

ANALISIS PERFORMANSI LASER DIODA HIJAU UNTUK KOMUNIKASI DI BAWAH LAUT DENGAN KEDALAMAN 150 METER

PERFORMANCE ANALYSIS OF GREEN LASER DIODE FOR COMMUNICATION UNDER THE SEA WITH 150 M DEPTH

Abdul Aziz¹, Akhmad Hambali², Brian Pamukti³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Telkom

¹abdlahaziz@student.telkomuniversity.ac.id, ²ahambali@telkomuniversity.co.id,

³brianp@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Komunikasi dapat dilakukan tak hanya di ruang udara bebas saja, namun dapat juga digunakan di dalam Air Laut. Dengan adanya tantangan tersebut, *Visible Light Communication* (VLC) hadir untuk menjawab semua tantangan karena VLC ialah suatu sistem komunikasi yang dilakukan dengan cara mengirim berkas melalui cahaya sebagai media transmisinya. Adapun kendala yang didapati dari perkembangan VLC ini didalam laut ialah pendeknya jarak yang dapat ditempuh serta tingginya *Bit Error Rate* (BER) ketika mencapai jarak terjauh dengan menggunakan laser dioda hijau.

Pada Tugas Akhir ini dilakukan analisis performansi laser dioda hijau untuk mengetahui jarak yang terjauh yang dapat ditempuh pada kedalaman 5, 85, dan 150 meter dibawah laut. Sistem VLC yang digunakan sebagai sumber adalah Laser Dioda Hijau dengan panjang gelombang 520 nm dan menggunakan modulasi *On-Off Keying Return Zero* (OOK RZ) dan *On-Off Keying Non Return Zero* (OOK NRZ). Sistem VLC diuji menggunakan paramater Daya, *Signal to Noise Ratio* (SNR), dan BER.

Hasil analisis yang diperoleh pada Tugas Akhir ini adalah dengan menggunakan daya sebesar 5 Watt, laser dioda hijau dapat digunakan untuk ketiga kedalaman laut dengan jarak maksimal 38,5 meter dengan menggunakan OOK NRZ pada kedalaman 150 meter. Pada setiap kedalaman, jarak terjauh diambil berdasarkan nilai BER dengan *threshold* dibawah $\leq 10^{-4}$.

Kata kunci : *Visible Light Communication, Bit Error Rate, OOK-NRZ, OOK-RZ, Signal to Noise Ratio*

Abstract

Communication can be done not only in the free air space, but can also be used in Sea Water. With this challenge, *Visible Light Communication* (VLC) is here to answer all challenges because VLC is a communication system that is carried out by sending files through the light as the transmission media. The constraints found from the development of this VLC in the sea are the short distance that can be traveled and the high *Bit Error Rate* (BER) when it reaches the furthest distance using a green diode laser.

In this final project an analysis of the performance of a green diode laser is performed to determine the farthest distance that can be traveled at depths of 5, 85,55, and 150 meters under the sea. The VLC system used as a source is a Green Laser Diode with a wavelength of 520 nm and uses *On-Off Keying Return Zero* (OOK RZ) modulation and *On-Off Keying Non-Return Zero* (OOK NRZ). The VLC system was tested using the Power parameter, *Signal to Noise Ratio* (SNR), and BER.

The results of the analysis obtained in this Final Project is to use a power of 5 Watt, the green laser diode can be used for all three ocean depths with a maximum distance of 38,5 meters at a depth of 150 meters using OOK NRZ. At each depth, the farthest distance is taken based on the BER value with a *threshold* below $\leq 10^{-4}$.

Keywords: *Visible Light Communication, Bit Error Rate, OOK-NRZ, OOK-RZ, Signal to Noise Ratio*

1. Pendahuluan

Dunia Maritim saat ini membutuhkan sebuah teknologi telekomunikasi yang sedang dikembangkan yaitu *Underwater Optical Wireless Communication* (UOWC) [1]. Pada paper UOWC ini, para peneliti kurang mengeksplor lebih jauh mengenai teknologi ini karena memiliki banyak hambatan pada mediumnya. Beberapa hambatan yang menjadi salah satu faktor adalah jenis air pada setiap kedalaman air laut. Saat inipun teknologi yang digunakan untuk melakukan komunikasi dibawah laut masih menggunakan gelombang akustik ataupun *radio frequency* (RF) yang pada dasarnya kedua teknologi ini memiliki batasan pada *bandwidth*, latensi yang rendah,

dan lain sebagainya. Salah satu unggulan mengapa dibawah laut harus menggunakan teknologi *optical wireless communication* ini karena sistem *Visible Light Communication* (VLC) menggunakan gelombang elektromagnetik pada spektrum cahaya menghasilkan kecepatan data yang sangat tinggi [2].

