ANALISIS PERFORMANSI WDM UVLC MENGGUNAKAN LASER DENGAN MODULASI OOK- RZ DAN OOK-NRZ

WDM UVLC PERFORMANCE ANALYSIS USING LASER WITH OOK-RZ AND OOK-NRZ MODULATION

Taufiq Eldar Putra[1], Nachwan Mufti A.[2], M. Irfan Maulana.[3]
[1] Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom
[2] Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom
[3] Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom
[1]**taufiqeldar@student.telkomuniversity.ac.id**, [2]**nachwanma@telkomuniversity.ac.id**, [3] **muhammadirfanm@telkomuniversity.ac.id**

Abstrak
Kebutuhan akses informasi yang semakin cepat menjadi salah satu tantangan dalam perkembangan teknologi telekomunikasi. Radio Frequency (RF) merupakan salah satu teknologi nirkabel yang paling banyak digunakan, namun teknologi ini memiliki beberapa kekurangan yaitu semakin sedikitnya frekuensi yang tersedia, kecepatan yang terbatas dan masih dapat diretas. Teknologi VLC memiliki tingkat keamanan yang tinggi, kecepatan yang jauh lebih cepat dan lisensi spektrum yang masih bebas.

Tugas Akhir ini menggunakan Wavelenght Division Multiplexing (WDM) pada rangkaian UVLC. Berfokus untuk menganalisis nilai BER dan Q-Factor menggunakan rangkaian WDM UVLC dengan penggunaan modulasi OOK-RZ dan OOK-NRZ. Pengujian dilakukan pada jarak yang bervariasi dari 250 meter, 500 meter, 750 meter hingga 1000 meter. Serta dengan yang bervariasi dari 2 Watt, 4 Watt, 6 Watt, 8 Watt dan 10 Watt.

Berdasarkan hasil penelitian, dapat dibuat presentase untuk perbandingan BER dan Q-Factor pada rangkaian OOK-RZ tanpa WDM dan OOK-RZ dengan WDM. Presentasi kenaikan BER sebesar 0.025% pada LASER dengan panjang gelombang 514 nm pada rangkaian OOK-RZ dengan WDM. Rangkaian yang menggunakan WDM menghasilkan kenaikan Q-Factor sebesar 100% pada LASER dengan panjang gelombang 488 sebagai sumber pertama, serta kenaikan sebesar 57% pada sumber kedua. Pada hasil Q-Factor, penggunaan WDM dapat menghasilkan penurunan hingga sebesar 210%.

Kata Kunci : ***UVLC, OOK-NRZ, OOK-RZ, SNR, BER, Q-Factor, Wavelengh Division Multiplexing*.**

Abstract
The need for faster access to information is one of the challenges in the development of telecommunications technology. Radio Frequency (RF) is one of the most widely used wireless technologies, but this technology has several disadvantage, the fewer available frequencies, limited speed. VLC technology utilizes light as a carrier signal to carry information so that it has a high level of security, much faster speeds and free spectrum licenses.

In this final project, Wavelength Division Multiplexing (WDM) is used in the UVLC circuit. Focusing on analyzing BER and Q-Factor values using WDM UVLC circuit with OOK-RZ and OOK-NRZ modulation. Tests are carried out at various distances from 250 meters, 500 meters, 750 meters to 1000 meters. The power is also varies from 2 Watt, 4 Watt, 6 Watt, 8 Watt and 10 Watt.

The percentage increase in BER is 0.025% on a LASER with a wavelength of 514 nm in the OOK-RZ circuit with WDM. The circuit using WDM resulted in a 100% Q-Factor increase in the LASER with a wavelength of 488 as the first source, and a 57% increase in the second source. In the Q-Factor results, the use of WDM resulted in a decrease up to 210%.

Keywords** : **UVLC, OOK-NRZ, OOK-RZ, SNR, BER, Q-Factor, Wavelengh Division Multiplexing.

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan zaman, teknologi juga ikut berkembang khususnya teknologi komunikasi dan informasi. Komunikasi yang digunakan masih banyak menggunakan teknologi lama dimana penggunaan teknologi radio saat ini terhalang dengan padatnya trafik. Maka dengan keadaan tersebut digunakan teknologi *Visible Light Communication* (VLC) yang merupakan salah satu teknologi sistem komunikasi yang menggunakan gelombang elektromagnetik yang bekerja pada spektrum cahaya tampak.

Namun VLC juga ikut berkembang hingga sekarang, dengan salah satu perkembangannya yaitu komunikasi dibawah laut atau disebut *Underwater* VLC (UVLC). Perbedaan dengan ruang bebas yaitu pada terbatasnya bandwith pada cahaya dan nilai eksponensialnya. UVLC merupakan teknologi *Underwater Wireless Optical Communication* (UWOC) yang menggunakan pita tampak pada spektrum elektromagnetik (450 - 550 nm), air relatif transparan terhadap cahaya dan absorpsi membutuhkan nilai minimumnya [1]. Terdapat redaman cahaya pada UVLC oleh air yang disebabkan oleh hamburan dan absorpsi, yang memengaruhi amplitudo, fase, dan sudut tembak cahaya. Ini adalah mekanisme penyerapan utama di laut dan sangat bervariasi dengan panjang gelombang [2].

Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (LASER) dapat digunakan sebagai sumber cahaya pada UVLC untuk kecepatan data nirkabel bawah air dalam rentang puluhan Mbps. LASER yang digunakan dapat berwana biru-hijau (450 nm - 550 nm), karena air relative transparan terhadap kedua cahaya tersebut. Digunakan untuk menganalisa *Wavelenght Division Multiplex* (WDM). WDM merupakan pemanfaatan cahaya pada serat optik dengan panjang gelombang berbeda yang ditrasmisikan ke berbagai kanal dalam sebuah fiber tunggal pada teknologi jaringan transport. Lalu dimodulasi dengan OOK-NRZ dan OOK-RZ, dimana *On-Off Keying* (OOK) merupakan bagian dari ASK. Dinyatakan dengan bit 0 dan 1, dimana bit 1 menyatakan sumber cahaya sebagai "*on*" dan sebaliknya bit 0 menyatakan sumber cahay sebagai "*off*".

