

ANALISIS SIMULASI PENGGUNAAN SINAR LASER WARNA BIRU UNTUK MENDETEKSI *TSUNAMI* DENGAN PANJANG GELOMBANG 450 nm DI BAWAH PERMUKAAN LAUT

SIMULATION ANALYSIS OF USING BLUE LIGHT COLOR LASER TO DETECT TSUNAMI WITH LENGTH OF 450 nm WAVES UNDER THE SEA SURFACE

Jonathan Yudhistira¹, Akhmad Hambali², Brian Pamukti³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom
¹jonathanyudhis@student.telkomuniversity.ac.id, ²ahambali@telkomuniversity.ac.id,
³brianp@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Sistem komunikasi optik merupakan teknologi yang saat ini berkembang cukup pesat di masa kini dan masa depan, salah satu yang sedang berkembang pesat yaitu teknologi *underwater Visible Light Communication* (VLC), dimana VLC menggunakan komunikasi cahaya tampak dan air sebagai media rambatnya. Salah satu contoh perkembangannya adalah pendeteksi *tsunami* menggunakan VLC. Perkembangan teknologi VLC pada saat ini dipercaya dapat menyempurnakan teknologi sebelumnya yaitu, gelombang *Radio Frequency* (RF) dan gelombang akustik. Pada penelitian ini proses analisis dilakukan dengan menggunakan sistem VLC, dimana LASER sebagai sumber cahaya tampak yang diletakkan di dasar lautan. Modulasi yang digunakan adalah *On-Off Keying Non Return to Zero* (OOK-NRZ). Skenario yang dilakukan adalah dengan mengamati perbandingan ketinggian dan sudut terhadap kualitas *Bit Error Rate* (BER) yang akan digunakan untuk mendeteksi gelombang *tsunami*. Tugas Akhir ini berkontribusi dalam mengetahui pengaruh ketinggian *receiver* dari dasar laut dan pengaruh sudut yang terbentuk, terhadap kualitas BER yang dihasilkan. Nilai BER ketika ketinggian *receiver* dari dasar laut sejauh 8 m, saat sudut sebesar 20° maka nilai BERnya adalah 0,1622. Lalu ketika besar sudut sebesar 40°, saat ketinggian *receiver* dari dasar laut sejauh 8 m nilai BER yang dihasilkan sebesar 0,7215.

Kata kunci : *Visible Light Communication* (VLC), LASER, OOK-NRZ, *Bit Error Rate* (BER).

Abstract

Optical communication system is a technology that is currently developing quite rapidly in the present and the future, one of which is developing rapidly is underwater Visible Light Communication (VLC) technology, where VLC uses visible light and water communication as its propagation media. One example of its development is tsunami detection using VLC. The development of VLC technology is believed to be able to perfect the previous technology, namely Radio Frequency (RF) waves and acoustic waves. In this study the analysis process was carried out using the VLC system, where LASER as a source of visible light is placed on the ocean floor. The modulation used is On-Off Keying Non Return to Zero (OOK-NRZ). The scenario taken is to observe the height and angle ratio to the quality of the Bit Error Rate (BER) that will be used to detect tsunami waves. This Final Project contributes to determine the effect of receiver height from the seabed and the effect of angles formed, on the quality of the resulting BER. BER value when the receiver height from the seabed is 8 m, when the angle is 20°, the BER value is 0.1622. Then when the angle is 40°, when the receiver's height from the seabed is 8 m the BER value is 0,7215.

Keywords: *Visible Light Communication* (VLC), LASER, OOK-NRZ, *Bit Error Rate* (BER).

