

**PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI *POWERLINE COMMUNICATION*
MENGUNAKAN *POWERLINE ADAPTER* DENGAN TEKNIK MODULASI OFDM
*DESIGN AND IMPLEMENTATION OF POWERLINE COMMUNICATION USING
POWERLINE ADAPTER WITH OFDM MODULATION***

Nabilla Amalina Utami¹, Dr. Budi Prasetya, S.T., M.T.², Ratna Mayasari, S.T., M.T.³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom, Bandung
¹nabillaau@student.telkomuniversity.ac.id, ²budiprasetya@telkomuniversity.ac.id,
³ratnamayasari@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Implementasi teknologi *Powerline Communication* (PLC) bukanlah merupakan sebuah teknologi yang baru. PLC merupakan sistem komunikasi dengan menggunakan kabel distribusi listrik sehingga jaringan listrik selain berfungsi sebagai sumber listrik juga menjadi media penghantar komunikasi. Salah satu cara untuk komunikasi data antar perangkat yaitu menggunakan *Powerline Adapter* (PLA). Pada satu colokan listrik akan ada beberapa perangkat yang terhubung atau dapat diartikan dengan *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) teknik modulasi *multicarrier*, dimana antar *subcarrier* tumpang tindih tetapi saling orthogonal satu sama lain yang dapat menyebabkan adanya *noise*. Pada Tugas Akhir ini menggunakan jaringan *Broadband Powerline Communication* (BPLC) menggunakan *Powerline Adapter* AV600 merk TP-LINK dimana pengujian dilakukan pada spesifikasi ruangan $5 \times 5 \times 3 \text{ m}^3$ dengan pengujian data berupa *download*, *upload* dan *streaming* video. Tugas akhir ini bertujuan untuk mengetahui kinerja perangkat *powerline adapter* pada kanal PLC. Hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa nilai *throughput* terbesar pada pukul 18:00 WIB sebesar 3,18 Mbps dan hasil *throughput* terkecil didapat pada pukul 23:00 WIB sebesar 1,47 Mbps. Kemudian didapatkan total *delay* terbesar 1,004 detik pada pukul 21:00 WIB dan untuk *delay* terkecil terdapat pada pukul 12:00 WIB yaitu 0.18 detik. Namun terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi nilai *throughput* tersebut, seperti keadaan listrik dimana semua lampu, komputer, AC sedang menyala maupun sedang tidak digunakan tergantung pada jam sibuk pemakaian listrik. Ketika perangkat – perangkat yang memakai listrik menyala akan memberikan pengaruh cukup besar baik itu terhadap *delay*. Maka, terkadang perubahan hasil *delay* tidak terlihat begitu signifikan.

Kata kunci : *Powerline Communication (PLC), Powerline Adapter, QoS, BER, SNR*

Abstract

The implementation of *Powerline Communication* (PLC) is not a new technology. PLC is a communication system using electricity distribution cables so that the electricity network in addition to functioning as a source of electricity is also a medium of communication. One of the ways to communicate data between the devices is using a *Powerline Adapter* (PLA). In one power outlet, there will be several devices that are connected or can be interpreted with *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) *multicarrier* modulation technique, where the subcarriers overlap but are orthogonal to each other which can cause noise. This final project uses a *Broadband Powerline Communication* (BPLC) network using the TP-LINK brand AV600 *Powerline Adapter* where the room dimension is $5 \times 5 \times 3 \text{ m}^3$ by testing data in the form of downloads, uploads, and streaming videos. The purpose of this research is to find out the performance of the *powerline adapter* on the PLC channel. The results can be concluded that the *throughput* value at 18:00 WIB by 3,18 Mbps and the smallest at 23:00 WIB by 1,47 Mbps. Then we get the biggest total *delay* 1,004 seconds at 21:00 WIB and the smallest *delay* is at 12:00 WIB which is 0,18 seconds. However, several factors affect the *throughput* value, such as the state of electricity where all the lights, computers, AC are on or not in use depending on the peak hours of electricity usage. When the device - the device that uses the power is on will give considerable influence either of the delays. So, sometimes the change in *delay* results doesn't look that significant.

Keywords: *Powerline Communication (PLC), Powerline Adapter, QoS, BER, SNR*

1. Pendahuluan

Pesatnya perkembangan teknologi transmisi karena kebutuhan permanen untuk layanan telekomunikasi maupun penambahan kapasitas transmisi [1]. Perkembangan teknologi telekomunikasi dan informasi di suatu wilayah yang belum mendapatkan distribusi kabel listrik sangat dibutuhkan karena dengan perkembangan teknologi yang pesat dapat memacu perkembangan ekonomi wilayah tersebut, misalnya dengan kecepatan akses internet yang stabil. Karena hampir seluruh masyarakat Indonesia menggunakan listrik, maka penggunaan distribusi kabel listrik yang dapat digunakan sebagai sinyal internet. Untuk merealisasikan hal ini, dibutuhkan

solusi untuk pemecahan masalah di atas yaitu dengan perencanaan teknologi *Powerline Communication* (PLC) yang dimana teknologi tersebut bukanlah merupakan sebuah teknologi yang baru, namun masih harus dilakukan pengembangan. Dengan melakukan inovasi dan uji coba terkait kendala-kendala dalam mengembangkan internet via kabel listrik dan pastinya harga nya pun lebih murah, dan yang lebih penting adalah kemanfaatan listrik dapat dimaksimalkan.