2. Dasar Teori

2.1. *Underwater Visible Light Communication (UVLC)*

Underwater Visible Light Communication (UVLC) atau Komunikasi Cahaya Tampak Bawah Air merupakan teknologi perkembangan dari *Visible Light Communication* (VLC) yang merupakan komunikasi yang diterapkan di bawah air. Sistem komunikasi ini dapat membawa informasi dengan modulasi cahaya tampak di bawah air. Berbeda dengan VLC yang diterapkan pada media udara dengan nilai indeks bias 1, UVLC diterapkan pada media air dengan nilai indeks bias >1. Teknologi UVLC menggunakan LASER sebagai sumber optik, karena hal tersebut teknologi UVLC merupakan komunikasi jarak pendek.

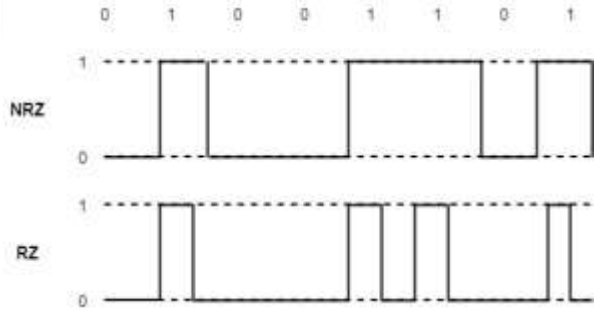
2.2. *Photodetector*

Photodetector adalah komponen utama dalam *receiver* pada sistem VLC, yang berfungsi sebagai konversi sinyal cahaya menjadi listrik. Contoh cahaya yang dapat diterima oleh fotodioda yaitu cahaya tampak, inframerah, ultraviolet, dan sinar X [6].

Resistansi Fotodioda dipengaruhi pada intensitas cahaya yang diterimanya. Jika cahaya yang diterima banyak, maka resistansi yang dihasilkan akan semakin kecil, sebaliknya jika intensitas cahaya yang diterima sedikit maka resistansi yang dihasilkan akan semakin besar [7]. Fotodioda memiliki dua jenis yaitu *Positive Intrinsic Negative Photodetector* (PIN-PD) dan *Avalanche Photodiode* (APD).

2.3 *On-Off Keying*

Pada umumnya, modulasi *On-Off Keying* (OOK) yang termasuk kedalam jenis *Amplitude Shift Keying* (ASK) yang merupakan modulasi digital yang paling banyak digunakan, terutama pada *Optical Wireless Communication* (OWC). Hal ini disebabkan karena sederhananya implementasi OOK [5]. Skema modulasi OOK memiliki sistem kerja seperti saklar yang di mana pada skema OOK, bit 1 melambangkan adanya pulsa optik pada suatu interval, atau bahwa sumber cahaya hidup (*on*), sedangkan bit 0 melambangkan ketiadaan pulsa optik atau sumber cahaya mati (*off*). Terdapat dua format modulasi OOK yaitu modulasi *On-Off Keying Non Return to Zero* (OOK-NRZ) dan *On-Off Keying Return to Zero* (OOK-RZ).



Gambar 2.1

2.4 Jarak Receiver terhadap Transmitter

Pada suatu sistem komunikasi cahaya tampak, semakin jauh jarak *receiver* terhadap *transmitter* atau sumber cahaya, maka akan semakin kecil intensitas cahaya yang diterima oleh *photodetector*. Begitu juga sebaliknya, semakin dekat jarak *receiver* terhadap *transmitter* maka akan semakin besar cahaya yang diterima oleh *photodetector*, sehingga menyebabkan daya terima dalam sistem UVLC akan semakin besar. Besar nilai jarak antara *receiver* dan *transmitter* (*d*) dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$d = \sqrt{(Xr - Xt)^2 + (Yr - Yt)^2 + (Zr - Zt)^2} \qquad (2.5)$$

2.5 Daya Terima

Pada suatu sistem komunikasi terdapat daya yang dikirim dari *transmitter* dan diterima *receiver*, daya yang diterima *receiver* disebut *receiver power*. *Receiver power* adalah besar nilai yang diterima dari sinyal *input* yang mengalami atenuasi. Sementara, *Receiver Power* dalam keadaan LOS direpresentasikan sebagai berikut,

$$P_{Rx} = P_T \eta T \eta R L_p H \tag{2.6}$$

dengan P_T adalah daya optik *transmitter* rata-rata, η_T adalah efisiensi optik *transmitter* dan η_R adalah efisiensi optik *receiver*, L_p adalah *loss* propagasi pada air laut (*pure water*), dan H adalah nilai kanal.

2.6 Bit Error Rate

Bit Error Rate (BER) merupakan perbandingan jumlah bit kesalahan terhadap jumlah total bit yang diterima dalam suatu transmisi dalam suatu system [8]. Bit Error Rate (BER) adalah ukuran seberapa sering sistem komunikasi menyampaikan bit secara keliru. Semakin kecil BER yang dihasilkan pada suatu sistem digital, maka kualitas transmisi yang dihasilkan akan semakin bagus. Untuk komunikasi cahaya tampak atau *Visible Light Communication* (VLC) *threshold* nilai BER yang baik yaitu $\leq 10^{-3}$.

