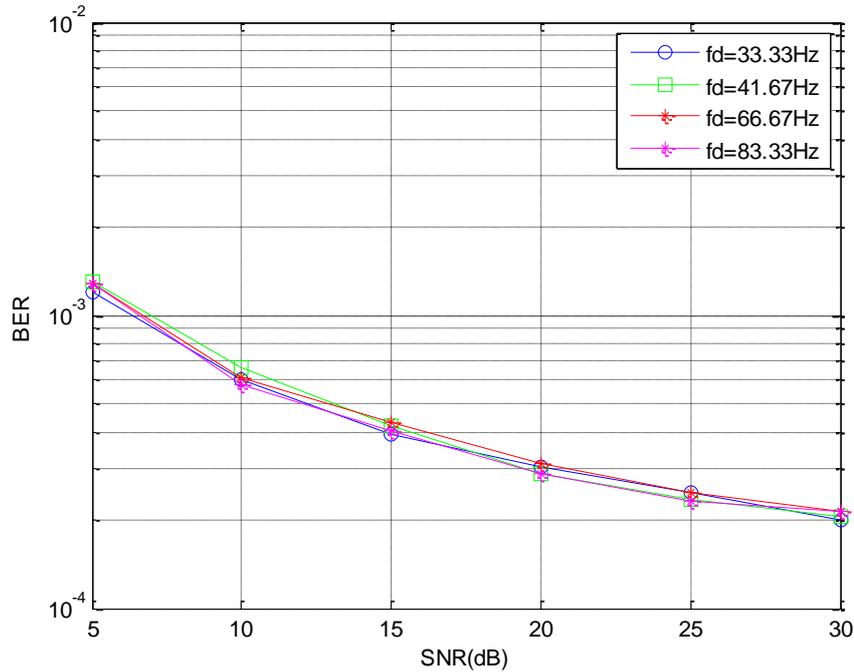
Berdasarkan Gambar 5, 6, dan 7 dapat dilihat pengaruh frekuensi *Doppler* terhadap kinerja sistem *MIMO MC-CDMA*. Setiap peningkatan frekuensi *Doppler* juga diikuti dengan peningkatan *SNR* yang diberikan untuk mencapai nilai *BER* yang rendah. Semakin tinggi kecepatan pengguna, frekuensi *Doppler* yang dihasilkan juga meningkat. Tingginya frekuensi *Doppler* menyebabkan frekuensi modulasi acak. Secara berturut-turut nilai *BER* yang dihasilkan dengan variasi frekuensi *Doppler* 33,33 Hz, 41,67 Hz, 66,67 Hz, dan 83,33 Hz dengan jumlah pengguna 10 pada *SNR* 5 dB adalah 0,0012, 0,0012, 0,0012, dan 0,0014, sedangkan saat *SNR* 30 dB adalah $1,9792 \times 10^{-4}$, $2,0313 \times 10^{-4}$, $2,1094 \times 10^{-4}$, dan $2,1354 \times 10^{-4}$.



Gambar 5. Grafik Kinerja MIMO MC-CDMA Berdasarkan Frekuensi Doppler dengan 10 Pengguna.



Gambar 6. Grafik Kinerja MIMO MC-CDMA Berdasarkan Frekuensi Doppler dengan 20 Pengguna.



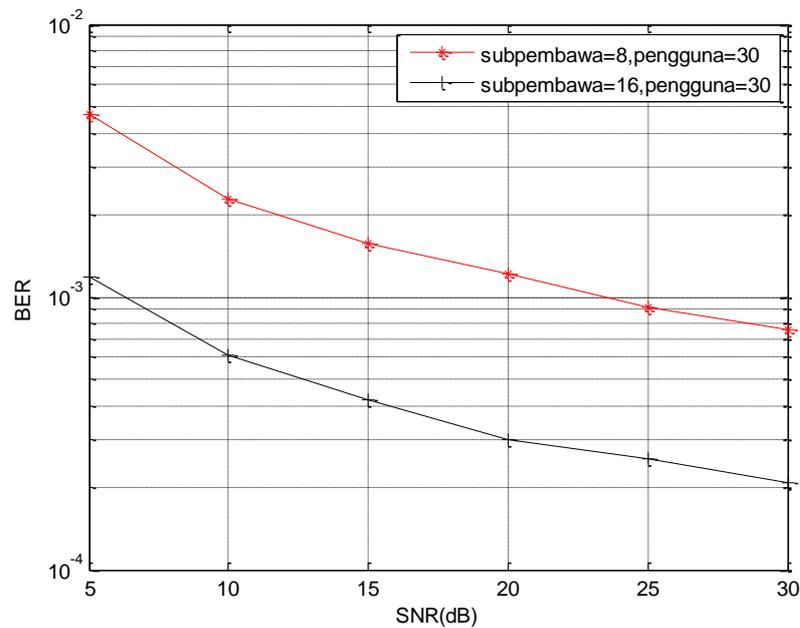
Gambar 7. Grafik Kinerja *MIMO MC-CDMA* Berdasarkan Frekuensi *Doppler* dengan 30 Pengguna.