PLC merupakan sebuah sistem transmisi data dengan memanfaatkan kabel listrik sebagai frekuensi pembawa. PLC atau yang disebut internet via jala- jala, adalah koneksi internet dengan menggunakan kabel daya PLN. Koneksi internet yang selama ini memakai kabel komunikasi dengan *port* RJ 45 akan diganti dengan kabel daya langsung dari kabel daya PLN [2]. Dapat dilakukan, karena memanfaatkan medan elektromagnet yang ditimbulkan oleh aktivitas penghantaran arus. Teknologi ini dapat diterapkan pada sistem distribusi daya *low voltage* 220V 380V. Frekuensi dan *amplitude* antara sinyal pembawa pada PLC dengan transmisi tenaga listrik berbeda sehingga tidak terjadi interferensi yang menyebabkan kerusakan pada sinyal data [3].

2. Dasar Teori

Bab ini berisi tentang definisi dan teori dasar dari metode-metode yang penulis gunakan untuk merancang tugas akhir ini.

2.1 *Powerline Communication* (PLC)

Powerline Communication (PLC) merupakan suatu teknologi komunikasi data, suara, dan video yang menggunakan koneksi kabel listrik yang dapat digunakan pada jaringan listrik yang telah ada untuk memberikan pasokan energi listrik, dan di saat yang bersamaan juga dapat digunakan untuk mentransfer data dan transmisi suara. Kecepatan maksimal yang bisa diraih dengan menggunakan teknologi ini kurang lebih mulai dari 256 Kbps sampai 45 Mbps. PLC atau yang biasa disebut internet *via* jala – jala, merupakan koneksi internet dengan menggunakan kabel daya listrik. Maka koneksi internet yang selama ini memakai kabel komunikasi dengan RJ 45 diganti dengan kabel daya atau jala-jala langsung dari kabel daya listrik. Hal tersebut dapat dilakukan karena memanfaatkan medan elektromagnet yang ditimbulkan oleh aktivitas penghantaran arus (hukum *maxwell*) [3].

2.1.1 Prinsip Dasar PLC

Prinsip dasar PLC adalah suatu pemanfaatan distribusi komunikasi suara dan data melalui media jaringan kabel listrik bertegangan rendah. Energi listrik ditransmisikan melalui saluran tegangan menengah, selanjutnya didistribusikan oleh trafo distribusi menjadi saluran tegangan rendah 3 fase, yaitu R, S, dan T. Tegangan fase ke netral adalah 220 *volt*, yaitu nilai tegangan yang tersedia untuk perumahan dan perkantoran Jaringan tenaga listrik adalah kanal transmisi yang tidak stabil, karena memiliki variasi impedansi yang disebabkan oleh berbagai macam perangkat elektronik yang terhubung ke jaringan tersebut. Jaringan tenaga listrik dirancang untuk distribusi tenaga listrik, bukan untuk transmisi data. Maka dari itu terdapat karakteristik kanal yang tidak diinginkan seperti *noise* dan redaman yang tinggi. Karena selalu bervariasi terhadap waktu, jaringan tenaga listrik dapat disebut sebagai kanal *multipath*, karena disebabkan oleh pantulan yang dihasilkan oleh percabangan kabel [4].

2.1.2 Standar Jaringan PLC

IEEE 1901 merupakan protokol yang memungkinkan jaringan komputer untuk mentransmisikan data melalui jaringan infrastruktur daya listrik. IEEE 1901 merupakan spesifikasi BPLC yang paling dominan digunakan, spesifikasi ini telah memiliki banyak perangkat pengguna yang memiliki data rate hingga 500 Mbps. Berdasarkan *bandwidth* nya, PLC dapat dibagi menjadi dua kategori, yaitu *Narrowband* PLC (NPLC) dan *Broadband* PLC (BPLC) [5]. Pada tugas akhir ini kategori yang terpilih yaitu BPLC karena memberikan kecepatan data yang jauh lebih tinggi yaitu lebih dari 2 Mbps daripada sistem NPLC [1].

