

## SIMULASI *RADIO OVER FIBER* MENGGUNAKAN GELOMBANG *MILIMETER* FREKUENSI 60 GHZ UNTUK PENGGUNAAN *HOME ACCESS NETWORK*

### SIMULATION OF RADIO OVER FIBER USING MILIMETER WAVE 60 GHZ FREQUENCY FOR HOME ACCESS NETWORK

Zehan Zulkarnaen<sup>1</sup>, Ir. Akhmad Hambali, M.T<sup>2</sup>, M. Irfan Maulana, S.T.,M.T<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

<sup>1</sup>[zehan.12@telkomuniversity.ac.id](mailto:zehan.12@telkomuniversity.ac.id), <sup>2</sup>[ahambali@telkomuniversity.co.id](mailto:ahambali@telkomuniversity.co.id), <sup>3</sup>

[muhammadirfanm@telkomuniversity.ac.id](mailto:muhammadirfanm@telkomuniversity.ac.id)

#### Abstrak

Pada saat ini penggunaan teknologi pada berbagai perangkat dan aplikasi membutuhkan kecepatan tinggi dan mobilitas yang fleksibel, teknologi *wireless-fidelity* dapat menjadi solusi dari kebutuhan tersebut. Pada penelitian ini dilakukan analisa jaringan home area network dengan menggunakan topologi jaringan Radio over Fiber - Wavelength Division Multiplexing pada tiga standar wifi, yakni standar IEEE 802.11n yang menggunakan frekuensi kerja 2.4 GHz dengan kecepatan data 300Mbit/s, standar IEEE 802.11ac yang menggunakan frekuensi kerja 5 GHz dengan kecepatan data 1350Mbit/s, dan standar IEEE 802.15.3c yang menggunakan frekuensi kerja 60 GHz dengan kecepatan data 6000 Mbit/s yang masing-masing skema simulasi tersebut diukur pada jarak 5 kilometer, 10 kilometer, 15 kilometer dan jarak terjauh 20 kilometer sesuai standar access network. Hasil yang diperoleh dari perhitungan ketiga skema tersebut adalah pada jarak terjauh yakni 20 km, pada standar IEEE 802.11n nilai BER yang diperoleh  $7,987 \times 10^{-44}$  dan Q-factor sebesar 13,834. Pada standar IEEE 802.11ac nilai BER yang diperoleh  $7,987 \times 10^{-44}$  dan Q-factor sebesar 13,834. Dan terakhir pada standar IEEE 802.15.3c diperoleh hasil dengan nilai BER  $4,154 \times 10^{-39}$  dan Q-factor sebesar 13,03. Ketiga skema simulasi tersebut memperoleh nilai parameter yang memenuhi standar BER yakni  $10^{-9}$  dan Q-factor sebesar 6.

Kata kunci : *Radio over Fiber*, *wifi*, Serat Optik, Sinyal Radio.

#### Abstract

Nowadays the use of technology in various devices and applications requires high speed and flexible mobility, *wireless-fidelity* technology can be a solution to those needs. In this study, there was an analysis of home area network networks using Radio over Fiber network topology - Wavelength Division Multiplexing on three WiFi standards, the IEEE 802.11n standard that uses a 2.4 GHz frequency with a data speed of 300Mbit/s, IEEE 802.11ac standard that uses 5 GHz frequency with data rates of 1350Mbit/s, and the IEEE 802.15.3c standard that uses a 60 GHz frequency with a data rate of 6000 Mbit/s, each of scheme is measured at a distance of 5 kilometers, 10 kilometers, 15 kilometers and the farthest distance 20 kilometers according to the standard access network. The results obtained from the calculation of the three schemes are at the farthest distance of 20 km, in the IEEE 802.11n standard the BER value is  $7.987 \times 10^{-44}$  and Q-factor is 13.834. In the IEEE 802.11ac standard, the BER value is  $7.987 \times 10^{-44}$  and Q-factor is 13.834. And the IEEE 802.15.3c standard the BER value is of  $4.154 \times 10^{-39}$  and Q-factor 13.03. The three simulation schemes have obtained parameter values that meet the BER standard of  $10^{-9}$  and Q-factor of 6.

