

ANALISIS PERFORMANSI PENGARUH TURBULENSI DALAM SISTEM KOMUNIKASI NIRKABEL BAWAH AIR

PERFORMANCE ANALYSIS OF TURBULENCE INFLUENCES IN UNDERWATER OPTICAL WIRELESS COMMUNICATION SYSTEM

R. Rama Prasetyo A., Akhmad Hambali², Brian Pamukti³ ^{1,2,3} Prodi S1

Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

Jl. Telekomunikasi No.1 Terusan Buah Batu Bandung 40257 Indonesia

[1ramaprasetyo@student.telkomuniversity.ac.id](mailto:ramaprasetyo@student.telkomuniversity.ac.id), [2ahambali@telkomuniversity.ac.id](mailto:ahambali@telkomuniversity.ac.id),

[3brianp@telkomuniversity.ac.id](mailto:brianp@telkomuniversity.ac.id)

ABSTRAK

Underwater Optical Wireless Communication (UOWC) merupakan cabang dari *Optical Wireless Communication* yang memanfaatkan media bawah air sebagai media penghantar cahaya. Pada penelitian ini dibahas mengenai turbulensi pada sistem komunikasi optik nirkabel bawah laut, yaitu variasi pada indeks refraksi dalam alur propagasi yang disebabkan oleh fluktuasi kelembaban, salinitas, dan temperatur bawah air yang menyebabkan terjadi perubahan besar terhadap intensitas sinyal pada *receiver*. Skenario yang dilakukan adalah dengan menggunakan tiga media propagasi pada kanal air laut, LED berwarna biru, dan menggunakan modulasi OOK-NRZ serta parameter sudut 0° , 15° , dan 30° dan jarak 5 m, 10 m, 15 m, dan 20 m. Tugas Akhir ini berkontribusi dalam mengetahui pengaruh nilai turbulensi, BER, dan SNR di tiap jarak propagasi dan sudut yang terbentuk. Nilai turbulensi ideal di dapat pada media propagasi air keruh/pelabuhan karena memiliki kondisi paling buruk sehingga memperoleh performansi yang paling rendah pada jarak propagasi 5 m dengan nilai 0,197 pada sudut 0° , 0,203 pada sudut 15° , dan 0,224 pada sudut 30° . Nilai SNR yang diraih adalah 61,89998 dB pada sudut 0° , 61,8988 dB pada sudut 15° , dan 61,89608 dB pada sudut 30° . Nilai BER yang diraih adalah $1,80786 \times 10^{-15}$ pada sudut 0° , $1,80887 \times 10^{-15}$ pada sudut 15° , dan $1,81144 \times 10^{-15}$ pada sudut 30° .

Kata Kunci : *Underwater Optical Wireless Communication (UOWC)*, *Turbulensi*, *LED*, *Bit Error Rate (BER)*, *Signal-to-Noise Ratio (SNR)*

ABSTRACT

Underwater Optical Wireless Communication (UOWC) is a branch of *Optical Wireless Communication* which use underwater source as a light conductor. In this research will be review turbulence in underwater optical wireless communication, which variation at refraction index in propagation line which caused by humidity fluctuations, salinities, and underwater temperatures who caused major changes in signal intensities at receiver. Scenario which will be used are using three propagation media in seawater channel, blue LED, and using OOK-NRZ modulation also angles parameter at 0° , 15° , and 30° and also distance 5 m, 10 m, 15, and 20 m. This Final Project contributes to determine the effect of turbulence influences, BER, and SNR in each propagation distances and angles formed. Ideal turbulence values was involved in turbid media because it has the worst condition so that has a weaker performance value at 5 m propagation distance. It defined by 0,197 at 0° , 0,203 at 15° , and 0,224 at 30° . SNR values are 61,89998 dB at 0° , 61,8988 dB at 15° , and 61,89608 dB at 30° . BER values are $1,80786 \times 10^{-15}$ at 0° , $1,80887 \times 10^{-15}$ at 15° , and $1,81144 \times 10^{-15}$ at 30° .

Keyword : *UOWC*, *Turbulence*, *LED*, *BER*, *SNR*

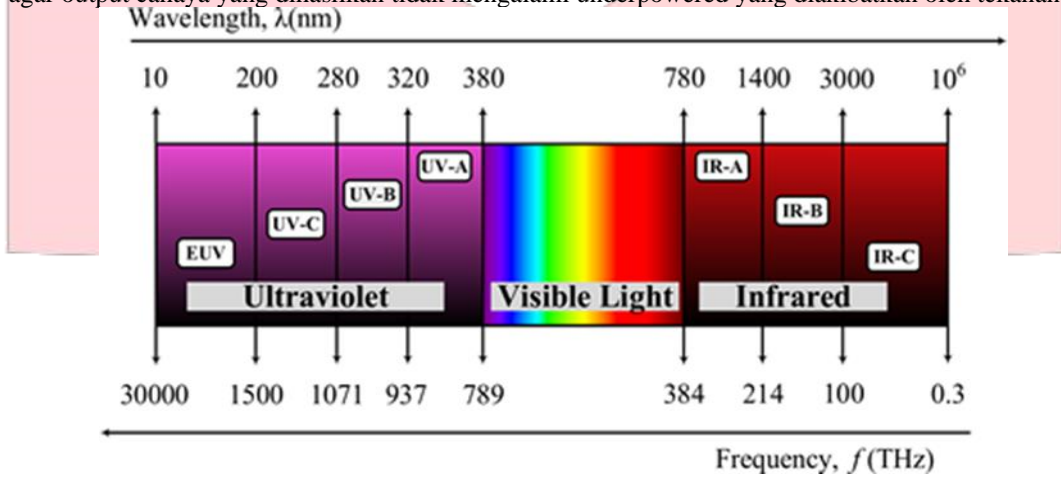
1. Pendahuluan

Underwater Optical Wireless Communication (UOWC) merupakan cabang dari *Optical Wireless Communication* yang memanfaatkan media bawah air sebagai media penghantar cahaya. Pada penelitian ini dibahas mengenai turbulensi pada sistem komunikasi optik nirkabel bawah laut, yaitu variasi pada indeks refraksi dalam alur propagasi yang disebabkan oleh fluktuasi kelembaban, salinitas, dan temperature bawah air yang menyebabkan terjadi perubahan besar terhadap intensitas sinyal pada receiver. Penelitian Tugas Akhir yang dilakukan adalah menganalisis pengaruh turbulensi dalam media bawah air untuk sistem komunikasi optik cahaya tampak, menggunakan transmitter LED, jenis photodetector yang digunakan adalah PIN, dan jarak yang diharapkan dapat menjangkau jarak maksimal yang telah ditentukan sepanjang 20 untuk masing-masing media propagasi bawah air yang telah ditentukan.

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. Dalam perkembangannya, VLC dapat digunakan dalam media bawah air. VLC pada Tugas Akhir ini memanfaatkan cahaya LED sebagai transmitter dan cahaya sebagai media pentransmisiannya, beserta photodiode sebagai receiver dan menggunakan amplifier agar output cahaya yang dihasilkan tidak mengalami underpowered yang diakibatkan oleh tekanan air.



