

## ANALISIS PERFORMANSI PENGGUNAAN LASER DENGAN PANJANG GELOMBANG 550NM UNTUK MENDETEKSI TSUNAMI

### *ANALYSIS OF LASER PERFORMANCE USING 550NM WAVE LENGTH TO DETECT TSUNAMI*

Adelia Rahmajanti M<sup>1</sup>, Ir.Akhmad Hambali, M.T. <sup>2</sup>, Brian Pamukti, S.T,M.T.<sup>3</sup>

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

<sup>1</sup>adeliarrm@student.telkomuniversity.ac.id, <sup>2</sup>ahambali@telkomuniversity.co.id,

<sup>3</sup>brianp@telkomuniversity.ac.id

#### Abstrak

Teknologi pada sistem komunikasi yang menggunakan cahaya tampak biasa dikenal dengan *visible light communication* (VLC). Salah satu contoh perkembangannya adalah Pendeteksi *tsunami* menggunakan VLC. Perkembangan teknologi VLC pada saat ini dipercaya dapat meningkatkan kelemahan yang terdapat pada teknologi sebelumnya yaitu, gelombang *radio frequency* (RF). VLC dinilai lebih efektif dibandingkan dengan dua teknologi tersebut. VLC memiliki bandwidth > 400 THz sedangkan RF memiliki bandwidth < 300 THz.

Pada Tugas Akhir ini dilakukan analisis performansi terkait sistem VLC dengan menggunakan LASER yang memiliki panjang gelombang 550 nm sebagai sumber cahaya tampak, yang diletakkan di dasar lautan. Parameter performansi yang digunakan adalah *bit error rate* (BER) dan *signal to noise ratio* (SNR). Modulasi yang digunakan pada Tugas Akhir ini adalah *Pulse Position Modulation* (L-PPM) dengan 3 nilai level yaitu 2-PPM, 4-PPM, dan 8-PPM.

Hasil analisis yang didapatkan dengan menggunakan teknik modulasi L-PPM yang level dari nilai L berubah-ubah adalah pada kedalaman 10 meter, 8 meter, dan 6 meter sesuai dengan penyurutan air laut saat terjadi potensi tsunami. Nilai BER pada 4-PPM dan 8-PPM mencapai acuan yang digunakan yaitu  $10^{-3}$ , pada kedalaman 10 meter dihasilkan nilai BER sebesar  $5.844 \times 10^{-3}$ , sedangkan pada 8 meter dihasilkan BER =  $6.517.62 \times 10^{-3}$ , dan pada 6 meter dihasilkan nilai BER =  $5.5844 \times 10^{-3}$ . Nilai level pada L-PPM sangat mempengaruhi kedalaman, semakin besar nilai level pada L-PPM maka akan semakin optimum nilai dari BER di setiap kedalaman. Sehingga terbentuklah sudut kritis dengan threshold >57.99.

**Kata kunci :** *Visible Light Communication, LASER, L-PPM, Bit Error Rate*

#### Abstract

Visible light is currently used as a medium for delivering information. Technology in communication systems that use visible light is commonly known as visible light communication (VLC). One example of its development is tsunami detection using VLC. The development of VLC technology is currently believed to increase the weaknesses contained in the previous technology was radio frequency (RF) waves. VLC is considered more effective than the two technologies. VLC has a bandwidth of > 400 THz while RF has a bandwidth of <300 THz.

In this Final Project a performance analysis is performed related to visible light communication (VLC) system using LASER which has a wavelength of 550 nm as a source of visible light, which is placed on the ocean floor. Performance parameters used are bit error rate and signal to noise ratio. The modulation used in this Final Project is a Pulse Position Modulation (L-PPM) with 3 level values namely 2-PPM, 4-PPM, and 8-PPM.

The analysis results obtained using the L-PPM modulation technique whose level of changeable L value is at a depth of 10 meters, 8 meters, and 6 meters in accordance with sea water subsidence during a tsunami potential. BER values at 4-PPM and 8-PPM reach the reference used is  $10^{-3}$ , at a depth of 10 meters the BER value is  $5.844 \times 10^{-3}$  while at 8 meters the BER =  $6.517.62 \times 10^{-3}$  and at 6 meters the resulting BER value  $5.5844 \times 10^{-3}$ . The level value at L-PPM greatly influences depth, the greater the level value at L-PPM, the more optimum the value of BER at each depth.

**Keyword :** *Visible Light Communication, LASER, L-PPM, Bit Error Rate*

#### 1. Pendahuluan

*Visible Light Communication* (VLC) adalah sebuah teknologi dalam sistem komunikasi yang menggunakan cahaya tampak sebagai media penyampaian informasi antar perangkat baik di udara maupun di air [1]. Perkembangan dari teknologi VLC saat ini sudah sangat meluas. Seperti halnya perkembangan VLC pada sistem komunikasi air. penggunaan VLC pada sistem komunikasi air adalah sebuah hal yang baru karena pada saat ini teknologi yang banyak dipakai pada sistem komunikasi air adalah gelombang *Radio Frequency* (RF) atau Gelombang Akustik. Salah satu perkembangan yang terjadi pada media air adalah VLC sebagai alat pendeteksi

*tsunami*. *Tsunami* merupakan salah satu bencana yang menelan banyak korban jiwa, seperti yang terjadi beberapa waktu lalu di Lombok, Donggala dan Banten. Alat pendeteksi yang digunakan pada saat ini berbasis *underwater acoustic modem*. *Tsunami* dideteksi melalui sistem yang bernama *Tsunami Early Warning System* (TEWS), yang alatnya diberi nama BUOY.