Keywords: *Radio over Fiber*, *wifi*, *Fiber Optic*, *Radio signal*.

#### 1. Pendahuluan

Dewasa ini penggunaan teknologi informasi di Indonesia sedang dalam masa perkembangan, contohnya seperti penggunaan koneksi internet pada gadget, komputer dan perangkat lainnya. Kini dimanapun bahkan dengan perangkat apapun kita bisa mengakses berbagai konten informasi di internet. Namun dengan semakin banyaknya perangkat yang dapat terhubung ke jaringan internet, maka teknologi wifi yang telah ada saat ini dirasa kurang mumpuni dari segi kecepatan untuk penggunaan *Home Area Network* dengan banyaknya perangkat yang terdapat didalamnya, dimana kecepatan koneksi internet atau *bitrate* yang tinggi merupakan kebutuhan utamanya. Maka *Radio over Fiber* dengan frekuensi 60 GHz yang digabungkan dengan teknologi *Wavelength Division Multiplexing* (WDM) merupakan suatu solusi untuk mengatasi kekurangan jalur transmisi yang telah ada.

Spektrum frekuensi 60 GHz merupakan pita frekuensi tanpa lisensi yang dapat digunakan untuk teknologi *wifi* dengan standar IEEE 802.15.3c dan penggunaan teknologi *wifi* 802.15.3c mencapai kecepatan melebihi 1 Gigabit/s yang merupakan kebutuhan untuk *Home Area Network* [1]. Didukung dengan jaringan *Radio over Fiber* yang merupakan proses pengiriman sinyal radio melalui kabel serat optik. RoF memiliki beberapa kelebihan yakni kebal terhadap *interferensi*, instalasi dan pemeliharaan mudah, lebih hemat energi listrik, redaman yang rendah dan juga memiliki *bandwidth* yang lebar. Dengan *bandwidth* yang lebar akan didapatkan *bitrate* yang lebih baik, maka

teknologi RoF sangat cocok digunakan sebagai media transmisi pendukung teknologi *Home Access Network* pada saat ini.

Tugas akhir ini mengembangkan skema *Radio over Fiber* dengan menggunakan frekuensi 60 GHz dan akan dilakukan perbandingan parameter performansi jaringan dengan frekuensi 2,4 GHz yang merupakan standar *wifi* IEEE 802.11n dan frekuensi 5 GHz. Performansi jaringan yang akan dianalisa adalah berupa BER dan juga Q-Factor pada arah *downstream*. Pengembangan diarahkan pada penyesuaian performansi sistem sesuai spesifikasi *bitrate* yang dibutuhkan standar *wifi* IEEE 802.15.3c yakni melebihi 1 *Gigabit* per detik [2], standar *wifi* 802.11n dengan kecepatan data 300 *Megabit* per detik [3] dan standar *wifi* IEEE 802.11ac dengan kecepatan 1350 *Megabit* per detik [4].

## 2. Dasar Teori /Material dan Metodologi/perancangan

### 2.1 Radio over Fiber

Radio over Fiber merupakan proses pengiriman sinyal radio melalui kabel serat optik. Pada sistem *mobile communication*, Radio over Fiber menggunakan link serat optik untuk mendistribusikan frekuensi radio (RF, IF, maupun baseband) dari sentral (*headend*) ke *remote antenna unit* (RAU) atau dikenal juga dengan *base station*. Berikut beberapa kelebihan *Radio Over Fiber*:

- Redaman yang rendah
- Bandwidth lebar
- Kebal terhadap interferensi
- Instalasi dan pemeliharaan mudah
- Mengurangi konsumsi listrik

### 2.2 Wavelength Division Multiplexing

Teknologi WDM merupakan teknologi transport untuk menyalurkan berbagai jenis trafik (data, suara, dan video) dengan menggunakan panjang gelombang yang berbeda-beda dalam serat fiber tunggal secara bersamaan. Keuntungan dari penggunaan teknologi WDM adalah kapasitas kanal informasi dapat bertambah dengan hanya menggunakan suatu serat optik yang telah ada tanpa perlu melakukan penambahan serat optik lainnya sehingga akan menghemat biaya instalasi[5].

