

# MAKALAH SEMINAR TUGAS AKHIR

## RANCANG BANGUN LAPISAN FISIK PADA SISI PENGIRIM UNTUK SISTEM WIRELESS LAN DENGAN KELUARAN GIGABIT

Hayu Pratista<sup>1)</sup>, Wahyul Amin Syaferi<sup>2)</sup>, Imam Santoso<sup>2)</sup>

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,  
Jln. Prof. Sudharto, Tembalang, Semarang, Indonesia

**Abstract** – *Wireless LAN is wireless technology that can be used for voice and data communication. The increase of user requirement in Wireless LAN system caused the development of Wireless LAN increasing too. Standard of Wireless LAN is IEEE802.11a/b/g and IEEE802.11n use OFDM and MIMO technique for increase data rate without additional bandwidth.*

*The purpose of this final project is to design physical layer of transmitter wireless LAN system to obtain gigabit throughput. Wireless LAN that we used now can produce rate up to 600 Mbps. So we expect this design of wireless system can increase data rate into gigabit throughput. The design of this system organized from arrangement of block diagram into preamble and data field. The data field, same as the previous standard, 802.11n consists of block scrambler, encoder parser, FEC encoder, interleaving, constellation mapper, spatial mapper, IFFT, cyclic shift, guard interval inserter and windowing. Whereas the preamble consists of legacy preamble is L-STF, L-LTF and L-SIG that have same format with previous standard in order to the output of transmitter 802.11ac can be compatible to 802.11a/n. Then, very high throughput preamble is added to this system as a preamble for 802.11ac.*

*From the experiment result, we get the conclusion that wireless LAN 802.11ac is formed based on the previous standard 802.11a and 802.11n which have same frequency 5 GHz. Then, for 802.11ac we duplicate bandwidth from 40 MHz to 80 MHz and apply phase rotation. For the software verification backward compatibility, we determine the parameters 100 iteration, use MCS (Modulation Coding Scheme) 64-QAM and 4 transmit antenna. As the result the 802.11ac transmitter can be recognized by 802.11a/n receiver and it can be shown as decreasing of SIG Error rate for SNR range 0-20 dB.*

**Key words** : *Wireless LAN, IEEE802.11a/n, Gigabit throughput, Backward compatibility*

### I. PENDAHULUAN

#### Latar Belakang

*Wireless LAN* merupakan teknologi jaringan nirkabel yang dapat digunakan untuk komunikasi suara maupun data. Standard untuk *wireless LAN* ini dibuat oleh Grup IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineer*) yang disebut juga standard IEEE802.11 WLAN [1].

Standard 802.11 pertama kali dikenalkan pada tahun 1997, Kemudian berkembang menjadi standard 802.11a/b pada tahun 1999 dan 802.11g pada tahun 2003. Standard *wireless* yang merupakan perkembangan 802.11a/b/g yaitu WLAN IEEE802.11n. Standard ini menggunakan teknik MIMO-OFDM yang dapat membagi transmisi data menjadi beberapa *spatial stream* tanpa membutuhkan *bandwidth* tambahan. Teknik ini mampu meningkatkan *throughput* hingga mencapai 600 Mbps.

Seiring dengan meningkatnya permintaan pengguna akan komunikasi *wireless* maka dibutuhkan kecepatan akses data yang semakin tinggi pula. Oleh karena itu dilakukan penelitian untuk mengembangkan jaringan *wireless* pada sisi pengirim agar dihasilkan peningkatan *throughput* hingga mencapai orde *gigabit*. Sistem ini merupakan pengembangan dari IEEE802.11n dengan menggunakan frekuensi yang sama yaitu 5

GHz dan peningkatan *bandwidth* menjadi 80 MHz yang diharapkan dapat menghasilkan *gigabit throughput*.

#### Tujuan

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah untuk merancang lapisan fisik (*physical layer*) pada bagian pengirim (*transmitter*) sistem *Wireless LAN* yang dapat menghasilkan *gigabit throughput* berdasarkan *draft* WLAN IEEE802.11ac.

#### Batasan Masalah

Dalam penulisan tugas akhir ini penulis membatasi permasalahan sebagai berikut :

1. Parameter sistem mengacu pada standard IEEE 802.11n dan *draft* WLAN IEEE802.11ac.
2. Frekuensi kerja yang digunakan adalah 5 GHz.
3. *Bandwidth* kanal yang digunakan adalah 80 MHz.
4. Pengkodean kanal yang digunakan adalah *Binary Convolutional Coding* (BCC) menggunakan 2 buah *encoder*.
5. Dalam simulasi dan pengujian tidak digunakan *Low Density Parity Check*

1) Mahasiswa Teknik Elektro UNDIP

2) Dosen Teknik Elektro UNDIP

(LDPC) dan *Space Time Block Coding* (STBC).