Penggunaan BUOY pada pendeteksi *tsunami* dianggap kurang efektif karena pada gelombang akustik didapati memiliki sebuah *latency* yang tinggi sehingga *bandwidth* yang dihasilkan menjadi rendah. Berbanding terbalik dengan VLC pada VLC *latency* yang dihasilkan sangatlah rendah sehingga *bandwidth* yang dihasilkan semakin besar. Diketahui apabila *bandwidth* yang dihasilkan semakin besar maka pengiriman informasi melalui kanal air akan semakin baik [2]. Pendeteksian *tsunami* menggunakan metode VLC dengan sumber cahaya LASER dinilai sangat mudah dan efektif. Karena dalam waktu cepat informasi dikirim secara akurat.

Pada penelitian sebelumnya [3] pendeteksian tsunami dilakukan menggunakan gelombang HF radar. Gelombang HF radar dapat mendeteksi tsunami dengan perambatan gelombang ombak air laut setiap 0.05 m/s. Selain itu, pada penelitian [4] menggunakan LED sebagai media *transmitter* dikarenakan LED memiliki masa pakai dengan jangka waktu yang lama, tidak perlu perawatan yang teratur dan tidak memerlukan daya yang besar. Beberapa LED dipasang di dasar laut dengan *receiver circuit* berada dipermukaan laut. *Receiver* yang dipakai adalah *photodetector*. Selanjutnya *photodetector* mengirimkan data yang telah diperoleh ke satelit.

Berdasarkan beberapa penelitian tersebut, pada Tugas Akhir ini dilakukan pengamatan Performansi penggunaan LASER dengan panjang gelombang 550 nm untuk mendeteksi *tsunami* dengan menggunakan teknik modulasi *Modified Pulse Position Modulation* (L-PPM).

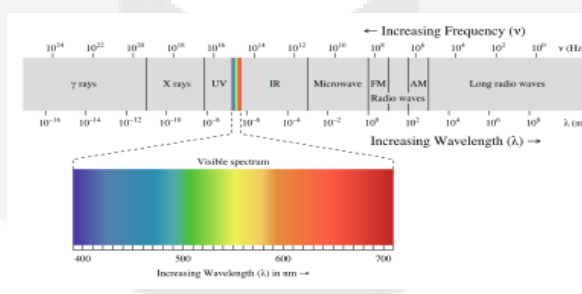
## 2. Dasar Teori

### 2.1 VLC

*Visible Light Communication* (VLC) adalah media penyampaian informasi menggunakan cahaya tampak antara 400 Thz (780 nm) dan 800 Thz (375 nm) [5]. VLC memanfaatkan sumber cahaya yaitu LASER sebagai *transmitter*, cahaya sebagai media transmisi dan photodiode sebagai *receiver*. Beberapa tahun yang lalu perkembangan teknologi VLC difokuskan pada pengaplikasian *indoor*, tetapi sekarang VLC sudah mulai dikembangkan pada kanal selain udara yaitu kanal air.

Perkembangan teknologi dipercaya dalam meningkatkan kelemahan yang terdapat pada gelombang *radio frequency* dan gelombang akustik. VLC dinilai lebih efektif dan menjadi solusi serta kebutuhan bagi sistem komunikasi tanpa kabel *wireless*. Kinerja gelombang akustik pada sistem komunikasi bawah laut dibatasi oleh bandwidth yang rendah yang mengakibatkan terjadi banyak variasi sehingga kecepatan data menjadi rendah pada saluran akustik. Sedangkan pada sistem komunikasi bawah laut dibutuhkan sebuah nirkabel yang memiliki kecepatan data yang tinggi. Gelombang *radio frequency* sudah banyak dipakai pada sistem komunikasi yang melalui kanal air dan dinilai lebih baik dibandingkan gelombang akustik karena bandwidth yang dihasilkan lebih tinggi dan kecepatan data yang dihasilkan pun akan semakin tinggi.

Pada dasarnya konfigurasi yang digunakan pada VLC hampir mirip dengan komunikasi inframerah. Perbedaan yang signifikan terjadi pada panjang gelombang yang digunakan. VLC menggunakan panjang gelombang dalam rentang 380 nm sampai 780 nm sedangkan pada inframerah panjang gelombang yang digunakan adalah 850 nm. Seperti yang terlihat pada Gambar 2.1 mengenai spektrum cahaya tampak.



Gambar 2. 1 Elektromagnetic Spectrum.