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

. Dari Gambar 1 dapat dilihat spektrum gelombang elektromagnetik terbagi berdasarkan panjang gelombang dan frekuensi, dengan diposisi paling terendah berupa sinar gamma/*ultraviolet* dan sinar inframerah/*infrared* yang berada diposisi panjang gelombang tertinggi. Segmen yang paling penting dalam kehidupan yaitu pita sempit yang panjang gelombangnya berada dikisaran 380 nm - 750 nm dan frekuensi dikisaran 400-800 THz, 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	Ungu	380-400

2.2 LED (Light Emitting Diode)

Light Emitting Diode (LED) merupakan sekumpulan flux cahaya yang memiliki karakteristik sama dengan dioda berjenis PN junction yang menghasilkan keluaran energi photon hasil kombinasi elektron pada tiap lubangnya [2]. LED memiliki *anode* dan *cathode* yang *asymmetric* bertujuan agar polarisasi yang terbentuk menjadi searah. LED yang digunakan pada Tugas Akhir ini adalah berjenis Blue LED. Blue LED sendiri memiliki unsur Indium Galium Nitrida (InGaN) yang dalam penggunaannya dapat mentransmisikan data dengan kecepatan tinggi namun dengan jarak yang terbatas [3]. Jarak maksimal yang dapat dipancarkan oleh cahaya Blue LED adalah 100 m, akan tetapi pada Tugas Akhir ini digunakan jarak 5 m, 10 m, 15 m, dan 20 m dikarenakan media *transmitter* dan *receiver* berupa robot kapal selam mini. Sifat dari Blue LED memiliki panjang gelombang 450 nm dengan unsur semikonduktor SiC yang memancarkan cahaya dengan panjang gelombang 430-505 nm dan tegangan maksimal sebesar 3,4 v.



Gambar 2. Konstruksi LED [2].

Dari Gambar 2 diperoleh informasi bahwa LED memiliki cap resistor yang terbuat dari epoxy resin yang berfungsi untuk mencegah LED dari kerusakan yang diakibatkan oleh guncangan dan getaran. Output dari photon yang dihasilkan pun cukup untuk melakukan pengiriman paket data yang ditransmisikan melalui dioda secara searah.

2.3 Turbulensi

Turbulensi merupakan variasi pada indeks refraksi dalam alur propagasi yang disebabkan oleh fluktuasi kelembaban, salinitas, dan temperatur bawah air yang menyebabkan terjadi perubahan besar terhadap intensitas sinyal pada *receiver* sehingga dibutuhkan *amplifier*. Pemodelan turbulensi dapat dilakukan dengan mempertimbangkan jumlah radiasi gelombang baik yang datang maupun yang surut. Parameter umum yang digunakan untuk mengukur turbulensi adalah dengan mengukur struktur indeks refraksi C_n^2 yang memiliki satuan $m^{-2/3}$ dan memiliki struktur suhu konstan C_T^2 dan memiliki range 10^{-14} hingga $10^{-10} m^{-2/3}$ dapat di definisikan sebagai berikut:

$$C_n^2 = (86 \times 10^{-16} \frac{P}{T^2})^2 C_T^2$$

Dimana P merupakan milibar dan T merupakan suhu dalam Kelvin. C_T^2 berhubungan dengan hukum 2/3 daya dalam variasi suhu didapatkan persamaan:

$$D_T = \langle (T_1 - T_2)^2 \rangle = \begin{cases} C_T^2 l_0^{-4/3} L_p^2 & \text{Untuk } 0 \ll L_p \ll l_0 \\ C_T^2 L_p^2 & \text{Untuk } l_0 \ll L_p \ll L_0 \end{cases}$$

Dimana nilai T_1 dan T_2 merupakan suhu dua permukaan yang terpisah jarak l_0 , L_p , dan L_0 adalah skala luar dan dalam suhu fluktuasi.

Untuk mengetahui nilai dan jenis turbulensi dapat digunakan pemodelan Rytov [4]. Pemodelan Rytov mengacu pada ketidakpastian fluktuasi pada kasus turbulensi di lambangkan dengan σ_R^2 dapat didefinisikan sebagai berikut.

$$\sigma_R^2 = 1,23 C_n^2 k^{7/6} L^{11/6}$$

Dimana nilai $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ merupakan jumlah gelombang yang terdapat pada media. Berdasarkan pemodelan Rytov, turbulensi dibagi menjadi 3, yaitu:

1. Turbulensi Rendah
Turbulensi rendah merupakan keadaan dimana nilai σ_R^2 lebih rendah dari 1.
2. Turbulensi Menengah
Turbulensi menengah merupakan keadaan dimana nilai σ_R^2 sama dengan 1.
3. Turbulensi Tinggi
Turbulensi tinggi merupakan keadaan dimana nilai σ_R^2 lebih tinggi dari 1.

Setelah diketahui nilai turbulensinya, maka dicari nilai scintilasi, dengan rumus

$$\sigma^2 = \exp \left[\frac{0,49\sigma_r^2}{(1 + 1.11\sigma_r^{12/5})^{7/6}} + \frac{0,51\sigma_r^2}{(1 + 0.69\sigma_r^{12/5})^{5/6}} \right] - 1$$

Dimana I merupakan jumlah radiasi gelombang optik yang diterima oleh *receiver* dan $\langle \cdot \rangle$ mewakili rata-rata kolektif atau padanan gelombang rata-rata. Untuk memudahkan perhitungan turbulensi dalam *Free Space Optic* (FSO) digunakan rumus distribusi lognormal dengan rumus [5]:

$$f_1(I) = \frac{1}{I\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{(\ln(I/I_0) - \mu)^2}{2\sigma^2} \right\}$$

Untuk nilai μ dapat diketahui sebagai berikut:

$$\mu = -\sigma^2/2$$

2.4 SNR

Signal-to-Noise Ratio atau dapat disingkat SNR, adalah perbandingan sinyal terhadap *noise* yang berpotensi mengganggu sinyal pada saat simulasi transmisi. Satuan dari SNR yaitu dB. Penggunaan SNR itu sendiri berfungsi untuk mengukur kualitas sistem UOWC secara sistematis dan tersimulasi. SNR yang digunakan pada sistem UOWC ini adalah 1-14 dB. SNR dapat di definisikan sebagai berikut.

$$SNR = 10 \log \frac{P_{Signal}}{P_{Noise}}$$

Dimana P_{Signal} merupakan sinyal informasi yang dikirimkan dan P_{Noise} merupakan gangguan yang terjadi ketika mengirimkan sinyal informasi.

Selain itu SNR juga dapat di nyatakan dalam bentuk Q-Factor. Q-Factor berfungsi untuk merepresentasikan optikal SNR untuk komunikasi optik biner digital dan dapat memudahkan proses analisis performa sistem. Persamaan di bawah digunakan agar dapat memberikan hubungan antara OSNR.

