

Sistem Mimo dan Aplikasi Penggunaannya

Emilia Roza¹⁾ & Muhammad Mujirudin²⁾

^{1,2)} Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik,
Universitas Muhammadiyah Prof. DR. HAMKA, Jakarta
Jl. Tanah Merdeka no. 6 Pasar Rebo Jakarta Timur
Telp. +62-21- 87782739, Fax. +62-21-87782739, Mobile +6281287165773
E-mail: fte_roza@yahoo.com

Abstrak

Meningkatnya penggunaan layanan multimedia menyebabkan permintaan untuk komunikasi dengan kecepatan tinggi meningkat. Awalnya lebar bandwidth digunakan untuk mendukung aplikasi data rate tinggi, namun pelebaran bandwidth menjadi metode tidak praktis, sehingga dibutuhkan solusi alternatif lain yaitu dengan mengadopsi beberapa spektral teknik yang efisien seperti sistem MIMO[1]. Sistem MIMO (Multiple Input Multiple Output) merupakan suatu sistem wireless yang dapat meningkatkan kapasitas kanal dengan menggunakan multi antena di sisi pengirim maupun di penerima yang dapat meningkatkan kapasitas dan keragaman sistem

Kata Kunci : Kecepatan Tinggi, MIMO, Kapasitas Kanal

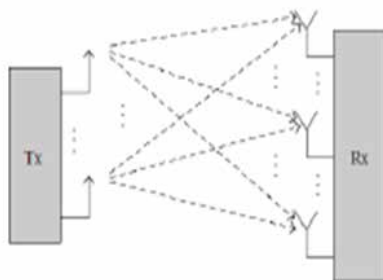
1 PENDAHULUAN

Sistem komunikasi *wireless* semakin berkembang dengan pesat dan semakin dibutuhkan oleh manusia untuk berkomunikasi dan mengirimkan data baik berupa suara (*voice*) ataupun gambar dan video (multimedia). Baru saja teknologi 3G dinikmati di Indonesia, orang sudah mulai memikirkan generasi berikutnya yaitu 4G. Sistem 4G yang sedang diteliti para pakar di dunia menjanjikan laju data hingga 100 Mbps.

Ada tiga hal yang menjadi kebutuhan dari sistem 4G yaitu :

- high speed,
- high quality multimedia, dan
- large capacity.

Teknologi relatif baru MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) kini sedang dipuji berbagai pakar karena kemampuannya yang dapat meningkatkan secara drastis kapasitas kanal. Blok gambar sistem MIMO dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 1 Blok Gambar Sistem MIMO

Kuncinya dengan menggunakan beberapa antena untuk mendapatkan kinerja yang handal melalui keragaman data rate yang tinggi melalui *multiplexing spasial*. Dalam sistem MIMO, informasi yang sama dapat dikirim dan diterima dari beberapa antena secara bersamaan. *Fading* antara antena pemancar dan penerima dapat dianggap independen, sehingga probabilitas terdeteksinya informasi yang akurat akan lebih tinggi. *Fading* sinyal dapat dikurangi dengan teknik *diversity* yang berbeda, di mana sinyal ditransmisikan melalui beberapa jalur *fading* yang independen dalam waktu, frekuensi atau ruang yang dikombinasikan secara konstruktif pada penerima.

Tuntutan peningkatan *data rate* dan kualitas layanan dari suatu sistem komunikasi *wireless* memicu lahirnya teknik baru untuk meningkatkan efisiensi spektrum dan perbaikan kualitas saluran. Sistem MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) merupakan suatu sistem *wireless* yang dapat meningkatkan kapasitas kanal dengan menggunakan multi antena di sisi pengirim maupun di penerima. Pada lingkungan *multipath* dengan *fading* yang independen antara tiap pasangan antena pemancar dan penerima, sistem MIMO memperoleh peningkatan kapasitas yang signifikan sehingga kinerja sistem menjadi lebih baik dibandingkan dengan sistem konvensional *Single Input Single Output* (SISO) dimana informasi yang sama dapat dikirim dan diterima dari beberapa antena secara bersamaan.