#### 2.1.1 LASER

*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* atau biasa disebut LASER. LASER adalah mekanisme suatu alat yang memancarkan radiasi elektromagnetik. LASER memiliki prinsip kerja yang sama dengan LED dengan perbedaan pada hasil foton yang akan dihasilkan oleh LASER bersifat koheren. Umumnya LASER memiliki pancaran Tunggal atau satu warna. LASER memancarkan foton dalam cahaya yang terpolarisasi, cahaya yang sempit, dan sinarnya koheren menuju monokromatik. LASER beroperasi dalam spektrum cahaya tampak dengan panjang gelombang 400 nm sampai 900 nm.

LASER memiliki berbagai macam jenis yaitu, solid-state LASER, LASER gas, LASER Excimer, dye LASER, Semikonduktor LASER. LASER biasa digunakan sebagai perantara untuk penyampaian sebuah

informasi karena dari berbagai sifat LASER dapat melewati media udara dan air [6]. Pada perkembangan teknologi saat ini LASER mulai digunakan pada komunikasi air dalam bentuk pendeteksi bencana alam *tsunami*.

### 2.1.2 Line of Sight (LoS)

*Line of Sight* (LoS) adalah kondisi dimana sebuah distribusi cahaya bersifat langsung atau tidak ada penghalang *obstacle*. LoS terdiri dari dua bagian *No-Direct Line of Sight* (NDLoS) dan *Direct Line of Sight* (DLoS). NDLoS adalah suatu kondisi dimana cahaya dipantulkan terlebih dahulu sebelum mengenai *photodetector*. Sedangkan DLoS adalah sebuah kondisi dimana cahaya tidak perlu dipantulkan. Kondisi DLoS dapat disebut kondisi *point to point* hubungan antara *transmitter* dan *receiver*.

DLoS dalam sistem komunikasi air memiliki persamaan seperti berikut:

$$P_{RLoS} = P_T \eta_T \eta_R L_P \left( \lambda, \frac{d}{\cos\theta} \right) \frac{A_R \cos\theta}{2\pi(d)^2(1-\cos\theta_d)}, \quad (1)$$

dengan  $P_{RLoS}$  adalah daya optik pada *transmitter* dan  $\eta_T$  dan  $\eta_R$  adalah efisiensi pada *transmitter* dan *receiver*,  $d$  adalah jarak tegak lurus antara *transmitter* dengan *receiver*,  $\theta$  adalah sudut datang antara *receiver* dan *transmitter*.  $A_R$  adalah nilai *aperture receiver* dan  $\theta_d$  adalah sudut divergensi dari LASER.  $L_P$  adalah nilai dari faktor propagasi pada sistem komunikasi air.  $L_P$  didapatkan dari persamaan sebagai berikut:

$$L_P(\lambda, D) = e^{-c(\lambda)D}, \quad (2)$$

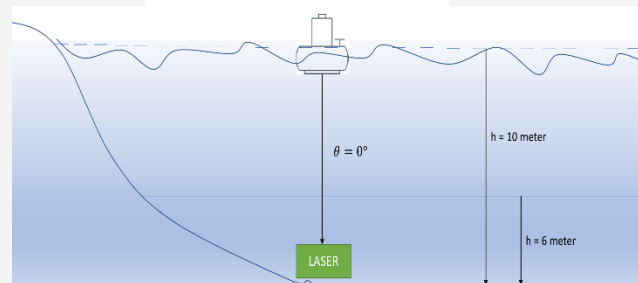
dengan  $D$  adalah nilai dari jarak yang telah ditentukan, dan  $c$  adalah perkalian dari nilai *absorption* dengan *scattering* atau yang dapat disebut hamburan pada air yang dapat dinotasikan sebagai berikut:

$$c(\lambda) = a(\lambda) + b(\lambda) \quad (3)$$

nilai tersebut ditentukan sesuai dengan jenis air yang akan diuji. nilai dari  $b(\lambda)$  dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$b(\lambda) = 0.005826(400/\lambda)^{4.322}. \quad (4)$$

### 2.1.3 Parameter Performansi Sistem



Gambar 2. 2 Desain Simulasi Penelitian

*Signal noise ratio* merupakan sebuah pengukuran berdasarkan perbandingan antara level power sinyal informasi dengan level power noise yang akan di terima pada saat transmit. SNR adalah parameter yang digunakan untuk menunjukkan kualitas sinyal penerimaan. Jika SNR yang diterima semakin besar makanya kualitas yang akan dihasilkan semakin baik. SNR memiliki satuan yaitu dB. SNR dapat didapatkan dari arus photodetector dikali dengan faktor multiplikasi dan dibagi dengan jumlah dari seluruh noise yang terdapat pada kanal tersebut. Seperti persamaan sebagai berikut:

$$SNR_{IM-DD} = \frac{(RMP_r)^2}{\sigma_q^2 + \sigma_d^2 + \sigma_{bg}^2 + \sigma_{th}^2}, \quad (5)$$

dengan  $R$  adalah Responsivitas dari photodetector,  $M$  adalah faktor multiplikasi dari photodetector dan  $P_r$  adalah daya terima pada photodetector,  $\sigma_q^2$  adalah noise quantum dengan  $q$  adalah muatan electron yang memiliki nilai  $1.602 \times 10^{-19} C$ ,  $\sigma_d^2$  adalah noise dari *dark current*,  $\sigma_{bg}^2$  adalah noise dari *black body*,  $\sigma_{th}^2$  adalah noise termal.

