

ANALISIS KOMUNIKASI UNDERWATER PADA SISTEM OPTIK NIRKABEL

ANALYSIS OF UNDERWATER COMMUNICATION ON WIRELESS OPTICAL SYSTEM

Hasby Musthofa Irja¹, Desti Madya², Yusuf Nur Wijayanto³

^{1,2,3} Universitas Telkom, Bandung

hasbyirja@telkomuniversity.ac.id¹, destimadyasaputri@telkomuniversity.ac.id²,
yusufnwijayanto@telkomuniversity.ac.id³

Abstrak

Komunikasi Nirkabel saat ini menjadi teknologi yang berkembang dengan pesat terutama pengembangan untuk komunikasi bawah air. Komunikasi bawah air banyak diminati karena mempunyai banyak keuntungan kedepannya Beberapa teknologi yang sudah digunakan untuk komunikasi bawah air diantaranya Gelombang Radio, Gelombang akustik, dan Komunikasi Optik Nirkabel Bawah Air. Komunikasi Optik Nirkabel Bawah Air atau lebih dikenal *Underwater Wireless Optical Communication (UWOC)* lebih banyak diminati karena menawarkan kecepatan data yang lebih tinggi dari dengan konsumsi daya yang jauh lebih rendah, kapasitas bandwith yang lebih besar dan mempunyai tingkat kesulitan yang rendah daripada yang lain. Pada penelitian kali ini dilakukan analisis terhadap performa suatu sistem untuk mengirimkan data dengan media transmisi air. Penelitian ini berfokus kepada analisa beberapa indikator yaitu hubungan antara tegangan dengan jarak, delay dengan jarak, sudut dengan tegangan, dan sudut dengan delay

Kata kunci : *underwater, optik*

Abstract

Wireless Communication is currently a rapidly evolving technology especially development for underwater communication. Underwater communication is much in demand because it has many advantages in the future Some technologies that have been used for underwater communication include Radio Waves, Acoustic Waves, and Underwater Wireless Optical Communication. Underwater Wireless Optical Communication (UWOC) is more in demand because it offers higher data speeds with much lower power consumption, greater bandwidth capacity, and low difficulty than others. In this study, an analysis of the performance of a system was conducted to transmit data with water transmission media. This study focuses on analyzing several indicators, namely the relationship between voltage with distance, delay with distance, angle with voltage, and angle with delay

Keywords : *underwater, optic*

1. Pendahuluan

Air adalah pusat kehidupan dan sumber kehidupan di planet Bumi dan manusia. Eksplorasi lautan telah menarik banyak perhatian karena kepentingannya yang ilmiah, strategis, dan ekonomis. Dengan perkembangan teknologi yang sangat cepat, komunikasi nirkabel bawah air dan jaringan telah menjadi bidang yang berkembang dengan pesat dengan aplikasi luas dalam sistem berbasis komersil maupun militer. Kebutuhan komunikasi nirkabel bawah air dalam aplikasi seperti kendali jarak jauh di industri minyak lepas pantai, pemantauan polusi dalam sistem lingkungan, pengumpulan data ilmiah dari stasiun bawah laut, deteksi bencana dan peringatan dini, keamanan nasional dan pertahanan (deteksi intrusi dan pengawasan bawah air), serta penemuan sumber daya baru[1].

Pada saat ini banyak sekali penelitian tentang komunikasi optik untuk bawah air. Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan uji coba komunikasi optik bawah air menggunakan LED untuk mengirimkan data berupa gambar[2]. Hasil yang diperoleh dari penelitian tersebut berupa data pengujian pengiriman gambar dengan beberapa indikator uji coba seperti jarak yang ditempuh, waktu yang dicapai untuk mengirimkan suatu data, dan sudut pancar

Berdasarkan penelitian tersebut, Tugas Akhir ini akan menganalisa beberapa indikator, seperti tegangan, jarak, dan sudut berdasarkan data percobaan yang telah dilakukan pada penelitian sebelumnya.

2. Dasar Teori

2.1. Komunikasi bawah air

Komunikasi bawah air merupakan proses terjadinya pertukaran informasi yang terjadi di bawah air. Ada banyak teknologi yang bisa digunakan untuk komunikasi bawah air, yakni komunikasi akustik, gelombang radio (RF), dan komunikasi optik nirkabel. Komunikasi akustik adalah teknik yang sering digunakan untuk sambungan nirkabel bawah air karena mempunyai jarak sambungan yang jauh hingga puluhan kilometer. Namun, akustik untuk bawah air memiliki kekurangan yaitu memiliki latensi yang tinggi karena lambatnya propagasi gelombang suara pada air laut, pemakaian daya yang besar dan penyebaran *Doppler*[3]. Gelombang radio (RF) memiliki keunggulan untuk memberikan kecepatan data hingga puluhan Mbps. Namun teknologi ini memiliki kelemahan seperti jarak jangkauannya yang sangat pendek (beberapa meter), konsumsi energi yang tinggi, biaya yang tinggi dan perlu dilengkapi dengan antena besar [3]. Komunikasi optik nirkabel bawah air atau lebih dikenal *Underwater Wireless Optical Communication*(UWOC) adalah bagian dari teknologi komunikasi nirkabel yang menggunakan cahaya tampak untuk mengirimkan data di bawah air. Teknologi ini lebih unggul dibandingkan dengan gelombang radio dan gelombang akustik. UWOC sendiri memiliki banyak keunggulan, seperti *bandwith* yang besar, pemakaian daya yang rendah, serta pengiriman data yang tinggi[4]. Namun, teknologi ini masih ada kekurangan seperti terjadinya hamburan, turbulensi yang turunnnya jangkauan komunikasi yang signifikan sehingga memerlukan jaringan yang efisien[5].