2.2 *Broadband Powerline Communication* (BPLC)

BPLC memiliki *bandwidth* yang lebih tinggi dibandingkan dengan NPLC. Jaringan NPLC hanya dapat menangani transmisi data dengan *bit rate* yang sangat rendah, sedangkan BPLC dapat menangani servis telekomunikasi yang lebih beragam dengan transmisi data berkecepatan tinggi seperti video *streaming*. Komunikasi *broadband* melalui jaringan daya listrik memungkinkan terciptanya jaringan telekomunikasi yang efektif dan hemat biaya tanpa memerlukan pemasangan kabel tambahan. Tetapi jaringan daya listrik tidak dirancang untuk mentransmisikan data informasi [6].

2.2.1 Powerline Adapter (PLA)



Gambar 1. Powerline Adapter AV600 TP – LINK

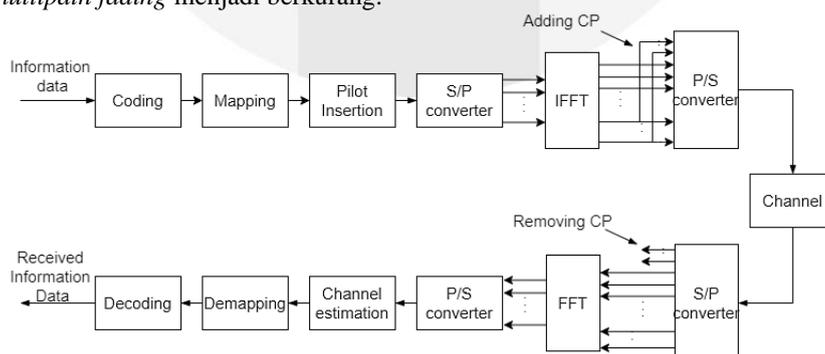
Powerline Adapter (PLA) adalah sebuah alat yang digunakan untuk merubah komunikasi data menjadi transmisi tenaga listrik. Rata-rata PLA sudah memiliki enkripsi data dalam transmisinya. PLA adalah sebuah alat yang dapat membuat kabel listrik atau jaringan listrik rumah menjadi seperti kabel *local area network (LAN)* atau jaringan LAN, hanya dapat digunakan dalam satu jaringan listrik yang sama. Cara penggunaannya sambungkan kabel LAN ke perangkat PLA, lalu colokkan ke *stop* kontak listrik. Setelah dua-duanya terpasang, salah satu sambungkan kabel LAN ke *repeater/modem* dan salah satu nya ke laptop. Kemudian tekan tombol *pair* pada masing – masing perangkat. Berikut perangkat TL-PA4010P KIT AV600 *Passthrough Powerline Starter Kit* yang digunakan dalam Tugas Akhir ini dengan spesifikasi seperti pada tabel berikut.

Tabel 1. Spesifikasi *Powerline Adapter AV600*

Plug Type	EU, UK, US, AR
Standards and Protocols	HomePlug AV, IEEE802.3, IEEE802.3u.
Interface	1* 10/100Mbps Ethernet Port, Power Socket
Button	Pair Button
Power Consumption	Maximum : 5.00W (220V/50Hz), Typical : 4.60W (220V/50Hz), Standby : 0.72W (220V/50Hz)
LED Indicator	Power, Powerline, Ethernet
Dimensions (WxDxH)	3.7 x 2.3 x 1.7 in. (95 x 58 x 42 mm)
Range	Up to 300 meters/1000 feet over existing electrical wiring
Modulation Technology	OFDM
Encryption	128-bit AES Encryption
Package Contents	Powerline Ethernet Adapter *2, Ethernet cable (RJ45) *2, Resource CD, Quick Installation Guide

2.3 Modulasi Multicarrier OFDM

Konsep dari OFDM adalah membagi data rate sinyal informasi wideband menjadi deretan data paralel dengan data rate yang lebih rendah sehingga akan didapatkan deretan paralel sinyal dengan data rate rendah (*narrowband*), kemudian data-data paralel tersebut dimodulasi dengan *subcarrier* yang saling ortogonal. Hal ini merupakan salah satu keuntungan dari penggunaan OFDM, karena kanal yang semula bersifat *frequency selective fading* akan dirasakan seperti kanal *flat fading* oleh masing-masing *subcarrier*, sehingga distorsi sinyal akibat perlakuan kanal *multipath fading* menjadi berkurang.



Gambar 2. Realisasi sistem OFDM

Prinsip *orthogonal* menunjukkan adanya hubungan matematis antar frekuensi *carrier* pada sistem. Pada sistem FDM konvensional, masing-masing *carrier* diatur agar tidak saling *overlapping* dan antar *carrier* dipisahkan oleh *guard band* sehingga akan mengurangi efisiensi spektrum. Untuk lebih meningkatkan efisiensi *bandwidth*, OFDM menggunakan spektrum yang saling *overlap* antara *subcarrier* yang satu dengan *subcarrier* yang lain tetapi sinyal masih bisa diterima tanpa interferensi *carrier* yang berdekatan. Hal ini dapat dilakukan karena antar *subcarrier* yang satu dengan yang lain saling *orthogonal*.