4.3 Hasil Simulasi Berdasarkan Jumlah Subpembawa

Berdasarkan Gambar 8, terlihat bahwa jumlah subpembawa mempengaruhi kinerja sistem *MIMO MC-CDMA*. Jumlah subpembawa 16 menghasilkan kinerja *BER* yang lebih baik dibandingkan dengan 8 subpembawa. Dengan menggunakan 16 subpembawa diperoleh *BER* sistem pada *SNR* 30 dB sebesar $2,0790 \times 10^{-4}$ dan dengan 8 subpembawa sebesar $7,5521 \times 10^{-4}$. Hal ini disebabkan semakin banyak subpembawa yang digunakan, maka akan semakin banyak kode yang dibangkitkan, sehingga pemilihan isyarat informasi dengan peredupan minimal dapat dicapai. Pengamatan dan perhitungan *BER* pada sistem menunjukkan bahwa pada sistem dengan 16 subpembawa mempunyai nilai *BER* 5,6 dB lebih kecil daripada *BER* sistem dengan 8 subpembawa, jika keduanya dilihat pada *SNR* 30 dB.

4.4 Perbandingan Kinerja Sistem *MIMO MC-CDMA* dan *MC-CDMA*

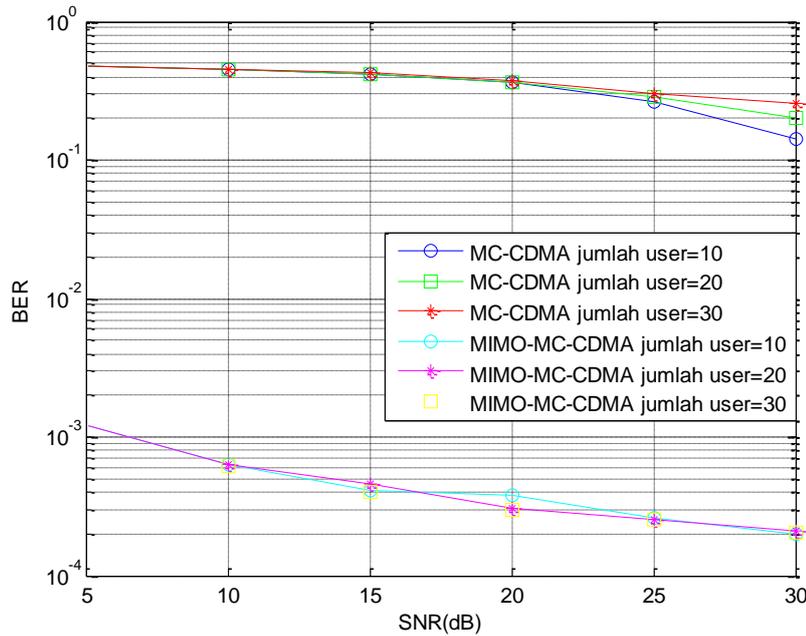
Berdasarkan Gambar 9, terlihat bahwa nilai *BER* sistem *MIMO MC-CDMA* secara keseluruhan lebih rendah dibandingkan sistem *MC-CDMA* untuk variasi pengguna yang berbeda. Perbedaan kinerja sistem yang dihasilkan untuk 10 pengguna pada *SNR* 30 dB adalah nilai *BER* sistem *MC-CDMA* sebesar 0,1424 dan *MIMO MC-CDMA* sebesar $1,9792 \times 10^{-4}$. Peningkatan kinerja sistem ini dipengaruhi oleh karena sistem *MIMO* menggunakan antena jamak pada sisi pengirim dan penerima



Gambar 8. Grafik Kinerja MIMO MC-CDMA Berdasarkan Jumlah Subpembawa dengan 30 Pengguna.

Nilai penurunan BER maksimal yang terjadi pada $v = 40$ km/jam yaitu sebesar 0,3343 untuk sistem MC-CDMA dan $1,2063 \times 10^{-3}$ untuk sistem MIMO MC-CDMA. Dari hasil ini terlihat bahwa sistem MIMO MC-CDMA dengan peningkatan jumlah pengguna mampu menghasilkan penurunan nilai BER yang maksimal. Sedangkan untuk sistem MC-CDMA, meningkatnya jumlah pengguna menghasilkan penurunan nilai BER yang semakin kecil.