### 2.3 Standar *wifi* IEEE 802.11n

Standar *wifi* IEEE 802.11n adalah standar jaringan nirkabel yang dikembangkan oleh Institute of Electrical and Electronics Insinyur (IEEE). Ada dua perangkat vital pada teknologi ini, pertama adalah jalur akses yang merupakan media untuk mengirim dan menerima nirkabel sinyal antara pengguna dan router, kedua adalah router yang menghubungkan setiap titik akses dengan perangkat klien [4]. Standar *wifi* IEEE 802.11n ini berfungsi pada frekuensi kerja 2.4 GHz dan Frekuensi 5 GHz yang memiliki kecepatan transfer data maksimum 300 Mbps[3].

### 2.4 Standar *wifi* IEEE 802.11ac

Standar jaringan nirkabel IEEE 802.11ac diperkenalkan pada tahun 1997. Terbentuknya standar *wifi* IEEE 802.11ac dipengaruhi dari popularitas perangkat portabel seperti ponsel, laptop, tablet dan juga termasuk perangkat hiburan misal IPTV dan konsol video game. Keberhasilan teknologi ini mempengaruhi evolusi teknologi yang mendukung streaming video berkualitas tinggi yang menggunakan banyak bandwidth untuk video HD. Popularitas IEEE 802.11ac terus meningkat dalam waktu dekat ini karena kualitasnya yang dapat diandalkan dan kemampuan mentransfer data. IEEE 802.11ac dikembangkan untuk memenuhi permintaan skalabilitas dan fitur kecepatan transfer data yang tinggi 1,35 Gbps dan IEEE 802.11ac juga memiliki stabilitas yang lebih baik jika dibandingkan IEEE 802.11n[4].

### 2.5 Standar *wifi* IEEE 802.15.3c

Banyak kelompok penelitian telah mengerjakan berbagai aspek termasuk antarmuka udara baru. Gugus Tugas dari IEEE 802.11 menentukan standar untuk menyediakan throughput maksimum sampai 400 Megabit per detik. Namun, dengan permintaan kecepatan data 1-2 Gigabit per detik, *Radio over Fiber* dengan frekuensi 60 GHz telah menarik banyak perhatian akhir-akhir ini. Dengan demikian, gugus tugas IEEE 802.15.3c dibentuk untuk membakukan gelombang *millimeter* untuk penggunaan *Wifi* [2].

### 2.6 Parameter performansi

Terdapat beberapa parameter pengujian pada penelitian ini antara lain *Signal to Noise Ratio*, *Q-factor*, *Bit Error Rate*, *Link Power Budget* dan *Rise Time Budget*. Berikut ini merupakan persamaan LPB pada jaringan serat optik.

$$\alpha_{tot} = (L \cdot \alpha_{serat}) + \alpha_{Mux} + \alpha_{Demux} \tag{1}$$

Nilai SNR (*Signal to Noise Ratio*) dapat dinyatakan menggunakan persamaan.

$$SNR = \frac{(Pr.R.M)^2}{2 \cdot q \cdot Pr.R.M^2 \cdot F(M) \cdot Be + \frac{4 \cdot Kb \cdot T \cdot Be}{RL}} \tag{2}$$

Untuk menghitung nilai *Q factor* dapat dinyatakan pada persamaan.

$$Q = \frac{10 \cdot \frac{SNR}{20}}{2} \tag{3}$$

Nilai *Bit Error Rate* dapat dinyatakan pada persamaan.