*Bit Error Rate* (BER) adalah suatu perbandingan antara kerusakan dan kesalahan bit dengan bit yang dikirimkan keseluruhan. BER dapat diartikan suatu laju kesalahan bit yang tampak pada suatu sistem sinyal digital. BER juga tidak memiliki satuan. Semakin kecil BER yang dihasilkan pada suatu sistem sinyal digital maka kualitas

transmisi yang dihasilkan akan semakin baik. Besar dan kecilnya. nilai BER sangat berpengaruh sekali pada performansi VLC. Tingkat kualitas BER yang baik atau belum baik pada VLC ditetapkan secara global besar nilainya, Sehingga besar nilai BER yang di tetapkan pada Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

$$BER = 10^{-3}, \quad (6)$$

Desain dari simulasi penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.2.

#### 2.1.4 Photodiode

Photodiode adalah salah satu dioda yang digunakan untuk mendeteksi cahaya. Resistansi pada photodiode dapat berubah-ubah apabila terkena cahaya yang dikirim oleh transmitter "LASER". Resistansi Photodiode dipengaruhi pada intensitas cahaya yang diterimanya. Jika cahaya yang diterima banyak maka resistansi yang dihasilkan akan semakin kecil, sebaliknya jika intensitas cahaya yang diterima sedikit maka resistansi yang dihasilkan akan semakin besar [8]. Photodiode memiliki dua jenis yaitu P-I-N photodiode dan Avalanche Photodiode (APD). P-I-N photodiode tersusun dari P-N junction dan dipisahkan oleh daerah intrinsik.

#### 2.1.5 Sistem Komunikasi Air

Air adalah salah satu medium alternatif yang dapat digunakan sebagai medium propagasi dalam sistem komunikasi. Pada saat ini sistem komunikasi air menggunakan teknologi akustik akan tetapi teknologi akustik memiliki bandwidth yang rendah dan latency yang tinggi. Tidak hanya pada akustik, gelombang radio frekuensi pun di air sangat terbatas karena redaman yang dihasilkan di air tinggi sehingga hasil yang di inginkan tidak sesuai..

##### 2.1.5.1 Jenis Air Laut

Jenis air laut yang diasumsikan pada Tugas Akhir ini adalah *coastal waters* atau dapat diartikan sebagai perairan pantai. Hal tersebut dikarenakan parameter untuk kedalaman laut yang digunakan pada skenario Tugas Akhir ini adalah 10-20 meter ke bawah laut.

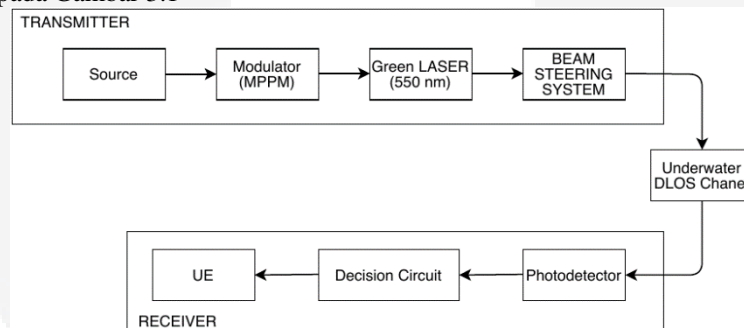
#### 2.2 Pulse Position Modulation (L-PPM)

Modulasi *Pulse Position Modulation* (PPM) adalah sebuah modulasi yang terdapat perubahan pulsa dari sebuah sumber cahaya. Pada VLC sendiri memiliki sebuah artian perubahan pulsa yang terdapat pada LED atau LASER yang dimana dalam sekali pulsa terdapat lebih dari satu informasi. Modulasi PPM memiliki efisiensi daya yang baik dibandingkan dengan teknik modulasi On-Off Keying. Teknik modulasi PPM memiliki kekurangan pada bandwidth dan kompleksitas yang lebih. Pada teknik modulasi PPM juga diperlukan sinkronisasi untuk mendemodulasi sinyal.

### 3. Pembahasan

#### 3.1 Desain Sistem

Rancangan sistem tersebut dibagi menjadi dua bagian yaitu bagian *transmitter* (Tx) dan *receiver* (Rx). seperti yang terlihat pada Gambar 3.1



**Gambar 3. 1** Blok Diagram Sistem

Pada sistem VLC terdapat bagian transmitter. *Transmitter* memiliki fungsi sebagai sumber informasi yang akan dikirim berupa sinyal dalam bentuk cahaya dengan melalui sebuah media rambat yaitu air. Pada blok transmitter terdapat beberapa komponen yang akan digunakan.