2.2. Komunikasi Nirkabel

Komunikasi merupakan sebuah pertukaran makna-makna ataupun ide ide diantara komunikator dan komunikan. Pada umumnya, komunikasi dilakukan secara lisan atau verbal yang dapat dimengerti oleh kedua belah pihak[6]. Jaringan sensor nirkabel merupakan perangkat komunikasi yang memiliki kesederhanaan pada semua bagiannya, diantaranya yaitu prosesor, konsumsi daya rendah, antena dan beberapa detektornya. Oleh karena itu sistem ini jauh lebih fleksibel dan sangat cocok digunakan di era saat ini, selain itu sistem ini juga sudah banyak digunakan sebagai aplikasi monitoring di industri dan lingkungan baik *indoor* maupun *outdoor*[7]. Sebuah alat yang menggunakan sistem nirkabel memiliki beberapa keunggulan diantaranya yaitu kebebasan beraktifitas, kemudahan proses instalasi, dan are kerja yang luas [8].

2.3. Visible Light Communication

Visible Light Communication (VLC) adalah salah satu penerapan dari teknologi OWC dengan menggunakan *Light Emmiting Diode* (LED) sebagai sumber pengiriman cahaya dan memanfaatkan panjang gelombang sebesar 380-780 nm[9]. Selain data, sistem komunikasi ini juga dapat dimanfaatkan sebagai pengirim suara, audio, dan video[10]. VLC memiliki kelebihan yaitu bebas dari regulasi, memiliki cakupan bandwidth yang lebih besar, tahan terhadap interferensi elektromagnetik, transfer informasi lebih aman, dan aman untuk kesehatan. Salah satu perkembangan dalam teknologi VLC yaitu *Vehicle to Vehicle Communication*(V2V) with VLC system[11].

2.4. LED

LED atau singkatan dari Light Emitting Diode adalah salah satu komponen elektronik yang tidak asing lagi di kehidupan saat ini. LED ini banyak digunakan karena komsumsi daya yang dibutuhkan tidak terlalu besar[12]. LED memiliki beberapa kelebihan diantaranya hemat energi, daya tahan lebih lama, tidak memberikan panas, tidak memiliki kandungan Ultra Violet, dan ramah lingkungan[13].

2.5. Baudrate

Baudrate merupakan banyaknya jumlah pulsa yang dapat dikirim dalam setiap detik, melalui saluran transmisi tertentu. Baudrate ini perlu diperhatikan agar data yang dikirimkan dari *transmitter* ke *receiver* dapat tersinkronisasi dengan baik[14]. Satuan baudrate adalah Bps (bit-per-second) yang berarti berapa banyak bit data yang dapat dikirimkan setiap detiknya. Nilai baudrate ini beragam, diantaranya 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600 dan 115600.

2.6. Photodiode

Photodiode merupakan dioda yang berfungsi untuk mendeteksi cahaya dan mengubahnya menjadi arus listrik. Beberapa jenis cahaya yang dapat dideteksi oleh photodiode antara lain cahaya infrared, cahaya tampak, ultra ungu sampai dengan sinar-X[2]. Hal ini dapat ditunjukkan dengan rumus berikut[15]:

$$E_g = \frac{h \cdot c}{\lambda} \quad (2.1)$$

Keterangan :

E_g = Energi Foton

h = Potensial ionisasi ($4,134 \times 10^{-15}$ eV)

c = Kecepatan cahaya (3×10^8 m/s)

λ = Panjang gelombang (m)

2.7. Gelombang Elektromagnetik

Gelombang elektromagnetik merupakan gelombang yang membawa muatan energi listrik dan magnet tanpa memerlukan media rambat. Pada pembahasan mengenai gelombang terdapat beberapa istilah seperti periode yang dilambangkan dengan (T), yakni waktu yang diperlukan oleh suatu gelombang untuk merambat menempuh satu panjang gelombang. Gelombang juga memiliki frekuensi (f), yakni jumlah gelombang yang terjadi dalam setiap detik dengan satuan (Hz). Hubungan antara frekuensi dan periode dalam ditulis dengan persamaan berikut[16]:

$$f = \frac{1}{T} \text{ atau } T = \frac{1}{f} \quad (2.2)$$

2.8. Sifat-Sifat Cahaya

Menurut para ahli cahaya memiliki sifat diantaranya cahaya merambat lurus, cahaya merambat tanpa medium, dispersi cahaya/penguraian cahaya, refleksi cahaya/pemantulan cahaya, refraksi cahaya/pembelokan cahaya, difraksi cahaya/pelenturan cahaya, dan interferensi cahaya [17].

2.9. Model Propagasi Cahaya

Ketika cahaya melewati suatu media, maka akan mengalami suatu redaman. Berdasarkan persamaan relasi Kruse kita dapat menghitung penguatan/daya melalui konstanta redaman. Berikut ini adalah persamaan relasi Kruse[18]

$$Ae \left(\frac{dB}{km} \right) = \frac{17}{d(km)} \left(\frac{0.55}{\lambda(\mu m)} \right)^q \quad (2.3)$$

$$\frac{dB}{km} = \frac{17}{d(km)} \left(\frac{0.55}{\lambda(\mu m)} \right)^q \quad (2.4)$$

$$\frac{dB}{10^5} = \frac{17}{d(km)} \left(\frac{0.55}{\lambda(\mu m)} \right)^q \quad (2.5)$$

$$\frac{20 \log \frac{V_1}{V_0}}{10^5} = \frac{17}{d(km)} \left(\frac{0.55}{\lambda(\mu m)} \right)^q \quad (2.6)$$

$$\frac{20 \log \frac{V_1}{V_0}}{10^5} = \frac{17}{\frac{d}{10^5}} \left(\frac{0.55}{\lambda(\mu m)} \right)^q \quad (3.1)$$

$$20 \log \frac{V_1}{V_0} = \frac{17}{d} \left(\frac{0.55}{\lambda(\mu m)} \right)^q \quad (2.7)$$

$$\frac{V_1}{V_0} = \log^{-1} \frac{17}{20d} \left(\frac{0.55}{\lambda(\mu m)} \right)^q \quad (2.8)$$

Keterangan :

V1 = Tegangan output (V)

V2 = Tegangan input (V)

D = Jarak (km)

λ = Panjang gelombang (μm)

q = konstanta redaman

3. Perancangan

3.1. Cara Kerja Sistem

Dalam perancangan sistem yang digunakan pada tugas akhir ini terdiri dari dua bagian yaitu bagian input dan bagian output. Pada bagian input berupa data, rangkaian transmitter dan LED. Pada bagian output terdiri dari *photodiode*, rangkaian *receiver* dan data output berupa *image*. Proses awal sistem ini berawal dari input data digital berupa *image* yang akan diubah menjadi data analog pada rangkaian *transmitter*. Hasil sementara dari proses ini dikirimkan ke blok *receiver* melalui LED yang akan ditangkap oleh *photodiode*. Hasil ini diproses kembali menjadi data digital berupa *image* pada blok *receiver*.