Pada penelitian [3] yang telah dilakukan oleh Xiaoyian Liu beserta kolega pada tahun 2017 banyak hal yang harus diperhatikan pada sistem UOWC ini salah satunya jarak yang dapat ditempuh oleh Laser Dioda Hijau. Karena jarak yang dapat ditempuh pada penelitian tersebut hanya sampai 34,5 meter. Dengan adanya tantangan mengenai jarak yang dapat ditempuh oleh laser dioda biru ini, kita dapat mengkorelasikan permasalahan tersebut dengan jurnal [4] yang dikeluarkan oleh RISTEKDIKTI yaitu mengenai peraturan pencegahan tubrukan di laut, dimana pada jarak maksimal sebuah kapal selam dapat berhadapan agar tidak saling bertubrukan adalah kapal harus berjarak sesuai dengan cahaya yang dipancarkan oleh lampu kapal tersebut.

Pada penelitian [5] dan [6] yang dilakukan pada tahun 2017 dan 2019 itu, bagian terpenting dalam melakukan sebuah komunikasi antar *Transmitter* dan *Receiver* pada kapal selam penyelamat adalah dengan menambahkan penguatan daya agar jarak yang dapat ditempuh oleh laser dapat mencapai jarak yang paling jauh.

Dengan adanya penelitian-penelitian sebelumnya dibuatlah Tugas Akhir ini untuk menganalisis performansi laser dioda hijau dalam kanal air Laut melalui perubahan daya, *Signal to Noise Ratio* (SNR), dan *Bit Error Rate* (BER) sehingga dapat menghasilkan jarak yang jauh pada setiap kedalaman dengan menggunakan laser dioda hijau menggunakan modulasi OOK RZ dan OOK NRZ.

2. Dasar Teori

2.1 Visible Light Communication

Visible Light Communication (VLC) dapat diartikan sebagai Komunikasi Cahaya Tampak, hal yang dimaksudkan pada VLC ini adalah dimana sebuah komunikasi dapat dilakukan melalui pancaran sinyal yang bersifat cahaya[7]. Pada VLC ini spektrum gelombang cahaya berada pada 400 - 750 nm atau pada gelombang frekuensi berada pada 430 THz sampai 790 THz.

2.2 LASER

Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (LASER) adalah sebuah perangkat yang memancarkan berkas cahaya dengan proses pancaran yang sudah terstimulasi. Menurut buku [8] Laser memiliki beberapa sifat yaitu Spasial Koheren, Statistik Foton, memiliki intensitas yang tinggi, dan Pulsa *Ultrashot*. Tidak hanya sifatnya saja, Laser tentunya memiliki beberapa macam jenis laser diantaranya *Solid-state* Laser, Laser Gas, Laser *Excimer*, *Dye* Laser, Semikonduktor Laser.

2.3 Avalanche Photodiode (APD)

Avalanche Photodiode adalah sebuah perangkat atau alat yang terdapat pada bagian Laser yang dapat dimanfaatkan untuk mendapatkan efek fotoelektrik dengan mengubah cahaya menjadi energi listrik serta dapat meningkatkan *gain*[9]. APD ini memiliki sensitifitas yang sangat tinggi karena kekuatan medan listrik yang dihasilkan sangat kuat karena digunakan untuk mempercepat elektron yang mengalir pada semikonduktor. Menurut teori penguatan medan lokal, *multiplication noise* dan *gain-bandwidth* pada APD ditentukan oleh rasio koefisien ionisasi elektron dan hole semikonduktor di daerah multiplikasi. Karena rasio ini adalah tergantung material, untuk medan listrik yang diberikan, upaya untuk meningkatkan kinerja APD telah berfokus pada optimasi profil medan listrik dan karakterisasi bahan baru [10].

2.4 Modulasi OOK

Modulasi ialah sebuah metode untuk menumpangkan sinyal informasi ke dalam sinyal *carrier*. Pada sistem modulasi yang digunakan pada tugas akhir ini yaitu Modulasi Digital pada bagian dari jenis ASK (*Amplitude Shift Keying*) yaitu OOK. Modulasi jenis ASK ini pada gelombang pembawa dimodulasi berdasarkan Amplitudo sinyal informasi digitalnya dan pada kondisi bit 1 menunjukkan bahwa itulah ketinggian amplitude pada gelombang pembawanya. Pada ASK ini bisa dikatakan bila frekuensi gelombang pembawa muncul tergantung pada ada atau tidaknya sinyal digital[11].

2.5 Air

Air adalah suatu zat yang bersifat cairan yang tidak memiliki rasa serta bau dan warna. Menurut substansi Kimia, molekul air terdiri dari 2 atom Hidrogen yang terikat dengan satu atom Oksigen (H_2O). Air dapat dikatakan dalam kondisi standar apabila tidak memiliki bau, rasa, warna, pada tekanan 100 kPa, dan temperature pada 273,15 K 0°C.