6. Pembahasan hanya dilakukan pada sisi pengirim (*transmitter*) sisten *wireless LAN*.
7. Pengujian *backward compatibility* dilakukan pada kanal B, C, D, E dan F model kanal TGn (*Task Group n*) serta kanal AWGN

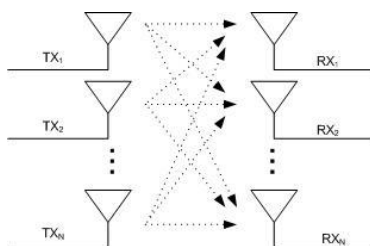
## II. DASAR TEORI OFDM

Konsep dasar OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) adalah membagi data serial kecepatan tinggi menjadi data paralel kecepatan rendah yang ditransmisikan dengan beberapa *subcarrier* [4]. Masing-masing *subcarrier* dibuat saling *orthogonal* yang memungkinkan spektrum *overlap* untuk efisiensi *bandwidth*. Selain itu pada sistem OFDM *Inter-Symbol Interference* (ISI) yang juga disebabkan oleh kanal *multipath* dapat dihindari dengan penyisipan *guard interval* (GI).

Blok diagram pemancar OFDM sederhana antara lain terdiri dari *serial to paralel*, modulasi, IFFT (*Inverse Fast Fourier Transform*) dan penyisipan *guard interval*, sedangkan pada penerima OFDM terdiri dari pemisahan *guard interval*, FFT (*Fast Fourier Transform*), demodulasi dan *paralel to serial*.

## MIMO

MIMO (*Multiple-Input Multiple-Output*) merupakan salah satu teknik diversitas, yaitu *spatial diversity* dimana penggunaan teknik diversitas dapat mengurangi *fading* dan interferensi dari user lain dan meningkatkan laju data tanpa mengorbankan *bandwidth* maupun daya pancarnya. Teknik MIMO ini menggunakan beberapa antena di pemancar dan penerima untuk meningkatkan performansi komunikasi. 802.11n menggunakan MIMO dengan 4 buah antena pemancar.



Gambar 1 MIMO

## Wireless LAN

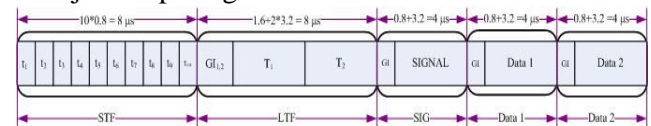
*Wireless LAN* merupakan jaringan yang menggunakan media udara dengan menggunakan frekuensi radio dalam mengkomunikasikan informasi dari satu point ke point yang lain tanpa

menggunakan *physical connection*. Dalam konfigurasi *Wireless LAN* pada umumnya alat *transmitter* dan *receiver* yang disebut *access point* (AP) terhubung pada *wired network* pada lokasi yang tetap.

## Standard Wireless LAN IEEE802.11a

Standard WLAN IEEE802.11a dikenalkan pada tahun 1999 dengan pengembangan menggunakan teknik OFDM pada *physical layer*. Standard ini menggunakan frekuensi yang lebih tinggi dari sebelumnya yaitu 5 GHz dan dapat menghasilkan kecepatan hingga 54 Mbps dengan menggunakan *bandwidth* 20 MHz. *Wireless LAN* 802.11a menyediakan pilihan laju data 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 dan 54 Mbps dengan modulasi BPSK, QPSK, 16-QAM atau 64-QAM. Berikut ini adalah parameter-parameter IEEE802.11a.

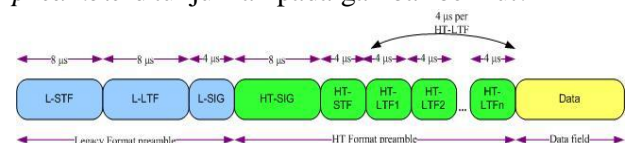
Susunan paket pada IEEE802.11a yang terdiri dari *Short Training Field* (STF), *Long Training Field* (LTF), *Signal Field* dan *Data Field* ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 2 Format paket pada IEEE802.11a