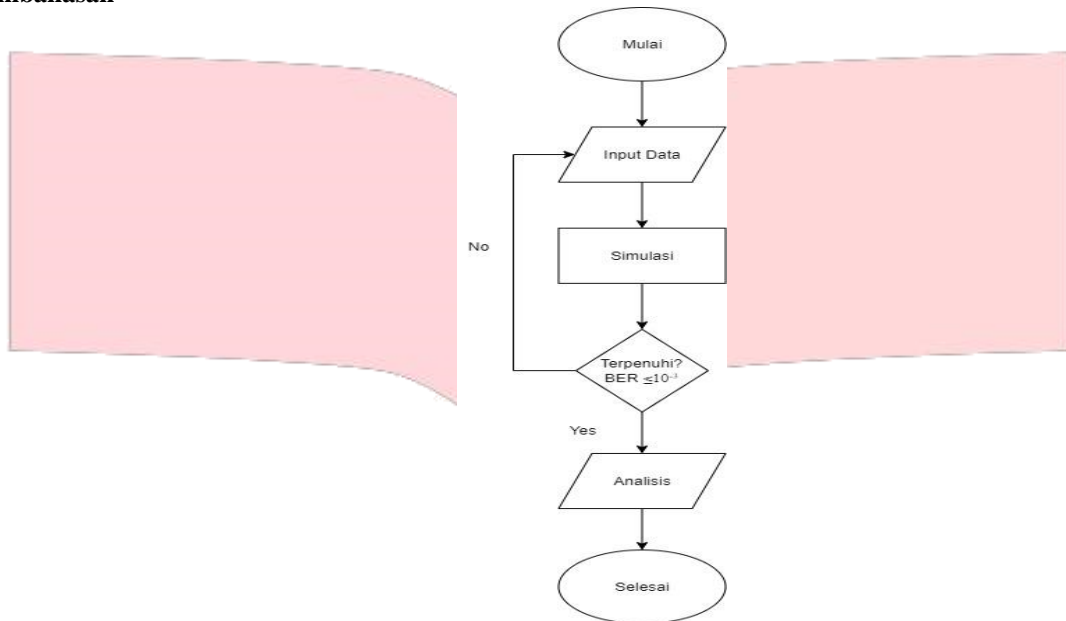
$$SNR = \frac{(R.M.P_{Rx})^2}{(\sigma_q + \sigma_d + \sigma_{bg} + \sigma_{th})}$$

2.5 BER

Bit error rate disingkat dengan BER, merupakan rasio perbandingan bit error dengan bit yang dikirimkan seluruhnya. Sedangkan, BER test merupakan pengujian berapa banyak kesalahan pembacaan yang diterima setiap detik. BER merupakan indikasi seberapa sering data harus ditransmisikan ulang karena kesalahan. Terlalu tinggi BER dapat menunjukkan bahwa kecepatan data yang lebih lambat akan benar-benar meningkatkan waktu transmisi secara keseluruhan untuk sejumlah data yang dikirimkan karena BER dapat dikurangi, menurunkan jumlah paket yang harus ada. BER dapat ditingkatkan dengan memilih kekuatan sinyal yang kuat, dengan memilih skema modulasi yang lambat dan kuat atau skema kode baris, dan dengan menerapkan skema pengkodean saluran seperti kode koreksi kesalahan forward error. Batas maksimum nilai BER yang digunakan pada Tugas Akhir ini adalah $\leq 10^{-3}$. BER dapat dikalkulasikan sebagai berikut:

$$BER = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sin \frac{\pi}{4} \cdot \sqrt{SNR_{dB}} \right)$$

3. Pembahasan



Gambar 3. Diagram alir simulasi.

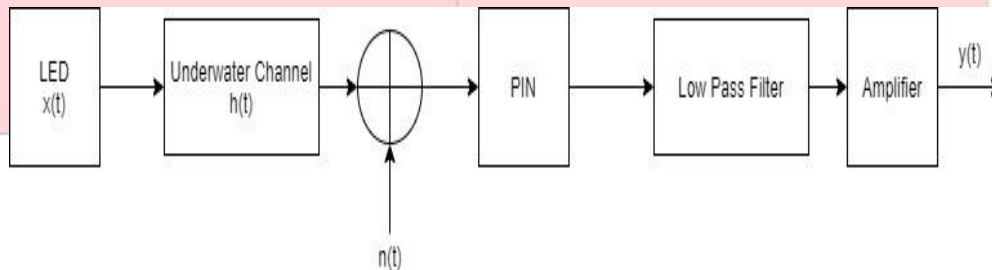
Pada gambar 3 menunjukkan bahwa dalam simulasi mencari nilai turbulensi dalam komunikasi bawah laut menggunakan modulasi OOK-NRZ dalam tiga media propagasi bawah air yang berbeda dan jarak serta yang telah ditentukan. Adapun proses pensimulasian pada Tugas Akhir ini dalam beberapa tahap, yaitu:

- **Mulai**
Pada tahap ini merancang terlebih dahulu skenario tiap media propagasi bawah air dan parameter apa saja yang diperlukan pada proses pensimulasian Tugas Akhir.
- **Input Data**
Pada proses *input data* sendiri merupakan langkah awal dalam pemodelan sistem berisi parameter yang sebelumnya telah ditentukan melalui buku “*Optisystem Tutorials Volume 2*”. Adapun data yang dimasukkan berupa *power transmitter*, panjang gelombang LED warna biru, dan beberapa data pendukung lainnya. Sistem menggunakan OOK-NRZ dan menggunakan PIN sebagai Photodetector.
- **Simulasi**
Mulainya pensimulasian dilakukan dalam tiga media perantara, yaitu pesisir, laut jernih, dan air keruh dengan memasukan parameter yang telah ditentukan pada saat *input data*. Setelah itu, hasil dari perhitungan sebelumnya di simulasikan kembali untuk mengetahui seberapa besar nilai BER terhadap terjadinya turbulensi rendah dan turbulensi tinggi.
- **Validasi**
Selanjutnya, dilakukan validasi dari simulasi yang telah dilaksanakan. Apabila tercapai nilai yang di kehendaki (misalnya nilai $BER \leq 10^{-3}$) dilakukan analisis. Apabila nilai dari simulasi tidak terpenuhi, maka simulasi harus di ulang kembali dengan memasukan input nilai pada parameter *transmitter* ataupun *receiver*.
- **Analisis**
Setelah melakukan proses simulasi, maka selanjutnya hasil simulasi dianalisis untuk mengetahui jarak terbaik untuk dilakukan proses pengiriman informasi dan berapa besaran nilai turbulensi pada masing-masing media propagasi bawah air.
- **Selesai**
Apabila telah selesai melakukan analisis simulasi, maka langkah selanjutnya adalah mengambil kesimpulan dari simulasi apakah pengaruh turbulensi dapat mengganggu proses pengiriman paket data.

3.1 Model Sistem

Model sistem dilakukan dengan media LED yang berfungsi sebagai sumber informasi yang akan dikirimkan berupa sinyal dalam bentuk cahaya dan menggunakan kanal air laut sebagai media perantara pengiriman sinyal pada kanal $h(t)$ yang di konvolusikan pada $n(t)$ dengan Addictive White Gaussian Noise (AWGN) sebagai sumber noise yang dapat terjadi dapat disimbolkan sebagai \otimes . Hasil konvolusi sinyal

tersebut kemudian diterima ke PIN Photodetector lalu diperkuat dengan amplifiier melalu media perantara Low Pass Filter sehingga sinyal yang telah diperkuat tersebut menjadi sinyal keluaran dari receiver. Ketika data berada pada Low Pass Filter, dilakukan BERtest, apabila nilai BER = 1 merupakan daya melebihi batas threshold sedangkan nilai BER = 0 merupakan daya dibawah batas threshold, oleh karena itu dibutuhkan amplifiier agar daya yang dihasilkan dapat memenuhi batas threshold. Apabila BER $\leq 10^{-3}$ diraih, maka hasil simulasi data akan dikeluarkan melalui output $y(t)$. Parameter $y(t)$ dapat didefinisikan sebagai sinyal yang di terima oleh PIN Photodiode.



Gambar 4. Desain sistem yang akan dilakukan[6].

3.2 Penentuan Parameter

Parameter yang digunakan adalah parameter input simulasi, parameter input transmitter dan parameter input receiver.