Semakin berkembangnya dunia telekomunikasi Air dapat dijadikan sebagai media transmisi karena pancaran sinar laser dan LED dapat merambat dengan sangat baik. Namun hal yang harus diperhatikan oleh air adalah setiap air memiliki beberapa jenis contohnya Air Laut. Air Laut memiliki absorpsi yang berbeda-beda pada setiap jenisnya menurut [1].

2.6 Signal to Noise Ratio (SNR)

Setiap melakukan hubungan komunikasi dengan menggunakan metode modulasi apapun, pasti akan mengukur sebuah perbandingan level *power* sinyal informasi dengan level *power* sinyal *noise* yang akan diterima pada saat dikirim oleh *transmitter*. Pada hakikatnya SNR dapat disimpulkan sebagai seberapa kuat sinyal tersebut saat dikirimkan terhadap *noise* yang diterima dan memiliki rumus yaitu,

$$SNR = \frac{(RMP_R)^2}{\sigma_q^2 + \sigma_d^2 + \sigma_{bg}^2 + \sigma_{th}^2}, \quad (1)$$

dimana P_R adalah daya sinyal informasi atau daya terima, R adalah *Responsivity* dari APD, M adalah *Gain* dari APD, dan σ_q adalah kuantum *noise*, σ_d adalah arus bocor, σ_{bg} adalah *noise background*, dan yang terakhir adalah σ_{th} yaitu *noise* suhu. Kemudian pada tugas akhir ini rumus daya yang digunakan adalah,

$$P_R = \frac{P_T \eta_T \eta_R L_p A R \cos(\theta)}{(2\pi d^2 (1 - \cos(\theta_d)))}, \quad (2)$$

diketahui pada rumus tersebut terdapat P_R sebagai daya yang diterima pada *Receiver*, η_T dan η_R adalah efisiensi Optik dari *transmitter* ke *receiver*, L_p ialah *Loss Path* atau sebuah absorpsi, A adalah *Aperture Receiver Area*, $\cos(\theta)$ adalah sudut tegak lurus antara *transmitter* dan *receiver*, G adalah *Gain Concentrator*, d adalah Jarak, $\cos(\theta_d)$ adalah sudut divergensi pancaran sinar laser.

2.8 Bit Error Rate (BER)

Bit Error Rate (BER) ialah bit yang rusak ketika sudah diterima oleh *receiver*. Dalam dunia telekomunikasi BER adalah hal yang paling penting karena BER menunjukkan berapa jumlah *bit error* yang terjadi serta berapa banyak juga paket yang hilang ketika sedang melakukan pengiriman. Pada [1] standar *threshold* BER untuk kanal air adalah $\leq 10^{-4}$, BER untuk modulasi OOK RZ dan OOK NRZ memiliki rumus [11],

$$BER_{NRZ} = 0.5 \times \operatorname{erfc} \left(\frac{1}{2} \sqrt{SNR_{(dB)}} \right), \quad (5)$$

$$BER_{RZ} = 0.5 \times \operatorname{erfc} \left(\frac{1}{2\sqrt{2}} \sqrt{SNR_{(dB)}} \right), \quad (6)$$

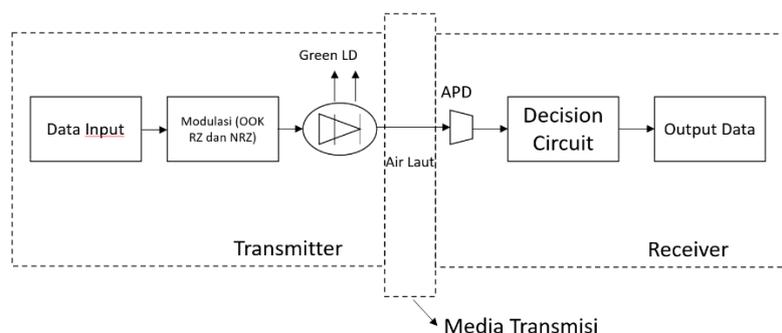
3. Perencanaan Sistem

3.1. Desain Sistem

Bab ini akan membahas mengenai perancangan sebuah simulasi yang digunakan pada kapal selam penyelamat untuk melakukan suatu komunikasi dengan menggunakan Laser Dioda Hijau yang dimana sistem modulasi yang digunakan ialah OOK-NRZ dan perbedaan yang terjadi pada setiap kedalaman dan sudut pancaran laser antar *Transmitter* dan *Receiver* kapal selam penyelamat.

Gambar 3.1 Desain Simulasi Sistem.

Pada desain sistem tersebut terdapat bagian *Transmitter*, *Receiver*, serta kanal air yang dimana syarat dari terjadinya sebuah hubungan komunikasi jarak jauh, serta dapat dilihat pada diagram blok yang lebih spesifik dibawah ini.



Gambar 3.2 Blok Diagram.