Nilai BER untuk modulasi OOK-NRZ dapat dirumuskan sebagai berikut,

$$\text{BERook-NRZ} = \frac{1}{2}\text{er f c}(\frac{1}{2\sqrt{2}}\sqrt{SNR} \tag{2.6}$$

Untuk BER modulasi OOK-RZ dapat ditentukan dengan persamaan berikut,

$$\text{BERook} - \text{RZ} = \frac{1}{2}\text{ er f c}(\frac{1}{2}\sqrt{SNR}) \tag{2.7}$$

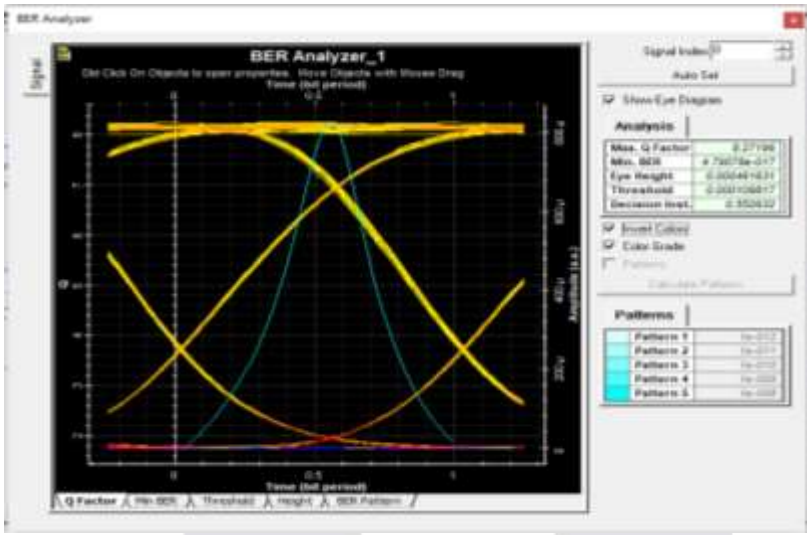
Bit Error Rate (BER) adalah ukuran seberapa sering sistem komunikasi menyampaikan bit secara keliru. Hubungan antara BER dengan Q-Factor (Q) dihitung sebagai berikut.

$$BER = 0{,}5\,.\,erfc\,\frac{Q}{(\sqrt{2})} \tag{2.8}$$

Perangkat lunak simulator menghitung Q-Factor dari mean μ dan standar deviasi σ hasil analisis Eye Diagram Analyzer.

2.6.1 Q Factor

Q-Factor mewakili kualitas SNR di "mata" sinyal digital, "mata" adalah pola berbentuk mata manusia pada osiloskop yang menunjukkan kinerja sistem transmisi. Cara terbaik untuk menentukan apakah bit yang diberikan adalah "1" atau "0" adalah fase pengambilan sampel dengan "pembukaan mata" terbesar. Semakin besar bukaan mata, semakin besar perbedaan antara nilai rata-rata level sinyal untuk "1" dan "0". Semakin besar perbedaan tersebut, semakin tinggi Q-Factor dan semakin baik kinerja BER.



Gambar 2.4 *BER Analyzer*

Faktor Q adalah perbedaan antara nilai rata-rata level sinyal untuk "1" dan "0" (μ_1 dan μ_0), dibagi dengan jumlah nilai noise (σ_1 dan σ_0) pada dua level sinyal tersebut dengan asumsi noise yang terdistribusi Gaussian dan probabilitas transmisi '1' dan '0' sama (*P(1) = P(0)*)."

$$Q = \frac{|\mu_1 - \mu_0|}{\sigma_1 + \sigma_0}$$

dengan nilai subskrip 1 atau 0 menunjukkan bit. Dalam perancangan sistem komunikasi, ditetapkan standar bit error rate tertentu.

Perkiraan BER yang akurat lebih sulit ketika “mata” sinyal digital terdistorsi, sehingga ada banyak jejak sinyal garis melalui mata pada level atas dan bawah yang terbentuk dengan baik. Pada nilai BER yang lebih tinggi (~10-3 atau lebih besar), dapat digunakan *forward error correction*, bentuk sinyal dari setiap jejak “mata” sinyal digital akan lebih akurat. Ini dapat terwujud ketika ada amplitudo yang terbentuk karena pola.

2.6.2 Eye Diagram

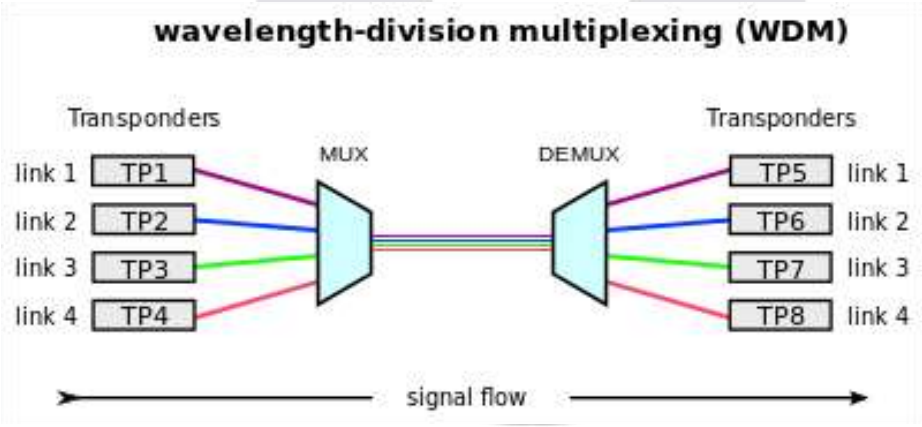
Eye Diagram Return to Zero merupakan cara untuk melakukan analisis sinyal digital dengan melihat nilai rata-rata statistik dari sinyal digital yang terbentuk. Adanya Noise yang dideteksi pada

receiver mengakibatkan "mata" menjadi berubah sehingga bentuknya cenderung terlihat menutup. Parameter yang bisa dianalisis dari *eye diagram* yaitu *extinction ratio dan eye height*. *Extinction ratio* adalah perbandingan antara daya rata-rata pada puncak nilai daya level 1 dengan rata-rata daya level 0. Nilai extinction ratio minimum adalah sekitar 10 dB, tergantung aplikasi. Eye height adalah ukuran seberapa eye diagram terbuka atau perbedaan antara daya level 1 dengan daya level 0.

2.7 Wavelenght Division Multiplexing

Multiplexing divisi panjang gelombang (WDM) mengacu pada multiplexing dan transmisi skema dalam serat telekomunikasi optik di mana panjang gelombang yang berbeda, biasanya dipancarkan oleh beberapa laser, dimodulasi secara independen (yaitu, mereka membawa independen informasi dari pemancar ke penerima). Panjang gelombang ini kemudian multiplexing di pemancar melalui filter WDM pasif, dan juga mereka dipisahkan atau didemultipleks di penerima dengan menggunakan filter yang sama atau deteksi koheren yang biasanya melibatkan osilator lokal merdu (laser).