2.4 Pemodelan Kanal PLC

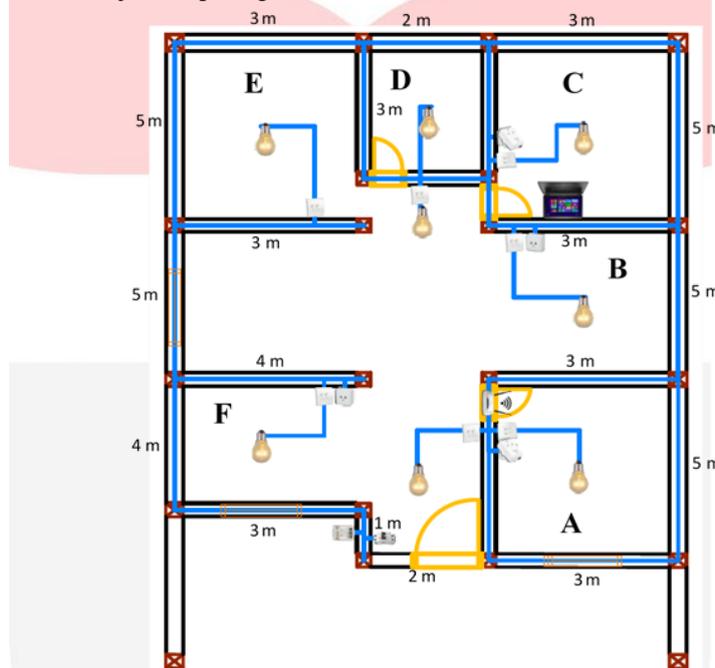
Untuk model kanal transmisi yang digunakan pada analisa performansi PLA yaitu pada kanal *Additive White Gaussian Noise* (AWGN) serta pengaruh kanal *powerline* pada sistem kelistrikan dirumah penulis yang meliputi *multipath* dan *noise impuls*.

1. Kanal *Additive White Gaussian Noise* (AWGN)

Additive White Gaussian Noise (AWGN) merupakan model kanal sederhana dan umum digunakan dalam suatu sistem komunikasi. Pada kanal transmisi selalu terdapat penambahan derau yang timbul sebagai akibat dari akumulasi derau termal dari perangkat Tx, kanal transmisi, dan Rx.

2. Kanal *Powerline Communication* (PLC)

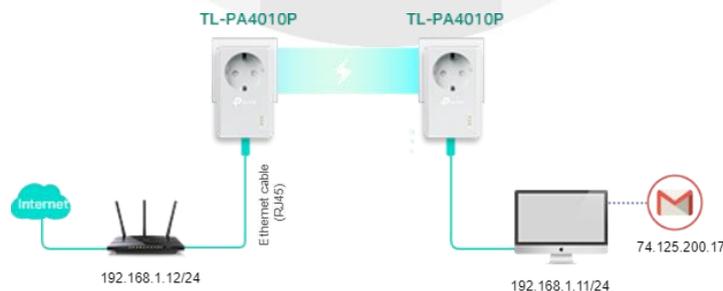
Pada kanal PLC akan dimodelkan sistem *multipath* yang akan mewakili keadaan struktur hasil *real* PLC yang direalisasikan. Pemodelan kanal *powerline* dirancang di rumah penulis dengan ukuran $5 \times 5 \times 3 \text{ m}^3$. Memakai kabel distribusi listrik jenis NYHHY $0,75 \text{ mm}^2$ 2 core 26 Ohm/Km [7]. Model kanal *powerline* ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 3. Pemodelan Kanal *Powerline*

3. Topologi Jaringan

Dimodelkan suatu topologi jaringan dari perangkat PLA pada jaringan PLC yang diimplementasikan. Tujuan dari pemodelan topologi jaringan ini dimaksudkan untuk mengetahui perangkat – perangkat yang saling terhubung antara satu dengan yang lain, dan mengidentifikasi IP *address* dari *source* serta *destination* pada proses pengiriman data sampai kepada proses penerimaan data yang nantinya akan diujicobakan pada *software* simulasi *Wireshark*. Untuk perangkat PLA menggunakan *wireline* dengan kabel *ethernet* RJ45. Dan yang diuji adalah protocol TCP.



Gambar 4. Topologi Jaringan PLC

2.5 *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK)

Pada modulasi *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK) sinyal pembawa mempresentasikan empat keadaan fasa untuk menyatakan empat simbol. Satu simbol QPSK terdiri dari dua bit yaitu “00”, “01”, “10”, dan “11”. Setiap dua bit akan mengalami perubahan fasa sebesar 90° sedangkan kecepatan bit informasinya sebesar dua kali kecepatan simbolnya. *Mapping* QPSK memiliki efisiensi *bandwidth* dua kali lebih besar dibandingkan dengan BPSK, karena dua *bit* disimbolkan dengan satu simbol sinyal *mapping*.