Pada gambar 3.2 menunjukkan blok diagram pada Tugas Akhir ini. Pada *transmitter* didalamnya terdapat *data input*, Modulasi OOK RZ dan NRZ, dan *Green LD*. Kemudian pada *receiver* terdapat *avalanche photodiode (APD)*, *Decision Circuit*, dan *output data*. Pada blok diagram menunjukkan *transmitter* memiliki peran yaitu untuk memancarkan sebuah sinyal, pada *data input* informasi berupa sinyal elektrik dan kode biner atau sinyal digital. Lalu sinyal digital tersebut masuk kedalam modulator dan akan ditumpangkan ke sinyal *carrier*/pembawa dengan

menggunakan modulasi OOK RZ dan OOK NRZ, kemudian setelah sinyal ditumpangkan maka sinyal tersebut akan diubah menjadi sinyal optis berwarna hijau pada pada komponen LD yang kemudian sinyal tersebut akan dipancarkan melalui kanal air laut. Propagasi sinyal yang merambat pada kanal air laut ini adalah *Line of Sight*. Setelah merambat pada kanal air, APD akan menerima cahaya tersebut sekaligus merubah sinyal optis menjadi sinyal digital kembali dan selanjutnya dilakukan *Decoding* paket dengan menggunakan *Hard Decision Decoding* (HDD) serta berfungsi untuk meloloskan sinyal yang memiliki daya melebihi dari batas treshold secara langsung bernilai bit 1, sedangkan sinyal yang memiliki bit dibawah bawah treshold dikatakan bernilai 0. Pada saat sinyal menjadi elektrik kemudian akan dilakukan pengujian terhadap bit yang error.

3.2 Diagram Alir

Diagram Alir pada Tugas Akhir ini menunjukkan proses dari simulasi. Pada analisis ini salah satu sumber cahaya yang digunakan adalah Laser Dioda Hijau 520 nm dan parameter lainnya dengan menggunakan *software*.

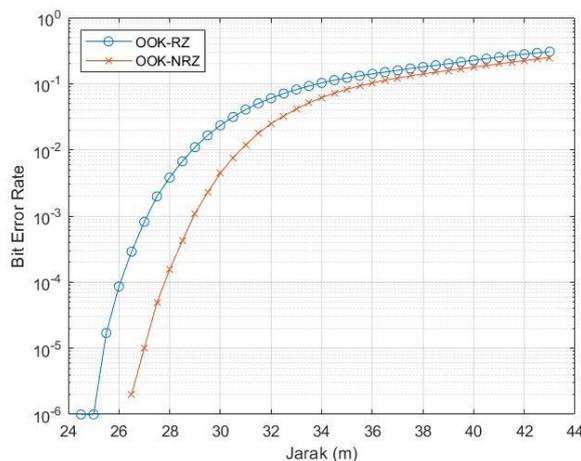
3.3 Parameter Performansi Sistem

Tabel 3.1 Parameter Performansi Sistem.

	Parameter	Nilai
Kanal	Jenis	<i>Pure Sea Water</i> dan <i>Clean Ocean Water</i>
	Kedalaman	5, 85, dan 150 m
	Absorpsi $a_{pure}(\lambda)$	0,114, 0,095, 0,065
	Absorpsi $a_{clean}(\lambda)$	0,164, 0,134, 0,124
	Propagasi	<i>Line of Sight</i>
Sumber	Jenis	Laser Dioda Hijau 520 nm
	Jumlah	1
	Daya	5 Watt
	Modulasi	OOK-NRZ dan OOK-RZ
	Bit Kirim	10^6 bit
Penerima	Jenis	APD (Silikon)
	Responsivitas	3 A/W
	Multiplikasi	32
	Area Detektor	1^{-4} m^2
BER	<i>Maximum</i>	$\leq 10^{-4}$

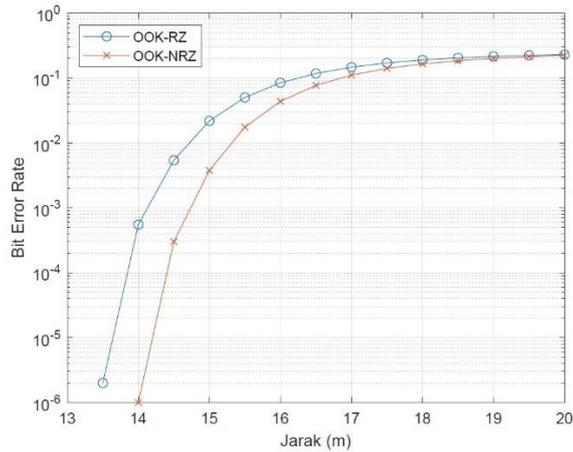
4. Analisis Simulasi Sistem

4.1 Analisis Skenario 1



Gambar 4.1 Grafik perbandingan Jarak terhadap BER pada modulasi OOK RZ dan NRZ dengan jenis air *Pure Sea Water*.