Kanal MIMO terdiri dari sejumlah M_T antenna pengirim dan M_R antenna penerima. (Alamouti. 1998). Persamaan matematisnya adalah sebagai berikut :

$$\mathbf{r}(t) = \mathbf{H}(t) * \mathbf{s}(t) + \mathbf{n}(t)$$

Dimana :

$\mathbf{r}(t)$: sinyal terima

$\mathbf{H}(t)$: $M \times N$ kanal matriks

$\mathbf{s}(t)$: sinyal kirim

$\mathbf{n}(t)$: noise sinyal

Secara garis besar kapasitas kanal MIMO terbagi ke dalam 2 bagian yaitu

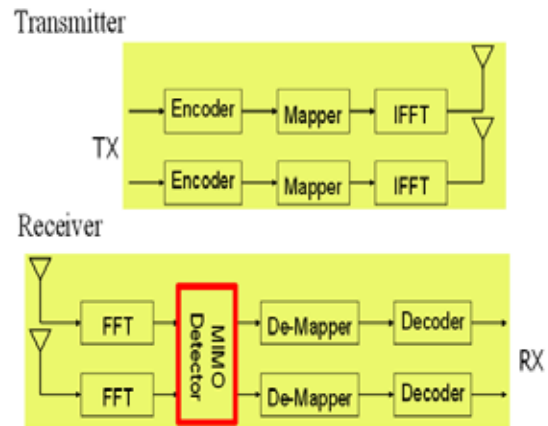
- kapasitas kanal MIMO jika kondisi pengirim tidak tahu sifat kanal dan
- kapasitas kanal MIMO jika kondisi pengirim tahu sifat kanal (Tarokh. 1999)

Karakteristik statistik *rate* informasi kanal MIMO bersifat acak, maka *rate* informasi yang terkait dengan kanal juga variable acak. *Cumulative distribution function (CDF) rate* informasi untuk kanal MIMO, dengan kondisi tertentu akan menjelaskan karakteristik *statistic rate* informasi.

2 SISTEM MIMO

MIMO dikondisikan dengan penggunaan multiantena pada pemancar dan penerima yang bekerja pada frekuensi yang *multiple* in ini berarti sistem mengirimkan dua atau lebih sinyal radio dengan simultan. *Multiple out* berarti dua atau lebih sinyal radio didapatkan pada penerima.

Secara umum keunggulan dari sistem MIMO adalah dengan multiantena dapat mengirimkan banyak sinyal dan menerima banyak sinyal. Setiap pemancar akan terhubungan melalui lintasan/banyak lintasan menuju ke setiap penerima menghasilkan fungsi pindah kanal yang secara matematis dinyatakan dalam bentuk matriks dengan ukuran $(M_r \times M_t)$ M_r adalah jumlah antenna pemancar dan M_t adalah jumlah antenna penerima.



Gambar 2 Sistem MIMO

Dengan memberi data masukan dan derau (*noise*) maka didapatkan model diskrit dari sistem MIMO

Pemodelan sinyal MIMO kemudian diarahkan untuk dua tujuan yang berbeda yaitu model *diversity* dan model *spatial multiplexing*.

a. Model Diversity

Pada model *diversity* data yang dipancarkan pada setiap antenna pemancar adalah sama. Kemudian dapat digunakan metode *transmitter selection diversity* untuk memilih satu pemancar saja dengan kualitas terbaik. Sedangkan pada penerima digunakan metode *combining (EGC/MRC)* untuk mendapatkan diversitas murni. Model *diversity* digunakan untuk mengurangi galat akibat *fading* dan *noise* dengan diversitas antenna pada pemancar dan penerima.

b. Model Multiplexing

Pada model *multiplexing* data masukan dapat dipecah menjadi beberapa bagian yang independen dan dikirimkan oleh masing-masing antenna pemancar yang bekerja pada frekuensi yang sama. Keuntungan utama MIMO *multiplexing* didapatkan dengan mengirim sinyal yang berbeda pada *bandwidth* sama dan dapat disandikan dengan tepat pada penerima. Jadi seperti terdapat satu kanal untuk satu pemancar.