3.2 Data Hasil Pengukuran

Berikut adalah data pengukuran yang didapat dari penelitian sebelumnya[2].

Tabel 1 Data pengukuran dengan baudrate 1200 Bps dan sudut 0°

No	Jarak	Baudrate	Tegangan	Waktu
1	25 cm	1200 Bps	4.4 V	02.09.0
2	40 cm	1200 Bps	4.4079 V	02.20.4
3	50 cm	1200 Bps	3.920 V	02.28.7
4	60 cm	1200 Bps	3.690 V	02.38.9
5	70 cm	1200 Bps	1.639 V	02.50.7
6	80 cm	1200 Bps	1.44 V	02.51.7
7	90 cm	1200 Bps	1.44 V	02.52.6
8	100 cm	1200 Bps	1 V	02.54.7

Tabel 2 Data pengukuran dengan baudrate 1200Bps dan sudut 10°

No	Jarak	Baudrate	Tegangan	Waktu
1	25 cm	1200 Bps	4.3 V	01.50
2	40 cm	1200 Bps	4.3 V	02.06
3	50 cm	1200 Bps	3.5 V	02.15
4	60 cm	1200 Bps	3.0 V	02.33
5	70 cm	1200 Bps	3.0 V	02.36

Tabel 3 Data pengukuran dengan baudrate 1200 Bps dan sudut 20°

No	Jarak	Baudrate	Tegangan	Waktu
1	25 cm	1200 Bps	4.4 V	01.25
2	40 cm	1200 Bps	4.4 V	01.43
3	50 cm	1200 Bps	4.3 V	01.52
4	60 cm	1200 Bps	1.2 V	02.32
5	70 cm	1200 Bps	0 V	0

Tabel 4 Data pengukuran dengan baudrate 9600 Bps dan sudut 0°

No	Jarak	Baud rate	Tegangan	Waktu
1	25 cm	9600 Bps	4.48 V	00.26.3
2	40 cm	9600 Bps	4.039 V	00.28.8
3	50 cm	9600 Bps	4.001V	00.33.0
4	60 cm	9600 Bps	3.8 V	00.36.2
5	70 cm	96 00 Bps	3.2 V	00.37.3

Tabel 5 Data pengukuran dengan baudrate 9600 Bps dan sudut 10°

No	Jarak	Baud rate	Tegangan	Waktu
1	25 cm	9600 Bps	4.239V	00.18.3
2	40 cm	9600 Bps	4.00 V	00.20.0
3	50 cm	9600 Bps	4.00 V	00.27.0
4	60 cm	9600 Bps	3.8 V	00.30.0
5	70 cm	9600 Bps	3.8 V	00.31.7

Tabel 6 Data pengukuran dengan baudrate 9600 Bps dan sudut 20°

No	Jarak	Baud rate	Tegangan	Waktu
1	25 cm	9600 Bps	4.079 V	00.15.1
2	40 cm	9600 Bps	3.9 V	00.17.7
3	50 cm	9600 Bps	3.8V	00.19.0
4	60 cm	9600 Bps	3.8 V	00.21.8
5	70 cm	9600 Bps	3.6 V	00.28.9

3.3. Perhitungan nilai Konstanta redaman (q) untuk media air

Berikut ini adalah perhitungan nilai konstanta redaman (q) untuk media air berdasarkan persamaan 2.8 dengan panjang gelombang 650 μm .

3.3.1 Baudrate 1200 Bps

a. Jarak 25 cm – 40 cm

$$\begin{aligned} \frac{V_1}{V_0} &= \log^{-1} \frac{17}{20d} \left(\frac{0.55}{\lambda(\mu\text{m})} \right)^q \\ \frac{4,4079}{4,4} &= \log^{-1} \frac{17}{20(40-25)} \left(\frac{0,55}{0,65} \right)^q \\ 1,002 &= \log^{-1}(0,056) (0,85)^q \\ 1,002 &= 1,137 (0,85)^q \\ (0,85)^q &= \frac{1,002}{1,137} \\ (0,85)^q &= 0,881 \\ q &= \frac{\log 0,881}{\log 0,85} \\ q &= 0,78 \end{aligned}$$

Untuk jarak 25 – 40 cm pada *baudrate* 1200 Bps diperoleh nilai konstanta redaman sebesar 0,78.

b. Jarak 40 cm – 50 cm

$$\begin{aligned} \frac{V_1}{V_0} &= \log^{-1} \frac{17}{20d} \left(\frac{0.55}{\lambda(\mu\text{m})} \right)^q \\ \frac{3,930}{4,4079} &= \log^{-1} \frac{17}{20(50-40)} \left(\frac{0,55}{0,65} \right)^q \\ 0,889 &= \log^{-1}(0,085) (0,85)^q \\ 0,889 &= 1,216 (0,85)^q \\ (0,85)^q &= 0,731 \\ q &= \frac{\log 0,731}{\log 0,85} \\ q &= 1,928 \end{aligned}$$

Untuk jarak 40 – 50 cm pada *baudrate* 1200 Bps diperoleh nilai konstanta redaman sebesar 1,928.

c. Jarak 50 cm – 60 cm

$$\begin{aligned}\frac{V_1}{V_0} &= \log^{-1} \frac{17}{20d} \left(\frac{0.55}{\lambda(\mu\text{m})} \right)^q \\ \frac{3,690}{3,920} &= \log^{-1} \frac{17}{20(60-50)} \left(\frac{0.55}{0,65} \right)^q \\ 0,941 &= \log^{-1}(0,085) (0,85)^q \\ 0,941 &= 1,216 (0,85)^q \\ (0,85)^q &= 0,774 \\ q &= \frac{\log 0,774}{\log 0,85} \\ q &= 1,58\end{aligned}$$