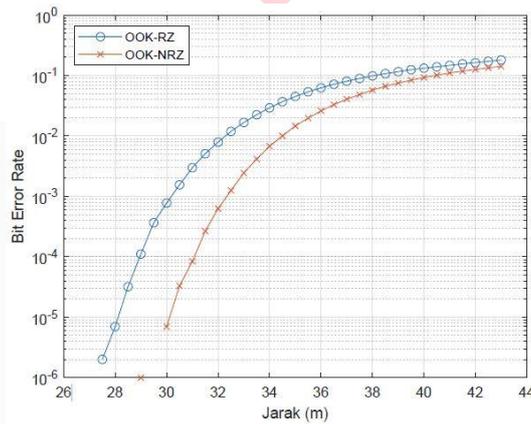
Pada Gambar 4.1 memperlihatkan grafik perbandingan antara Jarak dan BER. Semakin jauh jarak yang ditempuh maka nilai BER akan semakin besar atau buruk, hal tersebut terjadi karena semakin jauh jarak dari *transmitter* ke *receiver* maka cahaya yang diterima akan semakin sedikit sehingga nilai BER yang dihasilkan semakin besar atau buruk. Melihat dari kedua modulasi tersebut, BER yang sesuai dengan Tugas Akhir ini berada pada jarak 25,5 meter dengan BER $17,67 \times 10^{-4}$ untuk modulasi OOK-RZ dan pada modulasi OOK-NRZ mencapai jarak 27 meter dengan BER $10,00 \times 10^{-4}$.



Gambar 4.2 Grafik perbandingan Jarak terhadap BER pada modulasi OOK RZ dan NRZ dengan jenis air *Clean Ocean Water*.

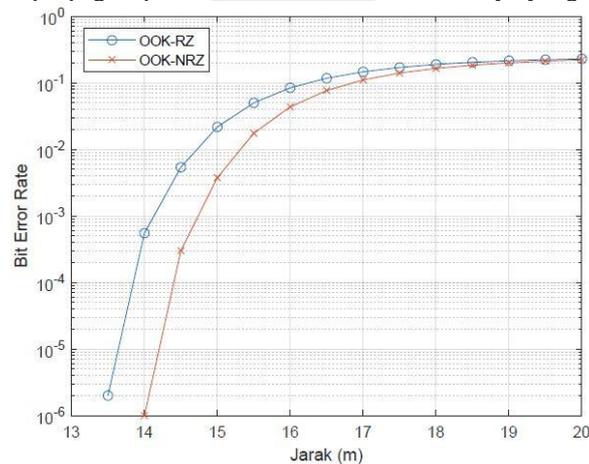
Pada Gambar 4.2 dapat dilihat bahwa masing-masing Jarak terhadap BER dari kedua modulasi tersebut, nilai BER yang sesuai dengan Tugas Akhir dan berada pada jarak 13 meter dengan modulasi OOK-RZ adalah BER $0,37 \times 10^{-4}$. Sedangkan modulasi OOK-NRZ yang mencapai jarak 13,5 meter adalah $0,29 \times 10^{-4}$. Pada BER apabila nilai mendekati 0 maka nilai BER yang akan didapat akan menghasilkan BER yang sangat buruk, hal tersebut dipengaruhi oleh faktor *loss propagasinya*.

4.2 Analisis Skenario 2



Gambar 4.3 Grafik perbandingan Jarak terhadap BER pada modulasi OOK RZ dan NRZ dengan jenis air *Pure Sea Water*.

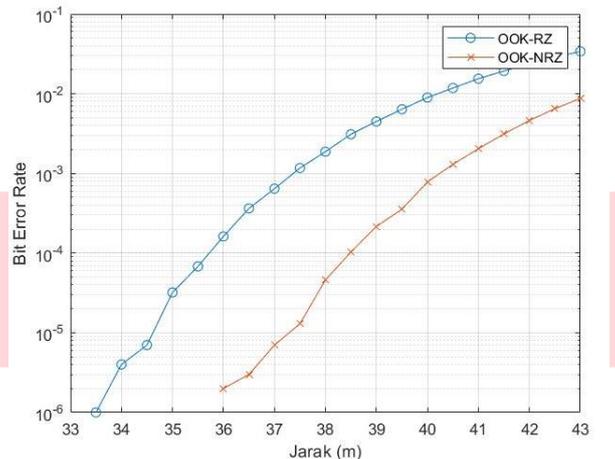
Pada Gambar 4.3 perbandingan antara jarak dengan *Bit Error Rate* dapat diketahui bahwa jarak tempuh yang sesuai dengan acuan Tugas Akhir pada skenario ini sampai 28,5 meter pada OOK RZ dengan nilai BER $32,09 \times 10^{-4}$ sedangkan OOK NRZ jarak yang dapat ditempuh sejauh 31 meter dengan nilai BER sebesar $84,37 \times 10^{-4}$. Nilai BER masih bergantung pada jarak antara *transmitter* dan *receiver* karena intensitas cahaya yang diterima ketika *receiver* berada pada jarak yang cukup jauh akan semakin sedikit, begitupun dengan sebaliknya. Tidak hanya itu saja, faktor *loss propagasi* pada air laut akan meredam cahaya yang dirambatkan.



