

PENINGKATAN KINERJA WLAN 802.11n DENGAN KERAGAMAN PENERIMA DAN PENGATURAN JARAK ANTAR ANTENA

Aulia Iqbal M^{*}), Wahyul Amien Syafei, and Ajub Ajulian Zahra

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro Semarang
Jl. Prof Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*}E-mail: qbl.maulana@gmail.com

Abstrak

Wireless Local Area Network (WLAN) 802.11n adalah teknologi jaringan nirkabel yang digunakan untuk komunikasi data dengan throughput maksimum 600 Mbps. Ciri utama pada standar 802.11n adalah penerapan teknik Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) dan Multiple Input Multiple Output (MIMO). Karena mempunyai banyak antenna maka terdapat gangguan antara lain fading dan juga interferensi yang bisa menurunkan kinerja sistem. Untuk mengatasinya digunakan banyak cara. Pada penelitian kali ini akan di mensimulasikan WLAN 802.11n dengan mengatur keragaman antenna penerima dan jarak antar antenna untuk meningkatkan kinerja sistem. Simulasi menggunakan teknik Zero Forcing (ZF). Simulasi sistem dilakukan pada kanal model TGN channel B pada konfigurasi antenna 2x2-2x8, 3x3-3x8, 4x4-4x8 orde modulasi 64QAM. Parameter yang digunakan sebagai pembandingan adalah nilai BER dengan target 10^{-4} terhadap SNR. Dari hasil simulasi didapat kesimpulan bahwa semakin banyak antenna penerima maka kinerja akan semakin baik rata-rata berselisih 2 dB dan semakin jauh jarak antar antenna maka semakin baik pula kinerjanya.

Kata Kunci : IEEE WLAN 802.11n, MIMO, antenna

Abstract

Wireless Local Area Network (WLAN) 802.11n is a wireless networking technology that is used for data communication with a maximum throughput of 600 Mbps. The main feature of the 802.11n standard is the application of techniques Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) and Multiple Input Multiple Output (MIMO). Because it has many antenna hence there is interference among others fading and interference that can degrade the performance of the system. Used to overcome lot of ways. In the present study will simulate denagn 802.11n WLAN antenna diversity receiver and adjust the distance between the antennas to improve performance using techniques sistem. Simulasi Zero Forcing (ZF). Simulations carried out on the canal system models TGN channel B on the antenna configuration 2x2-2x8, 3x3-3x8, 4x4-4x8 order modulation 64QAM. The parameters used for comparison are values with a target BER 10⁻⁴ against SNR. From the simulation results obtained the conclusion that the more the receiving antenna, the better the performance of the average odds of 2 dB and the greater the distance between the antenna the better the performance.

Keyword : IEEE WLAN 802.11n, MIMO, Antenna

1. Pendahuluan

Wireless LAN merupakan teknologi jaringan nirkabel yang digunakan untuk komunikasi data. Ada dua teknik yang digunakan dalam perkembangan WLAN, teknik pertama yaitu *Orthogonal Frequency Divison Multiplexing* (OFDM). OFDM merupakan suatu teknik transmisi *multi carrier*, dimana tiap frekuensi orthogonal satu sama lain, sehingga terjadinya *overlapping* tidak menyebabkan interferensi. Di sisi lain, untuk memperbesar efisiensi spektrum digunakan teknik MIMO

(*Multi Input Multi Output*), MIMO merupakan penerapan antenna jamak pada sisi pengirim dan penerima. Teknik OFDM telah diterapkan pada 802.11a dengan sistem SISO (*Single Input Single Output* / antenna tunggal) pada frekuensi 5 GHz[1]. Pengembangan sistem selanjutnya adalah dengan penerapan MIMO-OFDM pada 802.11n[2]. Pengiriman beberapa data independen pada sistem MIMO disebut teknik *spatial multiplexing*. WLAN 802.11n menggunakan MIMO dengan jumlah antenna pemancar sampai dengan empat buah. Penerapan MIMO-OFDM pada WLAN 802.11n menjanjikan kenaikan *data*

rate mencapai 600 Mbps, 10 kali lipat dibandingkan para pendahulunya[3].