Untuk jarak 50 – 60 cm pada *baudrate* 1200 Bps diperoleh nilai konstanta redaman sebesar 0,774.

d. Jarak 60 cm – 70 cm

$$\begin{aligned}\frac{V_1}{V_0} &= \log^{-1} \frac{17}{20d} \left(\frac{0.55}{\lambda(\mu\text{m})} \right)^q \\ \frac{1,639}{3,690} &= \log^{-1} \frac{17}{20(70-60)} \left(\frac{0.55}{0,65} \right)^q \\ 0,444 &= \log^{-1}(0,085) (0,85)^q \\ 0,444 &= 1,216 (0,85)^q \\ (0,85)^q &= 0,365 \\ q &= \frac{\log 0,365}{\log 0,85} \\ q &= 6,201\end{aligned}$$

Untuk jarak 60 – 70 cm pada *baudrate* 1200 Bps diperoleh nilai konstanta redaman sebesar 6,201.

e. Jarak 70 cm – 80 cm

$$\begin{aligned}\frac{V_1}{V_0} &= \log^{-1} \frac{17}{20d} \left(\frac{0.55}{\lambda(\mu\text{m})} \right)^q \\ \frac{1,44}{1,639} &= \log^{-1} \frac{17}{20(80-70)} \left(\frac{0.55}{0,65} \right)^q \\ 0,88 &= \log^{-1}(0,085) (0,85)^q \\ 0,88 &= 1,216 (0,85)^q \\ (0,85)^q &= 0,724 \\ q &= \frac{\log 0,724}{\log 0,85} \\ q &= 1,99\end{aligned}$$

Untuk jarak 70 – 80 cm pada *baudrate* 1200 Bps diperoleh nilai konstanta redaman sebesar 1,99.

f. Jarak 80 cm – 90 cm

$$\begin{aligned}\frac{V_1}{V_0} &= \log^{-1} \frac{17}{20d} \left(\frac{0.55}{\lambda(\mu\text{m})} \right)^q \\ \frac{1,44}{1,44} &= \log^{-1} \frac{17}{20(90-80)} \left(\frac{0.55}{0,65} \right)^q \\ 1 &= \log^{-1}(0,085) (0,85)^q \\ 1 &= 1,216 (0,85)^q \\ (0,85)^q &= 0,822 \\ q &= \frac{\log 0,822}{\log 0,85} \\ q &= 1,21\end{aligned}$$

Untuk jarak 80 – 90 cm pada *baudrate* 1200 Bps diperoleh nilai konstanta redaman sebesar 1,21.

g. Jarak 90 cm – 100 cm

$$\frac{V_1}{V_0} = \log^{-1} \frac{17}{20d} \left(\frac{0.55}{\lambda(\mu m)} \right)^q$$

$$\frac{1}{1.44} = \log^{-1} \frac{17}{20(100-90)} \left(\frac{0.55}{0.65} \right)^q$$

$$0.694 = \log^{-1}(0.085) (0.85)^q$$

$$0.694 = 1.216 (0.85)^q$$

$$(0.85)^q = 0.571$$

$$q = \frac{\log 0.571}{\log 0.85}$$

$$q = 3.45$$

Untuk jarak 90 – 100 cm pada *baudrate* 1200 Bps diperoleh nilai konstanta redaman sebesar 3.45.

3.3.2 Baudrate 9600 Bps

a. Jarak 25 cm – 40 cm

$$\frac{V_1}{V_0} = \log^{-1} \frac{17}{20d} \left(\frac{0.55}{\lambda(\mu m)} \right)^q$$

$$\frac{4.4039}{4.48} = \log^{-1} \frac{17}{20(40-25)} \left(\frac{0.55}{0.65} \right)^q$$

$$0.901 = \log^{-1}(0.056) (0.85)^q$$

$$0.901 = 1.137 (0.85)^q$$

$$(0.85)^q = \frac{0.901}{1.137}$$

$$(0.85)^q = 0.792$$

$$q = \frac{\log 0.792}{\log 0.85}$$

$$q = 1.43$$

Untuk jarak 25 – 40 cm pada *baudrate* 9600 Bps diperoleh nilai konstanta redaman sebesar 1.43.

b. Jarak 40 cm – 50 cm

$$\frac{V_1}{V_0} = \log^{-1} \frac{17}{20d} \left(\frac{0.55}{\lambda(\mu m)} \right)^q$$

$$\frac{4.001}{4.039} = \log^{-1} \frac{17}{20(50-40)} \left(\frac{0.55}{0.65} \right)^q$$

$$0.991 = \log^{-1}(0.085) (0.85)^q$$

$$0.991 = 1.216 (0.85)^q$$

$$(0.85)^q = 0.815$$

$$q = \frac{\log 0.815}{\log 0.85}$$

$$q = 1.259$$

Untuk jarak 40 – 50 cm pada *baudrate* 9600 Bps diperoleh nilai konstanta redaman sebesar 1.259.

c. Jarak 50 cm – 60 cm

$$\frac{V_1}{V_0} = \log^{-1} \frac{17}{20d} \left(\frac{0.55}{\lambda(\mu m)} \right)^q$$

$$\frac{3.8}{4.001} = \log^{-1} \frac{17}{20(60-50)} \left(\frac{0.55}{0.65} \right)^q$$

$$0.949 = \log^{-1}(0.085) (0.85)^q$$

$$0.949 = 1.216 (0.85)^q$$

$$(0.85)^q = 0.780$$

$$q = \frac{\log 0.780}{\log 0.85}$$

$$q = 1.5$$

Untuk jarak 50 – 60 cm pada *baudrate* 9600 Bps diperoleh nilai konstanta redaman sebesar 1.5.