Gambar 4.4 Grafik perbandingan Jarak terhadap BER pada modulasi OOK RZ dan NRZ dengan jenis air *Clean Ocean Water*.

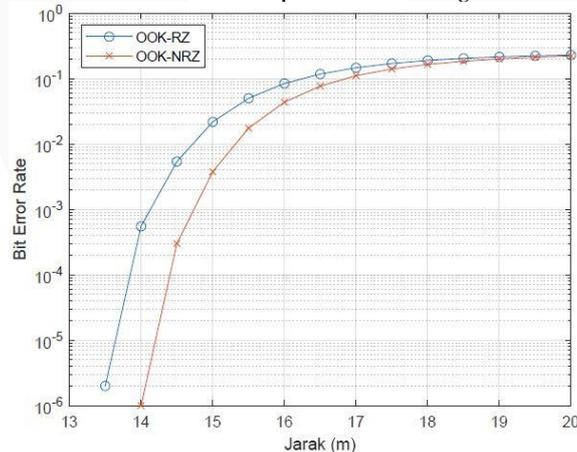
Kemudian Gambar 4.4 pada skenario kedua ini menampilkan nilai BER terhadap Jarak dan nilai tersebut dapat dilihat oleh kedua modulasi yang menghasilkan BER sesuai dengan acuan Tugas Akhir ini. Pada modulasi OOK RZ nilai BER yang diperoleh adalah $10,00 \times 10^{-4}$ dengan jarak 13,5 meter. lalu pada OOK NRZ nilai BER yang diperoleh adalah $30,00 \times 10^{-4}$ pada jarak 14 meter. Semakin jauh jarak yang ditempuh maka nilai BER akan semakin besar atau buruk, hal tersebut terjadi karena semakin jauh jarak dari *transmitter* ke *receiver* maka cahaya yang diterima akan semakin sedikit sehingga nilai BER yang dihasilkan semakin besar atau buruk.

4.3 Analisis Skenario 3



Gambar 4.5 Grafik perbandingan Jarak terhadap BER pada modulasi OOK RZ dan NRZ dengan jenis air *Pure Sea Water*.

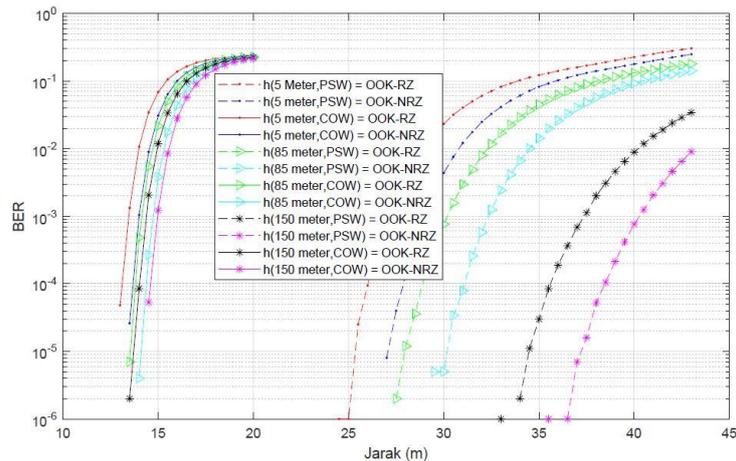
Pada Gambar 4.5 perbandingan jarak terhadap *Bit Error Rate* dapat diketahui bahwa jarak tempuh yang sesuai dengan acuan Tugas Akhir pada skenario ini sampai 35,5 meter pada OOK RZ dengan nilai BER $0,68 \times 10^{-4}$ sedangkan pada OOK NRZ pada jarak 38,5 meter adalah $0,10 \times 10^{-4}$. Analisis untuk perbandingan BER terhadap jarak masih sama seperti skenario sebelumnya, yaitu semakin sedikit intensitas cahaya yang diterima oleh fotodetektor maka akan meningkatkan jumlah kesalahan bitnya. Lalu BER masih bergantung terhadap seberapa jauh jarak propagasi antara *transmitter* dan *receiver*, karena ketika penransmision berlangsung cahaya yang merambat melewati kanal laut akan teredam oleh absorpsi dan *scattering*.



Gambar 4.6 Grafik perbandingan BER terhadap Jarak pada modulasi OOK RZ dan NRZ dengan jenis air *Clean Ocean Water*.