## Standard Wireless LAN IEEE802.11n

Standard WLAN IEEE802.11n dikenalkan pada tahun 2007 dengan menggunakan frekuensi yang sama dengan 802.11a yaitu 5 GHz dan *bandwidth* 40 MHz. Pada standard ini digunakan teknik *Multiple-Input Multiple-Output* (MIMO) pada *physical layer*. Dengan teknik MIMO ini menyediakan *Spatial Division Multiplexing* (SDM) sehingga dapat secara spasial memultipleks data menjadi beberapa *stream* data sehingga mengalami peningkatan laju data hingga 600 Mbps. Untuk memastikan *backward compability* dengan IEEE 802.11a maka digunakan *mixed format* (MF) *preamble* dengan struktur *Legacy-STF* (L-STF), L-LTF dan L-SIG serupa dengan IEEE 802.11a dan untuk struktur *High Throughput* (HT) akan dijelaskan selanjutnya. Susunan *mixed format preamble* ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 3 Mixed format preamble untuk IEEE802.11n

## Modulasi Digital

Modulasi adalah proses penumpangan sinyal informasi pada sinyal *carrier*. Sedangkan yang dimaksud dengan modulasi digital adalah sinyal informasi yang ditumpangkan berupa data

digital. WLAN IEEE802.11 menggunakan modulasi ini sebagai pemetaan atau simbol *mapper*. Modulasi yang digunakan antara lain BPSK, QPSK, 16 QAM dan 64-QAM.

### Pemodelan Kanal TGn (Task Group n) IEEE

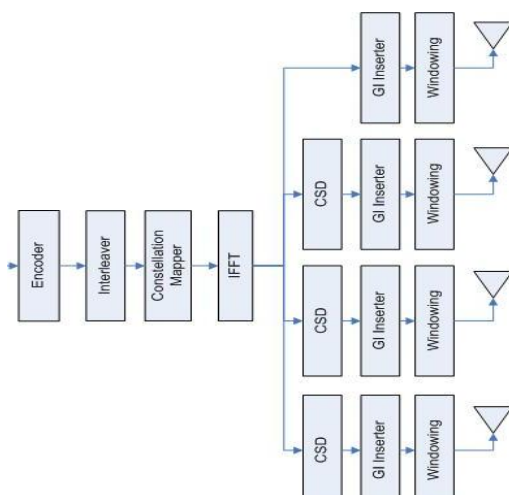
Pada lingkungan komunikasi nirkabel, terdapat beberapa faktor yang merugikan antara lain efek *multipath fading*, pergeseran frekuensi *doppler* dan sebagainya. Hal ini menyebabkan pentransmisian data pada laju yang tinggi menjadi terganggu. Pemodelan kanal pada TGn terdiri dari 6 model kanal berdasarkan sistem MIMO-OFDM, yang ditetapkan oleh lembaga IEEE (Institute of Electrical Electronics Engineers) untuk sistem High Throughput 802.11n [16]

### III. PERANCANGAN WIRELESS LAN IEEE802.11ac

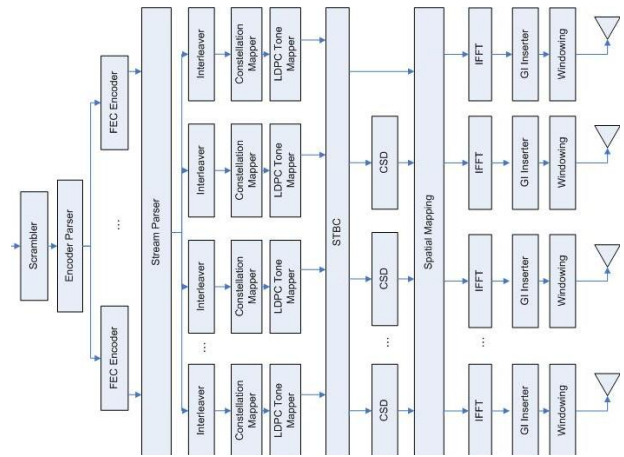
Perancangan lapisan fisik pengirim pada penelitian ini menggunakan *software* Matlab 7.8.0(R2009a). Perancangan lapisan fisik ini mengacu pada standard IEEE802.11n dan draft IEEE802.11ac [17] yang telah ada sebelumnya.

#### Diagram Blok

Perancangan diagram blok untuk sistem wireless LAN 802.11ac dibedakan menjadi dua bagian yaitu *preamble* dan data. *Preamble* yang digunakan disini terdiri atas Legacy-Short Training Field (L-STF), Legacy-Long Training Field (L-LTF), Legacy-Signal Field (L-SIG), Very High Throughput Signal Field A (VHT-SIG-A), Very High Throughput Short Training Field (VHT-STF), Very High Throughput Long Training Field (VHT-LTF) dan Very High Throughput Signal Field-B (VHT-SIG-B). Diagram blok untuk *preamble* dan *data field* ditunjukkan pada gambar 4 dan 5.



