

Makalah Seminar Tugas Akhir  
**Analisa Pengaruh Jumlah Antena dan Algoritma Deteksi Pada MIMO Penjamakan Spasial  
Terhadap Kualitas Pengiriman Informasi**  
Oleh : Irma Komariah, L2F 303 446  
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

**ABSTRAK**

Sistem komunikasi nirkabel *Multiple Input Multiple Output (MIMO)* menggunakan antena susunan (*antenna array*) baik pada sisi pengirim maupun pada sisi penerima untuk menyediakan jalur komunikasi yang substansial secara efisiensi spektral, diversitas dan kapasitas. Sistem MIMO yang umum menjadi topik penelitian adalah *Space Time Block Coding (STBC)* dan *Spatial Multiplexing (SM)*. SM adalah sistem MIMO dengan aliran informasi yang saling bebas pada masing-masing antena pemancar sehingga menjadi sangat sensitif terhadap kondisi buruk matrik kanal tapi memberikan peningkatan efisiensi spektral untuk laju data yang tetap.

Penggunaan jumlah antena yang bervariasi baik di sisi pengirim maupun di sisi penerima memberikan pengaruh yang berbeda terhadap performansi sistem. Jumlah antena pemancar tidak harus sama dengan jumlah antena penerima. Jumlah antena pada pemancar boleh lebih banyak dibanding di penerima, begitu juga sebaliknya. Ketiga kondisi tersebut memberikan pengaruh yang berbeda terhadap performansi sistem selain jumlah antena itu sendiri.

Performansi sistem yang menggunakan MIMO juga dipengaruhi oleh metode/algoritma deteksi simbol yang digunakan. Tugas Akhir ini akan mencoba membandingkan algoritma yang ada dan mencoba menggabungkannya untuk mendapatkan algoritma yang lebih optimal. Algoritma deteksi yang akan diuji adalah ZF, VBLAST, LLSE, ZF-VBLAST dan VBLAST-LLSE. Pengujian dilakukan dengan cara membuat model simulasi dari sistem MIMO yang dimaksud dengan menggunakan program MATLAB pada kondisi kanal propagasi berderau AWGN dan rayleigh dengan mobilitas diam.

**Kata Kunci:**

*Multiple Input Multiple Output (MIMO)*, *Spatial multiplexing*, *multi antena*, *AWGN*, *rayleigh*, *ZF*, *VBLAST*, *LLSE*, *ZF-VBLAST* dan *VBLAST-LLSE*.

**I PENDAHULUAN**

Permintaan untuk suatu sistem telekomunikasi yang mendukung layanan multimedia interaktif seperti konferensi jarak jauh dan internet nirkabel telah mendorong lahirnya teknologi *Broadband Wireless Access (BWA)* terbaru, WiFi, WPAN dan yang terakhir adalah WiMAX. WiMAX merupakan teknologi BWA yang dikembangkan untuk mengatasi keterbatasan jaringan kabel untuk memenuhi kebutuhan layanan *broadband* akses ke pelanggan.

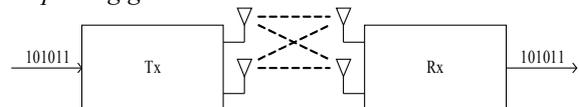
Tapi pada kenyataannya, tidak ada satu pun teknologi yang sempurna. WiMAX memang sudah bisa dikatakan sangat bagus untuk aplikasi BWA. Tapi kanal propagasi tidak ada yang bisa memprediksi, kadang bagus kadang sangat buruk. Untuk mengatasi pengaruh kanal propagasi yang buruk, kita tidak bisa menggunakan cara peningkatan daya pancar secara linear. Ini akan menyebabkan interferensi bagi sistem lain. Yang bisa dilakukan adalah memperbaiki metode pengiriman informasi dan proses deteksinya.

Pada *draft* standard WiMAX yang dikeluarkan oleh IEEE, dimungkinkan untuk menerapkan metode banyak antena yaitu *Multiple Input Multiple Output (MIMO)* untuk memperbaiki performansinya. Namun kita tidak akan membahas tentang WiMAX tapi terfokus pada MIMO. MIMO ada beberapa macam jenisnya namun yang akan diteliti adalah jenis penjamakan spasial. MIMO penjamakan spasial mampu memberikan peningkatan laju data untuk lebar pita sinyal yang tetap karena mempunyai efisiensi bandwidth sinyal transmisi yang tinggi. Performansi MIMO sendiri dipengaruhi oleh kombinasi jumlah antena pada pengirim dan penerima dan juga metode/algoritma deteksi MIMO-nya. Kedua hal tersebutlah yang akan menjadi inti dari Tugas Akhir ini.