Sebagai contoh misalkan digunakan sejumlah M_t pemancar, maka sistem ini seolah-olah memiliki M_t saluran yang terpisah satu sama lain untuk membawa M_t aliran data yang berbeda, masing-masing dengan laju rata-rata $1/M_t$ dari laju aliran data aslinya, padahal seluruh sistem multiantena ini bekerja pada

frekuensi yang sama. Kesimpulannya jelas telah terjadi penghematan penggunaan *bandwidth* sebesar $1/M_t$ kali, atau dengan kata lain, terjadi peningkatan kapasitas kanal sebesar M_t kali. Kondisi eksternalnya, dengan sedikitnya 10 antenna pada masing-masing sisi pemancar dan penerima, aliran data sebesar 1 Mbps dapat dikirimkan ke penerima dengan *bandwidth* sekitar 100 kHz saja apabila digunakan modulasi dengan frekuensi 1 bps/Hz. Dari sudut pandang yang berbeda lebar spectrum 100 kHz yang sebelumnya hanya mampu membawa sinyal 100 kbps, sekarang mampu mengangkut data berlaju 1 Mbps dengan menggunakan minimal 10 antenna pada setiap sisi.

Penerima untuk MIMO *multiplexing* perlu menggunakan teknik deteksi untuk dapat memisah-misahkan sinyal dari aliran data yang berbeda yang telah tercampur baur pada setiap antenna karena semua antenna bekerja pada frekuensi yang sama. Salah satu tantangan utama dalam merancang penerima MIMO adalah penyediaan estimasi respons kanal yang cepat dan akurat agar didapatkan data yang benar pada setiap antenna. Estimasi kanal penting dalam sistem MIMO karena dari situlah sistem ini dapat bekerja. Algoritma yang digunakan pada penerima membutuhkan pengetahuan tentang kondisi kanal. Sehingga muncul pendapat bahwa sistem MIMO justru memanfaatkan keberadaan *multipath* dan menggunakan estimasi kanal *multipath* dalam proses deteksi. Penerima untuk sistem MIMO tersebut antara lain *zero forcing receiver* dan *V-BLAST receiver*.

a. Zero Forcing Receiver

Algoritma *zero forcing* dirumuskan dengan estimasi keluaran $y = Q(y)$. algoritma ini didasarkan pada teknik adaptif antenna larik konvensional yang disebut sebagai linear nulling. Pada metode ini, masing-masing *spasial stream* dapat dipertimbangkan sebagai sinyal yang diinginkan dan *spasial stream* yang lain diasumsikan sebagai derau atau penginterferensi. Mengnolkan penginterferensi dilakukan oleh pembobot linear pada sistem yang diterima sehingga semua sinyal penginterferensi dapat dihilangkan. Pada algoritma *zero forcing* untuk menolak penginterferensi dilakukan dengan memilih *vector* pembobot r dengan nilai $i=1,2,\dots$

b. V-BLAST Receiver

Salah satu bentuk penerima untuk kanal

MIMO dengan arsitektur *BLAST receiver* disebut dengan *parallel encoding*. Proses *parallel encoding* adalah dengan memasukkan data serial *demultiplexing* menjadi M_t *independent stream*. masing-masing *spatial stream* kemudian disandikan dahulu (per *antenna coding*) sebelum di pancarkan oleh masing-masing antenna. Proses ini dapat dianggap sebagai mengubah data serial menjadi *vector* yang *vertical* yang disebut sebagai *vertical encoding* atau *V-BLAST*. *Vertical encoding* menghasilkan *diversity gain* sebesar M_r antenna penerima karena setiap *symbol* yang disandikan dipancarkan oleh satu antenna pemancar dan diterima sebanyak M_r antenna penerima. Sistem ini mempunyai tingkat kompleksitas penyandian yang meningkat secara linear dengan jumlah antenna yang digunakan.