Tabel 2. Parameter input simulasi

Parameter	Nilai
Air Laut	Heterogen
Jarak (l)	5 m, 10 m, 15 m, 20 m
Temperatur	300k
Data Rate	1 Gbps
Amplifier Gain	10 dB
Low Pass Filter Gain	Data Rate/2 = 500 MHz
Sudut (θ)	0° , 15° , 30°
BER	Maksimal 10^{-3}
Modulasi	OOK-NRZ

Tabel 3. Parameter input transmitter.

Parameter	Nilai
Jenis Sumber Cahaya	LED
Jumlah	1 Buah
Warna	Biru
Panjang Gelombang	450 nm
Daya (Prx)	0,1 Watt
Efisiensi Transmitter	0,4

Tabel 4. Parameter input receiver.

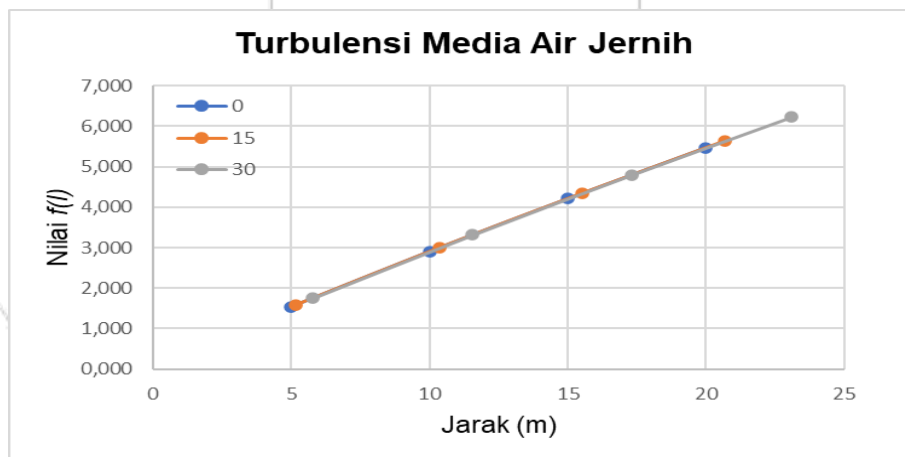
Parameter	Nilai
FOV	70°
Optical Concentrator	1
Responsifitas	0,8 A/W
Efisiensi Receiver	0,4
Photodetector	PIN

3.3 Simulasi Sistem

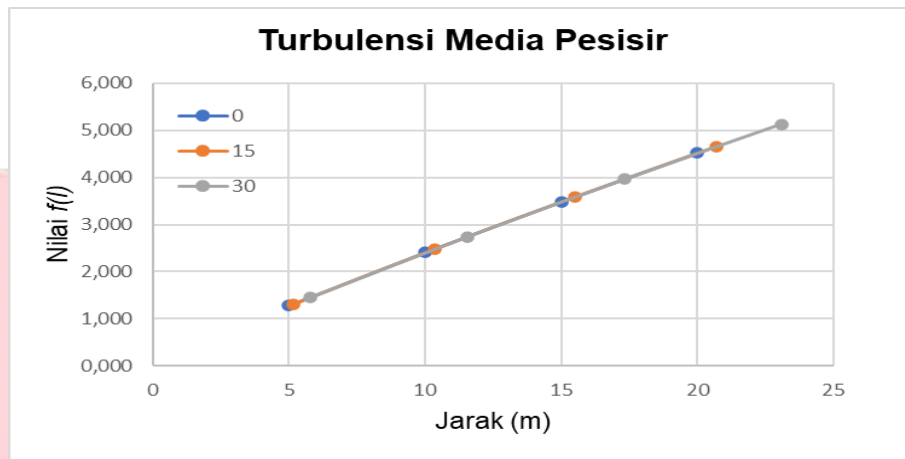
Simulasi yang dilakukan ada 3 skenario yaitu dengan mencari nilai SNR dan BER pada media propagasi air jernih, kemudian pada media pesisir, dan terakhir media air keruh/pelabuhan. Sebelum mencari nilai SNR dan BER pada ketiga media tersebut, cari terlebih dahulu nilai koefien turbulensi dari masing-masing media propagasi. Adapun jaraknya untuk masing-masing simulasi dengan jarak 5 m, 10 m, 15 m, dan 20 m dan sudut yang terbentuk.

4. Analisis

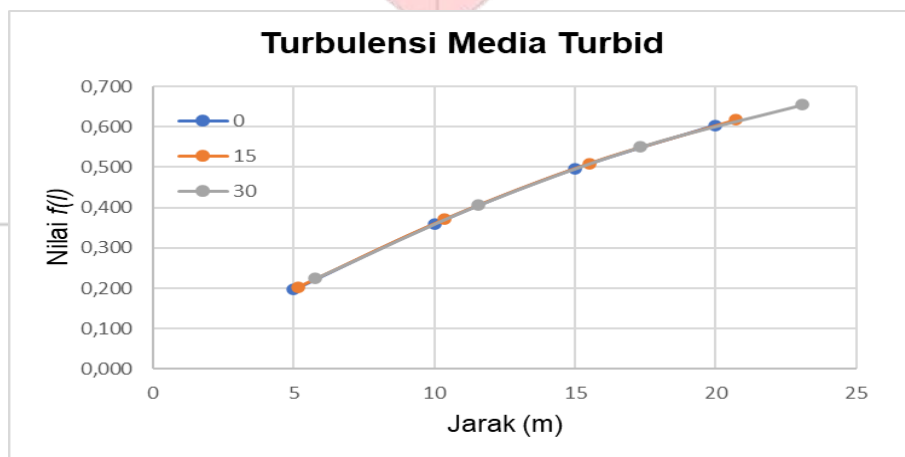
Pada pengujian mencari nilai koefisien turbulensi Perhitungannya dimulai pada sudut 0° dan berakhir di sudut 30°. Jarak yang terbentuk pada sudut 15° dan 30° mempengaruhi atenuasi di tiap media propagasi sehingga terjadi *overlap* pada masing-masing grafik dan kelebihan jarak pengukuran yang semulanya di batasi 20 m menjadi 23,09 m. Hasil analisis terhadap nilai turbulensi masing-masing media dapat di definisikan pada Gambar 4.1



(a)



(b)



(c)

Gambar 5. Perbandingan Nilai Turbulensi tiap Media Propagasi.

Dari Gambar 4.1 menjelaskan bahwa nilai turbulensi berbanding lurus dengan jarak yang di tempuh pada masing-masing media propagasi. Hal itu dikarenakan terdapat nilai atenuasi dan koefisien scintilasi yang berubah berdasarkan perubahan dari jarak dan sudut yang terbentuk. Berikut hasil analisis pada masing-masing keadaan turbulensi

1. Pada media propagasi air jernih pada jarak antara transmitter dan receiver sejauh 5 meter didapat nilai turbulensi pada sudut $0^\circ = 1, 539$, $15^\circ = 1,589$, dan $30^\circ = 1,755$.
2. Pada media propagasi air jernih pada jarak antara transmitter dan receiver sejauh 5 meter didapat nilai turbulensi pada sudut $0^\circ = 1, 539$, $15^\circ = 1,589$, dan $30^\circ = 1,755$.
3. Pada media propagasi air keruh/pelabuhan pada jarak antara transmitter dan receiver sejauh 5 meter didapat nilai turbulensi pada sudut $0^\circ = 0, 197$, $15^\circ = 0,203$, dan $30^\circ = 0,224$.