**II KAJIAN PUSTAKA**

**2.1 MIMO**

Pada sistem komunikasi nirkabel, sinyal transmisi akan mengalami kerusakan akibat adanya *fading*, sehingga akan menurunkan performansi sistem. Di sisi lain, tuntutan peningkatan laju data dan kualitas layanan sistem komunikasi nirkabel memicu lahirnya teknik baru untuk meningkatkan efisiensi spektrum dan perbaikan kualitas saluran. Hal ini dapat dicapai dengan menggunakan banyak antena di kedua sisi pengirim dan penerima, dan teknik ini dikenal sebagai MIMO. Ada dua hal yang sebenarnya diberikan oleh sistem MIMO yaitu diversitas *gain* dan *multiplexing gain*.



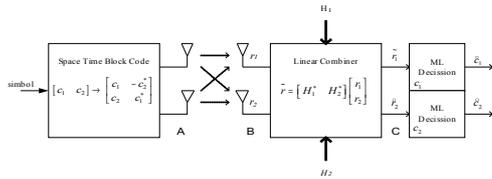
Gambar 2.1. Representasi fisik model sistem MIMO

Diversitas *gain* dapat dicapai dengan menerapkan teknik diversitas pada sistem komunikasi nirkabel. Prinsipnya, diversitas mengirimkan beberapa replika sinyal informasi pada kanal *independent fading*, sehingga di penerima minimal ada satu sinyal yang tidak mengalami *fading* terburuk. Teknik diversitas yang biasanya digunakan yaitu diversitas waktu, diversitas frekuensi, dan diversitas antena.

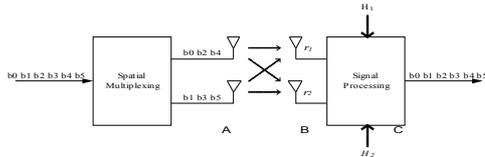
Pada sistem MIMO teknik diversitas yang digunakan adalah diversitas antena untuk mencapai diversitas *gain* yang selanjutnya dikenal dengan istilah *Space Time Block Code (STBC)*.

Sedangkan *multiplexing gain* dapat dicapai dengan menggunakan Penjamakan Spasial (SM) atau

*space division multiplexing* (SDM) pada sinyal yang akan dikirim. Prinsip dasar SDM yaitu deretan simbol yang akan dikirim dipecah menjadi beberapa paralel deretan simbol yang kemudian ditransmisikan secara simultan dengan lebar pita yang sama pada masing-masing antenna, sehingga teknik ini memberikan peningkatan laju data.



Gambar 22. MIMO dengan skema diversitas antenna, STBC



Gambar 2.3. MIMO dengan skema SM

Berdasarkan hal diatas, karena tujuan awal penerapan MIMO pada sistem Nirkabel LAN adalah meningkatkan laju data. maka pada makalah ini akan difokuskan pada teknik Penjamakan Spasial atau *space division multiplexing*.

Dengan menggunakan Penjamakan Spasial maka sinyal kirim ( $s$ ), sinyal terima ( $r$ ), sinyal *noise* ( $n$ ) dan kanal MIMO ( $H$ ) dapat dinyatakan dalam bentuk matriks berikut :

$$r = H.s + n$$

$$\bar{s} = \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \\ \vdots \\ s_M \end{bmatrix}, \bar{r} = \begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \\ \vdots \\ r_N \end{bmatrix}, \bar{n} = \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ \vdots \\ n_N \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

$$\text{dan } \bar{H} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & \dots & h_{1M} \\ h_{21} & h_{22} & \dots & h_{2M} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{N1} & h_{N2} & \dots & h_{NM} \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

Masing-masing bagian yang dikirimkan secara simultan oleh antenna kirim akan bercampur di udara, sehingga di penerima diperlukan suatu teknik deteksi untuk mendapatkan kembali masing-masing bagian. Dan teknik deteksi yang digunakan pada Tugas Akhir ini yaitu *Zero Forcing* (ZF), *Vertical Bell Laboratories Layered Space Time* (V-BLAST), *Linear Least Square Estimation* (LLSE) serta beberapa gabungannya.