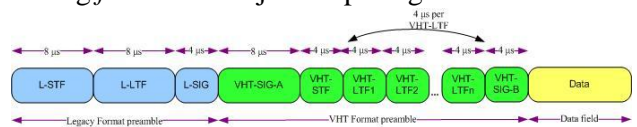
Gambar 4 Diagram Blok perancangan transmitter gigabit throughput untuk preamble



Gambar 5 Diagram Blok perancangan transmitter gigabit throughput untuk data field

#### Format Paket

Susunan paket format gigabit wireless LAN terdiri atas Legacy-Short Training Field (L-STF), Legacy-Long Training Field (L-LTF), Legacy-Signal Field (L-SIG), Very High Throughput Signal Field A (VHT-SIG-A), Very High Throughput Short Training Field (VHT-STF), Very High Throughput Long Training Field (VHT-LTF), Very High Throughput Signal Field-B (VHT-SIG-B) dan Data Field. Durasi dari masing-masing *field* ini ditunjukkan pada gambar 6.



Gambar 6 Format paket sistem gigabit WLAN

#### Pembentukan Preamble dan Data Field

Transmitter wireless LAN terdiri dari blok-blok yang menyusun keseluruhan sistem. Pada bagian ini akan dijelaskan model blok fungsional sistem di sisi pengirim mulai dari sumber data informasi sampai pengiriman pada antenna pengirim.

##### Data Scrambler

Scrambler merupakan proses untuk mengacak data masukan. Tujuan dari *scrambler* adalah untuk mengurangi deretan bit 0 atau 1 yang terlalu panjang.

##### Encoder Parser

Encoder parser berfungsi untuk membagi data yang telah diacak dengan *scrambler* dengan aturan *round robin*. Setelah melalui *encoder parser* ini maka bit data akan dibagi sesuai jumlah FEC Encoder yang digunakan.

##### FEC Encoder

FEC encoder akan memungkinkan penyandian data dengan *error correction*. FEC encoder terdiri dari proses Binary Convolutional Coding (BCC) dan *puncturing*.

## Stream Parser

*Stream parser* berfungsi untuk membagi keluaran *encoder* menjadi blok-blok yang dikirimkan pada *interleaver* dan *mapping* yang berbeda. Keluaran dari blok *stream parser* ini berupa *spasial stream*.

## Interleaver

Proses *interleaver* berfungsi untuk mengurangi *burst error* selama transmisi data. *Interleaver* akan menyusun kembali data setelah data yang berurutan dibagi menjadi beberapa blok data.

## Constellation Mapper

Skema pemetaan simbol atau modulasi digital yang digunakan disini adalah BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM atau 256 QAM. Penggunaan skema yang berbeda ini akan meningkatkan efisiensi *bandwidth* yang digunakan.

## Low Density Parity Check (LDPC)

Pada sistem ini LDPC tidak digunakan. Teknik pengkodean dapat dilakukan dengan BCC atau LDPC. LDPC lebih baik dari BCC jika dilihat performansinya namun tingkat kompleksitasnya lebih tinggi. Sehingga biasanya digunakan teknik pengkodean BCC yang lebih sederhana.

## Space Time Block Coding (STBC)

STBC tidak digunakan dalam sistem ini karena merupakan bagian pilihan yang dapat digunakan atau tidak. STBC akan membagi hasil keluaran *mapper* berupa  $N_{SS}$  *spasial stream* menjadi  $N_{STS}$  *space time stream* menggunakan algoritma STBC. Karena tidak digunakan maka  $N_{STS} = N_{SS}$ .

## Cyclic Shift Diversity (CSD)

*Cyclic Shift* diterapkan pada antenna pengirim dengan tujuan untuk menghindari *beamforming* yang tidak disengaja. Penerapan *cyclic shift* dilakukan dengan cara menggeser sinyal untuk setiap antenna sesuai dengan nilai yang telah ditentukan. Nilai *Cyclic Shift* untuk *preamble Legacy* dan *Very High Throughput 802.11ac* ditunjukkan pada tabel 1 dan 2 berikut.