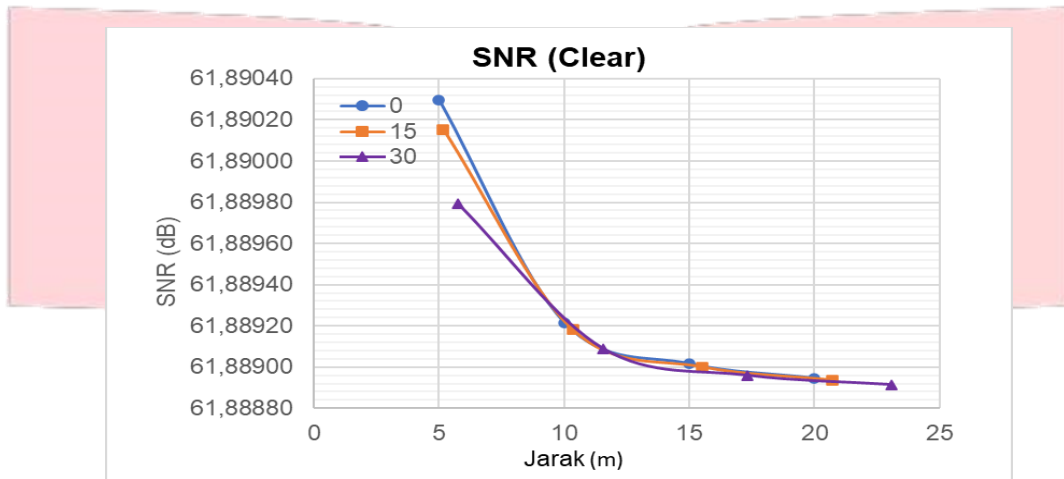
Dengan mengacu nilai koefisien Rytov, nilai turbulensi minim diraih pada keadaan dimana nilai koefisiennya dibawah 1. Pada Tabel 4.1 menunjukkan nilai turbulensi yang terdapat pada masing-masing media propagasi terhadap sudut dan jarak.

Tabel 5 Perbandingan Nilai Turbulensi tiap Media.	sudut (°)	Jarak (m)	nilai turbulensi $f(l)$
Media Propagasi			
Clear	0	5	1,539
		10	2,906
		15	4,210
		20	5,469
	15	5,18	1,589
		10,35	2,999
		15,53	4,345
		20,71	5,643
	30	5,77	1,755
		11,55	3,313
		17,32	4,797
		23,09	6,224
Coastal	0	5	1,275
		10	2,406
		15	3,482
		20	4,517
	15	5,18	1,316
		10,35	2,482
		15,53	3,592
		20,71	4,657
	30	5,77	1,454
		11,55	2,741
		17,32	3,964
		23,09	5,133
Turbid	0	5	0,197
		10	0,360
		15	0,497
		20	0,604
	15	5,18	0,203
		10,35	0,371
		15,53	0,510
		20,71	0,617
	30	5,77	0,224
		11,55	0,405
		17,32	0,550
		23,09	0,655

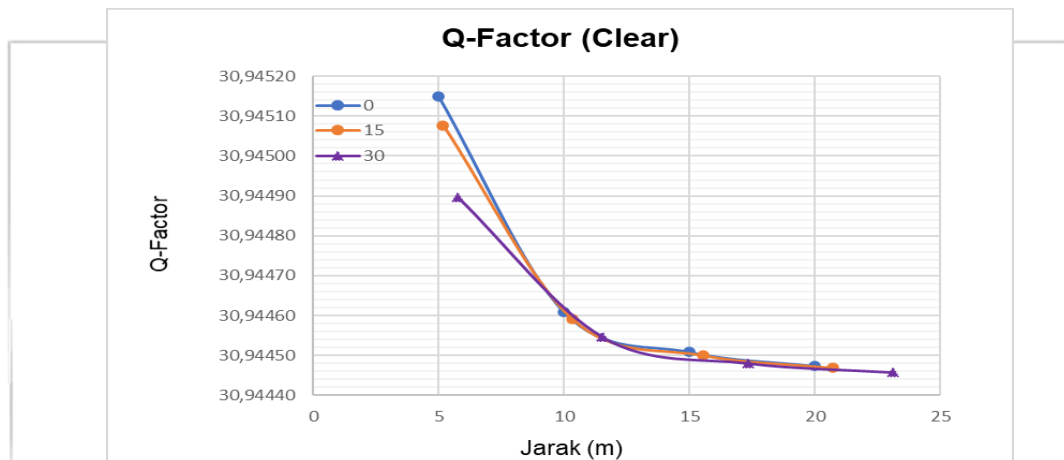
Setelah mengetahui nilai turbulensi di tiap media propagasi, langkah selanjutnya adalah mencari nilai SNR, Q-Factor, dan BER di tiap media propagasinya.

4.1 Analisis pada Media Air Jernih

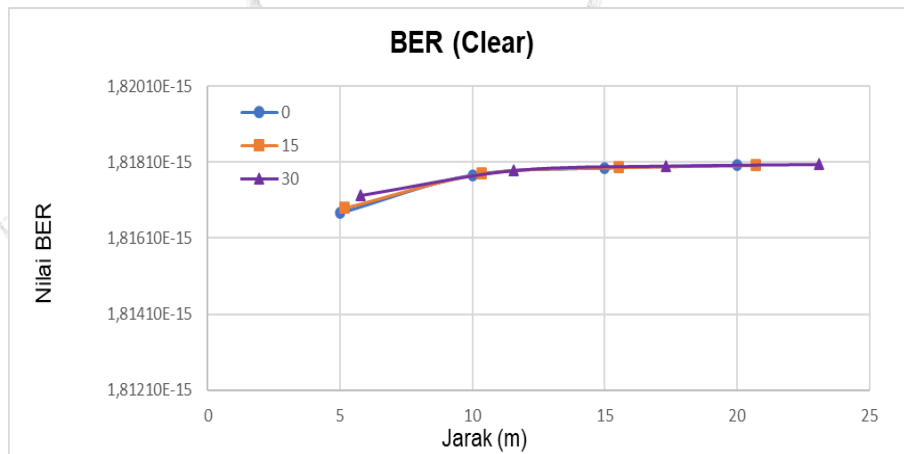
Pada pengujian media air jernih (clear), nilai SNR yang didapat cenderung menurun di jarak yang hampir berdekatan yang mengakibatkan nilai dari perhitungan mengalami penurunan yang signifikan dikarenakan adanya gaya tekan bawah air. Hasil analisis terhadap parameter uji pada media air jernih dapat di definisikan pada Gambar 6.



(a)



(b)



(c)

Gambar 6 Nilai (a) SNR, (b) Q-factor, dan (c) BER pada media air jernih (*clear*).

Dari Gambar 6 menjelaskan bahwa grafik yang terbentuk cenderung membentuk kurva logaritmik, baik arahnya cenderung ke atas (BER) maupun menukik ke bawah (SNR dan Q-Factor). Berdasarkan acuan nilai BER $\leq 10^{-3}$

maka nilai BER yang dihasilkan semakin bergantung pada jarak antara transmitter dan receiver. Berikut hasil analisis dari skenario pertama, yaitu:

1. Ketika jarak antara *transmitter* dan *receiver* sejauh 5 meter dan sudut yang terbentuk sebesar 0° nilai SNR yang dihasilkan sebesar 61,89030 dB dan nilai BER sebesar $1,81677 \times 10^{-15}$.
2. Ketika jarak antara transmitter dan receiver sejauh 5,18 meter dan sudut yang terbentuk sebesar 15° nilai SNR yang dihasilkan sebesar 61,89015 dB dan nilai BER sebesar $1,81690 \times 10^{-15}$.
3. Ketika jarak antara transmitter dan receiver sejauh 5,77 meter dan sudut yang terbentuk sebesar 30° nilai SNR yang dihasilkan sebesar 61,88979 db dan nilai BER sebesar $1,81723 \times 10^{-15}$.