2.6 Binary Phase Shift Keying (BPSK)

Pada BPSK, fasa dari frekuensi pembawa diubah-ubah antara dua nilai yang menyatakan keadaan biner 1 dan 0, dalam hal ini *phasa* dari frekuensi pembawa yang satu dengan yang lain berbeda sebesar 180° .

3. Pengujian dan Hasil Analisis

Bab ini berisi sesuai dengan tujuan tugas akhir ini yaitu untuk mengetahui kinerja serta kualitas suatu layanan perangkat *powerline adapter* pada jaringan PLC dengan parameter – parameter terkait Terdapat beberapa parameter yang akan diamati pada tugas akhir ini, yaitu kualitas sinyal yang ada di sisi penerima yang akan direpresentasikan dengan grafik BER vs Eb/No dan performansi jaringan dari PLC yang diimplementasikan secara *real time* melalui sistem kelistrikan yang diuji menggunakan *wireshark*.

3.1 Pengujian Sistem

Pada perancangan dan implementasi PLC menggunakan perangkat PLA dengan teknik modulasi OFDM ini, akan dilakukan pengujian kualitatif dan kuantitatif. Pada pengujian kualitatif akan dilakukan perencanaan implementasi untuk melakukan pengukuran beberapa hal agar perangkat yang dirancang sesuai dengan tujuan perangkat, kinerja sistem jaringan PLC secara *real time* dan melakukan *speed test*. Sedangkan pengujian kuantitatif membahas tentang perancangan dan pemodelan sistem untuk simulasi.

3.1.1 Quality of Service (QoS)

QoS adalah kualitas layanan, namun secara teori QoS merupakan parameter – parameter jaringan yang memungkinkan bahwa jaringan dapat beroperasi dengan sesuai. Berikut adalah parameter – parameter yang digunakan untuk menunjukkan kualitas paket pada jaringan BPLC.

1. Throughput

Throughput merupakan suatu ukuran berupa rate rata – rata data yang berhasil dikirimkan pada suatu kanal komunikasi. *Throughput* biasanya diukur dalam Kbit/s (Kilobit per second).

Tabel 2. Kategori *throughput*

Kategori Throughput	Besar Throughput
Sangat Bagus	>10 Mbps
Bagus	2 Mbps – 10 Mbps
Sedang	1 Mbps – 2 Mbps
Buruk	0,0646 Mbps – 1 Mbps

2. Delay

Delay merupakan waktu yang dibutuhkan data untuk menempuh jarak dari asal ke tujuan. Dalam pengertian tersebut, *delay* yang dimaksud adalah *oneway delay*. Berikut merupakan tabel yang menjadi acuan dari nilai *delay*:

Tabel 3. Kategori *Delay*

Delay Value	Mean
<150 ms	Excellent
150 ms – 300 ms	Good
300 ms – 450 ms	Normal
>450 ms	Bad

3.1.2 Bit Error Rate (BER)

BER adalah perbandingan jumlah bit yang *error* terhadap bit total yang dikirim. Semakin besar nilai BER menunjukkan semakin banyak bit yang *error*. Untuk informasi berupa data, ukuran BER minimum yang baik adalah 10^{-9} dan untuk suara (*voice*) BER minimum adalah 10^{-3} , artinya dalam 1000bit sinyal yang dikirimkan maka maksimum jumlah bit yang boleh salah adalah 3 bit.

3.1.3 Signal to Noise Ratio (SNR)

Signal to Noise Ratio (SNR) ialah perbandingan antara daya sinyal yang diinginkan dengan daya sinyal yang tidak diinginkan (*noise*) pada suatu titik ukur. SNR menyatakan kualitas sinyal informasi yang diterima pada sistem transmisi. SNR juga merupakan batas ambang sinyal analog yang masih dapat diterima. Semakin besar nilai SNR maka kualitas sinyal semakin bagus.

3.2 Skenario Simulasi

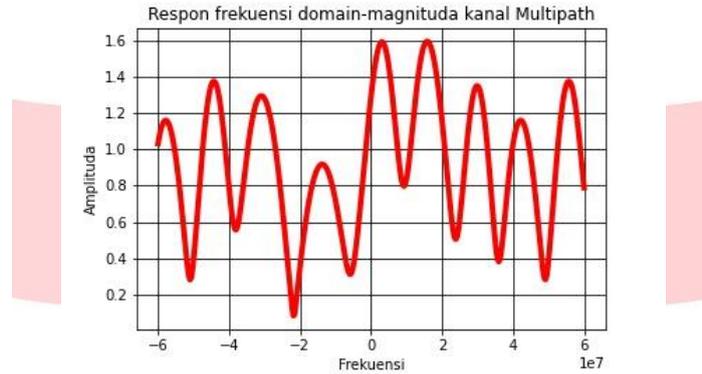
Skenario simulasi akan dilakukan menggunakan *platform* jupyter dengan bahasa pemrograman *python*.