Pada MIMO penggunaan jumlah antena penerima memberi variasi pada performansi sistem [4]. Selain itu memberikan jarak antar antena baik pada sisi pengirim maupun sisi penerima juga mempengaruhi kinerjanya[5]. Pada penelitian kali ini difokuskan terhadap peningkatan kinerja pada WLAN IEEE 802.11n dengan keragaman antena penerima dan pengaturan jarak antar antena. Teknik MIMO yang digunakan adalah *Spatial Division Multiplexing* (SDM) pada konfigurasi MIMO 2 x 2 dengan orde modulasi QPSK, 16 QAM, dan 64QAM. Simulasi dilakukan pada model kanal B IEEE 802.11Tn yang mewakili cakupan area suatu kantor kecil. Parameter pembandingan adalah nilai *Bit Error Rate* (BER) terhadap *Signal to Noise Ratio* (SNR).

2. Metode

2.1 Sistem MIMO

MIMO merupakan salah satu teknik diversitas, dimana penggunaan teknik diversitas dapat mengurangi *fading* dan interferensi dari user lain dan meningkatkan *data rate* tanpa mengorbankan *bandwidth* maupun daya pancarnya. Teknik MIMO menggunakan beberapa antena pemancar dan penerima. Skema MIMO yang biasa digunakan dibedakan menjadi dua jenis. Skema MIMO tersebut adalah *Space Time Code* (STC) dan *Spatial Division Multiplexing* (SDM). Prinsip SDM adalah deretan simbol yang akan dikirim dipecah menjadi beberapa paralel deretan simbol yang kemudian ditransmisikan secara simultan dengan *bandwidth* yang sama pada masing-masing antena, sehingga teknik ini memberikan peningkatan laju data sesuai jumlah antena pengirim. Pada sistem MIMO dengan N_{Tx} transmitter dan N_{Rx} receiver, persamaan dasar sistem dideskripsikan sebagai berikut [13] :

$$\mathbf{y}_c = \mathbf{H}_c \mathbf{s}_c + \mathbf{n}_c \quad (1)$$

\mathbf{y}_c adalah simbol yang diterima, \mathbf{H}_c adalah matriks kanal, \mathbf{s}_c adalah simbol yang ditransmisikan, sedangkan \mathbf{n}_c adalah *noise*.

Persamaan (1) masih dalam bentuk kompleks, dan dimungkinkan untuk merubah persamaan sinyal kompleks (1) berdimensi N_{Tx} ke persamaan bentuk real berdimensi- $2N_{Tx}$ yang setara sehingga diperoleh persamaan :

$$\begin{bmatrix} Re\{\mathbf{y}_c\} \\ Im\{\mathbf{y}_c\} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Re\{\mathbf{H}_c\} & -Im\{\mathbf{H}_c\} \\ Im\{\mathbf{H}_c\} & Re\{\mathbf{H}_c\} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Re\{\mathbf{s}_c\} \\ Im\{\mathbf{s}_c\} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Re\{\mathbf{n}_c\} \\ Im\{\mathbf{n}_c\} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Persamaan (2) bisa disederhanakan kembali menjadi persamaan dasar sistem :

$$\mathbf{y} = \mathbf{H} \mathbf{s} + \mathbf{n} \quad (3)$$

Maka dimensi dari \mathbf{y} , \mathbf{H} dan \mathbf{s} adalah $2N_{Rx} \times 1$, $2N_{Rx} \times 2N_{Tx}$, dan $2N_{Tx} \times 1$. Untuk menyederhanakan perhitungan, *noise* diabaikan terlebih dahulu.