**Tabel 1** Nilai *Cyclic Shift* untuk *preamble*

Nilai <i>Cyclic Shift</i> untuk L-STF, L-LTF, L-SIG dan VHT-SIG-A								
Antena transmit ( $N_{Tx}$ )	Cyclic Shift (ns)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	-	-	-	-	-	-	-
2	0	-200	-	-	-	-	-	-
3	0	-100	-200	-	-	-	-	-
4	0	-50	-100	-150	-	-	-	-
5	0	-175	-25	-50	-75	-	-	-
6	0	-200	-25	-150	-175	-125	-	-
7	0	-200	-150	-25	-175	-75	-50	-
8	0	-175	-150	-125	-25	-100	-50	-200

**Tabel 2** Nilai *Cyclic Shift* untuk *Very High Throughput*

Nilai <i>Cyclic Shift</i> untuk <i>Very High Throughput</i>								
Antena transmit ( $N_{Tx}$ )	cyclic shift (ns)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	-	-	-	-	-	-	-
2	0	-400	-	-	-	-	-	-
3	0	-400	-200	-	-	-	-	-
4	0	-400	-200	-600	-	-	-	-
5	0	-400	-200	-600	-350	-	-	-
6	0	-400	-200	-600	-350	-650	-	-
7	0	-400	-200	-600	-350	-650	-100	-
8	0	-400	-200	-600	-350	-650	-100	-750

## Spatial Mapping

*Spatial mapping* merupakan proses yang dilakukan untuk memetakan *space time stream* pada *transmit chain*. Proses pemetaan disini bisa berupa pemetaan langsung (*direct mapping*) atau dengan *spatial expansion*. Pada penelitian ini digunakan jumlah *spatial stream* sama dengan jumlah antenna pemancar sehingga digunakan pemetaan langsung.

## Inverse Fast Fourier Transform (IFFT)

IFFT berfungsi sebagai OFDM *baseband modulator*, dimana setiap simbol akan memodulasi frekuensi *subcarrier* yang dibangkitkan oleh blok IFFT. Jumlah point-IFFT yang digunakan pada sistem ini sebanyak 256-point IFFT. Keluaran dari transformasi ini akan membentuk deretan simbol OFDM dalam domain waktu.

## Guard Interval Inserter

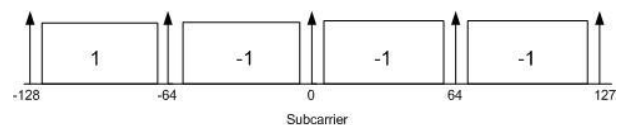
Penambahan *guard interval* disini berfungsi untuk menghindari *Inter Symbol Interference (ISI)*. ISI disebabkan karena pada lingkungan *multipath* sinyal akan mengalami *delay*. *Guard interval* ditambahkan dengan mengkopikan  $\frac{1}{4}$  bagian akhir dari sinyal OFDM.

## Windowing

*Windowing* merupakan blok terakhir pada *transmitter* sebelum dikirimkan melalui antenna. *Windowing* disini berfungsi untuk membuat frame yang masing-masing framenya berisi simbol OFDM yang merupakan hasil penjumlahan simbol OFDM setelah ditambah *guard interval*.

## Duplikasi dan Rotasi Fase

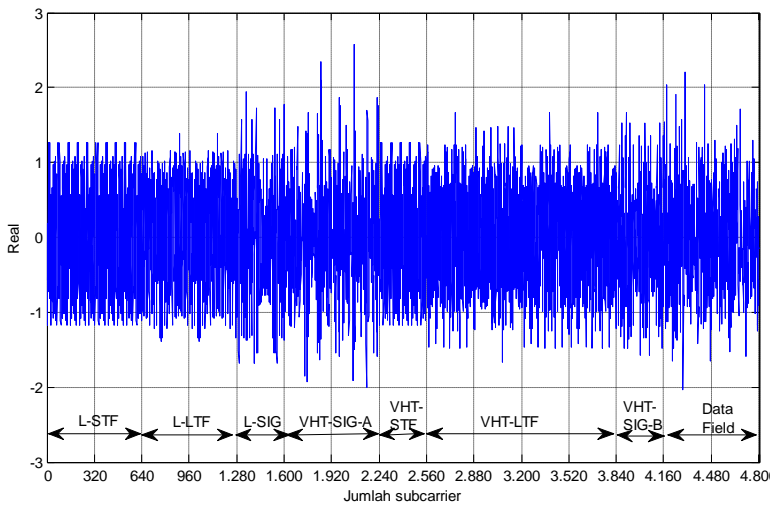
Selain menerapkan *cyclic shift* untuk setiap antenna, *preamble* pada sistem 80 MHz dibentuk dengan menduplikasi setiap 20 MHz dan dilakukan rotasi fase. Bentuk rotasi fase yang digunakan pada sistem ini digambarkan pada gambar 7.



**Gambar 7** Rotasi fase pada *subcarrier*

### Pembentukan gelombang *Preamble* dan *Data*

Setelah pembentukan masing-masing *preamble* dan *data field* maka jika digabungkan menjadi keluaran sistem pemancar pada antena pertama maka dihasilkan keluaran sebagai berikut.