Proses pertama kali yang dilakukan pada *V-BLAST receiver* adalah dari sejumlah M_t *symbol* yang ditransmisikan dipilih satu *symbol* berdasarkan SNR yang diterima. Estimasi *symbol* yang diterima dengan SNR tertinggi dilakukan dengan menganggap *symbol* yang lain sebagai *noise* atau interferen. Kemudian *symbol* yang diestimasi tersebut dikeluarkan dan *symbol* selanjutnya SNR tinggi yang diestimasi. *Symbol* yang sudah diestimasi kemudian dianggap sebagai *noise*. Proses tersebut berulang terus sampai semua *symbol* yang dipancarkan selesai diestimasi semua sehingga dapat dikatakan bahwa algoritma *V-BLAST* menggunakan prosedur rekursi untuk mendapatkan kembali dengan tepat semua *symbol* yang dipancarkan.

Algoritma *V-BLAST* menggunakan algoritma *zero forcing* pada bagian awal proses inialisasi kanal dari sistem *zero forcing* hingga menghasilkan beberapa *spatial stream* yang masing-masing mempunyai varians derau.

Kemudian akan diseleksi untuk memilih *spatial stream* dengan derau terendah. Penerima *V-BLAST* dengan *zero forcing* kemudian disebut sebagai *V-BLAST/ZF receiver*.

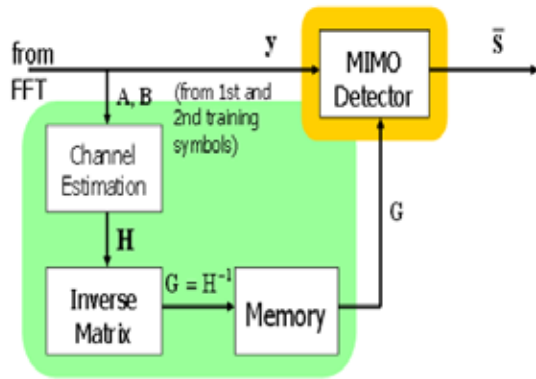
V-BLAST receiver menghasilkan kinerja lebih baik dari pada linear *receiver*. Hal ini disebabkan proses estimasi *symbol* dilakukan satu per satu dan adanya proses *symbol cancellation* untuk meminimalkan galat.

MIMO Decoding Circuit

- Modus saat penerima mendapatkan simbol

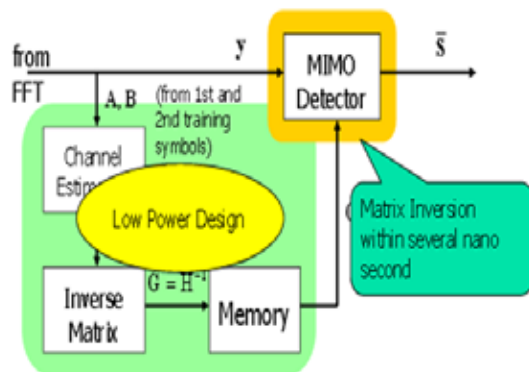
Estimasi bahwa saluran dan perhitungan invers matriks harus diselesaikan.