3.2.1 Skenario Simulasi pada PLC

Parameter sistem yang disimulasikan diberikan data sebagai berikut ini:

- Frekuensi kerja = 30 MHz
- Modulation Schema = BPSK & QPSK
- Channel model = Fungsi transfer model *multipath propagation*
- Jumlah path = 6
- Channel Noise = AWGN
- Variasi Eb/No = 0 – 15 dB

3.3 Analisa *multipath* terhadap respon kanal PLC



Gambar 5. Respon kanal *multipath* untuk 6 lintasan

Multipath dan redaman merupakan karakteristik yang dimiliki oleh kanal *powerline*. *Multipath* bisa disebabkan karena ketidaksesuaian impedansi lintasan kanal maupun karena adanya pengaruh jumlah percabangan pada kanal. Gambar 5. menunjukkan respon *frequency domain magnitude* kanal *multipath* yang dipakai untuk simulasi pada tugas akhir ini.

Tabel 4. *Power Delay Profile (PDP)*

Tap	Power (dB)	Power (Linear)	Power (Normalize)	Delay (τ_i)
0	0	1	0.3401	0 ns
1	- 3	0.5011	0.1704	20 ns
2	- 6	0.2511	0.0854	80 ns
3	- 8	0.1584	0.0538	120 ns
4	- 2	0.6309	0.2146	10 ns
5	- 4	0.3981	0.1354	40 ns

Berdasarkan hasil simulasi dengan parameter – parameter yang ada. Dapat diambil data *power delay profile (PDP)*. Secara umum PDP merupakan hubungan antara daya yang diterima dengan *excess delay*. *Excess delay* adalah *delay* relatif dari suatu komponen *multipath* yang dibandingkan dengan komponen lintasan yang pertama diterima. Maka didapatkan perhitungan nilai seperti pada tabel 4.

- *Max excess delay*
120 ns
- *Mean excess delay*
 $\bar{\tau} = (0,3401 \times 0) + (0,1704 \times 20) + (0,0854 \times 80) + (0,0538 \times 120) + (0,2146 \times 10) + (0,1354 \times 40)$
 $\bar{\tau} = 24,258 \text{ ns}$

- *RMS excess delay*

$$\bar{\tau}_{RMS} = \sqrt{[(0,3401 \times (0 - 24,258)^2) + ((0,1704 \times (20 - 24,258)^2) + (0,0854 \times (80 - 24,258)^2) + ((0,0538 \times (120 - 24,258)^2) + (0,2146 \times (10 - 24,258)^2) + ((0,1354 \times (40 - 24,258)^2)]}$$

$$\bar{\tau}_{RMS} = \sqrt{200,132 + 3,089 + 265,352 + 493,159 + 43.626 + 33,553}$$

$$\bar{\tau}_{RMS} = \sqrt{1038,911}$$

$$\bar{\tau}_{RMS} = 32,232 \text{ ns}$$

- *Bandwidth Coherent*

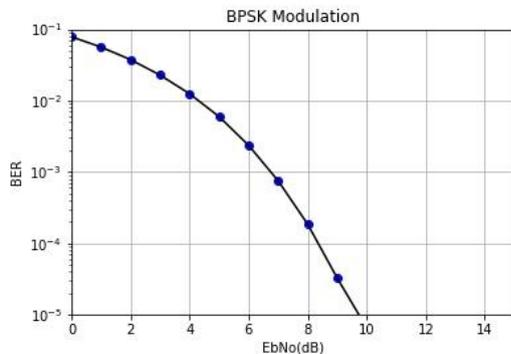
$$B_{\text{sinyal}} = 30 \text{ Mhz}$$

$$B_c = \frac{1}{5 \times \bar{\tau}_{RMS}} = \frac{1}{5 \times 161,16} = 6,2 \text{ Mhz}$$

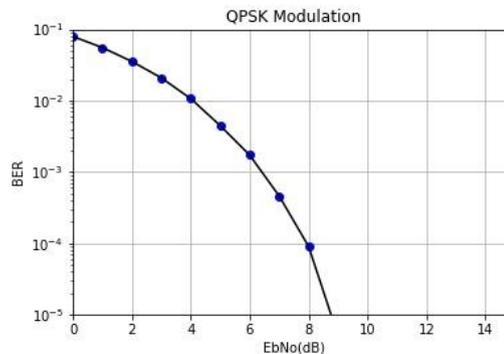
Dari hasil perhitungan simulasi dapat disimpulkan bahwa kanal *multipath* termasuk kategori $B_{\text{sinyal}} > B_c$, karena $30 \text{ Mhz} > 6,2 \text{ Mhz}$ maka merupakan *frequency selective fading*. *Frequency selective fading* merupakan salah satu bentuk fading dimana sinyal yang diterima mengalami distorsi dan dispersi. Hal ini

disebabkan sinyal yang diterima terdiri dari beberapa sinyal, terjadi redaman dan waktu tunda, sehingga menimbulkan dispersi waktu dari simbol yang ditransmisikan. Perbedaan waktu tunda dari simbol-simbol ini mengakibatkan ISI.