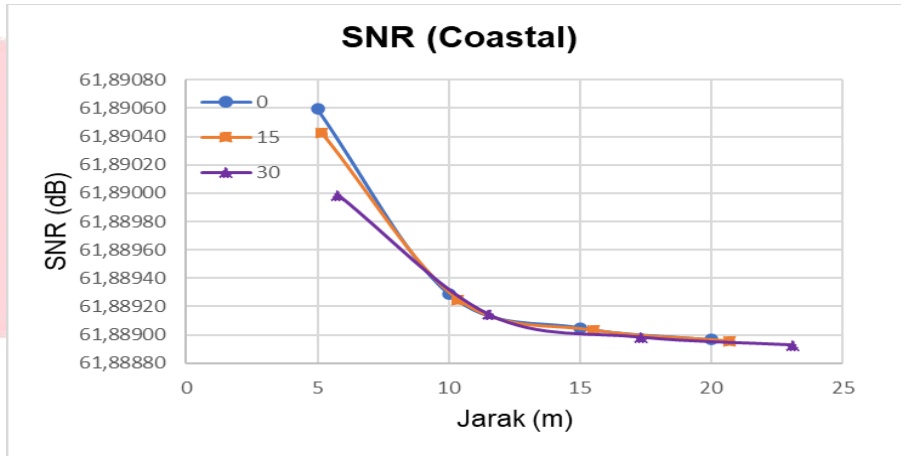
Sesuai dengan acuan nilai BER $\leq 10^{-3}$, semakin jauh jarak antara transmitter dan receiver dan ketika sudut (θ) yang terbentuk semakin kecil maka kualitas BER yang dihasilkan akan semakin baik karena nilai BER yang dihasilkan akan semakin kecil bahkan nyaris mendekati 0, begitupun sebaliknya. Pada Tabel 4.2 menunjukkan nilai parameter uji yang terdapat pada media propagasi air jernih terhadap sudut dan jarak.

Tabel 6 Nilai dari Media Air Jernih

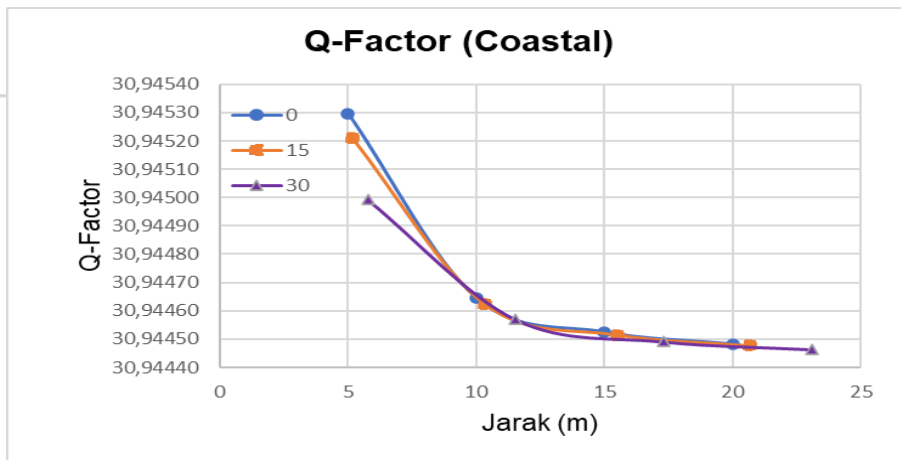
Media Propagasi	Sudut ($^\circ$)	Jarak (m)	Parameter Uji		
			SNR (dB)	Q-Factor	BER
Clear	0	5	61,89030	30,94515	$1,81677 \times 10^{-15}$
		10	61,88922	30,94461	$1,81776 \times 10^{-15}$
		15	61,88902	30,94451	$1,81795 \times 10^{-15}$
		20	61,88895	30,94447	$1,81801 \times 10^{-15}$
	15	5,18	61,89015	30,94508	$1,81690 \times 10^{-15}$
		10,35	61,88918	30,94459	$1,81780 \times 10^{-15}$
		15,53	61,88900	30,94450	$1,81796 \times 10^{-15}$
		20,71	61,88894	30,94447	$1,81802 \times 10^{-15}$
	30	5,77	61,88979	30,94490	$1,81723 \times 10^{-15}$
		11,55	61,88909	30,94455	$1,81788 \times 10^{-15}$
		17,32	61,88896	30,94448	$1,81800 \times 10^{-15}$
		23,09	61,88892	30,94446	$1,81804 \times 10^{-15}$

4.2 Analisis pada Media Pesisir

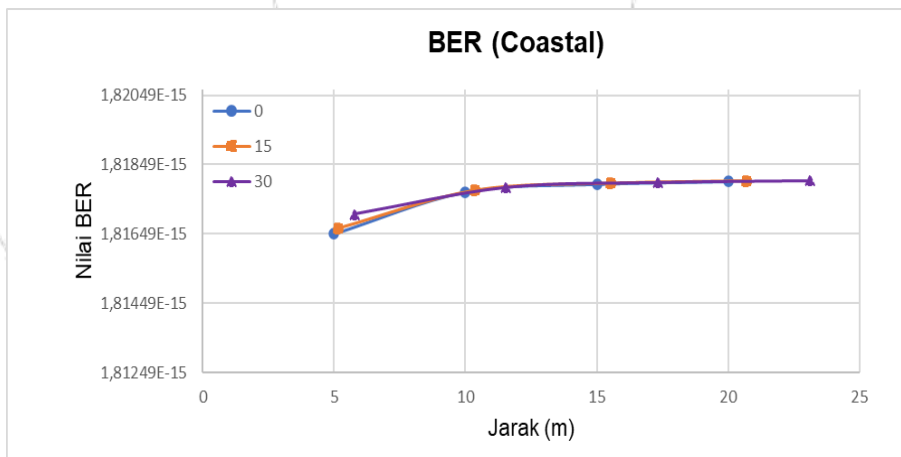
Pada pengujian media pesisir (coastal), nilai SNR yang didapat menyerupai pengujian yang ada dikarenakan hanya terjadi perubahan atenuasi sehingga nilainya hamper identik dengan media air jernih.



(a)



(b)



(c)

Gambar 7 Nilai (a) SNR, (b) Q-factor, dan (c) BER pada media Pesisir (*Coastal*).

Dari Gambar 7 menjelaskan bahwa grafik yang terbentuk cenderung membentuk kurva logaritmik, baik arahnya cenderung ke atas (BER) maupun menukik ke bawah (SNR dan Q-Factor). Berdasarkan acuan nilai BER $\leq 10^{-3}$

maka nilai BER yang dihasilkan semakin bergantung pada jarak antara transmitter dan receiver. Berikut hasil analisis dari skenario kedua, yaitu:

1. Ketika jarak antara transmitter dan receiver sejauh 5 meter dan sudut yang terbentuk sebesar 0° nilai SNR yang dihasilkan sebesar 61,89059 dB dan nilai BER sebesar $1,81649 \times 10^{-15}$.
2. Ketika jarak antara transmitter dan receiver sejauh 5,18 meter dan sudut yang terbentuk sebesar 15° nilai SNR yang dihasilkan sebesar 61,89042 dB dan nilai BER sebesar $1,81665 \times 10^{-15}$.
3. Ketika jarak antara transmitter dan receiver sejauh 5,77 meter dan sudut yang terbentuk sebesar 30° nilai SNR yang dihasilkan sebesar 61,88999 dB dan nilai BER sebesar $1,81705 \times 10^{-15}$.