2.2 MIMO Decoding

2.2.1 Metode Linier

Metode linier yang umum digunakan ada 2 yaitu:

a. Zero Forcing(ZF)

Untuk mendapatkan nilai \mathbf{s} dalam metode ZF dicari matriks bobot \mathbf{W} yang memenuhi $\mathbf{W}\mathbf{H} = \mathbf{I}$. Sehingga dapat dituliskan

$$\mathbf{W} = (\mathbf{H}^H \mathbf{H})^{-1} \mathbf{H}^H \quad (4)$$

maka nilai estimasi \mathbf{s} adalah

$$\begin{aligned} \hat{\mathbf{s}} &= \mathbf{W} \mathbf{y} \\ \hat{\mathbf{s}} &= \mathbf{W}(\mathbf{H} \mathbf{s} + \mathbf{n}) \\ \hat{\mathbf{s}} &= \mathbf{s} + \mathbf{W} \mathbf{n} \end{aligned} \quad (5)$$

b. Minimum Mean Square Error (MMSE)

Dari persamaan (4), metode *Minimum Mean Square Error* (MMSE) mencari invers matriks kanal dengan memperhitungkan *noise*, sehingga persamaan (4) menjadi:

$$\mathbf{W} \approx [\mathbf{H}^H \mathbf{H} + \mathbf{n} \mathbf{I}]^{-1} \mathbf{H}^H \quad (6)$$

Dengan \mathbf{I} adalah matriks identitas. Ketika faktor noise adalah nol, MMSE akan sama dengan persamaan ZF.

Untuk menghitung kompleksitas dekoder linear menggunakan rumus sebagai berikut[14] :

$$K = N_{Tx}^2 + N_{Tx} \quad (7)$$

2.3 Keragaman Penerima

Secara umum, tambahan penerima antena dapat ditambahkan ke penerima dalam rangka meningkatkan *diversity order*. Prinsip yang sama juga berlaku untuk penerima MIMO. Jika penerima memiliki antena lebih dari aliran spasial dalam sinyal yang ditransmisikan, urutan keragaman meningkat oleh perbedaan antara jumlah antena penerima dan jumlah aliran spasial yang dipancarkan.

2.4 Maximum Ratio Combining

MRC adalah strategi ketika sinyal yang diterima terutama terganggu oleh kebisingan. MRC mirip dengan EGC (*Equal gain Combining*) kecuali algoritmanya mencoba untuk secara optimal menyesuaikan baik fase dan *gain* dari setiap elemen sebelum digabungkan.

Sinyal yang diterima pada M X N sistem MIMO didiskripsikan:

$$\mathbf{Y}_N = \sqrt{\frac{\rho}{M}} \cdot \mathbf{H}_{NXM} \mathbf{X}_M + \mathbf{Z}_N \quad (2.2)$$

- \mathbf{X}_M : data yang dikirim
- \mathbf{H}_{NXM} : matriks kanal
- \mathbf{Z}_N : Additive White Gaussian Noise (AWGN) dengan nilai normal (0,1)
- ρ : Nilai rata-rata Signal to Noise Ratio (SNR)
- Y : Sinyal yang diterima

MRC pada penerima didefinisikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \mathbf{R} &= \mathbf{H}^H \mathbf{Y} \\ &= \sqrt{\frac{\rho}{M}} \cdot \mathbf{H}^H \mathbf{H} \mathbf{X} + \mathbf{H}^H \mathbf{Z} \end{aligned} \quad (2.3)$$

Dimana \mathbf{H}^H adalah Hermitian (complex conjugate transpose) dari \mathbf{H}
Setelah MRC diaplikasikan, sinyal yang diterima bisa didefinisikan:

$$\begin{aligned} \hat{\mathbf{X}} &= \sqrt{\frac{M}{\rho}} \cdot (\mathbf{H}^H \mathbf{H})^{-1} \mathbf{R} \\ &= \mathbf{X} + \sqrt{\frac{\rho}{M}} \cdot (\mathbf{H}^H \mathbf{H})^{-1} \mathbf{H}^T \mathbf{Z} \end{aligned} \quad (2.4)$$