1. Pendahuluan

Bencana alam kini menjadi salah satu kekhawatiran terbesar bagi masyarakat di Indonesia. Salah satu bencana alam yang sedang marak di Indonesia saat ini yaitu adanya *tsunami* di perairan

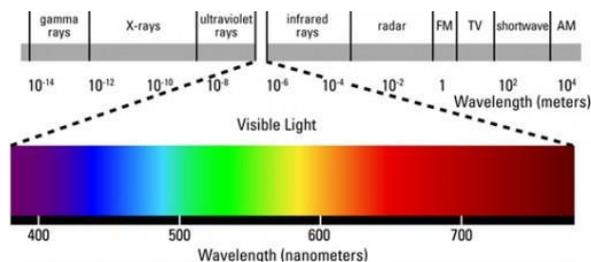
Indonesia. Untuk mengatasi *tsunami* yang akan terjadi, sebenarnya Indonesia sudah memiliki alat pendeteksi *tsunami* yang sebelumnya dihibahkan oleh Jerman, Amerika, dan Malaysia. Alat pendeteksi tersebut bernama BUOY. Namun sistem ini memiliki kelemahan yang sangat fatal, yaitu ketika BUOY mengalami kerusakan, maka informasi tidak dapat dikirimkan ke satelit. Dengan hadirnya *underwater Visible Light Communication (VLC)*, secara langsung dapat menjadi salah satu alat yang efektif untuk pendeteksian dini *tsunami* dibandingkan dengan alat deteksi BUOY yang masih memanfaatkan sistem komunikasi akustik. VLC dengan penumpangan informasi pada cahaya dari sinar laser, akan sangat berfungsi sebagai pendeteksi dini *tsunami* secara cepat dan akurat.

Dari beberapa penelitian yang telah dilakukan tersebut, dalam Tugas Akhir ini penulis melakukan penelitian mengenai "Analisis simulasi penggunaan sinar laser warna biru untuk mendeteksi *tsunami* dengan panjang gelombang 450 nm di bawah permukaan laut". Dengan menerapkan teknologi *underwater VLC* sebagai pendeteksi *tsunami* dirasa akan lebih efektif. Pendeteksi *tsunami* ini akan mengambil sampel pergerakan naik turunnya *receiver* pada permukaan laut sejauh 8 meter dari dasar laut dan pergeseran *receiver* sejauh sudut yang ditentukan, serta memiliki jarak 2 km dari pesisir pantai.

2. Dasar Teori

2.1 Visible Light Communication (VLC)

Visible Light Communication (VLC) merupakan salah satu sistem komunikasi cahaya *unguided*, yang menggunakan cahaya tampak dalam pengoperasiannya. Perkembangan VLC semakin cepat, berawal dari pengaplikasian di dalam ruangan (*indoor*) dan kini sudah mulai berkembang pada pengaplikasian untuk kanal air. VLC yang memanfaatkan sumber cahaya laser sebagai *transmitter* dan cahaya sebagai media pentransmisian, beserta fotodioda sebagai *receiver* dinilai akan lebih efektif dibanding *radio frequency* dalam proses pengiriman informasi yang ada..



Gambar 1. Spektrum panjang gelombang cahaya tampak [1].

Dari Gambar 1 diatas, dapat dilihat spektrum gelombang elektromagnetik terbagi berdasarkan panjang gelombang, dengan diposisi paling terendah berupa sinar *gamma* hingga gelombang *Amplitudo Modulation (AM)* yang berada diposisi panjang gelombang tertinggi. Segmen yang paling penting dalam kehidupan yaitu pita sempit yang panjang gelombangnya berada dikisaran 380 nm - 750 nm, terlihat dari deretan spektrum gelombang elektromagnetik.

Setiap segmen warna dari gelombang cahaya yang dapat ditangkap oleh mata, ternyata terdapat perbedaan panjang gelombang, sehingga cahaya tampak dibagi menjadi beberapa bagian spektrum yang ditunjukkan pada Tabel 1.