## 2.2 Algoritma Deteksi

### 2.2.1 Zero Forcing (ZF)

Algoritma ZF didasari oleh teknik konvensional *adaptive antenna array*, yaitu *linear combinatorial nulling*. Prinsip dasarnya adalah masing-masing bagian diyakini sebagai sinyal yang diinginkan, sedangkan sinyal lainnya dianggap sebagai penginterferensi..

### 2.2.2 V-BLAST (Vertical-Bell Laboratories Layered Space Time)

V-BLAST adalah sistem yang menggunakan teknik penjamakan spasial yang ditemukan oleh Bell Laboratory. Pada prinsipnya V-BLAST sama dengan

algoritma ZF di mana masing-masing bagian diyakini sebagai sinyal yang diinginkan sedangkan yang lainnya dianggap sebagai interferensi, tetapi pada V-BLAST bagian yang pertama dideteksi adalah bagian yang paling kuat, kemudian bagian yang dideteksi ini dihapuskan dari sinyal yang diterima penerima dan lalu diumpun balikkan lagi untuk didapatkan bagian yang paling kuat, dan hal ini terus berlanjut sampai semua bagian didapatkan.

### 2.2.3 LLSE (Linear Least Square Estimation)

Untuk LLSE tidak ada algoritma khusus dan cukup sederhana. Penerima LLSE adalah penerima

## 2.3 Konsep Teori Informasi Pada MIMO

Untuk sistem komunikasi 1 x 1 (SISO), formulasi kapasitas sistem diberikan oleh persamaan :

$$C = \log_2(1 + \rho |h|^2) \text{ b/s/Hz} \quad (2.3)$$

Dimana  $h$  adalah *gain* kompleks ternormalisasi dari kanal nirkabel.  $\rho$  adalah SNR pada antenna penerima.

Jika antenna penerima lebih dari satu elemen, maka persamaan kapasitas akan menjadi :

$$C = \log_2\left(1 + \rho \sum_{i=1}^M |h_i|^2\right) \text{ b/s/Hz} \quad (2.4)$$

Persamaan tersebut merupakan sebuah persamaan kapasitas untuk sistem 1 x M (SIMO) dimana  $h_i$  adalah *gain* untuk antenna ke- $i$ . Dengan bertambahnya nilai M maka C akan bertambah namun secara logaritmik.

Untuk kasus transmit diversitas dimana sistem memiliki N antenna pengirim namun hanya 1 antenna penerima (MISO, N x 1), persamaan kapasitas menjadi :

$$C = \log_2\left(1 + \frac{\rho}{N} \sum_{i=1}^N |h_i|^2\right) \text{ b/s/Hz} \quad (2.5)$$

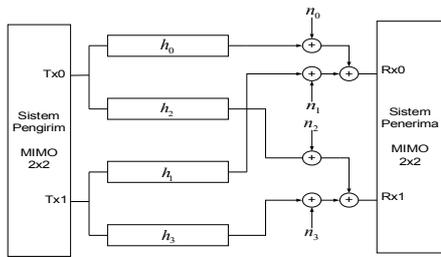
Di mana normalisasi dengan N memberikan kepastian bahwa daya total yang diterima adalah tetap dan menunjukkan ketiadaan *gain* antenna penerima jika kasus ini dibandingkan dengan kasus pada sistem SIMO.

Sekarang, kita dapat melihat persamaan kapasitas untuk sistem MIMO N x M :

$$C_{EP} = \log_2\left(\det\left[I_M + \frac{\rho}{N} H.H^H\right]\right) \text{ b/s/Hz} \quad (2.6)$$

## 2.4 Model Kanal MIMO

Pada sistem MIMO dengan konfigurasi antenna 2 antenna pengirim (Tx) dan 2 antenna penerima (Rx) terdiri empat kombinasi kanal yang mungkin untuk dilalui sinyal yang dikirimkan Tx1 dan Tx2 ke Rx1 dan Rx2. Masing-masing kanal tersebut merupakan kanal *multipath fading* yang memiliki distribusi yang masing-masing identik dan bebas, yaitu berdistribusi *Rayleigh*.