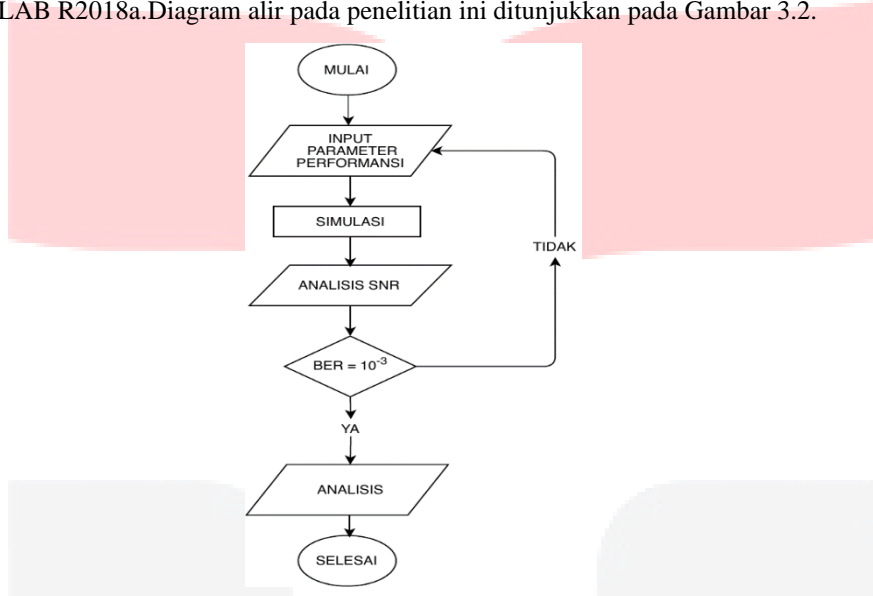
Transmitter terdiri dari komponen-komponen yaitu, source, Modulator L-PPM, Green Laser, dan *Beam Steering System*. *source* adalah sebuah data yang akan digunakan menjadi sebuah informasi yang akan dikirimkan. *source* Pada umumnya data berbentuk sebuah kode biner. Informasi tersebut akan dikirimkan dengan melalui modulasi L-PPM. Modulasi L-PPM. Setelah melewati pemodulasian data yang diperoleh akan dikirimkan melalui green LASER. LASER disini bekerja sebagai *power transmitter*, dimana cahaya yang akan dikeluarkan oleh LASER akan diterima langsung oleh *receiver*. Selain itu pada bagian transmitter terdapat komponen yang bernama *beam steering system*. *Beam steering system* memiliki fungsi untuk mengarahkan keluaran pulsa cahaya dari LASER. Saat Photodiode bergerak menjauhi LASER *beam steering system* akan bertugas mengarahkan cahaya LASER tersebut langsung mengenai photodiode.

Sebelum pulsa cahaya dari keluaran LASER mengirimkan informasi ke receiver, cahaya tersebut akan melewati Kanal Air. Pada kanal air laut ini dianggap tidak memiliki *obstacle*, karena tidak adanya *obstacle* link konfigurasi optik yang digunakan adalah direct LoS links. LASER akan terus mentransmisikan sinyal informasi hingga sampai ke *receiver*.

Setelah melewati komponen-komponen yang berada pada transmitter, pulsa cahaya tersebut akan mengenai *photodetector*. Dalam tugas akhir ini photodetector yang digunakan adalah PIN photodiode. Setelah masuk ke dalam *photodetector* sinyal yang telah di konversi pada *photodetector* akan diteruskan ke *decision circuit*. *Decision circuit* memiliki peran untuk meloloskan sinyal yang memiliki daya melebihi dari batas *threshold* dan dapat dikatakan sinyal tersebut memiliki bit 1. Sedangkan untuk daya yang dibawah dari batas *threshold* dikatakan sebagai bit 0.

**3.2 Diagram Alir**

Proses simulasi yang akan dilakukan pada penelitian ini. Pada penelitian ini modulasi yang akan digunakan adalah L-PPM dengan sumber yang berasal dari laser berwarna hijau dan simulasi ini menggunakan software MATLAB R2018a. Diagram alir pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.2.



**Gambar 3. 2** Diagram Alir Penelitian

**3.3 Parameter Performansi Sistem**

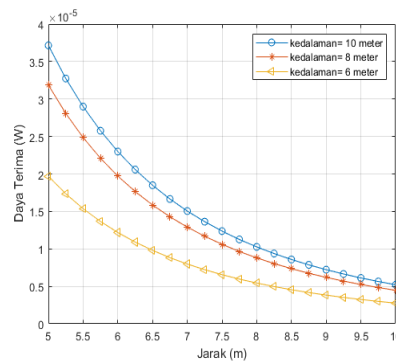
Parameter simulasi sistem yang akan mempengaruhi pada penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 3.1.