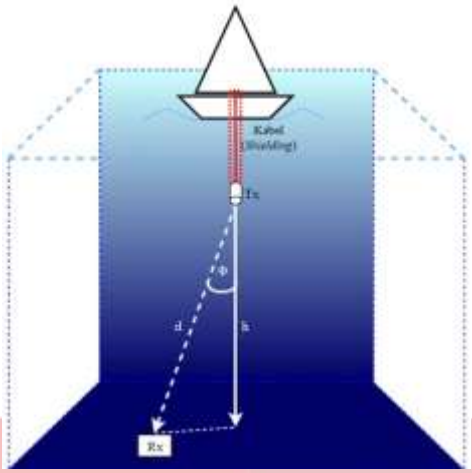
WDM adalah cara yang efisien untuk meningkatkan kapasitas pengangkutan, atau dapat digunakan bandwidth, khususnya serat optik mode tunggal. Ini juga memungkinkan pemisahan lalu lintas pelanggan yang berbeda dalam domain panjang gelombang (atau frekuensi optik) dan oleh sebab itu dapat digunakan sebagai mekanisme akses ganda. Skema masing-masing disebut wavelength-division multiple access (WDMA).



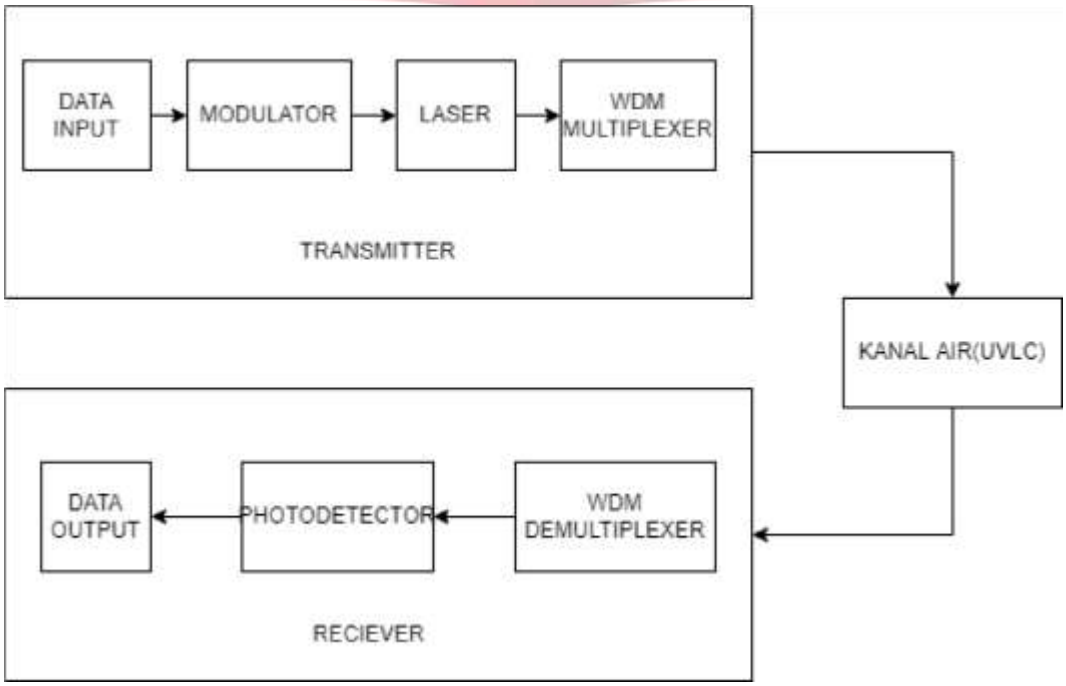
3. Pembahasan

3.1 Perancangan Sistem

Bab ini akan membahas mengenai perancangan simulasi yang digunakan untuk komunikasi antara kapal laut dengan penyelam menggunakan *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* (LASER) yang dimodulasi oleh format *On Off Keying- Non Return to Zero* (OOK-NRZ) dan *On Off Keying-Return to Zero* (OOK-RZ) rancangan dapat dilihat pada Gambar 3.1



3.2 Blok diagram *Underwater Visible Light Communication*



Gambar 3.2 Blok Diagram

Gambar 3.2 menunjukan blok diagram UVLC pada Tugas Akhir ini. Yang diawali oleh arus listrik dan kode biner atau sinyal digital yang masuk ke modulator. Di dalam modulator sinyal input ditumpangkan ke sinyal pembawa menggunakan modulasi *On Off Keying Non-Return to Zero* (OOK- NRZ) dan *On Off Keying Return to Zero* (OOK-RZ). Sinyal yang telah dimodulasi kemudian akan dipancarkan oleh *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* (LASER). Kemudian akan merambat melalui kanal air laut. Tugas Akhir ini menggunakan kanal *Line of Sight* (LOS). Setelah melalui kanal, cahaya masuk ke *optical concentrator* yang berfungsi untuk mengumpulkan dan memusatkan cahaya agar sinyal yang diterima oleh *photodetector* optimal. Cahaya yang sudah terkumpul masuk ke *photodetector* dan diubah kembali menjadi arus listrik hingga berakhir di perangkat *user*

3.2.3 Parameter Input Transmitter

Simulasi menggunakan dua buah lampu LASER dengan daya kirim sebesar 5 Watt, yang diletakkan pada koordinat posisi (0,0,5). Dengan posisi LASER berada 5 meter secara vertikal di atas *receiver*. Dengan panjang gelombang cahaya tampak yang digunakan yaitu 450 nm.