- Modus saat penerima mendapatkan simbol data MIMO *decoding* harus diterapkan



Gambar 3 MIMO Decoding Circuit MIMO Detecto

- High speed & Low power



Gambar 4 MIMO Decoding Circuit High Speed dan Low Power

- Nomor terkecil dari Gates
- Switching pengurangan daya
- Reduksi saat Leak
- Kalkulasi Paralel / Pipelined
- Waktu rate terendah
- Power Control
- Waktu gated
- Dynamic Power untuk Modul Blok

3 APLIKASI MIMO

Sistem MIMO sekarang ini bisa didapatkan pada produk wireless LAN generasi 802.11n. Ada enam proposal yang sudah dibuat untuk standar 802.11n dan kemudian dikelompokkan menjadi dua proposal utama dari dua kelompok

yaitu TgnSync (Task Group n Synchronization) dan WWiSE (World Wide Spectrum Efficiency). TgnSync terdiri dari vendor-vendor antara lain Atheros, Agere, Marvell, Cisco, dan Intel. Sedangkan WWiSE terdiri dari Airgo, Broadcomp, Conexant, dan Texas. Pada dasarnya kedua proposal dapat dikatakan sama dengan tujuan utama yaitu untuk meningkatkan kecepatan transmisi (*data rate*) hingga mencapai lebih dari 100 Mbps. Masing-masing menyesuaikan penggunaan teknologi MIMO dengan konfigurasi berbeda-beda. Sampai saat ini IEEE group belum menetapkan standar baku yang dipilih dari kedua proposal utama tersebut. Banyak pihak yang menduga bahwa penetapan standar lebih merupakan strategi politik dan bukan masalah teknis. Kedua proposal (WWiSE dan TgnSync) mengimplementasikan sistem MIMO pada WLAN.

Perhitungan *data rate* menurut proposal dari WWiSE adalah menggunakan rumus dasar :

- Data rate (Mbps) = 0.675 x Bandwidth kanal x jumlah spatial stream x code bit per subcarrier x cose rate.
- Bandwidth kanal = 20 untuk kanal 20 MHz atau 40 untuk kanal 40 MHz.
- Jumlah spatial stream = bias berjumlah 1, 2, 3 atau 4 dan harus kurang dari atau sama dengan jumlah antenna pemancar.
- Jumlah bit penyandi per subcarrier pada umumnya ada 6 untuk modulasi 64 QAM atau 4 untuk 16 QAM. BPSK ada 1, QPSK ada 2 dan hanya bias digunakan pada kanal 20 MHz.
- Code rate nilai 1/2 atau 3/4 saat menggunakan 16 QAM dan bernilai 2/3, 3/4., 5/6 saat menggunakan 64 QAM.

Contoh konfigurasi adalah sebagai berikut.

- Konfigurasi dengan kanal 20 MHz, 4 spatial stream, modulasi 16 QAM, laju sandi 1/2 menghasilkan kecepatan 108 Mbps.
- Konfigurasi dengan kanal 40 MHz, 4 spatial stream, modulasi 64 QAM la kecepatan ju sandi 5/6 menghasilkan 540 Mbps.

Aplikasi lain penggunaan MIMO adalah pada sistem MIMO-OFDM yang mengkombinasikan teknologi MIMO dan frekuensi orthogonal division multiplexing (OFDM) yang arsitekturnya [3] merupakan sistem nirkabel masa depan (4G). Kombinasi MIMO dan OFDM bertujuan mengurangi interferensi *intersymbol* yang dapat meningkatkan kapasitas sistem

transmisi *wideband*. Sistem MIMO-OFDM memanfaatkan ruang dan keragaman frekuensi secara bersamaan untuk meningkatkan kinerja sistem

OFDM [2] didasarkan pada prinsip frekuensi division multiplexing (FDM) dimana seluruh saluran dibagi menjadi N sub-kanal sempit paralel dengan ukuran IFFT. Sehingga simbol durasi menjadi N kali lebih lama dari simbol yang sama dalam sistem carrier tunggal. Durasi simbol dibuat lebih lama dengan menambahkan *cyclic prefix* untuk setiap simbol. Selama *cyclic prefix*, OFDM menawarkan *intersymbol intersymbol* gangguan (ISI) transmisi bebas. Keuntungan menggunakan OFDM adalah dapat mengurangi sebagian besar kompleksitas yang memungkinkan terjadinya pemerataan domain frekuensi untuk memenuhi persyaratan *data rate* dan kinerja yang tinggi dari saluran menantang dengan waktu dan frekuensi selektif. Selanjutnya, saluran MIMO dapat meningkatkan kapasitas dan keragaman sistem.