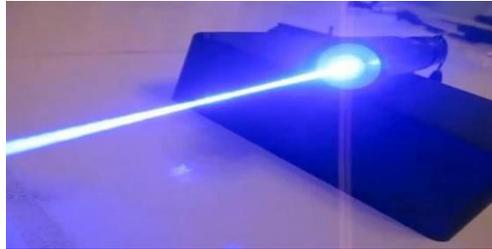
Tabel 1. Spektrum warna cahaya tampak [1].

No.	Warna	Panjang Gelombang (nm)
1.	Merah	625-740
2.	Jingga	590-625
3.	Kuning	565-590
4.	Hijau	520-565
5.	Biru	435-520
6.	Nila	400-435
7.	Unggu	380-400

2.2 Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (LASER)

Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation atau yang biasa disebut LASER, merupakan suatu alat dimana alat tersebut mengalami perbesaran intensitas cahaya saat terjadi

proses pancaran yang terstimulasi untuk memancarkan cahaya. Pengertian dari LASER sendiri yaitu sebuah alat yang memancarkan cahaya radiasi elektromagnetik yang bersifat koheren, mudah untuk diarahkan, memiliki intensitas yang tinggi dan mempunyai lintasan lurus. LASER dengan rata-rata Panjang gelombang 450-700 nm terletak diantara daerah *infrared* dan *ultraviolet*, jika dilihat dari spektrum gelombang elektromagnetik.

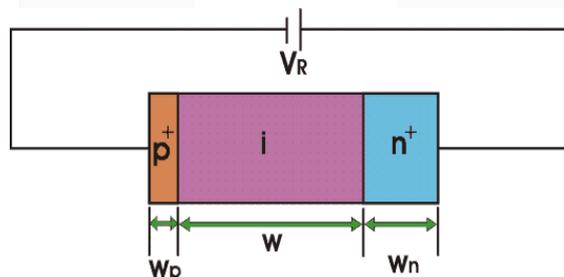


Gambar 2. Sinar laser berwarna biru [2].

2.3 Fotodioda

Fotodioda adalah salah satu dari jenis dioda yang fungsinya untuk mendeteksi cahaya yang nampak. Selain itu fotodioda merupakan salah satu komponen elektronika yang berbeda dari jenis lainnya karena dioda ini dapat mengubah cahaya menjadi arus listrik. Resistansi dari fotodioda dapat dipengaruhi oleh intensitas cahaya yang telah diterimanya, jika semakin sedikit intensitas cahaya yang diterima oleh sensor fotodioda maka semakin besar nilai resistansinya [3].

Pada umumnya fotodioda terdapat dua jenis, yaitu *Avalanche Fotodiode* (APD) dan P-I-N fotodioda. Dioda PIN terdiri dari dioda semi-konduktor dengan tiga lapisan. Ketiga lapisan tersebut, yaitu daerah P dan daerah N, lalu diantara mereka adalah lapisan bahan intrinsik yang memiliki tingkat doping sangat rendah. PIN fotodioda sendiri merupakan sebuah semikonduktor yang sangat kecil yang bekerja sebagai resistor variabel untuk kedua *microwave* dan *Radio Frekuensi* (RF).



Gambar 3. Skema diagram PIN fotodetektor [3].

Seperti pada Gambar 3, fitur utama dari dioda PIN itu sendiri adalah lapisan intrinsik antara tipe-P dan tipe-N daerah. Hal ini sangat memungkinkan untuk memberikan sifat seperti tegangan tembus terbalik, dan tingkat rendah kapasitansi.

2.4 Modulasi OOK-NRZ

Modulasi berarti proses penumpangan suatu sinyal informasi yang terdapat dalam rentang frekuensi kedalam sinyal pembawanya. Sedangkan modulasi digital sendiri memiliki pengertian proses mengubah karakteristik dan sifat dari sinyal pembawa atau *carrier* sehingga berbentuk bit-bit (0 atau 1). Terdapat tiga jenis modulasi digital, yaitu: *Amplitude Shift Keying* (ASK), *Frequency Shift Keying* (FSK), dan *Phase Shift Keying* (PSK).