Gambar 8 Keluaran pemancar antena pertama

### IV. ANALISIS DAN PENGUJIAN SISTEM

Pada bab ini akan dilakukan analisis dan pengujian sistem untuk *backward compatibility*. Pengujian ini bertujuan agar pemancar 802.11ac yang telah dibuat berdasarkan draft harus dapat dikenali oleh standard sebelumnya yaitu 802.11a/n yang bekerja pada frekuensi sama yaitu 5 GHz. Pada pengujian ini 802.11ac berfungsi sebagai pemancar dan 802.11a/n sebagai penerima.

#### Parameter Simulasi

Dalam melakukan pengujian terhadap sistem *wireless LAN* ini digunakan parameter simulasi seperti tabel berikut.

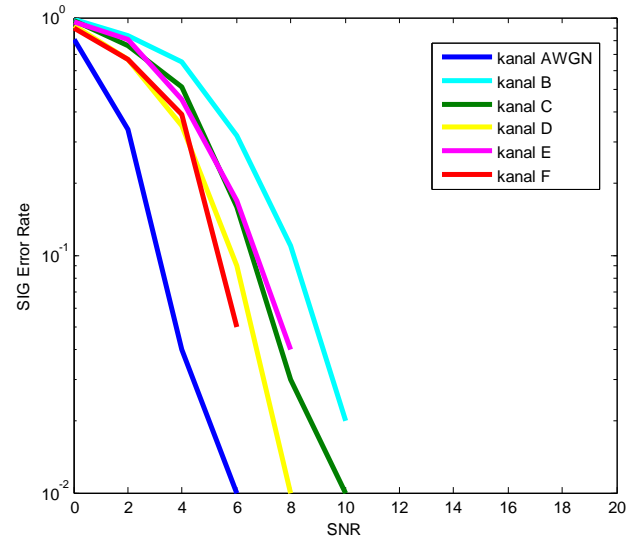
Tabel 5 Parameter simulasi

Parameter	Nilai
Iterasi	100
Jumlah antena pemancar	4
Panjang data	100
Bandwidth	80 MHz
Laju data	6 Mbps
MCS	6
Panjang GI	800 ns
Coding	BCC
Jumlah encoder	2

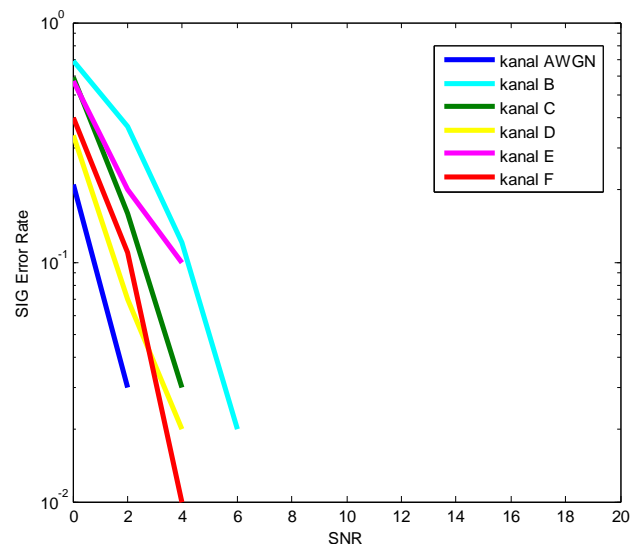
#### Perbandingan Hasil Simulasi

Pengujian ini bertujuan untuk menguji kinerja sistem pada masing-masing kanal yang ditunjukkan oleh simbol error yang dihasilkan pada *SIG field*.

Hasil pengujian yang telah dilakukan pada masing-masing kanal dengan penerima 802.11a dan 802.11n menunjukkan kinerja sistem yang berbeda-beda. Gambar 9 berikut menunjukkan perbandingan masing-masing kanal dengan penerima 802.11a dan gambar 10 menunjukkan perbandingan masing-masing kanal dengan penerima 802.11n.