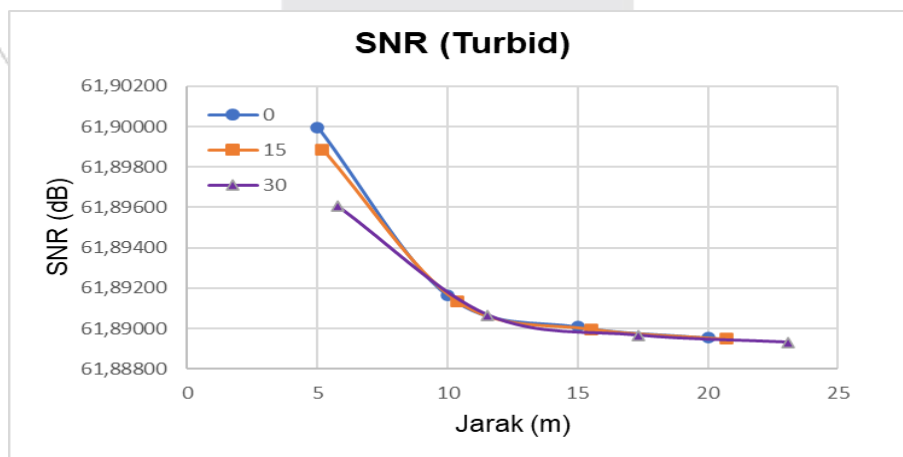
Sesuai dengan acuan nilai BER $\leq 10^{-3}$, semakin jauh jarak antara transmitter dan receiver dan ketika sudut (θ) yang terbentuk semakin kecil maka kualitas BER yang dihasilkan akan semakin baik karena nilai BER yang dihasilkan akan semakin kecil bahkan nyaris mendekati 0, begitupun sebaliknya. Pada Tabel 7 menunjukkan nilai parameter uji yang terdapat pada media propagasi pesisir terhadap sudut dan jarak.

Tabel 7 Nilai dari Media Pesisir

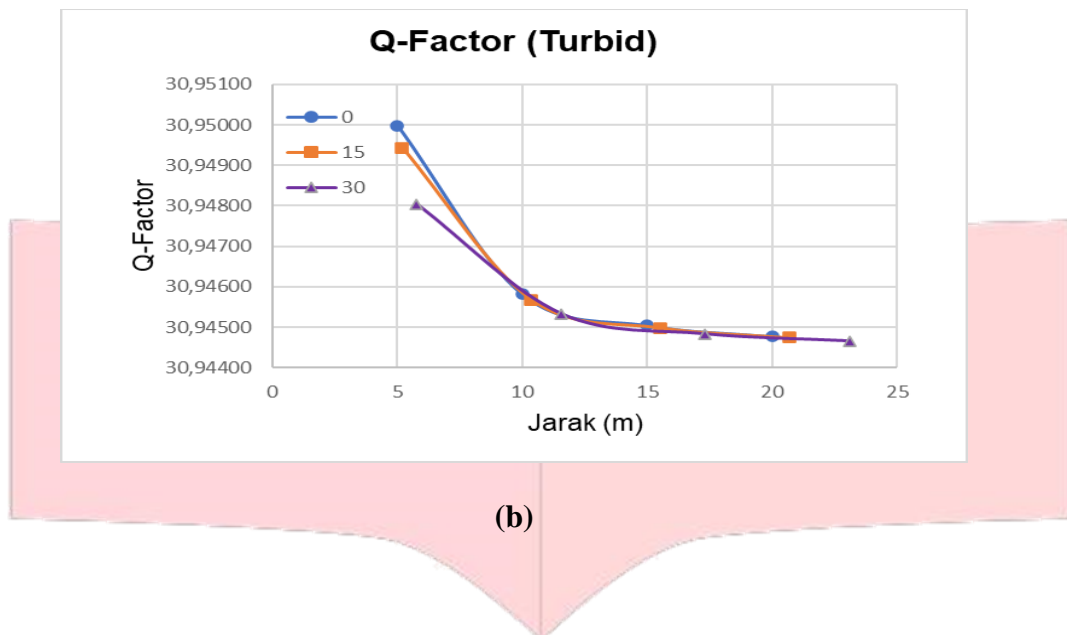
Media Propagasi	Sudut (°)	Jarak (m)	Parameter Uji		
			SNR (dB)	Q-Factor	BER
Coastal	0	5	61,89059	30,94530	$1,81649 \times 10^{-15}$
		10	61,88929	30,94465	$1,81770 \times 10^{-15}$
		15	61,88905	30,94452	$1,81792 \times 10^{-15}$
		20	61,88897	30,94448	$1,81800 \times 10^{-15}$
	15	5,18	61,89042	30,94521	$1,81665 \times 10^{-15}$
		10,35	61,88925	30,94462	$1,81774 \times 10^{-15}$
		15,53	61,88903	30,94452	$1,81794 \times 10^{-15}$
		20,71	61,88895	30,94448	$1,81801 \times 10^{-15}$
	30	5,77	61,88999	30,94499	$1,81705 \times 10^{-15}$
		11,55	61,88914	30,94457	$1,81784 \times 10^{-15}$
		17,32	61,88898	30,94449	$1,81798 \times 10^{-15}$
		23,09	61,88893	30,94446	$1,81803 \times 10^{-15}$

4.3 Analisis pada Media Air Keruh/Pelabuhan

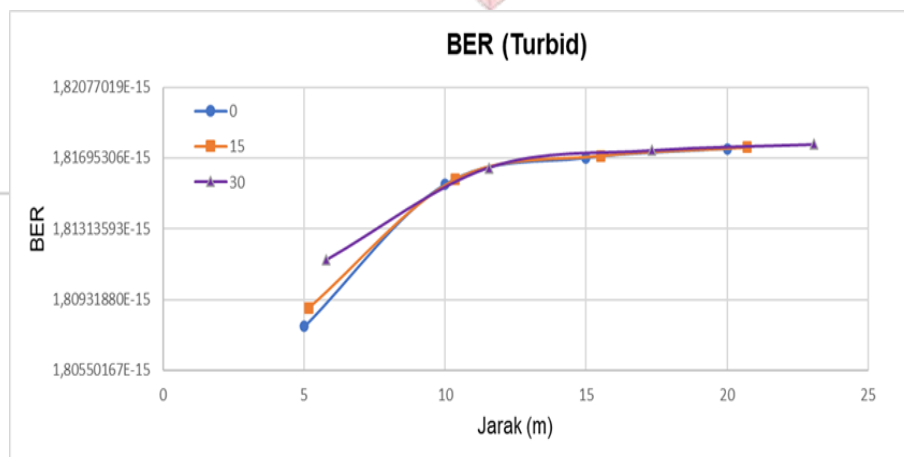
Pada pengujian media air keruh/pelabuhan (turbid), nilai SNR yang didapat lebih tinggi daripada pada media lainnya dikarenakan minim gangguan baik noise maupun tekanan air.



(a)



(b)



(c)

Gambar 8 Nilai (a) SNR, (b) Q-Factor, dan (c) BER pada media air keruh/pelabuhan (Turbid).