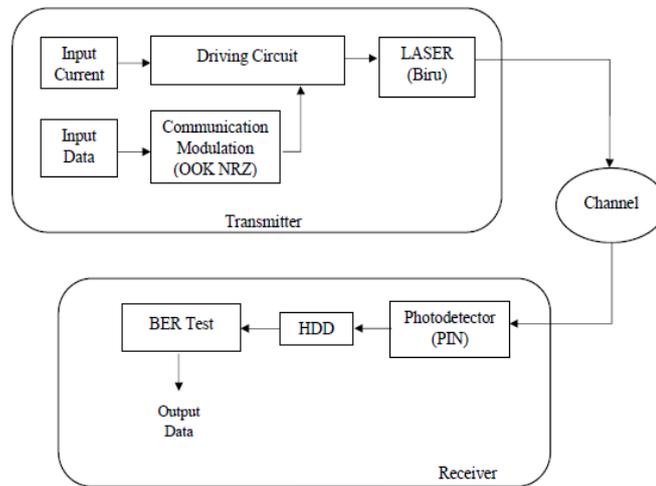
Modulasi OOK sendiri termasuk kedalam bagian dari ASK yang merupakan modulasi paling sederhana dibandingkan dengan jenis modulasi yang lainnya. Skema optical digital transmission sering menerapkan modulasi OOK, karena kesederhanaan, kemudahan dan kecepatannya [4]. *Transmitter* menghasilkan pulsa rectangular dengan periode bit sebagai berikut.

$$T_b = \frac{1}{R_b} \quad (1)$$

3. Perancangan

3.1 Model Sistem

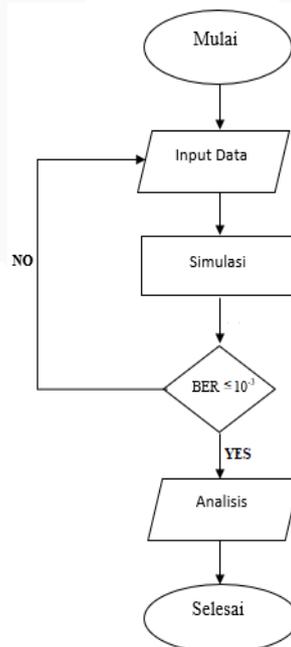
Dibawah ini merupakan suatu model sistem yang nantinya digunakan sebagai parameter yang berfungsi dalam pengerjaan Tugas Akhir ini. Setelah ditinjau dari latar belakang maupun tujuan penelitian yang ada, dapat disimpulkan pada penjelasan berikut ini:



Gambar 4. Blok diagram sistem *Visible Light Communication* (VLC).

3.2 Diagram Alir Penelitian

Dalam bagian ini menunjukkan suatu proses pengerjaan simulasi yang akan dilakukan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini. Pada analisis simulasi Tugas Akhir ini menggunakan modulasi OOK-NRZ dengan perbandingan yang berbeda pada setiap kondisinya, dan menggunakan software dalam proses pensimulasiannya. Diagram alir daripada skenario simulasi yang dilakukan pada Tugas Akhir ini sebagai berikut.



Gambar 5. Diagram alir skenario frekuensi.

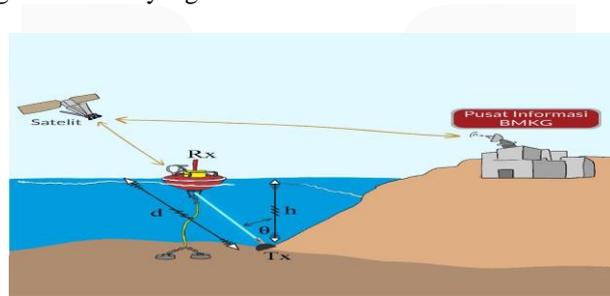
3.3 Parameter Performansi Sistem

Tabel 2. Parameter Performansi Sistem VLC Underwater.