Pada Gambar 4.6 perbandingan jarak terhadap *Bit Error Rate* dapat diketahui bahwa jarak tempuh yang sesuai dengan acuan Tugas Akhir pada skenario ini sampai 14 meter pada OOK RZ dengan nilai BER $0,92 \times 10^{-4}$ sedangkan pada OOK NRZ pada jarak 14,5 meter adalah $0,42 \times 10^{-4}$. Analisis untuk perbandingan BER terhadap jarak masih sama seperti skenario sebelumnya, yaitu semakin sedikit intensitas cahaya yang diterima oleh fotodetektor maka akan meningkatkan jumlah kesalahan bitnya. Lalu BER masih bergantung terhadap seberapa jauh jarak propagasi antara *transmitter* dan *receiver*, karena ketika penransmision berlangsung cahaya yang merambat melewati kanal laut akan teredam oleh absorpsi dan *scattering*.

4.4 Analisis perbandingan jenis air *Pure Sea Water* dan *Clean Ocean Water*.



Gambar 4.7 Grafik perbandingan Jarak terhadap BER pada modulasi OOK RZ dan OOK NRZ.

Pada Gambar 4.7 menunjukkan jarak antara *transmitter* dan *receiver* terhadap BER. Pada jenis air *clean ocean water* jarak terjauh yang dapat diperoleh adalah 14,5 meter pada kedalaman 150 meter dan pada *pure sea water* jarak terjauh yang dapat diperoleh adalah 38,5 meter pada kedalaman 150 meter. Kemudian pada kedua jenis air dan kedalaman tersebut, jarak terjauh dapat dicapai dengan menggunakan modulasi OOK NRZ. Pada kedalaman 150 meter, kedua jenis air tersebut memiliki nilai absorpsi yang kecil pada masing-masing jenisnya sehingga dengan kecilnya nilai absorpsi pada kedalaman tersebut akan menghasilkan jarak terjauh dengan standar BER 10^{-4} . Lalu pada jenis air *clean ocean water* jarak terjauh hanya 14,5 meter, hal tersebut disebabkan oleh tingginya konsentrasi partikel kecil yang ada di kedalaman laut 150 meter sehingga nilai absorpsinya mempengaruhi jarak dari propagasi tersebut. Sedangkan pada jenis air *pure sea water* memiliki tingkat konsentrasi partikel kecil yang sangat rendah pada kedalaman 150 meter sehingga dapat menghasilkan jarak propagasi yang cukup jauh hingga 38,5 meter.

5. Kesimpulan

Kesimpulan pada hasil analisis berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Dalam Tugas Akhir ini penggunaan laser dioda hijau dengan panjang gelombang 520 nm dan daya sebesar 5 Watt dapat mencapai jarak yang cukup jauh dan perbedaan pada setiap kedalaman serta masing - masing jenis airnya. Disimpulkan bahwa daya yang diterima *receiver* tereduksi karena adanya faktor loss propagasi yang terdiri dari *scattering* dan absorpsi yang berbeda pada setiap kedalaman dan jenis airnya.
2. Dalam Tugas Akhir ini *Signal to Noise Ratio* yang didapat akan semakin kecil yang artinya sinyal $\{noise\}$ akan lebih besar dari sinyal informasi yang diterima, hal ini terbukti saat nilai SNR sudah diubah kedalam *dB*. Nilai SNR minimum untuk jenis air *pure sea water* pada kedalaman 5 meter adalah 2,40 *dB*, lalu pada kedalaman 85 meter nilai SNR minimum adalah 9,49 *dB*, dan pada kedalaman 150 meter nilai SNR yang minimum adalah 20,7 *dB*. Nilai SNR yang diterima pada kedalaman 150 meter memiliki nilai minimum yang lebih baik dari kedalaman lainnya karena faktor loss propagasi sangat kecil. Lalu nilai SNR minimum untuk jenis air *Clean Ocean water* pada kedalaman 5 meter adalah -8,68 *dB*, lalu pada kedalaman 85 meter nilai SNR minimum adalah -3,475 *dB*, dan pada kedalaman 150 meter nilai SNR yang minimum adalah -1,73 *dB*. Nilai SNR dipengaruhi oleh faktor loss propagasi, ketika daya kirim melewati kanal absorpsi dan *scattering* dapat disebut sebagai *noise* yang berfungsi untuk meredam sinyal optis yang dikirim.
3. Dalam Tugas Akhir ini nilai BER akan menjadi acuan seberapa jauh jarak yang dapat ditempuh oleh laser dioda hijau. Nilai BER untuk jenis air *pure sea water* yang diterima pada kedalaman 5 meter dari atas permukaan laut dengan jarak 25,5 meter dan menggunakan OOK RZ adalah $17,67 \times 10^{-4}$, lalu pada OOK NRZ jarak tempuh yaitu 27 meter dan BER sebesar $10,00 \times 10^{-4}$. Selanjutnya pada kedalaman 85 meter dengan OOK RZ jarak yang ditempuh sejauh 28,5 meter dan BER sebesar $32,09 \times 10^{-4}$, sedangkan OOK NRZ 31 meter dengan BER sebesar $84,37 \times 10^{-4}$. Pada kedalaman 150 meter jarak yang dapat ditempuh dengan modulasi OOK RZ adalah 35,5 meter dengan BER $0,68 \times 10^{-4}$, lalu untuk modulasi OOK NRZ jarak yang ditempuh adalah 38,5 meter dengan BER $0,10 \times 10^{-4}$. lalu nilai BER untuk jenis air *clean ocean water* yang diterima pada kedalaman 5 meter dari atas permukaan laut dengan jarak 13 meter dan menggunakan OOK RZ adalah $0,37 \times 10^{-4}$, lalu pada OOK NRZ jarak tempuh yaitu 13,5 meter dan BER sebesar $0,29 \times 10^{-4}$. Selanjutnya pada kedalaman 85 meter dengan OOK RZ jarak yang ditempuh sejauh 13,5 meter dan BER sebesar $10,00 \times 10^{-4}$, sedangkan OOK NRZ 14 meter dengan BER sebesar $30,00 \times 10^{-4}$. Pada kedalaman 150 meter jarak yang dapat ditempuh dengan modulasi OOK RZ adalah 14 meter dengan BER $0,92 \times 10^{-4}$, lalu untuk modulasi OOK NRZ jarak yang ditempuh adalah 14,5 meter dengan BER $0,42 \times 10^{-4}$. Dapat disimpulkan bahwa performansi pada laser dioda hijau dengan menggunakan