4 MIMO-OFDM SYSTEM MODEL

Struktur *transceiver* umum MIMO-OFDM disajikan pada Gambar 5. Saluran MIMO dalam model ini terdiri dari 2 antena pemancar dan penerima. Pertama aliran data yang masuk dipetakan menjadi simbol-simbol data melalui beberapa teknik modulasi seperti BPSK, 16-QAM. Serial to Paralel Converter (SPC) mengkonfirmasi sejumlah simbol yang masuk ke sub-aliran paralel. Jumlah aliran paralel tergantung pada jumlah antena pemancar (dalam makalah ini ada 2). Kemudian blok N_g menginformasikan Data simbol $S = [s_1, s_2, \dots, s_{N_g}]$ yang dikodekan ke dalam *codeword* matriks ukuran $N_C T \times M$ yang kemudian akan dikirim T OFDM blok melalui M , setiap blok terdiri dari sub-kanal atau N_c *subcarriers*. dimana dalam makalah ini dipilih $M = 2$ dan $N_c = 64$ untuk tujuan simulasi. *Codeword* matriks [4] dapat dinyatakan dalam "(1)"

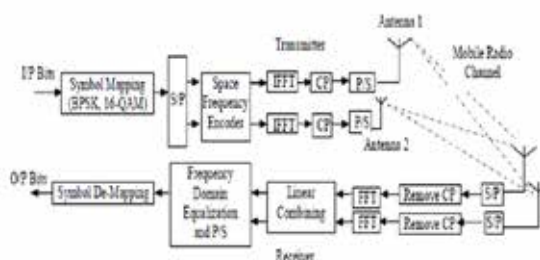
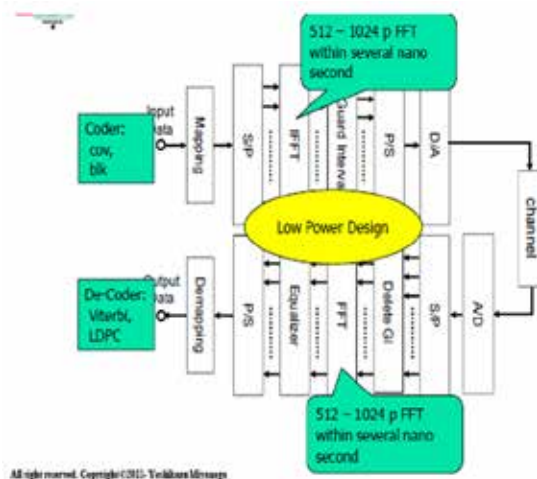


Figure 1. Space Frequency Coded 2x2 MIMO-OFDM transceiver structure

Gambar 5 Struktur Space Frequency Coded 2x2 MIMO-OFDM Transceiver

Kombinasi teknologi MIMO dan *orthogonal frequency division multiplexing* (OFDM) merupakan sistem transmisi *wideband* yang digunakan untuk mengurangi interferensi antar simbol dan meningkatkan kapasitas sistem. Sistem MIMO-OFDM memanfaatkan keragaman ruang dan frekuensi secara bersamaan untuk meningkatkan kinerja sistem. Pengkodean dilakukan di OFDM sub pembawa simbol OFDM. Dalam tulisan ini, kinerja Space-Frekuensi (SF) blok coding untuk MIMO-OFDM dengan *equalizer* yang berbeda diteliti. Bit Error Rate (BER) analisis disajikan dengan menggunakan *equalizers* berbeda dan kemudian digunakan metode pemerataan optimal.