Gambar 2.4 Pemodelan Kanal Untuk Sistem MIMO 2x2

### III. PERANCANGAN PROGRAM SIMULASI

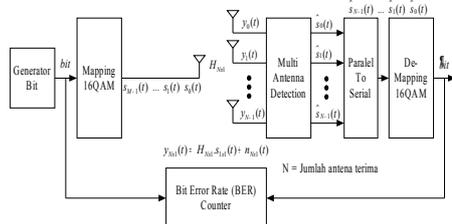
#### 3.1 Konfigurasi Sistem

Dalam bab ini akan dijelaskan perancangan model dan penentuan parameter yang digunakan dalam model. Perancangan model yang akan dibahas adalah model SIMO dengan satu antenna pengirim ( $M = 1$ ) dan banyak antenna penerima ( $N > 1$ ) sehingga ukuran matrik kanalnya adalah  $1 \times N$ , MISO dengan banyak antenna pengirim ( $M \times 1$ ) dan satu antenna penerima ( $N = 1$ ) sehingga ukuran matrik kanalnya adalah  $M \times 1$ , dan MIMO dengan ukuran matrik kanalnya  $M \times N$ . Untuk MIMO sendiri akan disimulasikan tiga kondisi, yaitu kondisi di mana jumlah antenna pengirim lebih besar dari jumlah antenna penerima ( $M > N$ ), jumlah antenna pengirim lebih kecil dari jumlah antenna penerima ( $M < N$ ) dan jumlah antenna pengirim sama dengan jumlah antenna penerima ( $M = N$ ).

Masing-masing model tersusun atas beberapa blok fungsional, yang terbatas pada kebutuhan minimum untuk suatu pengiriman bit informasi melalui sistem multi antenna. Kebutuhan minimum yang dimaksudkan disini adalah generator bit, mapping simbol sinyal yang merupakan bentuk ideal dari modulasi digital, serial to paralel converter, kanal propagasi, deteksi multi antenna, paralel to serial converter, demapping dan BER counter. Hal ini didasarkan pada fokus penelitian Tugas Akhir ini yaitu pada sistem multi antenna.

#### 3.1.1 Single Input Multiple Output (SIMO)

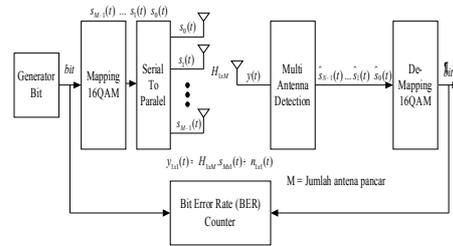
SIMO berarti satu antenna pengirim dan banyak antenna penerima. Dalam simulasi ini, jumlah antenna penerima dibatasi menjadi ( $N = 2, 4, 8$  dan  $12$ ).



Gambar 3.1 Model SIMO

#### 3.1.2 Multiple Input Single Output (MISO)

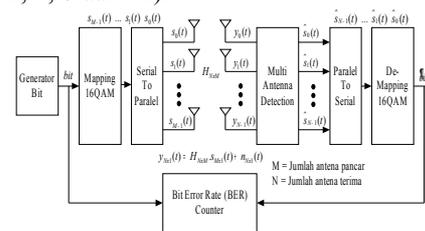
MISO berarti banyak antenna pengirim dan satu antenna penerima. Dalam simulasi ini, jumlah antenna pengirim dibatasi menjadi ( $M = 2, 4, 8$  dan  $12$ ).



Gambar 3.2 Model MISO

#### 3.1.3 Multiple Input Multiple Output (MIMO)

MIMO berarti banyak antenna pengirim dan banyak antenna penerima. Dalam simulasi ini, jumlah antenna pengirim dan penerima dibatasi menjadi ( $M, N = 2, 4, 8$  dan  $12$ ).



Gambar 3.3 Model MIMO

Tabel 3.1 Kombinasi jumlah antenna pengirim dan penerima

Sistem	Jumlah Antena				
	1xN	1x2	1x4	1x8	1x12
SIMO	1xN	1x2	1x4	1x8	1x12
MISO	Mx1	2x1	4x1	8x1	12x1
MIMO	M<N	2x4	4x8	8x12	-
	M>N	4x2	8x4	12x8	-
	M=N	2x2	4x4	8x8	12x12

### 3.2 Blok Fungsional

#### 3.2.1 Data Generator

Blok ini membangkitkan data biner digital '0' dan '1' secara acak sebanyak jumlah bit tertentu dimana probabilitas jumlah kemunculan bit '0' dan '1' sama besar.