3.2.4 Parameter Kanal Transmisi

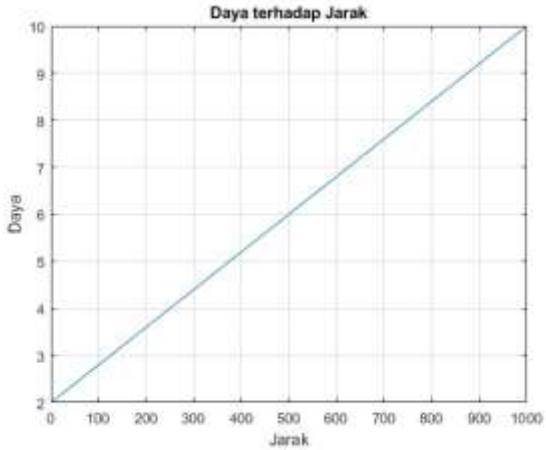
Pada penelitian ini kanal yang digunakan untuk mentransmisikan data adalah kanal LOS pada media air laut. Kanal LOS memiliki laju data yang lebih tinggi dari kanal *Non-Line of Sight* (NLOS). Selain itu, kanal LOS juga memiliki ketahanan yang baik terhadap *noise*. Kanal transmisi dipengaruhi oleh nilai *loss path* air laut, *loss path* air laut dipengaruhi oleh nilai absorpsi dan hamburan *Rayleigh* pada masing-masing panjang gelombang. Untuk nilai absorpsi panjang gelombang (455 nm) diasumsikan sebesar 0,151 sedangkan untuk nilai hamburan *Rayleigh* diperoleh nilai 0,0033.

3.2.5 Parameter Input Receiver

Penelitian ini menggunakan PIN *photodetector* jenisi Silicon. Berdasarkan pada panjang gelombang yang digunakan pada penelitian ini yang mengggunakan 450 nm.

4. Hasil dan Analisis

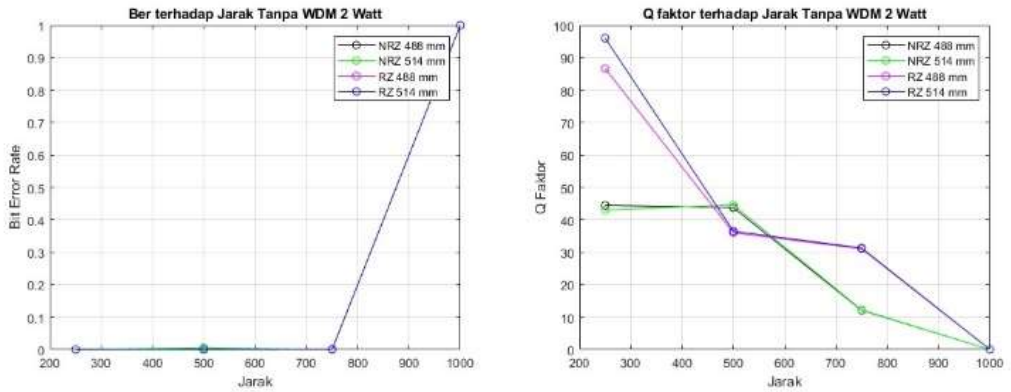
4.1 Grafik Acuan



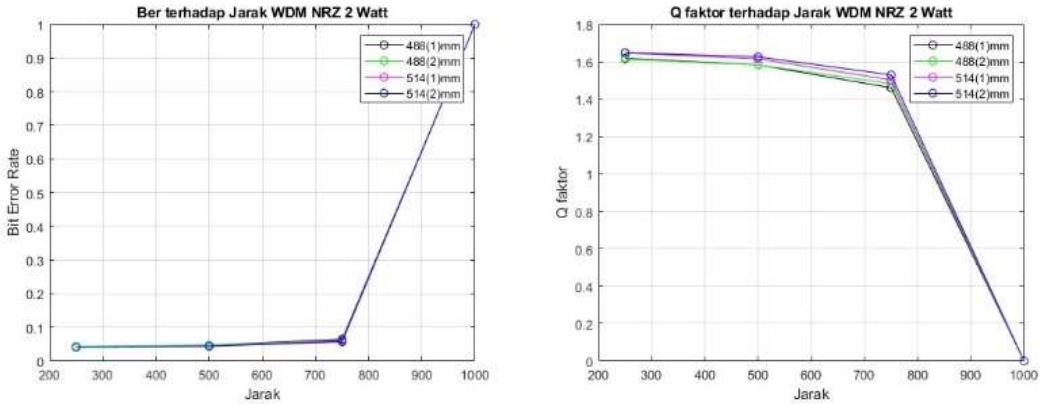
Gambar 4.1 Grafik daya terhadap jarak

Sebagai acuan dalam simulasi penelitian, dibuat grafik perbandingan antara pengaruh daya terhadap jarak. Dapat dilihat pada gambar 4.1, daya berbanding lurus dengan jarak dimana dapat diketahui semakin jauh jarak maka semakin besar daya yang digunakan.

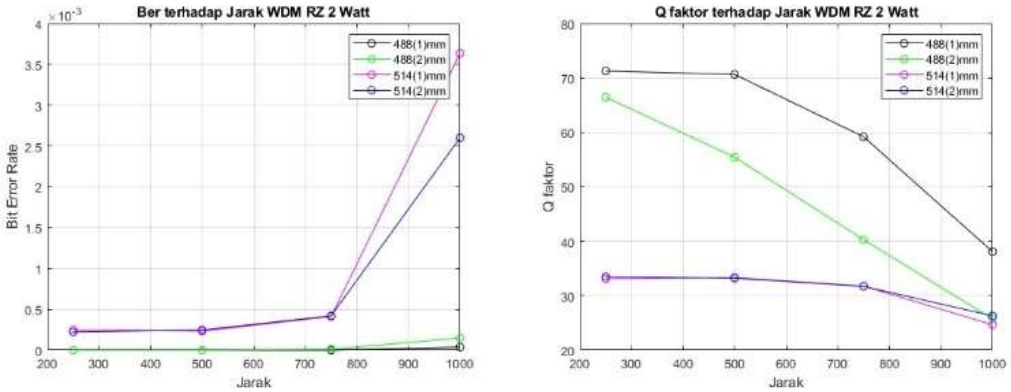
4.2 Hasil Percobaan Menggunakan Power Input 2 Watt