2.5 Diversity Gain

Efektivitas keragaman biasanya disajikan dalam *diversity gain* (DG). Gain Keanekaragaman dapat didefinisikan sebagai peningkatan dalam waktu rata-rata-signal-to-noise ratio (SNR) dari sinyal gabungan dari sistem antena keragaman, relatif terhadap SNR dari satu antena tunggal dalam sistem, sebaiknya yang terbaik [5]. Urutan keragaman menunjukkan bagaimana kemiringan rata-rata probabilitaskesalahan sebagai fungsi dari rata-rata SNR. *Diversity order* (D) dapat diturunkan dari persamaan ini:

$$D = N - M + 1 \quad (2.5)$$

- M= jumlah antena pengirim
- N= jumlah antena penerima

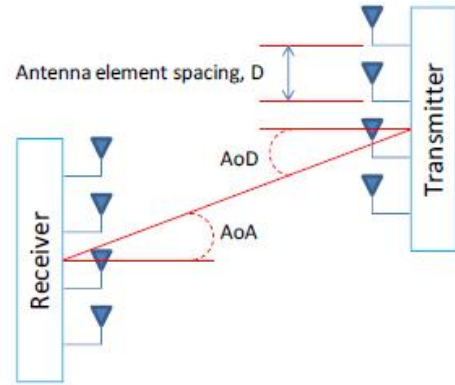
2.6 Correllation Coefficient

Dalam sistem antena, koefisien korelasi adalah parameter untuk kualitas saluran. Ketika koefisien korelasi lebih rendah, kapasitas saluran akan lebih tinggi.

Dalam model saluran 802.11n, koefisien korelasi kompleks diturunkan berdasarkan pada *power angular spectrum* (PAS). PAS untuk setiap *tap* adalah fungsi dari penyebaran sudut (AS) dan sudut datang (AoA) atau sudut keberangkatan (AoD), tergantung pada Tx atau Rx dari setiap cluster. Distribusi PAS atas sudut untuk setiap *tap* diberikan oleh:

$$PAS(\phi) = \frac{1}{A} \sum_{k=1}^{N_c} \frac{P_k}{v_k} \exp \left[\frac{-\sqrt{2} |\phi - \psi_k|}{v_k} \right] \quad (2.6)$$

- N_c adalah jumlah *cluster*
- P_k adalah *tap power*
- v_k adalah *tap AS*
- k ialah *tap* dari AoA



Gambar 1 Angle of Arrival (Aoa), Angle of Departure (AoD) dan Antena Spacing

$$R_{XX}(D) = \int_{-\pi}^{\pi} \cos \left(\frac{2\pi D}{\lambda} \sin \phi \right) PAS(\phi) d\phi$$

$$R_{XX}(D) = \int_{-\pi}^{\pi} \cos \left(\frac{2\pi D}{\lambda} \sin \phi \right) PAS(\phi) d\phi$$

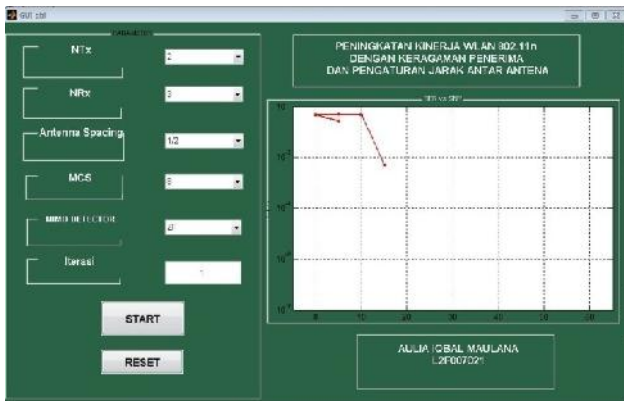
Dimana R_{XX} adalah fungsi hubungan antara bagian real dari *fading*, R_{XY} adalah fungsi hubungan antara bagian real dan imajiner dari *fading*.