Penurunan nilai BER maksimal untuk sistem MC-CDMA terjadi pada kondisi dengan jumlah pengguna 10 pada $f_d = 33,33$ Hz yaitu sebesar 0,3400. Sedangkan untuk sistem MIMO MC-CDMA, penurunan nilai BER maksimal terjadi pada kondisi dengan jumlah pengguna 10 pada $f_d = 83,33$ Hz yaitu sebesar $1,1865 \times 10^{-3}$. Hasil ini menunjukkan bahwa untuk jumlah pengguna tertentu, sistem MIMO MC-CDMA mampu mengatasi tingginya frekuensi Doppler yang dihasilkan.



Gambar 9. Kinerja MC-CDMA dan MIMO MC-CDMA, $v = 40$ km/jam, $f_d = 33,33$ Hz

4. Kesimpulan

Berdasarkan keseluruhan tahapan simulasi dan analisis yang telah dilakukan dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut. Sistem MIMO MC-CDMA memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan sistem MC-CDMA. Hal ini ditunjukkan dengan nilai BER sistem MIMO MC-CDMA berada pada orde 10^{-4} sedangkan sistem MC-CDMA berada pada orde 10^{-1} .

Sistem MC-CDMA mampu mengatasi pengaruh pergerakan pengguna. Sehingga, ketika sistem MC-CDMA ini digabungkan dengan sistem MIMO menjadi MIMO MC-CDMA, variasi kecepatan gerak pengguna yang menyebabkan pergeseran frekuensi Doppler tidak banyak mengubah nilai BER yang dihasilkan. Penurunan BER maksimal terjadi pada 10 pengguna dengan $f_d = 33,33$ Hz untuk sistem MC-CDMA sebesar 0,3400 dan untuk sistem MIMO MC-CDMA terjadi pada $f_d = 83,33$ Hz sebesar $1,1865 \times 10^{-3}$.

Penambahan jumlah subpembawa akan memperbaiki kinerja sistem. Sistem MC-CDMA dengan 16 subpembawa menurunkan BER sebesar 0,98 dB dari sistem dengan 8 subpembawa. Sementara untuk sistem MIMO-MC-CDMA dengan 16 subpembawa memberikan penurunan nilai BER 5,6 dB dari sistem dengan 8 subpembawa.

Daftar Pustaka

- [1] L. Hanzo, T. Keller, *OFDM and MC-CDMA: A Primer*, England: John Wiley and Sons, Ltd., 2006
- [2] R.Choubey, R. Mohan, S. Sharma, "Performance Analysis of Generalized MC DS-CDMA System", *International Journal of Advanced Computer Research*, Vol. 3 No. 2, June 2013, pp 159-162

- [3] R.Choubey, R. Mohan, S. Sharma, "Result Analysis of Bit-Error Rate (BER) of the MC DS-CDMA System", *International Journal of Advanced Computer Research*, Vol. 3 No. 3, 11 September-2013, pp. 411-415
- [4] E.Y.D. Utami, "Unjuk Kerja Multi-code Multicarrier CDMA pada Kanal Multipath Fading", *Jurnal Ilmiah Elektroteknika Techne*, vol. 4, no. 2, Oktober 2005, pp. 73-81
- [5] M. Jangalwa, V. Tokekar, "Performance of MIMO MC-CDMA system with PSK modulation technique", Proc. IEEE International Conference on *Signal Processing and Integrated Networks (SPIN)*, 2016, 11-12 February 2016
- [6] K.S.Vishvakshnan, R. Seshasayanan, "Performance Analysis of MIMO Assisted Interleave Division Multiple Access System with Multi-user Detection", *International Journal of Computer Applications (0975 – 8887)* Volume 11– No.4, December 2010
- [7] H. Dahman and Y. Shayan, "Performance evaluation of space-time-frequency spreading for MIMO OFDM-CDMA systems", *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing* 2011, 2011
- [8] M.Haque, M. F. Sharmin and S. E. Ullah, "Secured data transmission in a V-Blast encoded MIMO MC-CDMA wireless communication system", *International Journal of Information & Network Security (IJINS)* Vol. 2, No. 3, June 2013, pp. 245~252
- [9] D. Faiza, "Simulasi Kombinasi *Space Time Block Code* Dengan Teknik MC-CDMA Pada sistem MIMO Menggunakan MATLAB 7.0", *Jurnal Teknologi Informasi dan Pendidikan*, Universitas Negeri Padang, 2011.
- [10] Aragorn., <http://dsplog.com> *Space Time Block Code*, diakses tanggal 9 Agustus 2014.
- [11] T.S. Rappaport, *Wireless Communications Principles and Practice, Second Ed.*, Prentice Hall PTR, 2002.