#### 3.2.2 Mapping 16QAM

Mapping atau modulasi yang digunakan adalah 16QAM dengan tahapan proses sebagai berikut:

##### - Digital to Analog Converter (DAC)

Deretan bit merupakan inputan bagi DAC. Setiap 8 bit pada deretan bit akan dipecah menjadi dua deretan/jalur, sehingga tiap jalur ada 4 bit. 4 bit tersebut mempunyai 16 buah kombinasi yang selanjutnya dijadikan sebagai 16 buah level amplitudo tegangan yang berupa bilangan bulat yang merupakan sinyal Pulse Amplitude Modulation (PAM).

Tabel 3.2 Kombinasi bit dan level tegangan PAM

Kombinasi Bit	Level Tegangan PAM (A)
0 0 0 0	0
0 0 0 1	1
0 0 1 0	2
0 0 1 1	3
0 1 0 0	4
0 1 0 1	5
0 1 1 0	6
0 1 1 1	7
1 0 0 0	8
1 0 0 1	9

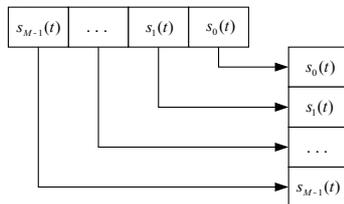
1 0 1 0	10
1 0 1 1	11
1 1 0 0	12
1 1 0 1	13
1 1 1 0	14
1 1 1 1	15

**Modulasi**

Level tegangan PAM yang dihasilkan akan dimodulasi menjadi simbol-simbol sinyal informasi.

**3.2.3 Serial to Paralel Converter**

Blok ini berfungsi untuk membagi deretan simbol pada pengirim  $[s_{M-1}(t) \dots s_1(t) s_0(t)]$  menjadi beberapa deretan simbol paralel yang berlaju data lebih rendah  $[s_0(t) s_1(t) \dots s_{M-1}(t)]^T$  yang selanjutnya beberapa deretan simbol tersebut akan dikirimkan melalui antenna yang berbeda.



Gambar 3.4 Skema serial to parallel converter

**3.2.4 Matrik Kanal Propagasi**

Matrik kanal propagasi merupakan representasi dari koefisien-koefisien kanal yang terdapat pada setiap lintasan sinyal multi antenna. Setiap koefisien kanal dibangkitkan oleh fungsi pembangkit koefisien kanal yang dimodelkan dengan model Rayleigh.

$$\underline{H} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & \dots & h_{1M} \\ h_{21} & h_{22} & \dots & h_{2M} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{N1} & h_{N2} & \dots & h_{NM} \end{bmatrix}$$

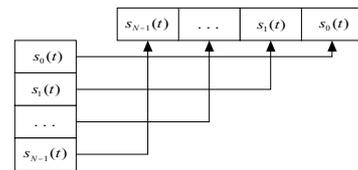
Dimana M adalah jumlah antenna pemancar dan N adalah antenna penerima.

**3.2.5 Deteksi Multi Antena**

Deteksi multi antena dilakukan dengan menggunakan beberapa algoritma deteksi agar bisa diketahui kemampuan masing-masing algoritma deteksi. Seperti yang dijelaskan sebelumnya, algoritma deteksi yang digunakan adalah ZF, LLSE, VBLAST-ZF dan VBLAST-LLSE. Secara detail masing-masing algoritma sudah dijelaskan dalam bab2.

**3.2.6 Paralel to Serial**

Dari hasil deteksi MIMO di penerima, didapatkan beberapa deretan simbol paralel  $[\hat{s}_0(t) \hat{s}_1(t) \dots \hat{s}_{N-1}(t)]^T$ , selanjutnya deretan simbol ini akan dijadikan satu deretan simbol terima  $[\hat{s}_{N-1}(t) \dots \hat{s}_1(t) \hat{s}_0(t)]$  oleh blok paralel to serial converter.