Hubungan koefisien kompleks ρ_{Txij} antara i dan j pada antena pengirim, dan ρ_{Rxij} antara i dan j antena penerima digambarkan oleh:

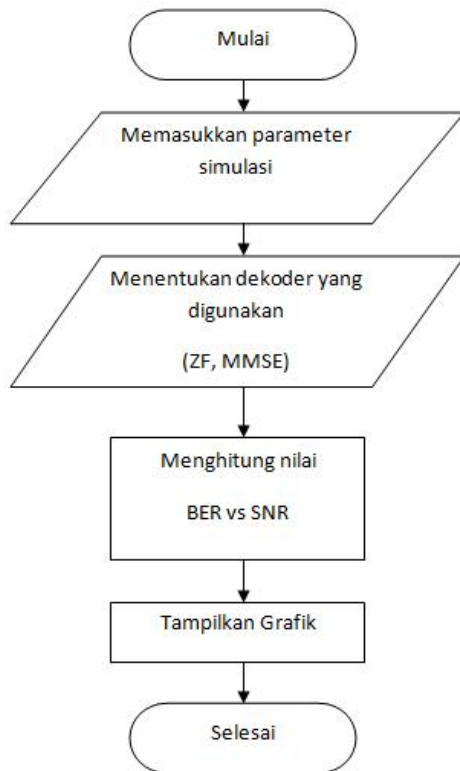
$$\rho = R_{XX}(D) + jR_{XY}(D)$$

2.7 Perancangan Sistem

Pada bagian ini akan dipaparkan perancangan sistem dan parameter simulasi. GUI program simulasi MIMO pada WLAN 802.11n ditunjukkan pada gambar 3. Diagram alir metode *K-best* ditunjukkan gambar 4.



Gambar 2 GUI program simulasi MIMO pada WLAN 802.11n



Gambar 3 Diagram alir program

Contoh syntax Penentuan nilai parameter ngujian pada Simulator dilakukan pada senarai program utama. Beberapa parameter yang diatur pada pengujian dapat dilihat pada senarai di bawah ini

```

Iteration = 1000; % Number of
transmitted packet
SNR = [10:2:60]; % SNR
mode = 6 ; % mode 6 : FORMAT[Mixed mode
packet] , Frequency domain mode[40MHz
HT mode]
    
```

Parameter iterasi menentukan banyaknya iterasi yang dimasukkan pada program utama Wireless LAN 802.11n.

Sedangkan SNR (*Signal to Noise Ratio*) menentukan rentang SNR yang akan dihitung serta nilai minimum dan maksimum SNR yang akan ditampilkan. Untuk simulasi menggunakan mode 6 yang merupakan mode paket untuk format 40Mhz yang merupakan lebar pita untuk WLAN 802.11n. Penentuan parameter pada sisi pengirim (*transmitter*) dilakukan pada senarai berikut :

```

%%%% Transmitter parameter %%%%
Ntx = 2; % Number of transmit antennas
TXVECTOR.FORMAT = 1 ; % FORMAT = 1, Mixed
Mode (L-STF, L-LTF, L-SIG, HT-SIG, HT-
STF, HT-LTFs, DATA)
%% HT mode parameter %%
TXVECTOR.MCS = 14; % Modulation and
coding scheme (8,10,12,15)
TXVECTOR.LENGTH = 1000 % Number of
octets(1-65535)
    
```

Jumlah antenna pengirim yang digunakan pada WLAN 802.11n maksimal adalah 4 antenna. Format paket pengujian adalah *mixed mode*, yang merupakan susunan pensinyalan agar dapat dideteksi oleh perangkat WLAN 802.11 a/b/g/n. Format MCS pada senarai di atas adalah MCS 14, dengan akan digunakan 2 antenna pengirim dengan modulasi 64 QAM dan code rate 3/4. Parameter TXVECTOR.LENGTH merupakan parameter untuk mengatur jumlah data (dalam satuan octet) dalam satu paket, satu octet bernilai 8 bit. Penentuan parameter pada sisi penerima dilakukan pada senarai berikut

```

%%%% Receiver parameter %%%%
Nrx = 4 ; % Number of receive antennas
ICmethod = 'Linear_ZF' ;
% Co-channel Interference canceller
(Linear_ZF, Linear_MMSE,MLD,K-best)
    
```

Pada senarai di atas terdapat dua parameter yang diatur pada simulator, yang pertama adalah jumlah antenna penerima (N_{RX}). Selanjutnya parameter yang diatur adalah metode deteksi MIMO, pada proses pengujian akan digunakan empat metode yang akan dibandingkan kinerjanya berdasarkan nilai BER terhadap SNR. Pengaturan jarak antar antenna sditunjukkan dibawah ini:

```

BW = 1; % Bandwidth option for 40MHz or 80MHz
system, BW = 1 or 2
WL = 1; % Spacing between antennas of BS and MS
in wavelength.
    
```