Dari Gambar 8 menjelaskan bahwa grafik yang terbentuk cenderung membentuk kurva logaritmik, baik arahnya cenderung ke atas (BER) maupun menukik ke bawah (SNR dan Q-Factor). Berdasarkan acuan nilai $BER \leq 10^{-3}$ maka nilai BER yang dihasilkan semakin bergantung pada jarak antara transmitter dan receiver. Berikut hasil analisis dari skenario ketiga, yaitu:

1. Ketika jarak antara transmitter dan receiver sejauh 5 meter dan sudut yang terbentuk sebesar 0° nilai SNR yang dihasilkan sebesar 61,89998 dB dan nilai BER sebesar $1,80786 \times 10^{-15}$.
2. Ketika jarak antara transmitter dan receiver sejauh 5,18 meter dan sudut yang terbentuk sebesar 15° nilai SNR yang dihasilkan sebesar 61,89888 dB dan nilai BER sebesar $1,80887 \times 10^{-15}$.
3. Ketika jarak antara transmitter dan receiver sejauh 5,77 meter dan sudut yang terbentuk sebesar 30° nilai SNR yang dihasilkan sebesar 61,89608 dB dan nilai BER sebesar $1,81144 \times 10^{-15}$.

Sesuai dengan acuan nilai $BER \leq 10^{-3}$, semakin jauh jarak antara transmitter dan receiver 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. Pada Tabel 8 menunjukkan nilai parameter uji yang terdapat pada media propagasi pesisir terhadap sudut dan jarak.

Tabel 8 Nilai dari Media Air Keruh/Pelabuhan

Media Propagasi	Sudut (°)	Jarak (m)	Parameter Uji		
			SNR (dB)	Q-Factor	BER
Turbid	0	5	61,89998	30,94999	$1,80786 \times 10^{-15}$
		10	61,89164	30,94582	$1,81553 \times 10^{-15}$
		15	61,89009	30,94505	$1,81696 \times 10^{-15}$
		20	61,88955	30,94478	$1,81746 \times 10^{-15}$
	15	5,18	61,89888	30,94944	$1,80887 \times 10^{-15}$
		10,35	61,89136	30,94568	$1,81579 \times 10^{-15}$
		15,53	61,88997	30,94498	$1,81707 \times 10^{-15}$
		20,71	61,88948	30,94474	$1,81752 \times 10^{-15}$
	30	5,77	61,89608	30,94804	$1,81144 \times 10^{-15}$
		11,55	61,89066	30,94533	$1,81643 \times 10^{-15}$
		17,32	61,88966	30,94483	$1,81736 \times 10^{-15}$
		23,09	61,88931	30,94465	$1,81768 \times 10^{-15}$



5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dari analisis 3 skenario yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

Skenario pertama pada media air jernih Ketika jarak antara transmitter dan receiver sejauh 5 meter dan sudut yang terbentuk sebesar 0° nilai SNR yang dihasilkan sebesar 61,89030 dB dan nilai BER sebesar $1,81677 \times 10^{-15}$. Lalu ketika jarak antara transmitter dan receiver sejauh 5,18 meter dan sudut yang terbentuk sebesar 15° nilai SNR yang dihasilkan sebesar 61,89015 dB dan nilai BER sebesar $1,81690 \times 10^{-15}$. Dan ketika jarak antara transmitter dan receiver sejauh 5,77 meter dan sudut yang terbentuk sebesar 30° nilai SNR yang dihasilkan sebesar 61,88979 dB dan nilai BER sebesar $1,81723 \times 10^{-15}$.

Skenario kedua pada media pesisir pada saat jarak antara transmitter dan receiver sejauh 5 meter dan sudut yang terbentuk sebesar 0° nilai SNR yang dihasilkan sebesar 61,89059 dB dan nilai BER sebesar $1,81649 \times 10^{-15}$. Lalu ketika jarak antara transmitter dan receiver sejauh 5,18 meter dan sudut yang terbentuk sebesar 15° nilai SNR yang dihasilkan sebesar 61,89042 dB dan nilai BER sebesar $1,81665 \times 10^{-15}$. Dan ketika jarak antara transmitter dan receiver sejauh 5,77 meter dan sudut yang terbentuk sebesar 30° nilai SNR yang dihasilkan sebesar 61,88999 dB dan nilai BER sebesar $1,81705 \times 10^{-15}$.

Skenario ketiga pada media air keruh/pelabuhan pada saat jarak antara transmitter dan receiver sejauh 5 meter dan sudut yang terbentuk sebesar 0° nilai SNR yang dihasilkan sebesar 61,89998 dB dan nilai BER sebesar $1,80786 \times 10^{-15}$. Lalu ketika jarak antara transmitter dan receiver sejauh 5,18 meter dan sudut yang terbentuk sebesar 15° nilai SNR yang dihasilkan sebesar 61,89888 dB dan nilai BER sebesar $1,80887 \times 10^{-15}$. Dan ketika jarak antara transmitter dan receiver sejauh 5,77 meter dan sudut yang terbentuk sebesar 30° nilai SNR yang dihasilkan sebesar 61,89608 dB dan nilai BER sebesar $1,81144 \times 10^{-15}$.

Hasil parameter SNR dari tiap skenario paling optimal adalah pada jarak 5 m dan pada kasus nilainya semakin menurun seiring makin jauh jarak hingga batas maksimalnya 23,09 m. Sedangkan pada parameter BER nilainya semakin naik seiring bertambahnya jarak. Apabila nilai turbulensi di tinjau dari koefisien distribusi lognormal, media pelabuhan/turbid memiliki nilai koefisien turbulensi paling rendah dikarenakan memiliki kondisi paling buruk sehingga memperoleh performansi yang paling rendah. Nilai turbulensi yang diraih pada jarak propagasi antara transmitter dan receiver sejauh 5 meter adalah 0,197 pada sudut 0° , 0,203 pada sudut 15° , dan 0,224 pada sudut 30° .

Referensi :

- [1] A. Al-Kinani, C. X. Wang, L. Zhou, and W. Zhang, "Optical wireless communication channel measurements and models," *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 20, no. 3, pp. 1939–1962, 2018.
- [2] L. Teixeira, F. Loose, J. P. Brum, C. H. Barriquello, V. A. Reguera, and M. A. D. Costa, "On the LED Illumination and Communication Design Space for Visible Light Communication," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 55, no. 3, pp. 3264–3273, 2019.
- [3] H. Chun et al., "Visible light communication using a blue GaN μ LED and fluorescent polymer color converter," *IEEE Photonics Technology Letters*, vol. 26, no. 20, pp. 2035–2038, 2014.
- [4] Nor, N., Fabiyi, E., Abadi, M., Xuan Tang, Ghassemlooy, Z. and Burton, A., 2015. "Investigation of moderate-to-strong turbulence effects on free space optics - A laboratory demonstration," in 2015 13th International Conference on Telecommunications (ConTEL) Graz, Austria, July 13-15, 2015.
- [5] W. Liu, X. Zhengyuan., and Y. Liuqing, "SIMO detection schemes for underwater optical wireless communication under turbulence," *Photonic Research* vol. 3, issues 3, pp. 48-53, 2015.
- [6] B. Majleseini, A. Gholami, and Z. Ghassemlooy, "A Complete Model for Underwater Optical Wireless Communications System," 2018 11th Int. Symp. Commun. Syst. Networks Digit. Signal Process. CSNDSP 2018, pp. 1–5, 2018.