Gambar 3.5 Skema parallel to serial converter

**3.2.7 De-Mapping 16QAM**

Proses yang terjadi adalah kebalikan dari proses Mapping, yang membedakan adalah sinyal PAM yang diterima belum tentu sama dengan sinyal PAM yang dikirimkan. Hal ini disebabkan oleh pengaruh kanal propagasi. Secara lengkap proses de-mapping adalah;

- Demodulasi

Simbol sinyal yang diterima, tidak peduli apakah simbol tersebut benar atau salah, akan dilakukan proses perubahan ke sinyal PAM.

- Analog to Digital Converter (ADC)

Sinyal PAM yang merupakan hasil demodulasi dari simbol terima akan dikonversi menjadi 4 buah bit terima.

Tabel 3.3 Level tegangan PAM terima dan bit terima

Level Tegangan PAM Terima (A)	Kombinasi Bit Terima
0	0 0 0 0
1	0 0 0 1
2	0 0 1 0
3	0 0 1 1
4	0 1 0 0
5	0 1 0 1
6	0 1 1 0
7	0 1 1 1
8	1 0 0 0
9	1 0 0 1
10	1 0 1 0
11	1 0 1 1
12	1 1 0 0
13	1 1 0 1
14	1 1 1 0
15	1 1 1 1

**3.2.8 Bit Error Rate Counter**

Blok ini berfungsi menghitung nilai bit error dengan membandingkan antara bit yang dikirim dengan bit yang diterima. Proses perbandingan dilakukan dengan penjumlahan modulo-2 atau XOR yaitu akan bernilai 0 kalau bit yang dibandingkan sama atau bernilai 1 kalau bit yang dibandingkan berbeda.

Tabel 3.4 Nilai yang mungkin dari proses XOR

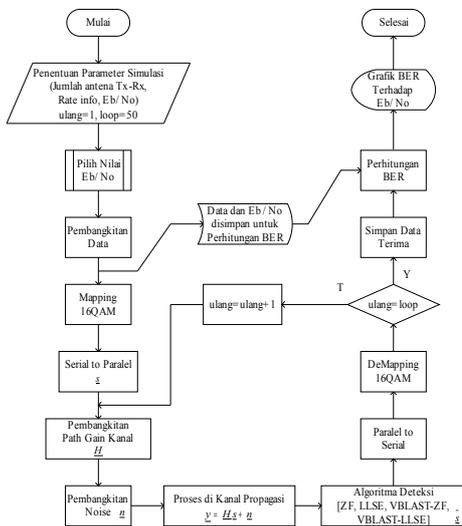
Bit kirim	Bit terima	Bit kirim ⊕ Bit terima
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Hasil XOR akan dijumlahkan yang merepresentasikan jumlah bit yang error. BER adalah perbandingan antara jumlah bit error dengan jumlah bit yang dikirimkan.

**3.3 Prosedur Pelaksanaan Simulasi**

Prosedur pelaksanaan simulasi yang akan dilakukan adalah membangun model sistem multi antenna (MISO, SIMO, MIMO) yang kemudian diberi perlakuan pengaruh bit rate yang berbeda, jumlah

antena pengirim dan penerima yang berbeda dan algoritma deteksi multi antenna yang berbeda. Dengan parameter kanal yang tetap, namun tetapnya parameter kanal tidak berarti koefisien gain kanal tetap, tapi berubah dengan kata lain kanal bersifat berubah terhadap waktu (time variant). Secara lengkap tentang prosedur pelaksanaan simulasi, bisa digambarkan melalui sebuah diagram alir (flow chart) seperti gambar 3.6.



Gambar 3.6 Flow chart program simulasi

#### 4. ANALISIS HASIL SIMULASI

Seperti telah dijelaskan pada bagian sebelumnya, bahwa tugas akhir ini bertujuan untuk menganalisa performansi sistem yang menggunakan banyak antenna baik pada sisi pengirim maupun pada sisi penerima yang lebih fokus lagi pada sistem MIMO penjamakan spasial dengan algoritma deteksinya.

Bab ini akan memberikan analisis terhadap tiga jenis sistem multi antenna yaitu MIMO dan MISO-SIMO. Analisis sistem dilakukan dengan melihat grafik BER atau Error Probability (Pe) terhadap Eb/No yang didapat dari hasil simulasi. Analisis dilanjutkan dengan membandingkan kecenderungan grafik hasil simulasi dengan parameter performansi yang lain yaitu persamaan kapasitas kanal multi antenna (C).