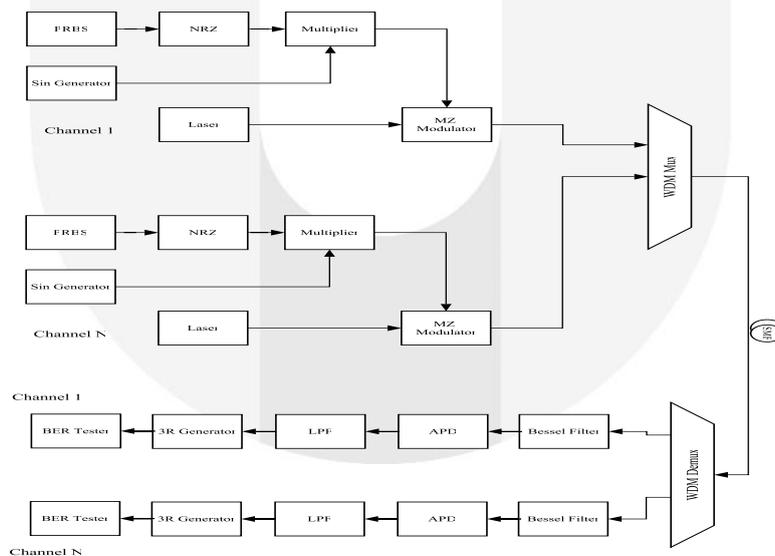
$$BER = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{Q}{\sqrt{2}}\right) \tag{4}$$

Untuk menghitung *Rise Time Budget* dapat menggunakan persamaan.

$$T_{system} = \sqrt{t_{tx}^2 + t_{material}^2 + t_{intermodal}^2 + t_{rx}^2} \tag{5}$$

## 3. Perancangan Model Sistem

### 3.1 Model Sistem



Gambar 1 Blok Diagram Sistem

Pada sistem ini akan menggunakan konfigurasi jaringan WDM-RoF. Perancangan sistem dilakukan menggunakan serat optik singlemode dalam teknologi Radio over Fiber berbasis WDM. Laju data yang digunakan sebesar 300, 1350 dan 6000 Mbps. Sinyal radio dengan frekuensi 2,4, 5 serta 60 GHz akan ditumpangin pada setiap kanal dengan panjang gelombang yang berbeda. Pada simulasi ini, digunakan 4 kanal dengan panjang gelombang 1556nm, 1557nm, 1558 nm serta 1559 nm. Kemudian untuk mentransmisikan keempat panjang gelombang tersebut dalam satu serat optik digunakan WDM Multiplexer. Panjang serat optik yang digunakan pada sistem ini adalah 5, 10, 15 serta 20 Km dan menghubungkan blok transmitter dan blok receiver.

### 3.2 Parameter

#### 3.2.1 Parameter Transmitter

**Tabel 1** Parameter Transmitter

Perangkat	Parameter	Nilai	
		2,4 dan 5 GHz	60 GHz
PRBS Generator	Bit Rate	300 dan 1350 Mbps	6000 Mbps
NRZ	Line Coding	Pulse Generator	
Sin Generator	Frequency	2.4 dan 5 GHz	60 GHz
Laser	Power	0 dBm	3 dBm
	Wavelength	1556, 1556.8, 1557.6 dan 1558.4 nm	
	Channel Space	0,8 nm atau 100 GHz	
	Spectral Width	0,00001 nm	
	Rise Time	0,2 ns	0,04 ns
Mach-Zehnder Modulator	Modulator	Signal Modulator	
Wavelength Division Multiplexing	Channel	4 channel	
	Insertion Loss	2,8 dB	
	Channel Space	0,8 nm atau 100 GHz	

#### 3.2.2 Parameter Link Transmit

**Tabel 2** Parameter Link Transmit

Perangkat	Parameter	Nilai
Optical Fiber	Ref. Wavelength	1550 nm
	Length	5, 10, 15 dan 20 Km
	Attenuation	0,3 dB/Km
	Fiber Type	ITU-T G.652

#### 3.2.3 Parameter Receiver

**Tabel 3** Parameter Receiver

Perangkat	Parameter	Nilai	
		2,4 dan 5 GHz	60 GHz
APD	Gain	10	6,3
	Responsivity	0,9 A/W	0,65 A/W
	Ionization Ratio	0,45	
	Resistance	30 Ohm	
Bessel Optical Filter	Wavelength	1556, 1556.8, 1557.6 dan 1558.4 nm	
	Bandwidth	10 GHz	
Low-Pass Bessel Filter	Filter	Frequency Filter	