Parameter Input	Satuan	Nilai
Transmitter	Jenis	LASER
	Jumlah	1 Buah
	Panjang Gelombang	450 nm
	Warna	Warna Biru
	Daya (P_{rx})	5 W
	Efisiensi Transmitter	0.6
Receiver	FOV	30°
	Responsivitas	0.55 A/W
	Optical Concentrator	1
	Efisiensi Receiver	0.6
	Photodetector	PIN
Lain-lain	Air Laut	Homogen
	Ketinggian (h)	6 m, 8m, 10m
	Temperatur	300 K
	Sudut (θ)	0°, 10°, 20°
BER	MAX	10^{-3}
On-Off Keying	Modulasi	OOK-NRZ

3.4 Skenario Simulasi

Tugas Akhir ini terdapat beberapa skenario yang bertujuan untuk menemukan proses pengiriman informasi yang paling baik, diantaranya dengan membandingkan ketinggian receiver dari dasar laut terhadap nilai *Bit Error Rate* (BER) dan perbandingan perubahan besar sudut terhadap nilai BER. Berikut gambaran singkat skenario yang ada.

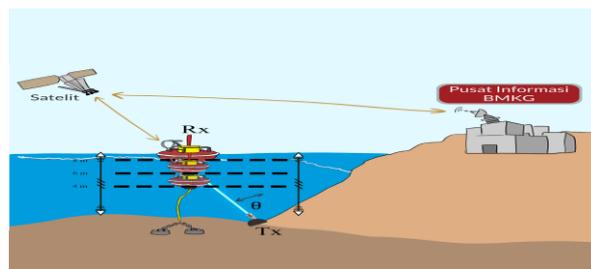


Gambar 6. Set up model general underwater VLC.

Pada Gambar 6 m menggambarkan ilustrasi sistem *underwater* VLC bahwa akan terdapat beberapa situasi, diantaranya yaitu situasi pada saat terjadinya pergerakan naik-turun receiver karna pasang surut air laut dan situasi pada saat pergerakan maju-mundur receiver karena pergerakan gelombang air laut. Adapun perhitungan yang didapat pada kondisi ini, sebagai berikut.

$$\cos \theta = \frac{h}{d} \tag{2}$$

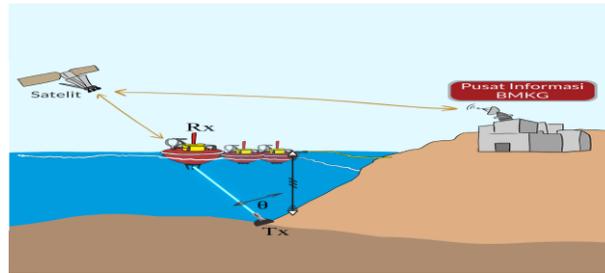
3.4.1. Skenario Pertama : Perbandingan Ketinggian Receiver Dari Dasar Laut Terhadap Nilai BER, Pada Saat $\theta = 0^\circ, 10^\circ,$ dan 20°



Gambar 7. Set up model skenario pertama underwater VLC.

Pada Gambar 7 merepresentasikan proses skenario pertama. Skenario pertama melakukan analisis nilai *Bit Error Rate* (BER) hasil simulasi dari proses pengiriman sinyal informasi oleh transmitter ke *receiver*, saat ketinggian *receiver* dari dasar laut sejauh 1-8 meter, pada saat kondisi $\theta = 0^\circ, 10^\circ, \text{ dan } 20^\circ$. Sehingga akan menghasilkan kesimpulan, bahwa semakin *receiver* mendekati dasar laut dan ketika sudut (θ) yang terbentuk semakin kecil maka kualitas BER yang dihasilkan akan semakin baik karena nilai BER yang dihasilkan akan semakin kecil bahkan nyaris mendekati 0, begitupun sebaliknya.