d. Jarak 60 cm – 70 cm

$$\frac{V_1}{V_0} = \log^{-1} \frac{17}{20d} \left(\frac{0.55}{\lambda(\mu m)} \right)^q$$

$$\frac{3,2}{3,8} = \log^{-1} \frac{17}{20(70-60)} (0,55)^q$$

$$0,842 = \log^{-1}(0,085) (0,85)^q$$

$$0,842 = 1,216 (0,85)^q$$

$$(0,85)^q = 0,692$$

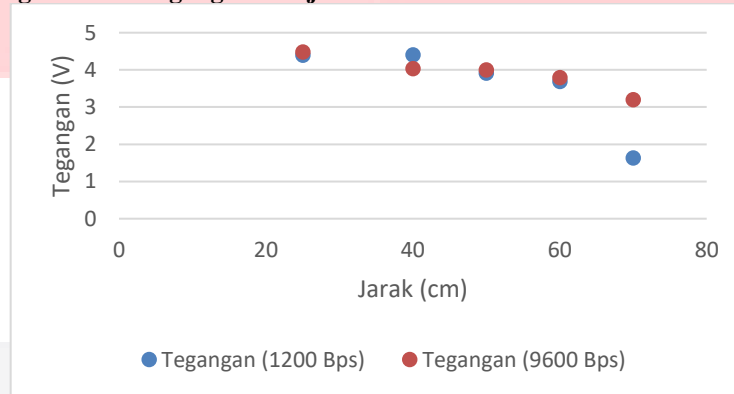
$$q = \frac{\log 0,692}{\log 0,85}$$

$$q = 2,27$$

Untuk jarak 60 – 70 cm pada *baudrate* 9600 Bps diperoleh nilai konstanta redaman sebesar 2,27.

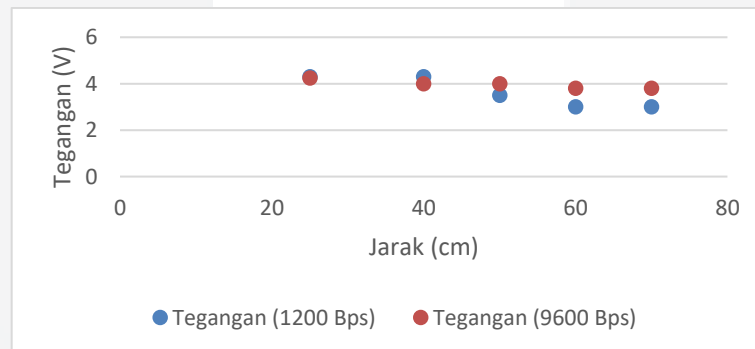
4. Analisis

4.1. Perbandingan antara tegangan dan jarak



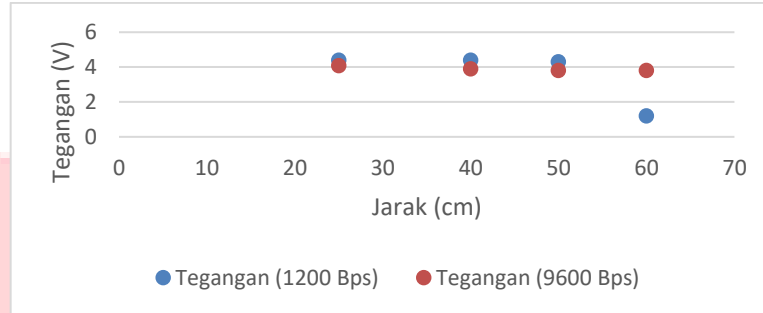
Gambar 1 Grafik perbandingan tegangan dan jarak pada sudut 0°

Berdasarkan gambar diatas dapat diambil kesimpulan setiap peningkatan jarak sebesar 1 cm terjadi penurunan daya yang diterima sebesar 0.0613 V untuk baudrate 1200 Bps. Pada baudrate 9600 Bps setiap peningkatan jarak sebesar 1 cm terjadi pengurangan daya sebesar 0.0284 V. Hal ini terjadi karena pada saat cahaya melewati media transmisi air akan mengalami redaman. Redaman ini akan mengakibatkan terjadinya penurunan tegangan di setiap pertambahan jarak.



Gambar 2 Grafik perbandingan tegangan dan jarak pada sudut 10°

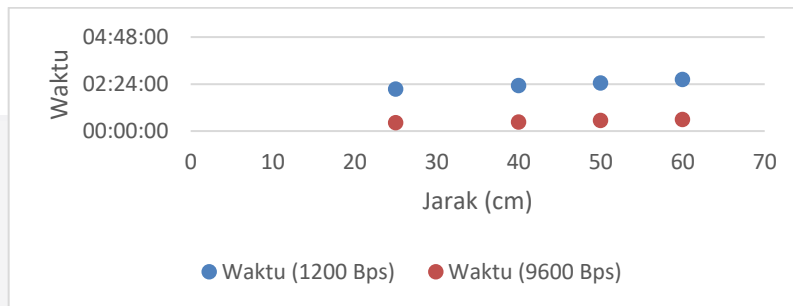
Berdasarkan gambar diatas dapat diambil kesimpulan pada baudrate 1200 Bps setiap penigkatan jarak sebesar 1 cm terjadi penurunan daya sebesar 0.0289 V. Pada baudrate 9600 Bps, setiap peningkatan jarak sebesar 1 cm terjadi penurunan daya sebesar 0.0098 V. Hal ini terjadi karena pada saat cahaya melewati media transmisi air akan mengalami redaman. Redaman ini akan mengakibatkan terjadinya penurunan tegangan di setiap pertambahan jarak.



Gambar 3 Grafik perbandingan jarak dan tegangan pada sudut 20°

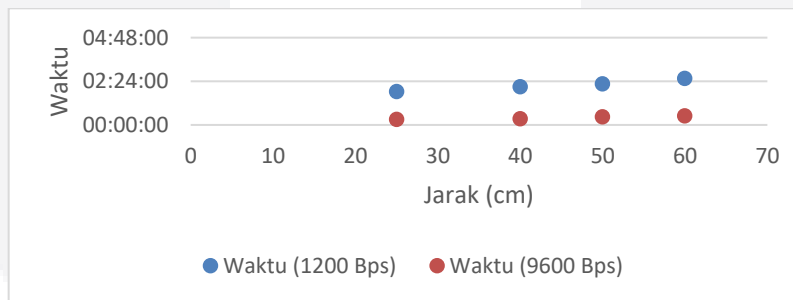
Berdasarkan gambar diatas dapat disimpulkan pada baudrate 1200 Bps setiap penambahan jarak sejauh 1 cm terjadi pengurangan daya sebesar 0.0914 V. Pada baudrate 9600 Bps setiap penambahan jarak sejauh 1 cm terjadi pengurangan daya sebesar 0.0079 V. Hal ini terjadi karena pada saat cahaya melewati media transmisi air akan mengalami redaman. Redaman ini akan mengakibatkan terjadinya penurunan tegangan di setiap pertambahan jarak.