**Tabel 3. 1** Parameter Performansi Simulasi

Parameter		Nilai
Air Laut	Jenis	<i>Coastal Water</i>
Source	Jenis	LASER pointer 550 nm
	Jumlah LASER	1 Buah
	Jarak	5-9.5 meter
	Daya	2 Watt/Laser
	Modulasi	L-PPM, M: 4,6, dan 8
	Kanal	LoS
Fotodiode	Area detektor	1 cm <sup>2</sup>
	Faktor Multiplikasi	1
	Responsitivitas	0.55

#### 4. Hasil Analisis dan Pengujian Sistem

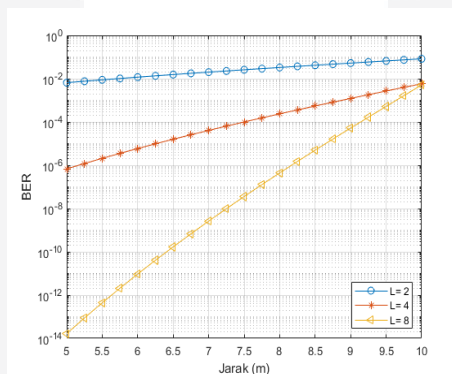
##### 4.1 Analisis Hasil Simulasi Daya Terima terhadap Jarak



Gambar 4. 1 Hasil simulasi Daya Terima terhadap Jarak

Pada Gambar 4.1 menunjukkan grafik dari BER terhadap daya terima. Dari gambar tersebut dapat dilakukan analisis bahwa ketika teknik modulasi yang digunakan adalah 4-PPM, 6-PPM, 8-PPM daya terima terbesar adalah  $2.165 \times 10^{-5}$  W dengan nilai BER yang berbeda, sehingga nilai BER yang dihasilkan adalah  $5.745 \times 10^{-6}$ ,  $5.03 \times 10^{-10}$ ,  $1.497 \times 10^{-14}$  atau dapat disebut dengan nilai BER= 0 dan daya terima terkecil dengan teknik modulasi 4-PPM, 6-PPM, 8-PPM adalah sebesar  $3.799 \times 10^{-6}$ W dan nilai BER yang dihasilkan pada 4-PPM adalah BER= 0.02029, 6-PPM adalah BER= 0.002177, dan 8-PPM adalah BER= 0.0001948 dengan ketiga nilai BER diatas yang sesuai dengan acuan nilai BER= $10^{-3}$  adalah pada saat daya terima terkecil yaitu  $3.799 \times 10^{-6}$ W dengan nilai BER= 0.0001948 dan Teknik modulasi yang digunakan adalah 6-PPM, sehingga dapat disimpulkan semakin besar kelipatan M pada modulasi PPM BER yang dihasilkan akan semakin kecil dan semakin besar daya yang dikirim maka semakin kecil nilai BER yang dihasilkan.

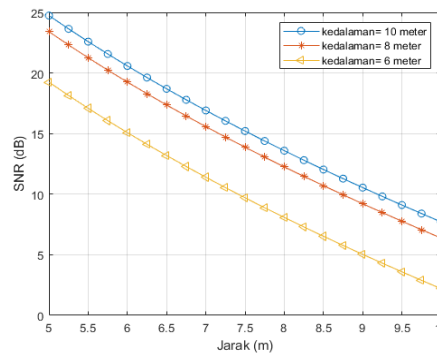
##### 4.2 Analisis Hasil Simulasi Bit Error Rate terhadap Jarak



Gambar 4. 2 Hasil Simulasi BER terhadap Jarak

Gambar 4.2 menunjukkan bahwa grafik perbandingan BER terhadap SNR memiliki hasil seperti diatas. Hasil tersebut menunjukkan jika menggunakan Teknik modulasi 4-PPM, 6-PPM, dan 8-PPM SNR terkecil yang dihasilkan adalah 4.207 dB dengan nilai BER yang berbeda-beda. Pada teknik modulasi 4-PPM BER yang dihasilkan adalah  $2.029 \times 10^{-2}$  , sedangkan pada teknik modulasi 6-PPM BER yang dihasilkan adalah  $2.177 \times 10^{-3}$  dan jika digunakan teknik modulasi yang digunakan adalah 8-PPM nilai BER yang dihasilkan adalah  $1.948 \times 10^{-4}$ . Pada grafik tersebut juga menunjukkan nilai SNR terbesar dari 3 teknik modulasi yaitu 4-PPM, 6-PPM, dan 8-PPM adalah 19.31 dB, sehingga BER yang dihasilkan menjadi berbeda-beda sesuai dengan teknik modulasi yang digunakan. Pada teknik modulasi 4-PPM BER=  $5.745 \times 10^{-6}$ , sedangkan 6-PPM BER=  $5.03 \times 10^{-10}$ , dan pada 8-PPM BER=  $1.497 \times 10^{-14}$ . Sesuai dengan acuan nilai BER= $10^{-3}$  teknik modulasi 6-PPM mencapai nilai acuan tersebut. Dapat disebutkan bahwa jika semakin besar nilai SNR yang dihasilkan maka akan semakin kecil nilai BER yang dihasilkan begitupun sebaliknya semakin kecil nilai SNR yang dihasilkan maka nilai BER akan semakin mendekati 0.