Gambar 4.2 Grafik BER dan Q-factor rangkaian Non-WDM daya 2 Watt



Gambar 4.3 Grafik BER dan Q-factor pada rangkaian WDM-NRZ daya 2 Watt



Gambar 4.4 Grafik BER dan Q-factor pada rangkaian WDM-RZ Daya 2 Watt

Pada gambar 4.2, 4.3 dan 4.4 didapatkan hasil dari simulasi dengan merubah parameter jarak dengan daya transmitter sebesar 2 Watt. Pada grafik 4.2, dapat dianalisis perbedaan dari hasil BER dan Q-factor dari rangkaian UVLC tanpa menggunakan WDM. Modulasi dengan modulasi OOK-NRZ dan OOK-RZ dengan panjang laser yang masing-masing memiliki panjang gelombang 488 nm dan 514 nm dengan bit rate masing-masing laser bernilai 4 GBits/s, menghasilkan BER yang hampir mirip dimana BER akan meningkat lebih buruk saat mulai menambahkan parameter jarak menjadi lebih dalam. Pada Q-factor, kedua modulasi menghasilkan nilai yang tidak jauh berbeda dengan penurunan Q-factor seiring dengan penambahan parameter

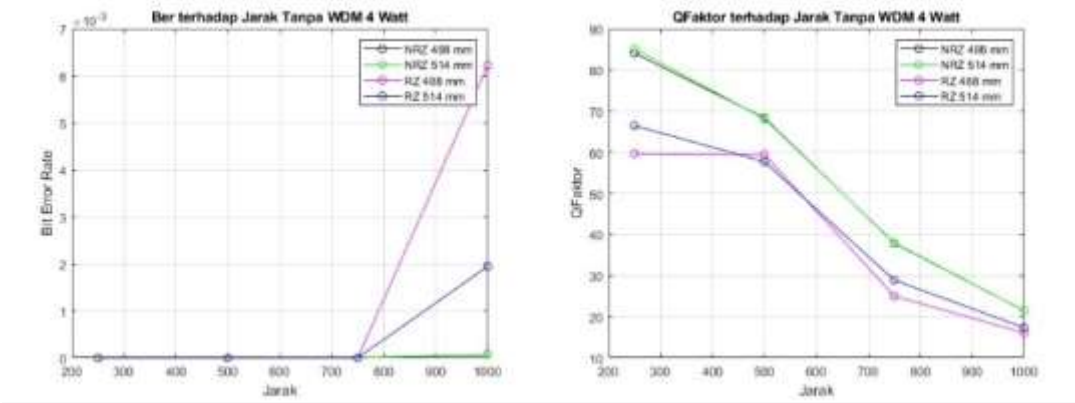
jarak. Sebagai contoh, dapat diketahui dan diambil nilai dari gambar 4.2 pada jarak 500 meter hasil simulasi pada OPTYSISTEM pada rangkaian tanpa WDM, untuk rangkaian OOK-RZ menghasilkan BER dan QFactor sebesar 0 dan 35 untuk kedua LASER (488 nm dan 514 nm). Sedangkan untuk rangkaian OOK-NRZ menghasilkan BER dan Q-Factor sebesar 0 dan 45 untuk kedua LASER (488 nm dan 514 nm).

Lalu, pada gambar 4.3 rangkaian diubah dengan menambahkan WDM pada rangkaian UVLC. Dengan penggunaan modulasi OOK-NRZ, nilai BER yang dihasilkan dari dua panjang gelombang yang dipecah menjadi 4 sumber cahaya dimana masing-masing memiliki nilai bit rate 2Gbits/s yang menghasilkan BER bernilai baik pada jarak kedalaman 250 meter hingga mulai memburuk pada jarak kedalaman 750 meter. Pada Q-factor, memiliki nilai yang baik dan mengalami penurunan pada kedalaman 750 meter. Sebagai contoh, dapat diketahui dan diambil nilai dari gambar 4.3 pada jarak 500 meter hasil simulasi pada OPTYSISTEM pada rangkaian OOK-NRZ dengan menggunakan WDM, dimana dapat menghasilkan BER dan Q-Factor sebesar 0 untuk kedua LASER, dan Q-factor yang masingmasing LASER memiliki hasil yang berbeda, untuk LASER dengan panjang gelombang 488 nm pada sumber pertama memiliki nilai 1,44 dan kedua memiliki nilai 1,45. Lalu pada LASER dengan panjang gelombang 514 nm pada sumber pertama memili nilai 1,46 dan kedua memiliki nilai 1,47.

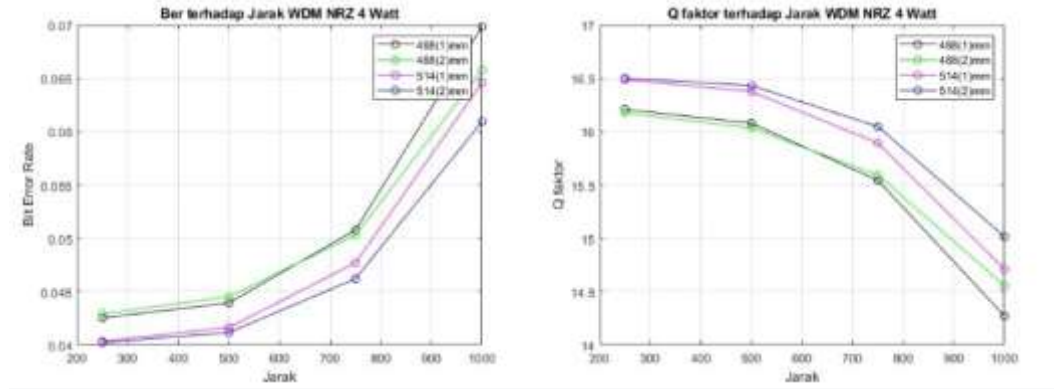
Pada gambar 4.4, perbedaan dengan gambar 4.3 ada pada rangkaian yang diubah dengan menggunakan modulasi OOK-RZ pada rangkaian WDM UVLC. Dengan nilai BER antara panjang gelombang 488 nm dan 514 nm yang mengalami kenaikan mulai dari jarak 750 meter, namun panjang laser dengan panjang gelombang 488 nm memiliki kenaikan yang tidak terlalu signifikan dibandingkan dengan laser 514 nm. Sebaliknya, Q-factor dari laser 488 nm memiliki penurunan yang signifikan dibandingkan dengan laser 514 nm. Sebagai contoh, dapat diketahui dan diambil nilai dari gambar 4.4 pada jarak 500 meter hasil simulasi pada OPTYSISTEM pada rangkaian OOK-RZ dengan menggunakan WDM, dimana dapat menghasilkan BER sebesar 0 untuk LASER dengan panjang gelombang 488 nm, serta sebesar $0,25 \times 10^{-3}$ untuk LASER dengan panjang gelombang 514 nm. Lalu, Q-factor yang masing-masing LASER memiliki hasil yang berbeda, untuk LASER dengan panjang gelombang 488 nm pada sumber pertama memiliki nilai 70 dan kedua memiliki nilai 55. Lalu pada LASER dengan panjang gelombang 514 nm pada sumber pertama dan kedua sama-sama memiliki nilai 34.