Perbedaan hasil simulasi dipengaruhi oleh variabel jumlah antenna, algoritma deteksi terlihat pada tabel dan gambar berikut :

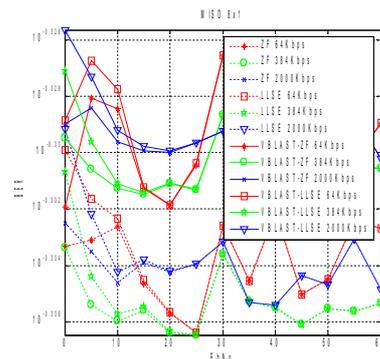
#### Untuk SIMO

Tabel 4.1 Harga Eb/No [dB] untuk BER mencapai BER minimum pada sistem SIMO

Multi Antena	Bit Rate	Algoritma Deteksi			
		ZF	LLSE	VBLAST-ZF	VBLAST-LLSE
1 x 2	64 kbps	33	33	33	33
	384 kbps	35	35	35	35
	2000 kbps	40	40	40	40
1 x 4	64 kbps	22,5	22,5	22,5	22,5
	384 kbps	24	24	24	24
	2000 kbps	26	26	26	26
1 x 8	64 kbps	16	16	16	16
	384 kbps	17	17	17	17
	2000 kbps	17	17	17	17

- Semakin banyak jumlah antenna penerima, maka performansi sistem semakin baik, ditunjukkan dengan semakin kecilnya Eb/No yang dibutuhkan untuk mencapai nilai BER yang sama.
- Pada setiap bit rate setiap variasi jumlah antenna penerima, semua algoritma deteksi memberikan performansi sistem yang sama. Tapi untuk algoritma deteksi yang sama, semakin banyak jumlah antenna penerima maka performansi sistem semakin baik yang ditunjukkan dengan semakin kecilnya nilai Eb/No untuk BER yang sama.

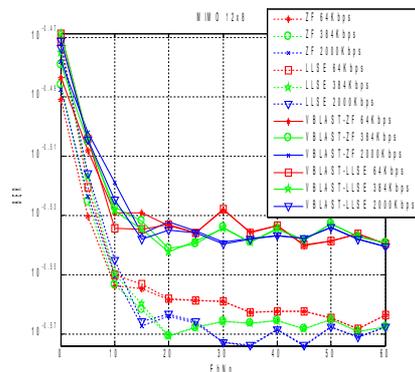
#### Untuk MISO



Gambar 4.1 Grafik BER terhadap Eb/No pada sistem MISO 8x1

- Dari gambar tersebut, untuk MISO tidak memberikan perbaikan performansi bahkan sangat buruk performansinya pada semua variasi parameter. BER minimum untuk semua bit rate tidak bisa dicapai.
- Untuk algoritma deteksi pada tiap variasi antenna dan bit rate, ZF dan LLSE memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan algoritma VBLAST-ZF dan VBLAST-LLSE.

#### Untuk MIMO jika M>N



Gambar 4.3 Grafik BER terhadap Eb/No pada sistem MIMO 12x8

Pada gambar diatas menunjukkan hasil simulasi MIMO M > N. performansi MIMO sangat buruk dan BER minimum untuk tiap bit rate tidak pernah tercapai. Hasil seperti ini mirip dengan hasil MISO.

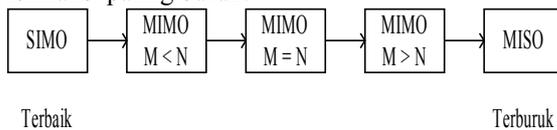
#### Untuk MIMO jika M>N

Tabel 4.2 Harga Eb/No [dB] untuk BER mencapai BER minimum pada sistem MIMO  $M < N$

Multi Antena	Bit Rate	Algoritma Deteksi			
		ZF	LLSE	VBLAS T-ZF	VBLAS T-LLSE
2 x 4	64 kbps	25	25	22	22
	384 kbps	26	26	24	24
	2000 kbps	30	30	27	28
4 x 8	64 kbps	17,5	17,5	15	15
	384 kbps	21	21	18	18
	2000 kbps	23	23	18,5	18,5
8 x 12	64 kbps	20	18	13,5	13,5
	384 kbps	20	20	13,7	13,7
	2000 kbps	24	24	16,5	16,5

Berdasarkan tabel tersebut menunjukkan hasil simulasi MIMO  $M < N$ . Berdasarkan gambar-gambar tersebut terlihat bahwa saat  $M < N$ , performansi MIMO sangat bagus dan BER minimum untuk tiap bit rate tercapai.