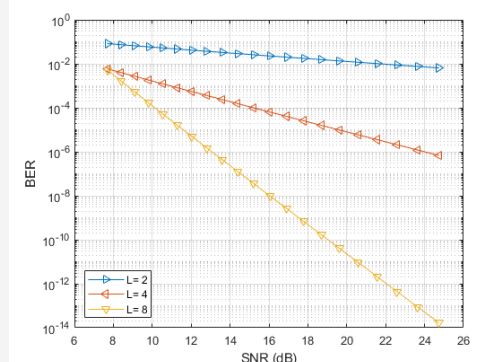
#### 4.3 Analisis Hasil Simulasi Signal to Noise Ratio terhadap Jarak



**Gambar 4. 3** Hasil Simulasi SNR terhadap Jarak

Gambar 4.3 menunjukkan grafik dari perbandingan BER terhadap jarak yang telah ditentukan. Jarak yang digunakan adalah posisi antara transmitter dengan receiver. Jarak tersebut dimulai dari 5 m hingga 9.5 m. Hasil yang ditunjukkan pada grafik tersebut adalah pada jarak terjauh yaitu 9.5 meter dengan menggunakan Teknik modulasi yang berbeda di dapat bahwa 4-PPM memiliki hasil BER= $2.029 \times 10^{-2}$ , sedangkan teknik modulasi 6-PPM memiliki hasil BER= $2.177 \times 10^{-3}$ , dan dengan teknik modulasi 8-PPM memiliki hasil BER= $1.948 \times 10^{-4}$ . Pada grafik tersebut juga menunjukkan jarak 5 m memiliki nilai BER yang berbeda disetiap teknik modulasi yang dipakai. Grafik tersebut menunjukkan bahwa teknik modulasi 4-PPM, 6-PPM, dan 8-PPM menghasilkan nilai BER yaitu  $5.745 \times 10^{-6}$ ,  $5.03 \times 10^{-10}$ , dan  $1.497 \times 10^{-14}$ , sehingga nilai BER yang mengikuti acuan pada Tugas Akhir ini yaitu BER= $10^{-3}$  adalah pada saat jarak terjauh 9.5 m dan menggunakan teknik modulasi 6-PPM. Semakin jauh jarak antara transmitter dengan receiver maka nilai BER yang akan dihasilkan semakin besar atau semakin mendekati 0 begitupun sebaliknya jika jarak antara transmitter dan receiver semakin dekat BER yang dihasilkan akan semakin kecil.

#### 4.4 Analisis Hasil Simulasi pada Kedalaman 10 meter dengan Modulasi 2-PPM, 4-PPM, dan 8-PPM

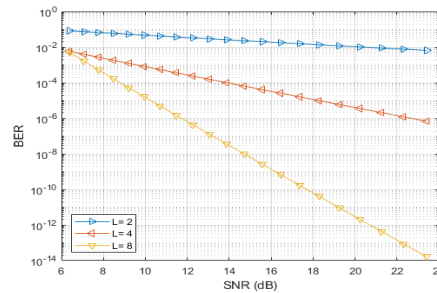


**Gambar 4. 4** Hasil Simulasi BER terhadap SNR dengan Modulasi 2-PPM, 4-PPM, dan 8-PPM

Pengujian menggunakan teknik modulasi 6-PPM. Dari Gambar 4.4 menunjukkan bahwa pada kedalaman 10 m sudut propagasi terkecil yang terbentuk adalah  $18.19^\circ$  dengan nilai BER= $2.177 \times 10^{-3}$  dan sudut propagasi terbesar yang terbentuk adalah  $60^\circ$  dengan nilai BER= $5.03 \times 10^{-10}$ . Pada kedalaman 15 m, sudut propagasi terkecil yang terbentuk adalah  $50.7^\circ$  dengan nilai BER= $2.177 \times 10^{-3}$ , dan sudut propagasi terbesar adalah  $70.53^\circ$  dengan nilai BER= $5.03 \times 10^{-10}$ . Sedangkan pada kedalaman 20 m, sudut propagasi terkecil yang terbentuk adalah  $61.64^\circ$  dengan nilai BER= $2.177 \times 10^{-3}$  dan sudut propagasi terbesar yang terbentuk adalah  $75.52^\circ$  dengan nilai BER= $5.03 \times 10^{-10}$ . Berdasarkan acuan pada Tugas Akhir ini BER= $10^{-3}$  didapatkan ketika sudut propagasi adalah  $18.19^\circ$ ,  $50.7^\circ$ , dan  $61.64^\circ$  yang terdapat pada kedalaman 10 m, 15 m, dan 20 m. Dapat dikatakan bahwa semakin besar kedalaman maka sudut yang terbentuk semakin besar dan nilai BER yang dihasilkan akan semakin kecil.