## 4. Perancangan Model Sistem

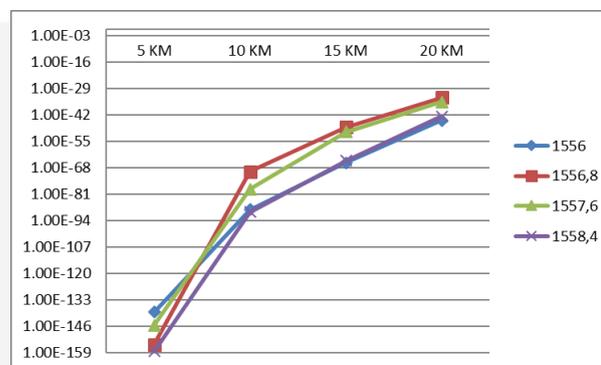
### 4.1 Analisis Simulasi 1

**Tabel 4** Hasil Perhitungan *Power Link Budget*, *Q-factor* dan *Bit Error Rate*

Jarak	Hasil Perhitungan			Hasil Simulasi		
	Power (dBm)	Q-Factor	BER	Power (dBm)	Q-Factor	BER
5 KM	-13.1	24,601	$3,98 \times 10^{-122}$	-10,263	25,150	$6,97 \times 10^{-140}$
10 KM	-14.6	20,415	$6,16 \times 10^{-93}$	-11,763	20,021	$1,77 \times 10^{-89}$
15 KM	-16.1	16,844	$5,82 \times 10^{-64}$	-13,263	17,174	$2,04 \times 10^{-66}$
20 KM	-17.6	13,834	$7,98 \times 10^{-44}$	-14,763	14,133	$1,81 \times 10^{-45}$

Pada tabel 4 memperlihatkan perbandingan data antara hasil perhitungan matematis dan juga hasil simulasi. Pada hasil perhitungan *Power Link Budget* didapatkan nilai yang tidak jauh berbeda dengan hasil simulasi meskipun terdapat perbedaan kurang lebih 2 dBm. Hal ini dikarenakan pada perhitungan digunakan *Safety Margin* 6 dBm. Penggunaan nilai *Safety Margin* bertujuan untuk mengantisipasi timbulnya redaman-redaman tertentu pada instalasi seperti *bending*, redaman sambungan dan redaman lainnya. Begitu juga dengan data *Q-factor* dan *Bit Error Rate* tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara hasil perhitungan dan juga hasil simulasi. Keseluruhan parameter memiliki nilai diatas ambang batas yang dianjurkan yakni *Bit Error Rate*  $10^{-9}$  dan *Q-factor*  $\geq 6$ .

#### 4.1.1 Analisis pengaruh jarak terhadap *Bit Error Rate*



**Gambar 2** Grafik nilai *Bit Error Rate* terhadap jarak

Pada grafik diatas didapati nilai *Bit Error Rate* pada setiap panjang gelombang berada dibawah ambang batas standar *Bit Error Rate* yakni  $10^{-9}$  di setiap jarak transmisi. Pada setiap kenaikan jarak nilai *Bit Error Rate* selalu mengalami kenaikan yang cukup besar. Hal ini disebabkan oleh nilai *Q-factor* dan *Signal to Noise Ratio* yang sangat berpengaruh terhadap nilai BER.

Semakin jauh jarak dari serat optik, noise pada saat pentransmisiian sinyal optik akan semakin membesar, dan ini akan menyebabkan nilai SNR turun dan akan mempengaruhi nilai *Q-factor*, hubungan dari SNR dan *Q-factor* dapat dilihat pada persamaan 4. Ketika nilai SNR menurun, nilai *Q-factor* akan semakin menurun dan hal tersebut berpengaruh terhadap kenaikan nilai *Bit Error Rate*. Jika persamaan 3 dikaji ulang, maka ketika nilai *Q-factor* berada pada ambang batas nilai yang diperbolehkan yakni 6, maka nilai *Bit Error Rate* juga akan berada pada ambang batas yang dianjurkan yakni  $10^{-9}$ .