Pada proses di atas digunakan bandwidth 40 MHz dan jarak antar antenna 1 . Pengaturan jenis kanal yang digunakan dalam transmisi dilakukan pada senarai berikut :

```

Channel = 'B' ;
% TGN Channel ('A' to 'F') and AWGN
Channel ('AWGN')
    
```

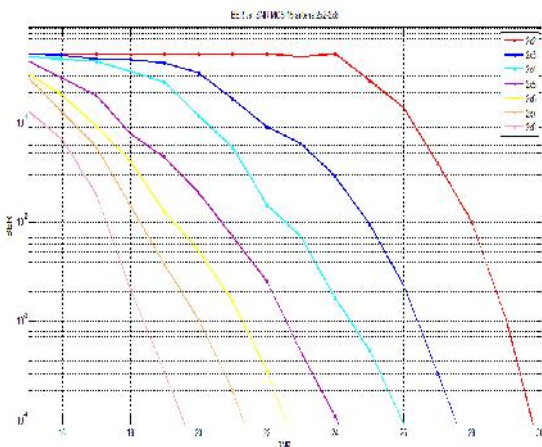
3. Hasil dan Analisa

Parameter sistem saat pengujian ditampilkan pada tabel 1. Pada simulasi ini akan diteliti kinerja MIMO *decoder*

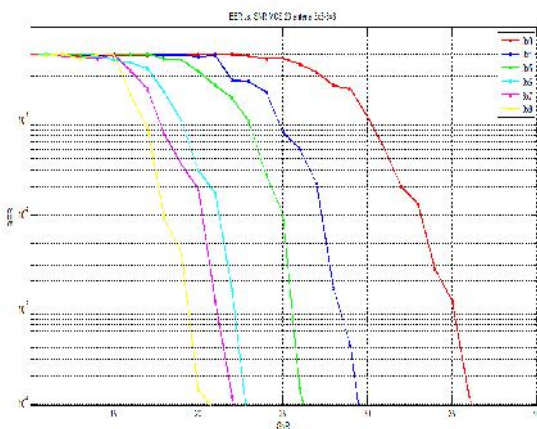
pada konfigurasi antenna 2x2, 2x3, 2x4 dengan orde modulasi QPSK, 16 QAM, 64QAM. Pada standar IEEE 802.11n, konfigurasi ini termasuk dalam *Modulation and Coding Scheme* (MCS) 10,12 dan 14. Ketiga MCS tersebut memiliki laju pengkodean masing- masing bernilai 3/4. Simulasi dilakukan pada model kanal B dengan iterasi sebanyak 1000 kali

Tabel 1 Parameter simulasi

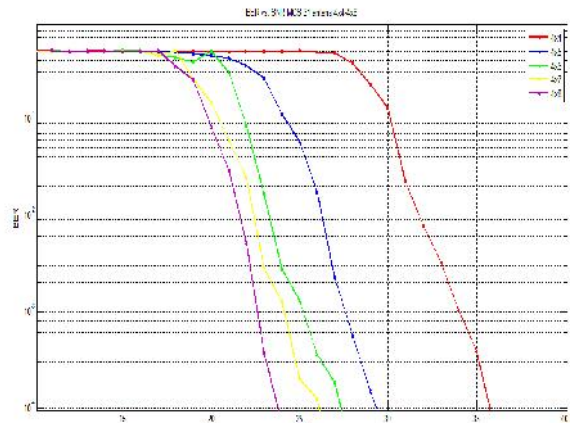
Parameter	Nilai
Konfigurasi antenna	2x2-2x8, 3x3-3x8, 4x4-4x8
MCS	15,23,31
Modulasi Subcarrier	64 QAM
Tipe MIMO	SDM
Jumlah data per paket	1000 octet
Model kanal	TGn Channel B
Channel Code	Convolutional coding
Jarak antar antenna	1/4 , 1/2 , 3/4 , 1 , 1 1/4 , 1 1/2 , 1 3/4 , 2
Laju pengkodean	5/6
MIMO decoder	ZF
Throughput(Mbps)	270,405,540