3.4.2. Skenario Kedua : Perbandingan Perubahan Besar Sudut Terhadap Nilai BER, Pada Saat Ketinggian 4 m, 6 m, dan 8 m



Gambar 8. Set up model skenario kedua *underwater* VLC.

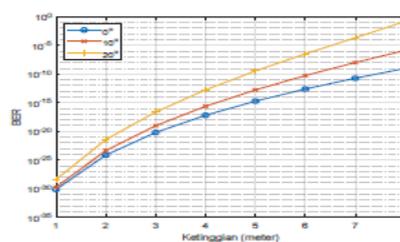
Pada Gambar 8 merepresentasikan proses skenario kedua. Skenario kedua melakukan analisis nilai *Bit Error Rate* (BER) hasil simulasi dari proses pengiriman sinyal informasi oleh transmitter ke *receiver*, saat terjadi pergeseran receiver di permukaan laut akibat gelombang, sehingga menghasilkan perubahan sudut pengiriman (θ) yang terbentuk antara transmitter ke receiver dan transmitter ke permukaan, pada saat ketinggian 4 m, 6 m, dan 8 m. Sehingga akan menghasilkan kesimpulan, bahwa semakin kecil sudut (θ) yang terbentuk dan ketika ketinggian receiver dari dasar laut semakin rendah maka kualitas BER yang dihasilkan akan semakin baik karena nilai BER yang dihasilkan akan semakin kecil bahkan nyaris mendekati 0, begitupun sebaliknya.

4. Analisis Simulasi Sistem

4.1 Analisis Hasil Simulasi Skenario

Pada sub bab ini menyajikan hasil analisis simulasi sistem *underwater* VLC pada air laut yang homogen, serta menggunakan model kanal LOS. Simulasi ini menggunakan satu buah LASER warna biru sebagai media pentransmisi yang memiliki panjang gelombang sebesar 450 nm, lalu ketinggian *receiver* dari dasar laut sejauh 1-8 meter dan sudut yang terbentuk sebesar $0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, \text{ dan } 40^\circ$. Dalam Tugas Akhir ini, yang membedakan tiap skenarionya, yaitu perbandingan ketinggian receiver dari permukaan terhadap BER dan perbandingan sudut yang terbentuk terhadap BER. Untuk mendapatkan hasil analisis simulasi kedua skenario yang ada, yaitu dengan menganalisis nilai BER yang berpengaruh pada posisi receiver yang secara langsung akan menentukan kondisi pasang surut air laut.

4.1.1. Skenario Pertama : Perbandingan Ketinggian Receiver Dari Dasar Laut Terhadap Nilai BER, Pada Saat $\theta = 0^\circ, 10^\circ, \text{ dan } 20^\circ$



Gambar 9. Grafik ketinggian terhadap BER.

Pada Gambar 9 menunjukkan grafik hasil perbandingan antara ketinggian *receiver* dari dasar laut terhadap nilai BER pada saat $\theta = 0^\circ$, 10° , dan 20° . Grafik diatas juga menjelaskan bahwa semakin *receiver* mendekati dasar laut dan sudut yang terbentuk antara *transmitter* ke *receiver* terhadap transmitter ke permukaan laut semakin kecil, maka nilai BER semakin sesuai dengan acuan $BER \leq 10^{-3}$. Berikut hasil analisis dari skenario pertama, yaitu :

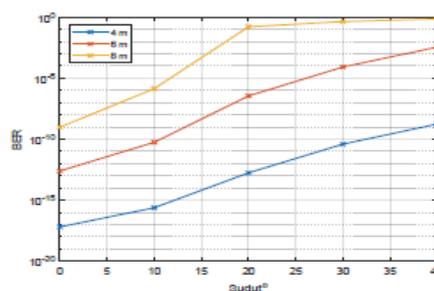
1. Ketika ketinggian *receiver* dari dasar laut sejauh 8 m, nilai BER yang dihasilkan sebesar $9,681 \times 10^{-10}$, nilai tersebut didapat saat sudut $\theta = 0^\circ$.
2. Ketika ketinggian *receiver* dari dasar laut sejauh 8 m, nilai BER yang dihasilkan sebesar $1,373 \times 10^{-6}$, nilai tersebut didapat saat sudut $\theta = 10^\circ$.
3. Ketika ketinggian *receiver* dari dasar laut sejauh 8 m, nilai BER yang dihasilkan sebesar 0,1622, nilai tersebut didapat saat sudut $\theta = 20^\circ$.