4.2 Perbandingan antara delay dan jarak



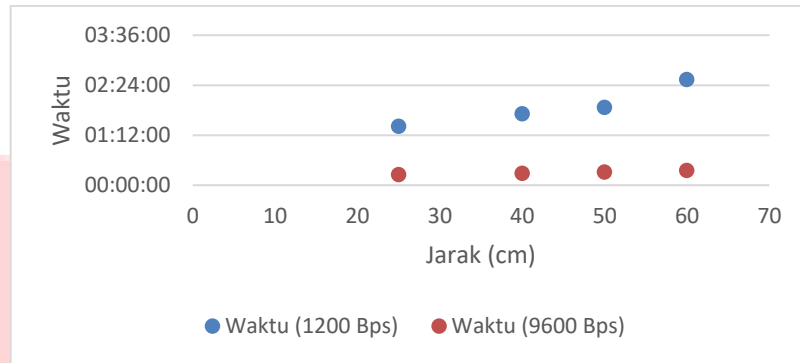
Gambar 4 Grafik perbandingan delay dan jarak pada sudut 0°

Berdasarkan gambar diatas dapat disimpulkan pada baudrate 1200 Bps setiap terjadi kenaikan jarak sejauh 1 cm terjadi penambahan waktu sebesar 0.854 detik. Pada baudrate 9600 Bps setiap pertambahan jarak sejauh 1 cm terjadi penambahan waktu sebesar 0.282 detik. Hal ini sesuai dengan persamaan cepat rambat gelombang. Semakin jauh jarak yang ditempuh, maka waktu yang dibutuhkan juga semakin bertambah.



Gambar 5 Grafik perbandingan delay dan jarak pada sudut 10°

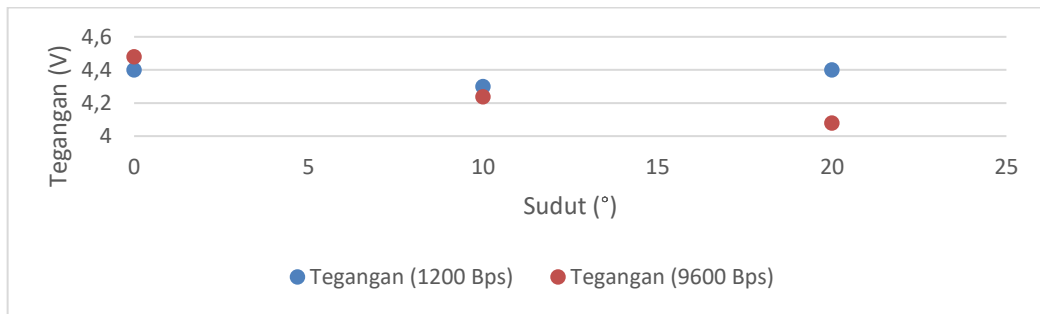
Berdasarkan gambar diatas dapat disimpulkan bahwa pada baudrate 1200 Bps setiap penambahan jarak sejauh 1 cm terjadi penambahan waktu sebesar 1.229 detik. Pada baudrate 9600 Bps setiap pertambahan jarak sebesar 1 cm terjadi penambahan waktu sebesar 0.317 detik. Hal ini sesuai dengan persamaan cepat rambat gelombang. Semakin jauh jarak yang ditempuh, maka waktu yang dibutuhkan juga semakin bertambah.



Gambar 6 Grafik perbandingan delay dan jarak pada sudut 20°

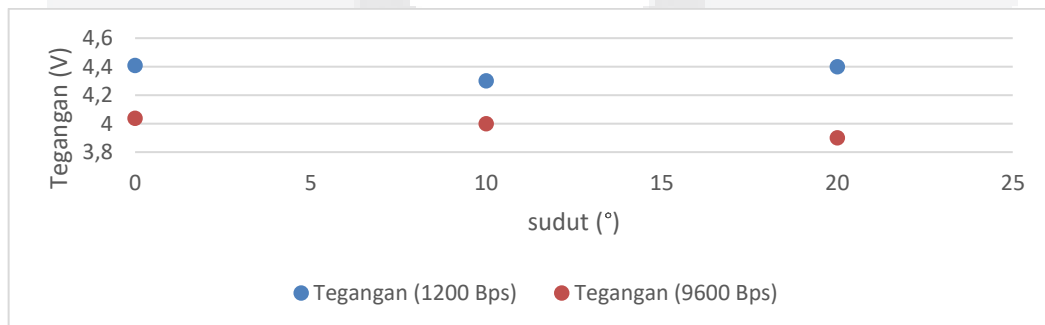
Berdasarkan gambar diatas dapat disimpulkan pada baudrate 1200 Bps setiap penambahan jarak sejauh 1 cm terjadi penambahan waktu sebesar 1.914 detik. Pada baudrate 9600 Bps setiap penambahan jarak sejauh 1 cm terjadi penambahan waktu sebesar 0.191 detik. Hal ini sesuai dengan persamaan cepat rambat gelombang. Semakin jauh jarak yang ditempuh, maka waktu yang dibutuhkan juga semakin bertambah.