Sehingga dapat dibuat presentase untuk perbandingan BER dan Q-Factor pada rangkaian OOK-RZ tanpa WDM dan OOK-RZ dengan WDM pada jarak 500 meter. Presentasi kenaikan BER sebesar 0.025% pada LASER dengan panjang gelombang 514 nm pada rangkaian OOK-RZ dengan WDM. Rangkaian yang menggunakan WDM menghasilkan kenaikan Q-Factor sebesar 100% pada LASER dengan panjang gelombang 488 sebagai sumber pertama, serta kenaikan sebesar 57% pada sumber kedua. Sedangkan pada panjang gelombang 514 nm memiliki penurunan Q-Factor sebesar 3% untuk semua LASER. Untuk perbandingan BER dan Q-Factor pada rangkaian OOK-RZ dan OOK-NRZ dengan menggunakan WDM menunjukkan bahwa nilai BER tidak mengalami kenaikan ataupun penurunan. Pada hasil Q-Factor, penggunaan WDM menghasilkan penurunan sebesar 2.1x lipat dibandingkan tanpa penggunaan WDM.

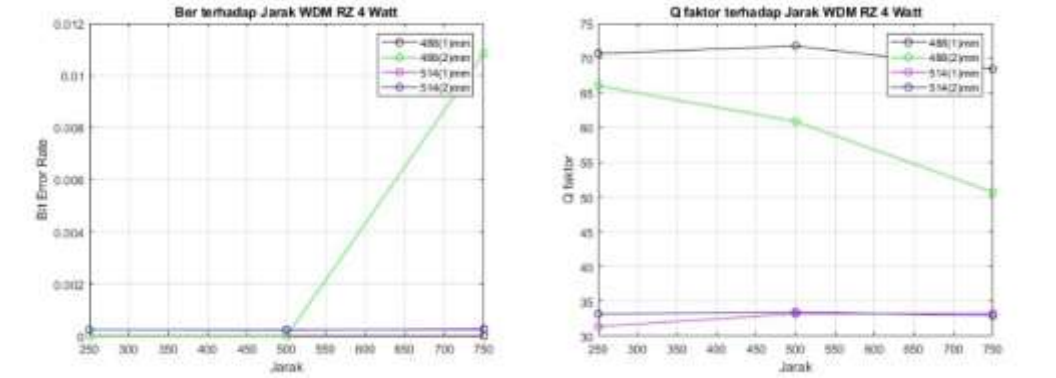
4.3 Hasil Percobaan Menggunakan Power Input 4 Watt



Gambar 4.5 Grafik BER dan Q-factor rangkaian Non-WDM daya 4 Watt



Gambar 4.6 Grafik BER dan Q-factor pada rangkaian WDM-NRZ daya 4 Watt



Gambar 4.7 Grafik BER dan Q-factor pada rangkaian WDM-RZ daya 4 Watt

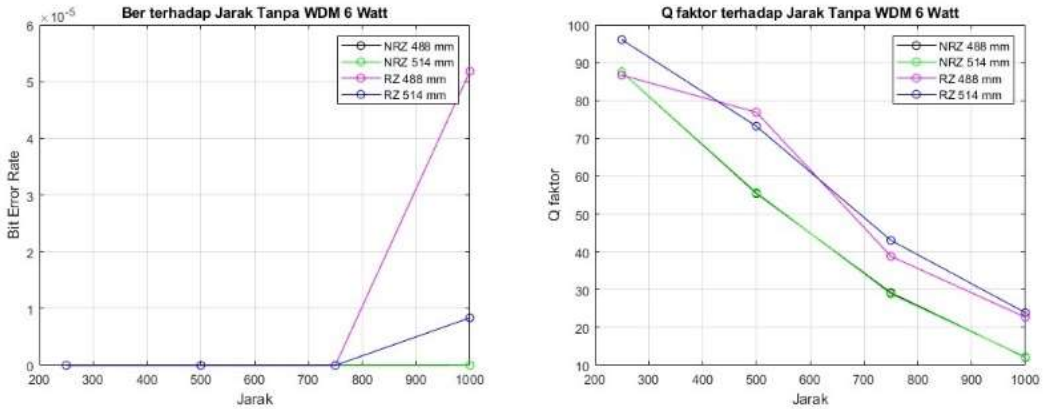
Pada gambar 4.5, 4.6 dan 4.7 didapatkan hasil dari simulasi dengan merubah parameter jarak dengan daya transmitter sebesar 6 Watt. Pada grafik 4.5, dapat dianalisa perbedaan dari hasil BER dan Q-factor dari rangkaian UVLC tanpa menggunakan WDM. Modulasi dengan modulasi OOK-NRZ dan OOK-RZ dengan panjang laser yang masing-masing memiliki panjang gelombang 488 nm dan 514 nm dengan bit rate masing-masing laser bernilai 4 GBits/s, menghasilkan BER yang hampir mirip dimana BER akan meningkat lebih buruk saat mulai menambahkan parameter jarak menjadi lebih dalam. Pada Q-factor, kedua modulasi menghasilkan nilai yang tidak jauh berbeda