Sesuai dengan acuan nilai $BER \leq 10^{-3}$, semakin *receiver* mendekati dasar laut dan ketika sudut (θ) yang terbentuk semakin kecil maka kualitas BER yang dihasilkan akan semakin baik karena nilai BER yang dihasilkan akan semakin kecil bahkan nyaris mendekati 0, begitupun sebaliknya. Itu menandakan air laut sedang dalam posisi surut, dan sistem akan membacanya sebagai indikasi akan terjadinya tsunami. Berikut menunjukkan data perbandingan kualitas nilai BER yang dihasilkan, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Tabel hasil ketinggian terhadap BER.

$\theta = 0^\circ$		$\theta = 10^\circ$		$\theta = 20^\circ$	
Tinggi (m)	BER	Tinggi (m)	BER	Tinggi (m)	BER
1	$7,308 \times 10^{-31}$	1	$1,744 \times 10^{-30}$	1	$3,855 \times 10^{-29}$
2	$7,158 \times 10^{-25}$	2	$4,389 \times 10^{-24}$	2	$3,640 \times 10^{-22}$
3	$6,408 \times 10^{-21}$	3	$9,725 \times 10^{-20}$	3	$2,430 \times 10^{-17}$
4	$6,477 \times 10^{-18}$	4	$2,405 \times 10^{-16}$	4	$1,743 \times 10^{-13}$
5	$1,893 \times 10^{-15}$	5	$1,718 \times 10^{-13}$	5	$3,622 \times 10^{-10}$
6	$2,497 \times 10^{-13}$	6	$5,575 \times 10^{-11}$	6	$3,514 \times 10^{-7}$
7	$1,900 \times 10^{-11}$	7	$1,056 \times 10^{-8}$	7	$2,171 \times 10^{-4}$
8	$9,681 \times 10^{-10}$	8	$1,373 \times 10^{-6}$	8	0,1622

4.1.2. Skenario Kedua : Perbandingan Perubahan Besar Sudut Terhadap Nilai BER, Pada Saat Ketinggian 4 m, 6 m, dan 8 m



Gambar 10. Grafik besar sudut terhadap BER.

Pada Gambar 10 menunjukkan grafik hasil perbandingan dari besar sudut yang terbentuk antara transmitter ke receiver dengan transmitter ke permukaan, terhadap nilai BER pada saat ketinggian 4 m, 6 m, dan 8 m. Grafik diatas juga menjelaskan bahwa semakin kecil sudut yang terbentuk dan ketinggian *receiver* dari dasar laut semakin rendah, maka nilai BER semakin sesuai dengan acuan $BER \leq 10^{-3}$. Berikut hasil analisis dari skenario kedua, yaitu :

1. Ketika besar sudut sebesar 40° , nilai BER yang dihasilkan sebesar $1,96 \times 10^{-9}$, nilai tersebut didapat saat ketinggian *receiver* dari dasar laut sejauh 4 m.
2. Ketika besar sudut sebesar 40° , nilai BER yang dihasilkan sebesar $3,51 \times 10^{-3}$, nilai tersebut didapat saat ketinggian *receiver* dari dasar laut sejauh 6 m.

3. Ketika besar sudut sebesar 40° , nilai BER yang dihasilkan sebesar 0,7215, nilai tersebut didapat saat ketinggian *receiver* dari dasar laut sejauh 8 m.