### 4.2 Analisis Simulasi 2

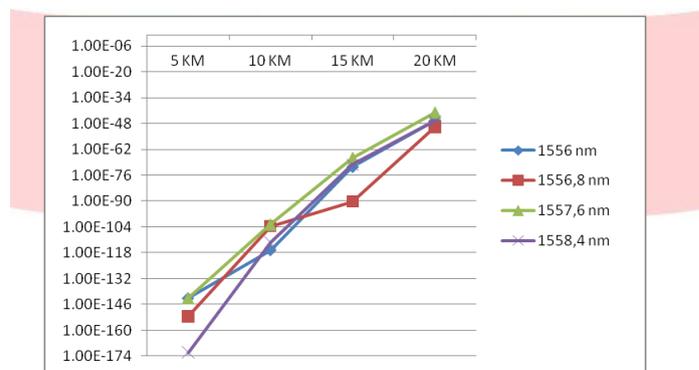
**Tabel 5** Hasil Perhitungan *Power Link Budget*, *Q-factor* dan *Bit Error Rate*

Jarak	Hasil Perhitungan			Hasil Simulasi		
	Power (dBm)	Q-Factor	BER	Power (dBm)	Q-Factor	BER
5 KM	-13.1	24,601	$3,98 \times 10^{-122}$	-10,555	25,456	$3,03 \times 10^{-143}$
10 KM	-14.6	20,415	$6,16 \times 10^{-93}$	-12,055	21,552	$2,51 \times 10^{-103}$

15 KM	-16.1	16,844	$5,82 \times 10^{-64}$	-13,555	17,288	$2,87 \times 10^{-67}$
20 KM	-17.6	13,834	$7,98 \times 10^{-44}$	-15,055	13,651	$9,84 \times 10^{-43}$

Pada tabel 5 memperlihatkan perbandingan data antara hasil perhitungan matematis dan juga hasil simulasi. Pada hasil perhitungan *Power Link Budget* didapatkan nilai yang tidak jauh berbeda dengan hasil simulasi meskipun terdapat perbedaan kurang lebih 2 dBm. Hal ini dikarenakan pada perhitungan digunakan *Safety Margin* 6 dBm. Penggunaan nilai *Safety Margin* bertujuan untuk mengantisipasi timbulnya redaman-redaman tertentu pada instalasi seperti *bending*, redaman sambungan dan redaman lainnya. Begitu juga dengan data *Q-factor* dan *Bit Error Rate* tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara hasil perhitungan dan juga hasil simulasi. Keseluruhan parameter memiliki nilai diatas ambang batas yang dianjurkan yakni *Bit Error Rate*  $10^{-9}$  dan *Q-factor*  $\geq 6$ .

#### 4.2.1 Analisis pengaruh jarak terhadap Bit Error Rate



Gambar 3 Grafik nilai Bit Error Rate terhadap jarak

Pada grafik diatas didapati nilai *Bit Error Rate* pada setiap panjang gelombang berada dibawah ambang batas standar *Bit Error Rate* yakni  $10^{-9}$  di setiap jarak transmisi. Pada setiap kenaikan jarak nilai *Bit Error Rate* selalu mengalami kenaikan yang cukup besar. Hal ini disebabkan oleh nilai *Q-factor* dan *Signal to Noise Ratio* yang sangat berpengaruh terhadap nilai BER.

Semakin jauh jarak dari serat optik, noise pada saat pentransmisian sinyal optik akan semakin membesar, dan ini akan menyebabkan nilai SNR turun dan akan mempengaruhi nilai *Q-factor*, hubungan dari SNR dan *Q-factor* dapat dilihat pada persamaan 4. Ketika nilai SNR menurun, nilai *Q-factor* akan semakin menurun dan hal tersebut berpengaruh terhadap kenaikan nilai *Bit Error Rate*. Jika persamaan 3 dikaji ulang, maka ketika nilai *Q-factor* berada pada ambang batas nilai yang diperbolehkan yakni 6, maka nilai *Bit Error Rate* juga akan berada pada ambang batas yang dianjurkan yakni  $10^{-9}$ .