4.3 Perbandingan antara sudut dan tegangan



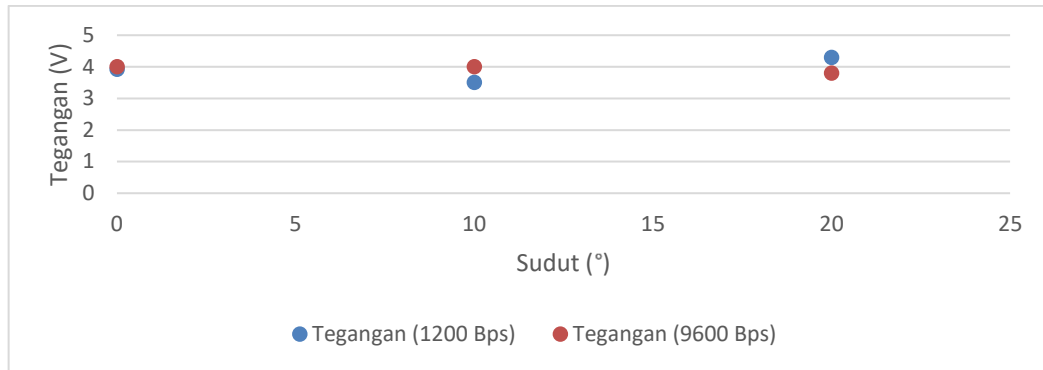
Gambar 7 Grafik perbandingan sudut dengan tegangan dengan jarak 25cm

Berdasarkan gambar diatas dapat disimpulkan bahwa pada baudrate 9600 Bps setiap kenaikan sudut sebesar 1° terjadi penurunan tegangan sebesar 0.02 V. Hal ini terjadi karena peristiwa refraksi/ pembiasan cahaya. Ketika cahaya melewati media air, cahaya akan mengalami pembelokan yang mengakibatkan cahaya yang akan diterima pada *photodiode* tidak maksimal. Hal ini menyebabkan tegangan yang diterima menjadi berkurang.



Gambar 8 Grafik perbandingan sudut dengan tegangan pada jarak 40 cm

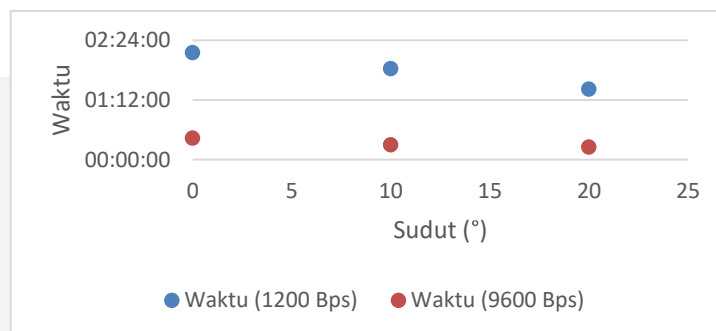
Berdasarkan gambar diatas dapat disimpulkan pada baudrate 9600 Bps setiap kenaikan sudut sebesar 1° terjadi penurunan tegangan sebesar 0.006 V. Hal ini terjadi karena peristiwa refraksi/ pembiasan cahaya. Ketika cahaya melewati media air, cahaya akan mengalami pembelokan yang mengakibatkan cahaya yang akan diterima pada *photodiode* tidak maksimal. Hal ini menyebabkan tegangan yang diterima menjadi berkurang.



Gambar 9 Grafik perbandingan sudut dengan tegangan pada jarak 50 cm

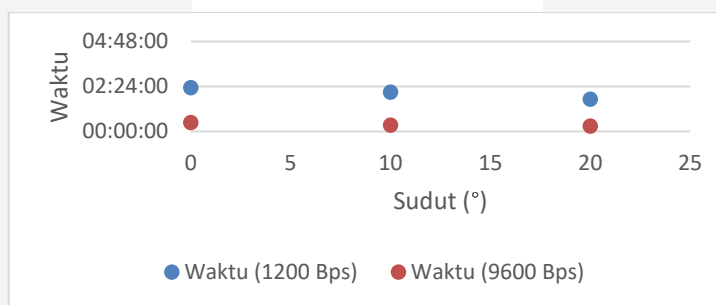
Berdasarkan gambar diatas dapat disimpulkan pada baudrate 9600 Bps untuk kenaikan sudut sebesar 1° terjadi penurunan tegangan sebesar 0.01 V. Hal ini terjadi karena peristiwa refraksi/ pembiasan cahaya. Ketika cahaya melewati media air, cahaya akan mengalami pembelokan yang mengakibatkan cahaya yang akan diterima pada *photodiode* tidak maksimal. Hal ini menyebabkan tegangan yang diterima menjadi berkurang.

4.4 Perbandingan antara sudut dan delay



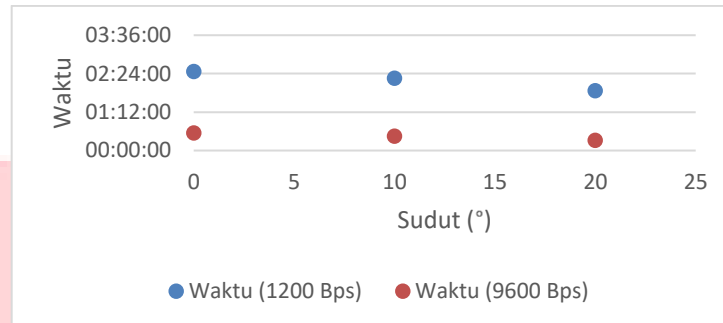
Gambar 10 Grafik perbandingan sudut dengan waktu pada jarak 25cm

Berdasarkan gambar diatas dapat disimpulkan pada baudrate 1200 Bps setiap kenaikan sudut sebesar 1° terjadi penurunan waktu sebesar 2.2 detik. Pada baudrate 9600 Bps setiap kenaikan sudut sebesar 1° terjadi penurunan waktu sebesar 0.56 detik.



Gambar 11 Grafik perbandingan sudut dengan delay pada jarak 40 cm

Berdasarkan gambar diatas dapat disimpulkan pada baudrate 1200 Bps setiap kenaikan sudut sebesar 1° terjadi penurunan waktu sebesar 1.87 detik. Pada baudrate 9800 Bps, setiap kenaikan sudut sebesar 1° terjadi penurunan waktu sebesar 0.55 detik.



Gambar 12 Grafik perbandingan sudut dengan delay pada jarak 50 cm

Berdasarkan gambar diatas dapat disimpulkan pada baudrate 1200 Bps, setiap kenaikan sudut sebesar 1° terjadi penurunan waktu sebesar 1.83 detik. Pada baudrate 9600 Bps, setiap kenaikan sudut sebesar 1° terjadi penurunan waktu sebesar 0.7 detik.