Sesuai dengan acuan nilai $BER \leq 10^{-3}$, semakin kecil sudut (θ) yang terbentuk dan ketika ketinggian *receiver* dari dasar laut semakin rendah maka kualitas BER yang dihasilkan akan semakin baik karena nilai BER yang dihasilkan akan semakin kecil bahkan nyaris mendekati 0, begitupun sebaliknya. Itu menandakan air laut sedang dalam posisi surut, dan sistem akan membacanya sebagai indikasi akan terjadinya tsunami. Berikut menunjukkan data perbandingan kualitas nilai BER yang dihasilkan, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Tabel hasil perbandingan besar sudut terhadap BER.

Ketinggian 4 meter		Ketinggian 6 meter		Ketinggian 8 meter	
Sudut (θ)	BER	Sudut (θ)	BER	Sudut (θ)	BER
0	$6,48 \times 10^{-18}$	0	$2,50 \times 10^{-13}$	0	$9,68 \times 10^{-10}$
10	$2,41 \times 10^{-16}$	10	$5,58 \times 10^{-11}$	10	$1,37 \times 10^{-6}$
20	$1,74 \times 10^{-13}$	20	$3,51 \times 10^{-7}$	20	01621
30	$3,93 \times 10^{-11}$	30	$8,22 \times 10^{-5}$	30	0,4381
40	$1,96 \times 10^{-9}$	40	$3,51 \times 10^{-3}$	40	0,7215

5.1 Kesimpulan

Tugas Akhir ini telah menganalisis dan mensimulasikan beberapa skenario yang ada dan menghasilkan, kesimpulan bahwa hasil perbandingan jarak terhadap *Bit Error Rate* salahsatunya juga dipengaruhi oleh faktor pergeseran sudut dan ketinggian *receiver* dari dalam laut terhadap nilai BER. Karena jika sudut yang terbentuk sudah melebihi 40° , dan jarak sudah melebihi 8 m, maka informasi sudah tidak akan diterima dengan baik lagi oleh *receiver*.

5.2 Saran

Dari kesimpulan yang telah dipaparkan diatas, terdapat beberapa hal yang mungkin dapat diperbaiki atau bahkan dikembangkan untuk penelitian selanjutnya, diantaranya dengan Menggunakan LASER dengan panjang gelombang yang berbeda, warna LASER yang berbeda dan letak *transmitter-receiver* yang dipasang dengan kondisi *transmitter* di permukaan dan *receiver* di dalam laut, lalu Menggunakan kondisi yang berbeda dengan keadaan air yang tidak homogen, disertai dengan kemungkinan adanya gangguan *obstacle* di dalam air dan Menggunakan *photodetector* selain PIN dan teknik modulasi yang berbeda selain OOK-NRZ.

Daftar Pustaka:

- [1] S. Shao, A. Khreishah, M. B. Rahaim, H. Elgala, M. Ayyash, T. D. Little, and J. Wu, "An indoor hybrid wifi-vlc internet access system," in 2014 IEEE 11th International Conference on Mobile Ad Hoc and Sensor Systems. IEEE, 2014, pp. 569–574.
- [2] M. A. Mahsun, D. Darlis, and S. Aulia, "Perancangan dan implementasi perangkat pengirim data digital teknologi visible light communication dengan kecepatan 1 mbps," eProceedings of Applied Science, vol. 2, no. 3, 2016.
- [3] S. J. Wojtczuk, X. Zhang, and W. J. MacNeish III, "Enhanced visible nearinfrared photodiode and non-invasive physiological sensor," Mar. 24 2016, uS Patent App. 14/858,639.
- [4] H. Li, X. Fan, X. Chen, C. Min, X. Mao, H. Lu, J. Wang, L. He, S. Cui, and H. Chen, "High speed visible light communications based on rgb laser diodes and ook-nrz modulation," in 2017 Asia Communications and Photonics Conference (ACP). IEEE, 2017, pp. 1–3.