#### 4.3 Analisis Simulasi 3

Tabel 6 Hasil Perhitungan *Power Link Budget*, *Q-factor* dan *Bit Error Rate*

Jarak	Hasil Perhitungan			Hasil Simulasi		
	Power (dBm)	Q-Factor	BER	Power (dBm)	Q-Factor	BER
5 KM	-10.1	24,06	$5,76 \times 10^{-121}$	-7,697	8,061	$3,76 \times 10^{-16}$
10 KM	-11.6	20,15	$1,34 \times 10^{-90}$	-9,196	7,735	$5,14 \times 10^{-15}$
15 KM	-13.1	16,29	$5,83 \times 10^{-60}$	-10,697	6,869	$3,22 \times 10^{-12}$
20 KM	-14.6	13,03	$4,154 \times 10^{-39}$	-12,198	6,259	$1,92 \times 10^{-10}$

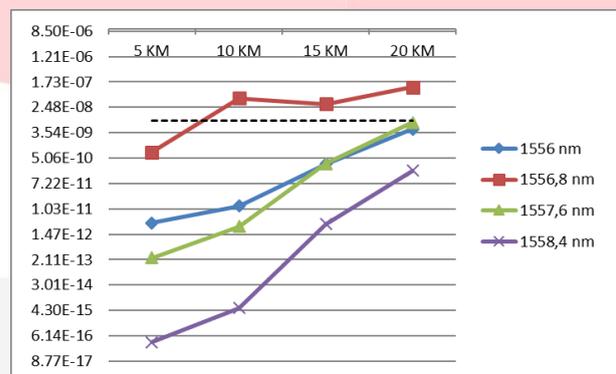
Pada tabel 6 memperlihatkan perbandingan data antara hasil perhitungan matematis dan juga hasil simulasi. Pada hasil perhitungan *Power Link Budget* didapatkan nilai yang tidak jauh berbeda dengan hasil simulasi meskipun terdapat perbedaan kurang lebih 2 dBm. Hal ini dikarenakan pada perhitungan digunakan *Safety Margin* 6 dBm. Penggunaan nilai *Safety Margin* bertujuan untuk mengantisipasi timbulnya redaman-redaman tertentu pada instalasi seperti *bending*, redaman sambungan dan redaman lainnya. Perbedaan terdapat pada nilai *Q-factor* dan *Bit Error Rate* pada hasil perhitungan dan hasil simulasi. Hal ini dikarenakan karena tingginya *bitrate* dari simulasi skenario 3 standar *wifi IEEE 802.15.3c* yakni 6000 Mbps. Untuk melakukan proses *generate* sinyal dengan *bitrate*

yang tinggi, sistem dapat menggunakan teknologi OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) yang dapat memfasilitasi *bitrate* tinggi pada sistem agar penerimaan sinyal pada sisi receiver dapat lebih optimal. Tetapi secara keseluruhan parameter jaringan dari simulasi ini memiliki nilai diatas ambang batas yang dianjurkan yakni *Bit Error Rate*  $10^{-9}$  dan *Q-factor*  $\geq 6$ .

#### 4.3.1 Analisis pengaruh jarak terhadap *Bit Error Rate*

Pada gambar 4 didapati nilai *Bit Error Rate* pada setiap panjang gelombang berada dibawah ambang batas standar *Bit Error Rate* yakni  $10^{-9}$  di setiap jarak *transmt*, kecuali pada panjang gelombang 1556,8 nm pada jarak 10, 15 dan 20 KM. Hal ini dapat terjadi dikarenakan pembangkit data informasi PRBS *Generator* pada sisi *transmitter* membangkitkan bit-bit data secara random sehingga data akhir seperti BER dan *Q-factor* pada penerima akan berbeda di setiap panjang gelombang. Kemudian pada setiap kenaikan jarak nilai *Bit Error Rate* selalu mengalami kenaikan yang cukup besar. Hal ini disebabkan oleh nilai *Q-factor* dan *Signal to Noise Ratio* yang sangat berpengaruh terhadap nilai BER.