Gambar 4 Hasil simulasi pada MCS 15



Gambar 5 Hasil simulasi pada MCS 23



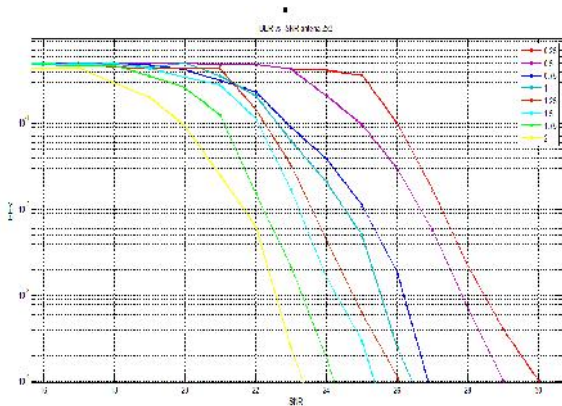
Gambar 6 Hasil simulasi pada MCS 31

Hasil pengujian pada MCS 15 dapat dilihat pada gambar 4. Dengan target BER 10⁻⁴, antenna 2x2 mencapai nilai tersebut pada 29,75 dB, antenna 2x3 pada 27,5 dB, antenna 2x4 pada 26 dB, antenna 2x5 pada 24 dB, antenna 2x6 pada 22,5 dB, antenna 2x7 pada 21,25 dB, antenna 2x8 pada 19,5 dB. Selisih antenna 2x2 dan 2x3 adalah 2,25 dB, antenna 2x3 dan 2x4 1,5 dB, antenna 2x4 dan 2x5 2 dB, antenna 2x5 dan 2x6 1,5 dB, 2x6 dan 2x7 1,25, dan selisih 2x7 dan 2x8 1,75 dB. Semakin banyak jumlah penerima kinerja terlihat semakin baik.

Hasil pengujian pada MCS 23 dapat dilihat pada gambar 5. Dengan target BER 10⁻⁴, antenna 3x3 mencapai nilai tersebut pada 36,5 dB, antenna 3x4 pada 29 dB, antenna 3x5 pada 26,5 dB, antenna 3x6 pada 22,75 dB, antenna 3x7 pada 22,1 dB dan antenna 3x8 pada 20,75 dB. Selisih antenna 3x3 dan 3x4 adalah 7,5 dB, antenna 3x4 dan 3x5 2,5 dB, antenna 3x5 dan 3x6 3,75 dB, antenna 3x6 dan 3x7 0,65 dB, 3x7 dan 3x8 1,35. Semakin banyak jumlah penerima kinerja terlihat semakin baik.

Hasil pengujian pada MCS 31 dapat dilihat pada gambar 6. Dengan target BER 10⁻⁴, antenna 4x4 mencapai nilai tersebut pada 35,75 dB, antenna 4x5 pada 29,5 dB, antenna 4x6 pada 27,25 dB, antenna 4x7 pada 26 dB, dan antenna 4x8 pada 23,75 dB. Selisih antenna 4x4 dan 4x5 adalah 6,25 dB, antenna 4x5 dan 4x6 2,25 dB, antenna 4x6 dan 4x7 1,25 dB, antenna 4x7 dan 4x8 2,25 dB, Semakin banyak jumlah penerima kinerja terlihat semakin baik.

Hasil pengujian pada antenna 2x2 dapat dilihat pada gambar 7, Dengan target BER 10⁻⁴, antenna 2x3 dengan jarak antar antenna 0,25 mencapai nilai tersebut pada 30 dB, jarak 0,5 pada 29 dB, jarak 0,75 pada 27 dB, jarak 1 pada 26,5 dB, jarak 1,25 pada 26 dB, jarak 1,5 pada 25,5 dB, jarak 1,75 pada 24,25 dB dan jarak 2 pada 23,5 dB. Terlihat semakin jauh jarak antar antenna kinerja semakin baik.