#### 4.5 Analisis Hasil Simulasi pada Kedalaman 8 meter dengan Modulasi 2-PPM, 4-PPM, dan 8-PPM

Gambar 4.6 menunjukkan grafik perbandingan dari sudut yang terentuk dengan nilai BER. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa pada kedalaman 10 m, sudut propagasi terkecil yang terbentuk adalah  $18.19^\circ$  dengan nilai



**Gambar 4.5** Analisis Hasil Simulasi BER terhadap Sudut dengan Modulasi 8-PPM

BER= $1.948 \times 10^{-4}$ , dan sudut propagasi terbesar yang terbentuk adalah  $60^\circ$  dengan nilai BER= $1.497 \times 10^{-14}$ . Sedangkan pada kedalaman 15 m, sudut propagasi terkecil yang terbentuk adalah  $50.7^\circ$  dengan nilai BER= $1.948 \times 10^{-4}$ , dan sudut propagasi terbesar yang terbentuk adalah  $70.53^\circ$  dengan nilai BER= $1.497 \times 10^{-14}$ . Pada kedalaman 20 m, sudut propagasi terkecil yang terbentuk adalah  $61.64^\circ$  dengan nilai BER= $1.948 \times 10^{-4}$ , dan sudut propagasi terbesar yang terbentuk adalah  $75.52^\circ$  dengan nilai BER= $1.497 \times 10^{-14}$ . Berdasarkan acuan pada Tugas Akhir ini adalah BER= $10^{-3}$  maka pada teknik modulasi 8-PPM nilai BER tersebut tidak dapat dicapai. Dan berdasarkan hasil tersebut dapat diketahui semakin besar kedalaman akan semakin berpengaruh terhadap sudut propagasi yang terbentuk.

### 5. Kesimpulan

Berdasarkan pada hasil simulasi dan analisis penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari segi daya terima terhadap jarak dapat disimpulkan bahwa, semakin jauh jarak antara transmitter dengan receiver daya yang diterima oleh receiver semakin kecil, sebaliknya semakin dekat jarak antara transmitter dan receiver daya yang diterima oleh receiver akan semakin besar.
2. Dari segi BER terhadap jarak dapat disimpulkan bahwa, semakin jauh jarak antara transmitter dengan receiver maka nilai BER yang akan dihasilkan semakin besar atau semakin mendekati 0 begitupun sebaliknya, jika jarak antara transmitter dan receiver semakin dekat maka, BER yang dihasilkan akan semakin kecil.
3. Dari segi nilai SNR terhadap jarak dapat disimpulkan bahwa, semakin jauh jarak antara transmitter dan receiver maka nilai SNR akan semakin kecil, sebaliknya jika jarak antara transmitter dan receiver semakin dekat nilai SNR akan semakin besar. nilai dari SNR tersebut akan berpengaruh pada nilai BER.
4. Berdasarkan perbandingan nilai BER terhadap SNR dapat disimpulkan bahwa semakin besar nilai level pada L-PPM maka semakin kecil nilai BER yang dihasilkan, atau nilai BER semakin baik, sebaliknya jika nilai level dari LPPM semakin kecil maka, nilai BER yang dihasilkan semakin besar atau sama dengan semakin mendekati nilai 0. Dan diketahui pula bahwa pada hasil evaluasi performansi pada BER juga dipengaruhi oleh SNR. Jika SNR yang dihasilkan semakin besar nilai BER semakin kecil, sebaliknya jika nilai SNR semakin kecil maka BER akan semakin mendekati 0

### Daftar Pustaka:

- [1] D. H. Trihantoro, D. Darlis, S. Si, and H. Putri, "IMPLEMENTASI VISIBLE LIGHT COMMUNICATION ( VLC ) UNTUK PENGIRIMAN TEKS ( Implementation Of Visible Light Communication ( VLC ) for Sending Text )," vol. 1, no. Vlc, pp. 896–905, 2015.
- [2] H. Kaushal and G. Kaddoum, "Underwater Optical Wireless Communication," *IEEE Access*, vol. 4, pp. 1518–1547, 2016, doi: 10.1109/ACCESS.2016.2552538.
- [3] S. Grilli, C. Guérin, and S. Grosdidier, "Development of algorithms for tsunami detection by High Frequency Radar based on modeling tsunami case studies in the Mediterranean Sea," vol. 17, no. i, p. 6564, 2015.
- [4] L. C. Png, "Early tsunami forecasting using visible-light LEDs for sea-level measurement from the seabed," *Proc. Int. Symp. Consum. Electron. ISCE*, no. June 2013, pp. 285–286, 2013, doi: 10.1109/ISCE.2013.6570230.
- [5] M. A. Mahsun, D. Darlis, and S. Aulia, "PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI PERANGKAT PENGIRIM DATA DIGITAL TEKNOLOGI VISIBLE LIGHT COMMUNICATION DENGAN KECEPATAN 1 Mbps," *e-Proceeding Appl. Sci.*, vol. 2, no. 3, pp. 1359–1366, 2016.
- [6] H. Haken, "Laser theory," *Light Matter Ic/Licht und Mater. Ic*, vol. 4, pp. 1–304, 1970.
- [7] T. K. Ng, H. M. Oubei, K.-H. Park, C. Li, B. S. Ooi, and M.-S. Alouini, "23 Gbit/s underwater wireless optical communications using directly modulated 520 nm laser diode," *Opt. Express*, vol. 23, no. 16, p. 20743, 2015, doi: 10.1364/oe.23.020743.