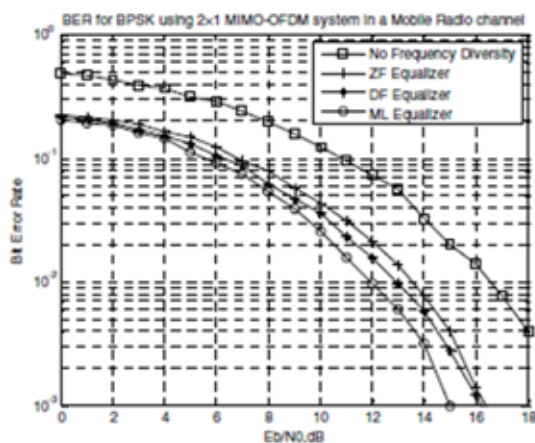
All rights reserved. Copyright ©2011, Yektihasni Mulyana

Gambar 6 Sistem OFDM

Hasil Simulasi parameter untuk Gambar 5 MIMO-OFDM *transceiver* tercantum dalam Tabel 1

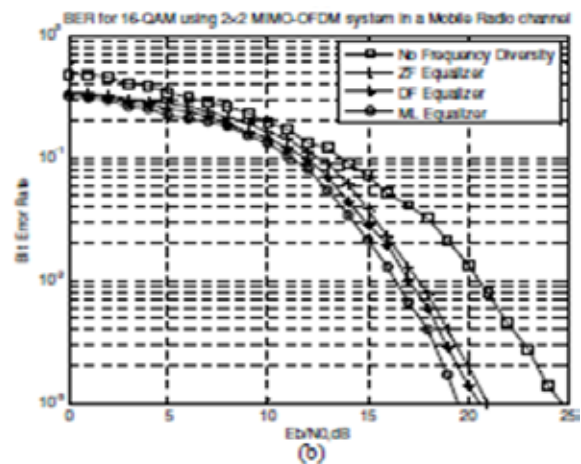
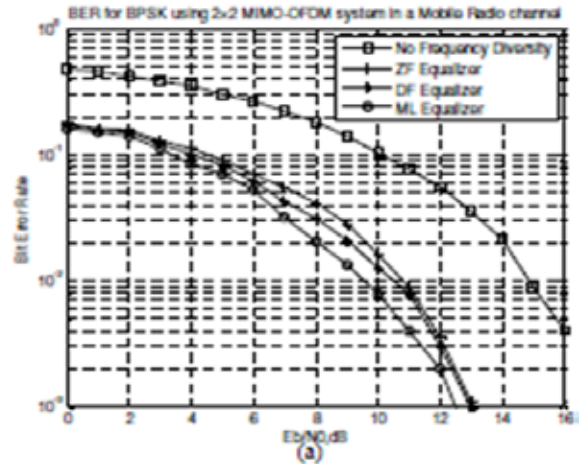
Tabel 1 Simulasi untuk MIMO-OFDM Parameter

S. No.	Parameter	Value
1	Number of Transmit antenna	2
2	Number of receiving antenna	1 and 2
3	Maximum Doppler freq. (f_m)	200
4	Maximum Doppler shift	$2\pi f_m = 1.256 \times 10^3$
5	Carrier modulation used	BPSK and 16-QAM
6	Number of data subcarriers	128
7	Number of pilot-subcarriers	None
8	IFFT size	64
9	Guard period type	cyclic extension
10	Cyclic prefix length	32
11	Window type	No windowing used
12	Bandwidth	20MHz
13	Number of channel Taps	12 (Freq. Flat channels)
14	Sub-carrier frequency spacing	$20/64 = 0.3125$ MHz
15	T_{FFT} : IFFT/FFT period	3.2 μ sec
16	T_{CP} : cyclic prefix duration	0.8 μ sec
17	Total OFDM symbol duration	$T_{FFT} + T_{CP} = 4 \mu$ sec