Gambar 9 Hasil pengujian pada IEEE802.11a 20 MHz

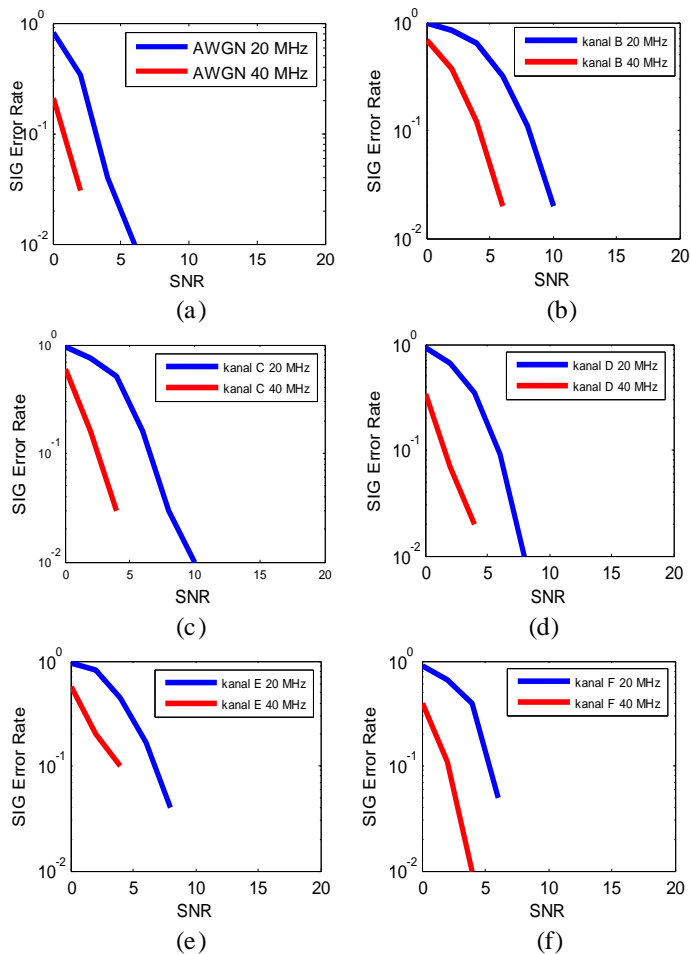


Gambar 10 Hasil pengujian pada IEEE802.11n 40 MHz

Pada kedua gambar di atas terlihat bahwa dengan penerima 802.11a dan 802.11n performa yang paling baik diperoleh pada kanal AWGN yang menghasilkan *SIG Error Rate* rendah pada SNR terendah sedangkan performa terburuk pada kanal B karena pada *SIG Error Rate* yang sama dihasilkan pada nilai SNR yang lebih tinggi.

Sedangkan perbandingan hasil pengujian pada setiap kanal ditunjukkan pada gambar 11 berikut.





**Gambar 11** Hasil simulasi setiap kanal  
 (a) AWGN (d) kanal D  
 (b) kanal B (e) kanal E  
 (c) kanal C (f) kanal F

Pada gambar di atas terlihat bahwa performa sistem untuk semua jenis kanal dengan penerima 802.11a 20 MHz SIG Error Rate yang rendah lebih cepat tercapai sedangkan dengan penerima 802.11n nilai SIG Error Rate yang sama dicapai pada nilai SNR yang lebih tinggi.

## V. PENUTUP

### Kesimpulan

Berdasarkan pengujian dan analisis yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

- Lapisan Fisik *wireless* LAN 802.11ac dapat dibentuk sesuai standard sebelumnya yaitu 802.11a/n dan dilakukan rotasi fasa sebesar  $180^\circ$  dan duplikasi *bandwidth* dari 40 MHz menjadi 80 MHz sesuai spektrum dayanya.

- Standard 802.11ac menggunakan 256 *subcarrier* dengan 234 *subcarrier* data dan 8 *subcarrier* sebagai pilot.
- Bagian *preamble* total sebesar  $36 \mu\text{s}$  terdiri dari L-STF sebesar  $8 \mu\text{s}$ , L-LTF sebesar  $8 \mu\text{s}$ , L-SIG sebesar  $4 \mu\text{s}$ , VHT-SIG-A sebesar  $8 \mu\text{s}$ , VHT-STF sebesar  $4 \mu\text{s}$ , VHT-LTF sebesar  $4 \mu\text{s}$ , dan VHT-SIG-B sebesar  $4 \mu\text{s}$ . Sedangkan durasi *data field* yang digunakan untuk simulasi sebesar  $8 \mu\text{s}$ .
- Hasil pengujian *backward compatibility* dengan 20 MHz 802.11a dan 40 MHz 802.11n menunjukkan bahwa *transmitter* 802.11n sudah dapat dikenali oleh *receiver* 802.11a/n. Hal ini dibuktikan dengan jumlah SIG Error yang berkurang pada SNR 0 – 20 dB.
- Hasil pengujian dengan penerima 802.11a diperoleh hasil paling baik ditunjukkan pada kanal AWGN dengan SIG Error Rate yang sama dihasilkan pada SNR 6 dB sedangkan yang paling buruk pada kanal B yaitu pada SNR mendekati 10 dB.
- Hasil pengujian dengan penerima 802.11a diperoleh hasil paling baik ditunjukkan pada kanal AWGN dengan SIG Error Rate yang sama dihasilkan pada SNR 2 dB sedangkan yang paling buruk pada kanal B yaitu pada SNR mendekati 6 dB.
- Hasil pengujian pada masing-masing kanal diperoleh yaitu untuk semua jenis kanal dengan penerima 802.11n 40 MHz nilai SIG Error Rate yang rendah lebih cepat tercapai sedangkan dengan penerima 802.11a 20 MHz nilai SIG Error Rate yang sama dicapai pada nilai SNR yang lebih tinggi.