kedua jenis air tersebut masih layak dan dapat diimplementasikan pada setiap kedalaman laut, meskipun nilai BER yang semakin kecil disebabkan oleh faktor loss propagasi.

4. Pada hasil simulasi BER dan SNR menunjukkan bahwa modulasi OOK NRZ memiliki performansi yang lebih baik dari OOK RZ karena dapat menghasilkan jarak tempuh yang cukup jauh untuk kedua jenis air yang digunakan.

Daftar Pustaka:

[1]	H. Kaushal and G. Kaddoum, "Underwater optical wireless communication," <i>IEEE access</i> , vol. 4, pp. 1518–1547, 2016.
[2]	L. E. M. Matheus, A. B. Vieira, L. F. Vieira, M. A. Vieira, and O. Gnawali, "Visible light communication: Concepts, applications and challenges," <i>IEEE Communications Surveys & Tutorials</i> , 2019.
[3]	X. Liu, S. Yi, X. Zhou, Z. Fang, Z.-J. Qiu, L. Hu, C. Cong, L. Zheng, R. Liu, and P. Tian, "34.5 m underwater optical wireless communication with 2.70 gbps data rate based on a green laser diode with nrz-ook modulation," <i>Optics express</i> , vol. 25, no. 22, pp. 27 937–27 947, 2017.
[4]	PPG SPADA RISTEKDIKTI, "Peraturan Pencegahan Tubrukan di Laut," p. 302, 1385.
[5]	X. Liu, S. Yi, X. Zhou, Z. Fang, Z.-J. Qiu, L. Hu, C. Cong, L. Zheng, R. Liu, and P. Tian, "34.5 m underwater optical wireless communication with 2.70 gbps data rate based on a green laser diode with nrz-ook modulation," <i>Optics express</i> , vol. 25, no. 22, pp. 27 937–27 947, 2017.
[6]	J. Wang, C. Lu, S. Li, and Z. Xu, "100 m/500 mbps underwater optical wire-less communication using an nrz-ook modulated 520 nm laser diode," <i>Optics express</i> , vol. 27, no. 9, pp. 12 171–12 181, 2019.
[7]	S. Arnon, <i>Visible light communication</i> . Cambridge University Press, 2015.
[8]	H. Haken, <i>Laser theory</i> . Springer Science & Business Media, 2012.
[9]	F. Capasso, "Physics of avalanche photodiodes," in <i>Semiconductors and semi- metals</i> . Elsevier, 1985, vol. 22, pp. 1–172.
[10]	Lestari Pramesti Puji, "SIMULASI PARAMETER Si-APD DENGAN MA-SUKAN SINYALNRZ MENGGUNAKAN C," p. 35, 2011.
[11]	T. Y. Elganimi, "Studying the ber performance, power-and bandwidth-efficiency for fso communication systems under various modulation schemes," in 2013 IEEE Jordan Conference on Applied Electrical Engineering and Computing Technologies (AEECT). IEEE, 2013, pp. 1–6.
[12]	M. Ijaz, Z. Ghassemlooy, S. Ansari, O. Adebajo, H. Le Minh, S. Rajbhandari, and A. Gholami, "Experimental investigation of the performance of different modulation techniques under controlled fso turbulence channel," in 2010 5th International symposium on telecommunications. IEEE, 2010, pp. 59–64.
[13]	Z. Ghassemlooy, W. Popoola, and S. Rajbhandari, <i>Optical wireless communications: system and channel modelling with Matlab R</i> . CRC press, 2019.