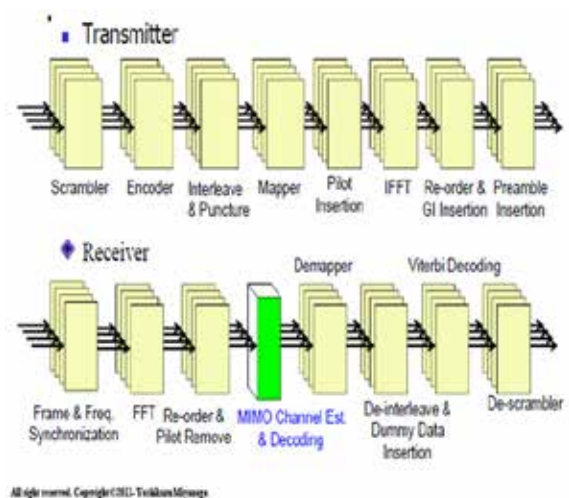
Gambar 7 BER untuk BPSK yang menggunakan sistem MIMO-OFDM

Gambar 7 menunjukkan empat sub-plot, dimana plot pertama tanpa menggunakan *alamouti coding* sedangkan di plot lain digunakan ZF, DFE dan ML *equalizer*. BER berkurang sampai 0,0040 pada SNR 18dB dan sekitar 10^{-3} pada SNR 17,16 dan 15 dB dalam sub-plot berikutnya

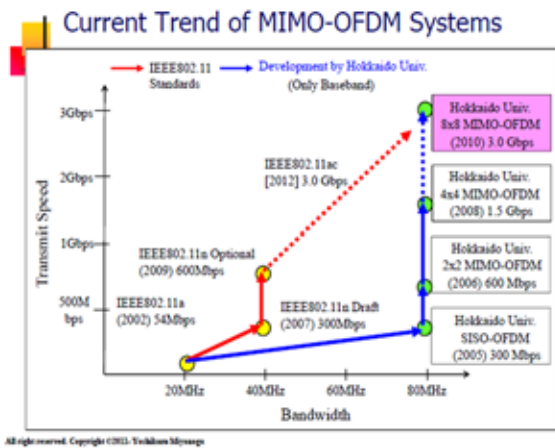


Gambar 8 BER untuk BPSK 16 QAM menggunakan sistem 2x2 MIMO-OFDM

Kinerja BER relatif lebih baik di BPSK dari pada 16-QAM. Perbandingan Gambar 8 dan 7 dapat dengan jelas terlihat bahwa menggunakan 2 receiver mampu meningkatkan kinerja sistem.



Gambar 9 Blok Diagram Rangkaian 4x4 MIMO-OFDM



Gambar 9 Trend Sistem MIMO_OFDM

5 PENUTUP

- Saluran MIMO dapat meningkatkan kapasitas dan keragaman sistem.
- MIMO-OFDM memiliki persyaratan untuk data rate dan kinerja yang tinggi atas berbagai saluran yang memiliki tantangan dalam masalah waktu dan frekuensi yang selektif.

DAFTAR KEPUSTAKAAN

- [1] Anhar, "Evaluasi Kinerja Kapasitas Kanal MIMO Pada Transmisi Wireless", Jurnal Sains dan Teknologi Vol 8 no 2 2009.
- [2] Bhasker Gupta, Davinder S. Saini, "BER Analysis of Space-Frequency Block Coded MIMO-OFDM Systems Using Different Equalizers in Quasi-Static Mobile Radio Channel", International Conference on Communication Systems and Network Technologies. 2011
- [3] Yonathan Santoso, "Sistem MIMO sebagai Dasar Menuju 4G",
- [4] Yozhikazu Miiyanaga, "Cognitive System and High Speed Wireless" Distinguished Lecturer, IEEE Circuits and Systems Society, 2011