Gambar 7 Hasil simulasi pada antenna 2x2

4. Kesimpulan

Kami telah berhasil meningkatkan kinerja WLAN 802.11n dengan cara menambah jumlah antenna penerima dan jarak antar antenna. Dari simulasi terlihat kinerja bertambah seiring dengan bertambahnya antenna penerima dengan rata-rata 2 dB. Kinerja terbaik dengan keragaman antenna diperoleh antenna 2x8 sebesar 19,5 dB. Kinerja terbaik dengan pengaturan jarak antar antenna diperoleh antenna 2x8 dengan jarak antar antenna 2 sebesar 17,75 dB. Dengan memvariasikan jarak antar antenna diketahui bahwa semakin besar jarak antenna maka semakin bagus kinerjanya. Namun semakin besar jarak maka akan semakin besar perangkat kerasnya. Pada penelitian selanjutnya diharapkan bisa dicari jarak antar antenna yang optimal sehingga bisa didapat kinerja lebih baik.

Referensi

- [1]. "Supplement to IEEE STANDARD for information Technology – Telecommunication and information exchange between systems – Local and Metropolitan area Networks – Specific Requirements", IEEE Std 802.11a – 1999(R2003), Juni 2003
- [2]. "Draft STANDARD for Information Technology - Telecommunications and Information Exchange between Systems - Local and Metropolitan Area Networks - Specific Requirements", IEEE P802.11n/D9.0, March 2009.
- [3]. Eldad, Perahia and Robert Stacey. 2008. "Next Generation Wireless LANs- Throughput, Robustness, and Reliability in 802.11n". Cambridge University Press.
- [4]. Nuzulia, Gifina. 2011. "Performance Evaluation of WLAN IEEE 802.11n with Antenna Diversity for Two Transmitter". Seminar Teknik Informatika UAD 2011. Indonesia.
- [5]. Pratista, Hayu. 2011. "Performance evaluatio of Wireless LAN IEEE 802.11n by Antenna Spacing" CITEE 2011. Indonesia. Wahyul Amien Syafei and Hayu Pratista. 2011. "Performance Evaluation of Wireless LAN IEEE802.11n by Antenna Spacing". International Conference on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE) 2011, Jogjakarta, Indonesia.
- [4]. Syafei, Wahyul Amien, Ryuichi Yohena, Hiroyuki Shimajiri, Takeo Yoshida, Masayuki Kurosaki, and Hiroshi Ochi. 2008. "Performance Evaluation of Low Density Parity Check CODEC for IEEE 802.11n and Its RTL Design". Internasional Workshop on Smart Info-Media System in Bangkok (SISB 2008). Bangkok, Thailand.
- [5]. V.Plicanic,"Antenna Diversity Studies and Evaluation",M.Eng.thesis, LUND University in cooperation with Ericson Mobile Communications AB,May 2004
- [6]. Syafei, Wahyul Amien, Ryuichi Yohena, Hiroyuki Shimajiri, Takeo Yoshida, Masayuki Kurosaki, and Hiroshi Ochi. 2008. "Performance Evaluation of Low Density Parity Check Codes for IEEE 802.11n and Its ASIC Design.". International Symposium on Communications and Information Technologies (ISCIT 2008), No. D3-AM, Don Chan Palace, Vientiane, Lao PDR.
- [7]. Syafei, Wahyul Amien, Ryuichi Yohena, Hiroyuki Shimajiri, Takeo Yoshida, Masayuki Kurosaki, and Hiroshi Ochi. 2009. "Performance Evaluation and ASIC Design of LDPC Decoder for IEEE802.11n". 6th Annual IEEE Consumer Communications and Networking Conference (IEEE CCNC 2009), No. 1569141488, Las Vegas, Nevada, USA.
- [8]. Allert. van Zelst. 2000. "Space Division Multiplexing Algorithms".Paper for IEEE, Eindhoven University of Technologies, Eindhoven.
- [9]. "TGN Channel Models", IEEE P802.11 Wireless LANs, Mei 2004.