3.4 Hasil Eb/No Modulasi BPSK dan QPSK



Gambar 6 (a). Eb/No Modulasi BPSK



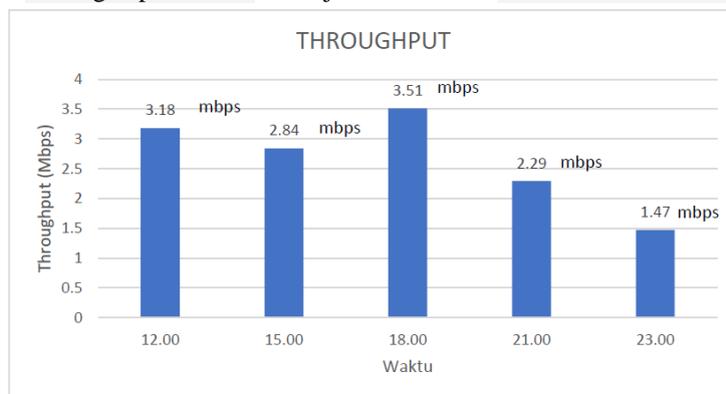
Gambar 6 (b). Eb/No Modulasi QPSK

Pada hasil simulasi Eb/No Modulasi BPSK dan QPSK baru hanya dimodelkan 1 *path (flat)*. Dalam hasil BER hanya mengambil daya terima dan variasi *noise* 0 – 15 dB. Berdasarkan hasil yang didapat, disimpulkan bahwa nilai BER lebih kecil untuk modulasi QPSK dan lebih tinggi untuk sistem BPSK. Karena BER berbanding terbalik dengan SNR maka jika BER lebih kecil, maka SNR tinggi dan SNR digunakan untuk mengukur kualitas saluran transmisi. Rasio SNR yang tinggi akan dengan mudah mengisolasi & menghilangkan sumber kebisingan. Sehingga nilai BER minimum diperlukan untuk meningkatkan performansi sistem OFDM.

Pada tugas akhir ini teknik modulasi digital yang berbeda BPSK dan QPSK telah diterapkan pada sistem OFDM dengan menggunakan kanal AWGN. Studi simulasi dilakukan dengan menggunakan *platform* jupyter dengan bahasa pemrograman *python* untuk mempelajari parameter performansi BER pada kanal AWGN. Telah ditemukan bahwa sistem OFDM berbasis QPSK memiliki nilai BER paling kecil dibandingkan dengan teknik modulasi BPSK. Dengan demikian kinerja sistem OFDM berbasis QPSK lebih baik.

3.5 Analisis Hasil Throughput

Berikut merupakan hasil pengujian *throughput* menggunakan *software simulasi wireshark*. Pengujian dilakukan sebanyak 5 sesi dengan parameter waktu/jam.



Gambar 7. Hasil Throughput

Berdasarkan pada hasil pengujian *throughput* pada pukul 18:00 WIB didapatkan hasil *throughput* sebesar 3.18 Mbps dan untuk *throughput* terkecil terdapat pada pukul 23:00 WIB sebesar 1,47 Mbps. Pada teorinya, *throughput* merupakan *rate data rata – rata* yang berhasil sampai ke tujuan. Maka, semakin besar beban trafik nya *data rate* akan semakin kecil.

3.6 Analisis Hasil Delay

Pengukuran *delay* dilakukan sebanyak 5 sesi percobaan, yaitu dalam parameter waktu/jam. Gambar 8 merupakan hasil pengujian *delay* perangkat PLA, dari hasil pengujian tersebut didapatkan total *delay* sebesar 1,004 detik pada pukul 21:00 WIB dan untuk *delay* terkecil terdapat pada pukul 12:00 WIB yaitu 0.18 detik. Pada jaringan PLC ini, pengaruh dari perangkat elektronik cukup berperan dalam pengambilan data pengujian yang akan dihasilkan. Ketika perangkat – perangkat yang memakai listrik menyala akan memberikan pengaruh cukup besar baik itu terhadap *delay*. Hasil *delay* dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Hasil Delay