### Saran

Untuk pengembangan sistem lebih lanjut, maka dapat diberikan saran-saran sebagai berikut:

- Pada blok diagram penyusun sistem menggunakan LDPC (*Low Density Parity Check*) untuk meningkatkan performansi sistem.
- Simulasi sistem 802.11ac dapat dikembangkan untuk sistem dengan *bandwidth* 160 MHz.
- Untuk mengetahui unjuk kerja sistem dapat dilakukan pengujian dengan membandingkan hasil keluaran pada *transmitter* dan *receiver*.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Crow, B.P., et al, "IEEE 802.11 Wireless Local Area Networks", *IEEE Comm.*, 116-126, September 1997.
- [2] Rackley, Steve, *Wireless Networking Technology*, Newnes, Oxford, 2007.
- [3] Amien, Wahyul S, *A Study on System Level Design of Gigabit Wireless LAN System*, Kyushu Institute of Technology, 2009.
- [4] Van Nee, R. and Prasad, R., *OFDM for Wireless Multimedia Communications*, Artech House, Boston, 2000.
- [5] Bahai, A.R. dan Saltzberg, B.R., *Multi-carrier Digital Communications Theory and Applications of OFDM*, Kluwer Academic Publishers, New York, 1999.
- [6] Segkos, Michail, *Advanced Techniques to Improve the Performance of OFDM Wireless LAN*, Naval Postgraduate School Monterey California, Juni 2004.
- [7] Rappaport, T.S., *Wireless Communication: Principles and Practice 2<sup>nd</sup> ed.* Prentice Hall, New Jersey, 2002.
- [8] Jiang and Hanzo, "Multiuser MIMO-OFDM for Next-Generation Wireless Systems", *Proceedings of the IEEE*, Vol.95, No.7, July 2007.
- [9] Efendi, Rustam, *Limited Feedback Precoding dan MIMO Spatial Multiplexing untuk Aplikasi 802.11e*, Magister Teknik Telekomunikasi, Sekolah Tinggi Teknologi Telkom Bandung, Maret 2007.
- [10] Alamouti, S., "A Simple Transmit Diversity Technique for Wireless Communications", *IEEE Journal on Select Areas in Communications*, Vol.16, No.7, Oktober 1998.
- [11] Sarjanoko, R. Joko, *Analisis Keamanan Wireless Local Area Network Standar 802.11: Kasus PT. Masterdata Jakarta*, Tesis S-2, Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor, Agustus 2007.
- [12] Perahia, Eldad and Robert Stacey, "Next Generation Wireless LANs- Throughput, Robustness, and Reliability in 802.11n", Cambridge University Press, 2008.
- [13] "Supplement to IEEE STANDARD for Information Technology - Telecommunications and information exchange between systems - Local and metropolitan area networks - Specific requirements", IEEE Std 802.11a-1999(R2003), Juni 2003.
- [14] "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.
- [15] Sklar, B., *Digital Communications: Fundamental and Applications*, Prentice Hall, New Jersey, 1988.
- [16] "TGN Channel Models", IEEE P802.11 Wireless LANz, Mei 2004.
- [17] "Proposed TGac Draft Amendment", IEEE P802.11 Wireless LANs, Januari 2011.

## BIODATA MAHASISWA



Hayu Pratista, lahir di Pamekasan 4 Januari 1990. Menempuh pendidikan di SD Negeri barurambat Kota I Pamekasan, SMP Negeri 2 Pamekasan, SMA Negeri 1 Pamekasan dan melanjutkan studi Strata-1 di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang, konsentrasi Elektronika dan Telekomunikasi.

Menyetujui,  
Dosen Pembimbing I

Dr. Wahyul Amien ., S.T., M.T.  
**NIP. 197112181995121001**

Dosen Pembimbing II

Imam Santoso, S.T., M.T.  
**NIP. 197012031997021001**