Semakin jauh jarak dari serat optik, noise pada saat pentransmision sinyal optik akan semakin membesar, dan ini akan menyebabkan nilai SNR turun dan akan mempengaruhi nilai *Q-factor*, hubungan dari SNR dan *Q-factor* dapat dilihat pada persamaan 4. Ketika nilai SNR menurun, nilai *Q-factor* akan semakin menurun dan hal tersebut berpengaruh terhadap kenaikan nilai *Bit Error Rate*. Jika persamaan 3 dikaji ulang, maka ketika nilai *Q-factor* berada pada ambang batas nilai yang diperbolehkan yakni 6, maka nilai *Bit Error Rate* juga akan berada pada ambang batas yang dianjurkan yakni  $10^{-9}$ .



Gambar 4 Grafik nilai *Bit Error Rate* terhadap jarak

## 5. Kesimpulan

Pada hasil simulasi dari penelitian ini, terdapat beberapa kesimpulan yang dapat diambil sebagai berikut:

1. Teknologi *Wavelength Division Multiplexing* yang dipadukan dengan *Radio over Fiber* pada standar Wi-Fi IEEE 802.11n, 802.11ac dan 802.15.3c memiliki performansi yang baik disetiap jarak simulasi.
2. Pada jarak terjauh 20 Km, simulasi standar IEEE 802.11n didapatkan nilai *Q-factor* 10,257 dan BER  $5,46 \times 10^{-25}$ , simulasi standar IEEE 802.11ac didapatkan nilai *Q-factor* 14,383 dan BER  $3,26 \times 10^{-47}$ , simulasi standar IEEE 802.15.3c didapatkan nilai *Q-factor* 6,255 dan BER  $1,97 \times 10^{-10}$ , nilai tersebut berada diatas standar nilai untuk komunikasi serat optik yakni *Q-factor*  $\geq 6$ , dan BER  $\geq 10^{-9}$ .
3. Pada jarak terjauh 20 Km, simulasi standar IEEE 802.11n didapatkan nilai PLB -14,763 dBm, simulasi standar Wi-Fi 802.11ac didapatkan nilai PLB -15,055, simulasi standar Wi-Fi 802.15.3c didapatkan nilai PLB -12,198, nilai tersebut berada diatas standar nilai dari sensitivitas APD detector yakni kurang dari -28 dBm.
4. Pada simulasi standar IEEE 802.11n sinyal radio 2,4 GHz terdeteksi dengan nilai -61 dBm, pada simulasi standar IEEE 802.11ac sinyal radio 5 GHz terdeteksi dengan nilai -67 dBm, kemudian pada simulasi standar IEEE 802.15.3c sinyal radio 60 GHz terdeteksi dengan nilai -90,3 dBm.

## Daftar Pustaka:

- [1] Guillory, J., Tanguy, E., Pizzinat, A., Charbonnier, B., Meyer, S., Algani, C., Hongwu Li (2011). "A 60 GHz Wireless Home Area Network With Radio Over Fiber Repeaters", IEEE Journal of Lightwave Technology.

- [2] T. Baykas (2011). "IEEE 802.15.3c: The first IEEE wireless standard for data rates over 1 Gb/s." IEEE Communication Magazine.
- [3] Zhifang, Feng (2017). "Introduction of Wifi Standardization and Interoperability Certification Test", CTTL-Terminals, CAICT.
- [4] Kaewkiriya, Thongchai (2017). "Performance Comparison of Wi-Fi IEEE 802.11ac and Wi-Fi IEEE 802.11n", International Conference on Communication Systems, Computing and IT Applications (CSCITA).
- [5] Abd El-Naser A. Mohammed, Gaber E. S. M. El-Abyad, Abd El-Fattah A. Saad, and Ahmed Nabih Zaki Rashed (2009). "High Transmission Bit Rate of A thermal Arrayed Waveguide Grating (AWG) Module in Passive Optical Networks", IJCSIS International Journal of Computer Science and Information Security.