Berdasarkan analisis diatas, maka dapat disimpulkan bahwa pemakaian konfigurasi multi antena tidak selamanya memberikan perbaikan. Berikut ini urutan sistem multi antena dari yang mempunyai performansi paling bagus ke yang mempunyai performansi paling buruk.



Terbaik Terburuk  
Gambar 4.4 Urutan kualitas performansi sistem multi antena

Dari gambar 4.4 di atas, sistem multi antena SIMO mempunyai performansi paling bagus. Tapi perlu diingat bahwa dengan pemakaian 1 antena pengirim pada SIMO berarti tidak terjadi peningkatan efisiensi bandwidth. Ini tidak tepat saat sistem SIMO diaplikasikan pada layanan pita lebar semisal layanan data, video streaming atau sejenisnya karena akan sangat lebar bandwidth transmisi yang dibutuhkan. Hal ini tidak efisien untuk sistem komunikasi masa depan yang menuntut layanan pita lebar namun membutuhkan bandwidth transmisi yang sempit.

Konfigurasi sistem multi antena yang memungkinkan untuk diaplikasikan adalah MIMO  $M < N$  dan MIMO. MIMO mempunyai performansi yang lebih buruk dibanding MIMO  $M < N$  tapi mempunyai efisiensi bandwidth yang lebih besar karena mempunyai jumlah antena pengirim yang lebih banyak dibanding MIMO  $M < N$  pada jumlah antena penerima yang tetap. Sehingga MIMO adalah solusi optimal antara performansi dan efisiensi bandwidth.

## 5. Kesimpulan dan Saran

### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis simulasi model multi antena yang telah dilakukan, bisa diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Sistem multi antena spatial multiplexing mampu memberikan peningkatan efisiensi bandwidth sinyal transmisi yang tergantung pada jumlah antena pengirim.

- Pemakaian algoritma deteksi V-BLAST yang digabungkan dengan ZF dan LLSE memberikan perbaikan performansi jika dibandingkan dengan ZF dan LLSE saja.
- Performansi sistem multi antena spatial multiplexing salah satunya tergantung pada jumlah antena penerima, semakin banyak jumlah antena penerima maka semakin bagus proses deteksi yang menyebabkan performansi sistem semakin bagus.
- Untuk bit rate yang tetap, semakin banyak jumlah antena pengirim maka bandwidth sinyal transmisi semakin kecil. Ini sesuatu yang bagus dari segi efisiensi bandwidth, tapi merupakan sesuatu yang buruk bagi performansi saat jumlah antena penerima jauh lebih kecil dari jumlah antena pengirim.
- Model sistem multi antena MIMO dengan jumlah antena pengirim sama dengan jumlah antena penerima merupakan solusi optimal antara performansi dan efisiensi bandwidth sinyal transmisi.

## 5.2 Saran

Dari hasil simulasi, ada beberapa hal yang bisa dikembangkan untuk perbaikan bagi penelitian selanjutnya oleh pihak lain, yaitu:

- Pemakaian estimasi kanal MIMO pada model simulasi.
- Simulasi dilakukan dengan tambahan korelasi spasial antena pada matrik kanal.
- Model multi antena khususnya MIMO diterapkan pada sistem yang sudah distandarkan seperti WiFi, WiMAX dan WLAN.

## DAFTAR PUSTAKA

- Paulraj, A.J., "Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) Wireless System", Journal, Stanford University, Stanford, 2003.
- Gesbert, D., Shafi, M., Shiu, D.S., Smith, J.P., Naguib, A., "From Theory to Practice: An Overview of MIMO Space-Time Coded Wireless Systems", Papers, IEEE Journal, 2003.
- Jafarkhani, H., "Space Time Coding, Theory and Practice", University of California, Cambridge University Press, New York, 2005.

Semarang, Oktober 2008

Pembimbing I

Pembimbing II

Agung Budi Prasetijo  
NIP.132.137.932

Budi Setiyono  
NIP. 132.283.184