4.5 Nilai konstanta untuk jarak pada media air

Berdasarkan dari persamaan (3.7) kita dapat menghitung nilai konstanta redaman untuk media air berdasarkan data percobaan pada tabel 3.1 dan 3.4

Tabel 7 Nilai konstanta q untuk kedua baudrate

No	Jarak	q (1200 Bps)	q (9600 Bps)
1	25 - 40 cm	0.78	1.43
2	40 - 50 cm	1.928	1.259
3	50 - 60 cm	1.58	1.5
4	60 - 70 cm	6.201	2.27
5	70 - 80 cm	1.99	0
6	80 - 90 cm	1.21	0
7	90 - 100 cm	3.45	0

Tabel 7 merupakan nilai konstanta redaman (q) untuk kedua baudrate. Untuk baudrate 1200 Bps dapat diambil kesimpulan nilai rata-rata konstanta redaman (q) untuk jarak pancar kurang dari 100 cm sebesar 2.448. Untuk baudrate 9600 Bps nilai rata-rata konstanta redaman (q) untuk jarak pancar kurang dari 100 cm sebesar 0.923.

5. Kesimpulan

Terkait dengan Tugas Akhir yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

Dalam melakukan pengiriman data berupa gambar pada media air hubungan antar keempat indikator percobaan saling sejajar. Jika salah satu indikator mengalami penambahan nilai maka indikator yang lain pun akan mengalami hal yang sama. Dan berdasarkan penurunan dari persamaan Relasi Kruse kita dalam mengetahui nilai rata-rata konstanta redaman (q) untuk media air dengan jarak pancar kurang dari 100 cm

REFERENSI

- [1] J.-H. C. S. D. M. G. M. C. XI Zhang, "Underwater Wireless Communications and Network Theory and Application: Part 2," *IEEE Communication Magazine*, 2016.
- [2] R. M. Sari, "Perancangan Komunikasi Underwater untuk Pengiriman Image Menggunakan Array Photodetektor," 2018
- [3] H. M. Oubei *et al.*, "Light based underwater wireless communications," in *Japanese Journal of Applied Physics*, Aug. 2018, vol. 57, no. 8. doi: 10.7567/JJAP.57.08PA06.
- [4] Saveetha Engineering College. Department of Electronics and Communication Engineering, Saveetha Engineering College. IEEE Student Branch, Institution of Electronics and Telecommunication Engineers (India), and Institute of Electrical and Electronics Engineers, *7th International Conference on "Smart Structures and Systems" : 23rd & 24th July, 2020.*

- [5] N. Saeed, A. Celik, T. Y. Al-Naffouri, and M.-S. Alouini, "Underwater Optical Wireless Communications, Networking, and Localization: A Survey," Feb. 2018, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1803.02442>
- [6] R. M. Caropeboka and U. B. D. Palembang, *Konsep dan Aplikasi Ilmu Komunikasi*. Penerbit Andi. [Online]. Available: <https://books.google.co.id/books?id=WvY7DwAAQBAJ>
- [7] F. ROFIL, F.- HUNAINI, and S. SHOLAWATI, "Kinerja Jaringan Komunikasi Nirkabel Berbasis Xbee pada Topologi Bus, Star dan Mesh," *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, vol. 6, no. 3, p. 393, Oct. 2018, doi: 10.26760/elkomika.v6i3.393.
- [8] J. Enterprise, *MEMBUAT JARINGAN INTERNET WIRELESS TANPA BANTUAN TEKNISI*. Elex Media Komputindo, 2013. [Online]. Available: <https://books.google.co.id/books?id=VkhbDwAAQBAJ>
- [9] B. S. PRATAMA, N. M. ADRIANSYAH, and B. PAMUKTI, "Analisis Performansi Multi User Detection pada Kanal NLOS untuk Sistem NOMA-VLC," *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, vol. 9, no. 2, p. 482, Apr. 2021, doi: 10.26760/elkomika.v9i2.482.
- [10] D. Yulian, D. Darlis, and S. Aulia, "PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI PERANGKAT VISIBLE LIGHT COMMUNICATION SEBAGAI TRANSCEIVER VIDEO DESIGN AND IMPLEMENTATION VISIBLE LIGHT COMMUNICATION DEVICES AS VIDEO TRANSCEIVER," 2015. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/File:EM_spectrum.svg
- [11] A. Yanatun, K. Sujatmoko, and B. Pamukti, "ANALYSIS OF WEATHER EFFECT AND VEHICLE INTERFERENCE ON VEHICLE TO VEHICLE ON COMMUNICATION WITH VLC SYSTEM."
- [12] M. Faridha *et al.*, "ANALISA PEMAKAIAN DAYA LAMPU LED PADA RUMAH TIPE 36".
- [13] I. Septianingsih and Y. F. Zani, "SOSIALISASI PENGENALAN LED SEBAGAI LAMPU HEMAT ENERGI DI DUSUN PENDEM," 2020. [Online]. Available: <http://ejournal.ubharajaya.ac.id/index.php/JSTPM>
- [14] S. Telemetri, T. Berbasis, M. Nurjannah, L. Hasanah, and A. Aminudin, "Analisis Jangkauan Dan Baud Rate Transmisi Data Pada," 2016. [Online]. Available: <http://ejournal.upi.edu/index.php/wafi>
- [15] R. B. Siregar, "PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI KOMUNIKASI DALAM AIR MENGGUNAKAN PHOTODIODA SEBAGAI RECEIVER VISIBLE," 2018.
- [16] Akhadi. Mukhlis, "Spektrum Elektromagnetik", *Mengungkap Hakekat Sinar-X*, Yogyakarta: DEEPUBLISH, 2021, 67-70.
- [17] Shafira. Maya, "Klasifikasi & Sifat-Sifat Cahaya", *Fisika Optik Umum dan Mata*, Bandung: Media Sains Indonesia, 2021, 3-9.
- [18] H. Henniger and O. Wilfert, "An introduction to free-space optical communications," *Radioengineering*, vol. 19, no. 2, pp. 203–212, 2010.