3.7 Analisis Sistem Secara Keseluruhan

Dapat diketahui bahwa hasil dari respon *magnitude multipath* menunjukkan kanal bersifat *frequency selective fading*. Perbandingan teknik modulasi BPSK dan QPSK yang disimulasikan dengan berbagai parameter yang telah ditentukan dengan baru hanya memodelkan 1 *path* dan hasil BER hanya mengambil daya terima dan variasi *noise* 0 – 15 dB. Disimpulkan bahwa nilai BER lebih kecil untuk modulasi QPSK dan lebih tinggi untuk sistem BPSK. Sistem OFDM berbasis QPSK memiliki nilai BER lebih kecil dibandingkan dengan teknik modulasi BPSK. Dengan demikian kinerja sistem OFDM berbasis QPSK lebih baik. Berdasarkan hasil yang telah disimulasikan untuk hasil *throughput* berdasarkan kategori untuk rentang 2 Mbps – 10 Mbps yaitu hasil *throughput* terbilang bagus. Dan hasil *delay* yang didapatkan *delay* terbesar terdapat pada pukul 12:00 WIB yaitu 1,004 detik terbilang buruk karena berdasarkan kategori *delay* yaitu (> 450 ms) masuk dalam kategori buruk. Dan untuk hasil *delay* lainnya termasuk pada kategori (300 ms – 450 ms) yaitu normal. Secara keseluruhan performansi sistem pengujian *realtime* cukup baik pada kanal PLC. Hubungan antara pengujian Modulasi BPSK dan QPSK dengan pengujian *realtime* adalah untuk membuktikan *signal mapping* yang lebih baik digunakan pada teknik modulasi OFDM di kanal PLC pada tugas akhir ini. Dan pengujian *realtime* dilakukan terpisah dengan parameter sendiri untuk membandingkan hasil antara pengujian *realtime* dengan pengujian simulasi. Perangkat PLA ini cukup baik untuk digunakan dirumah penulis karena memiliki hasil kategori *delay* yang normal dan *throughput* yang bagus.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan sistem, pengujian dan analisa yang telah dilakukan maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. *Multipath* dan redaman merupakan karakteristik yang dimiliki oleh kanal *powerline*. Simulasi digunakan dengan jumlah lintasan adalah 6. Pengaruh *multipath* dapat menyebabkan kinerja kanal PLC mengalami penurunan serta peningkatan yang signifikan. Hal ini terjadi karena suatu sinyal menempuh lintasan yang berbeda dengan karakteristik impedansi dan redaman yang berbeda – beda.
2. Dapat disimpulkan bahwa nilai BER lebih kecil untuk modulasi QPSK dan lebih tinggi untuk sistem BPSK. Dengan demikian kinerja sistem OFDM berbasis QPSK lebih baik dari pada yang lain.
3. Hasil pengujian *throughput* yang didapat pada pukul 18:00 WIB sebesar 3.18 Mbps dan hasil *throughput* terkecil didapat pada pukul 23:00 WIB sebesar 1,47 Mbps.
4. Didapatkan total *delay* sebesar 1,004 detik pada pukul 21:00 WIB dan untuk *delay* terkecil terdapat pada pukul 12:00 WIB yaitu 0.18 detik. Pada jaringan PLC ini, pengaruh dari perangkat elektronik cukup berperan dalam pengambilan data pengujian yang akan dihasilkan.

Referensi:

- [1] H. Hrasnica, A. Haidine, and R. Lehnert, *Broadband Powerline Communications Networks: Network Design*. 2005.
- [2] A. Ilmar, B. Rahmat, and B. Prasetya, “Analisis Performansi Plc (Power Line Communication),” 2009.
- [3] M. Arihutomo, M. Rivai, J. T. Elektro, and F. T. Industri, “Sistem Monitoring Arus Listrik Jala-Jala,” *J. Tek. Its*, vol. 1, no. 1, pp. 150–153, 2012.
- [4] A. S. Pramudyo, Faris, and Suhendar, “Penerapan Power Line Communication Pada Sistem Monitoring, Controlling and Data Communication Melalui Sistem Kelistrikan 220 Volt Ac,” *Banten Tek. Elektro, Univ. Sultan Agung Tirtayasa*, no. July, pp. 224–234, 2015, doi: 10.13140/RG.2.1.2425.9681.
- [6] F. Aalamifar, H. S. Hassanein, and G. Takahara, “Viability of powerline communication for the smart grid,” *2012 26th Bienn. Symp. Commun. QBSC 2012*, pp. 19–23, 2012, doi: 10.1109/QBSC.2012.6221343.
- [7] D. Wang, Y. Song, and X. Wang, “Channel modeling of broadband powerline communications,” *2017 9th IEEE Int. Conf. Commun. Softw. Networks, ICCSN 2017*, vol. 2017-Janua, pp. 427–430, 2017, doi: 10.1109/ICCSN.2017.8230149.
- [8] “(No Title).” <https://www.sucaco.com/pdf/E-Cat/Catalog Flexible Cable.pdf> (accessed Dec. 28, 2020).