dengan penurunan Q-factor seiring dengan penambahan parameter jarak. Setelah mendapat nilai dapat diketahui modulasi OOK-NRZ lebih baik dengan faktor hasil BER dan Q-Factor yang lebih baik dibandingkan dengan OOK-RZ. Sebagai contoh, dapat diketahui dan diambil nilai dari gambar 4.5 pada jarak 500 meter hasil simulasi pada OPTYSISTEM pada rangkaian tanpa WDM, untuk rangkaian OOK-RZ menghasilkan BER dan QFactor sebesar 0 dan 60 untuk kedua LASER (488 nm dan 514 nm). Sedangkan untuk rangkaian OOK-NRZ menghasilkan BER dan Q-Factor sebesar 0 dan 70 untuk kedua LASER (488 nm dan 514 nm).

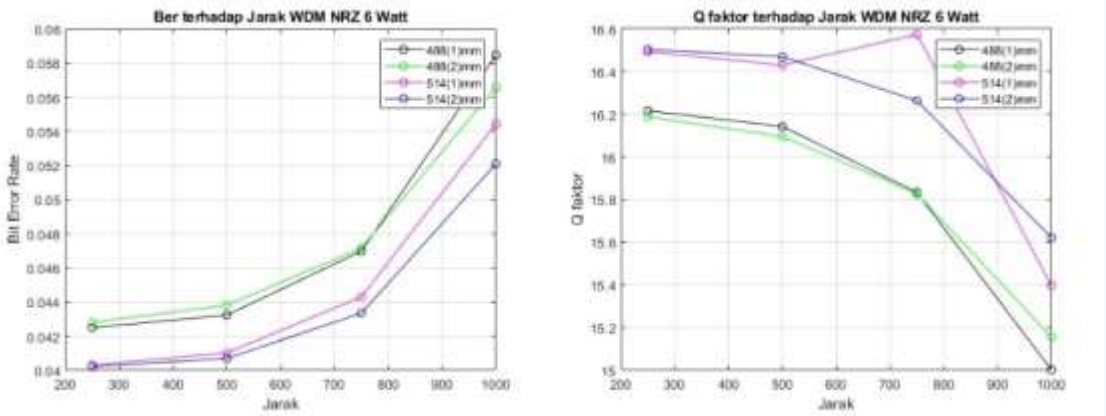
Lalu, pada gambar 4.6 rangkaian diubah dengan menambahkan WDM pada rangkaian UVLC. Dengan penggunaan modulasi OOK-NRZ, nilai BER yang dihasilkan dari dua panjang gelombang yang dipecah menjadi 4 sumber cahaya dimana masing-masing memiliki nilai bit rate 2Gbits/s yang menghasilkan BER bernilai baik pada jarak kedalaman 250 meter hingga mulai memburuk pada jarak kedalaman 500 meter. Nilai BER laser dengan panjang gelombang 514 nm lebih baik dibandingkan dengan panjang gelombang 488 nm. Pada Q-factor, memiliki nilai yang baik dan mengalami penurunan pada kedalaman 500 meter. Pada gambar dapat dianalisa hasil BER dari laser dengan panjang gelombang 488 nm lebih baik dibandingkan dengan panjang gelombang 514 nm. Lalu, pada Q-Factor hasil dari laser dengan panjang gelombang 514 nm lebih baik dari panjang gelombang 488 nm..

Pada gambar 4.7, perbedaan dengan gambar 4.7 ada pada rangkaian yang diubah dengan menggunakan modulasi OOK-RZ pada rangkaian WDM UVLC. Dengan nilai BER antara panjang gelombang 488 nm dan 514 nm yang mengalami kenaikan mulai dari jarak 500 meter, namun panjang laser dengan panjang gelombang 488 nm memiliki kenaikan yang signifikan dibandingkan dengan laser 514 nm yang lebih stabil. Dan juga, Q-factor dari laser 488 nm memiliki penurunan yang signifikan dibandingkan dengan laser 514 nm.

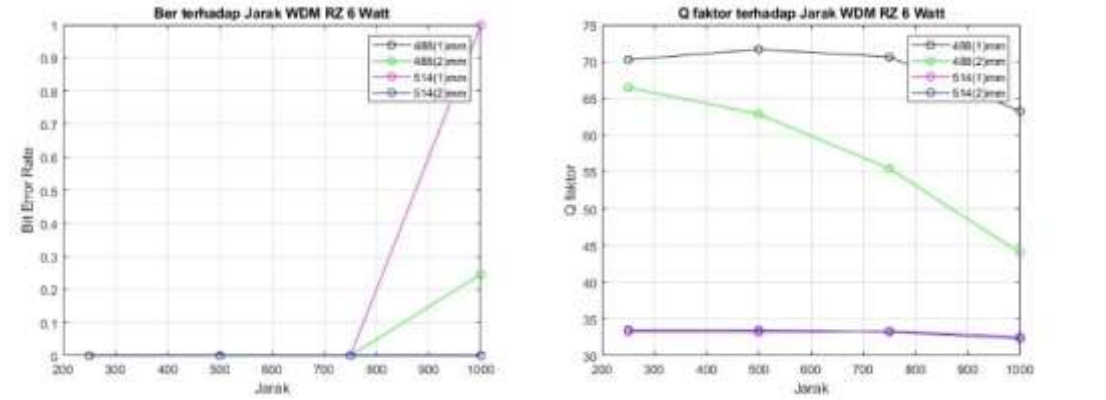
4.4 Hasil Percobaan Menggunakan Power Input 6 Watt



Gambar 4.8 Grafik BER dan Q-factor rangkaian Non-WDM daya 6 Watt



Gambar 4.9 Grafik BER dan Q-factor pada rangkaian WDM-NRZ daya 6 Watt



Gambar 4.10 Grafik BER dan Q-factor pada rangkaian WDM-RZ daya 6 Watt

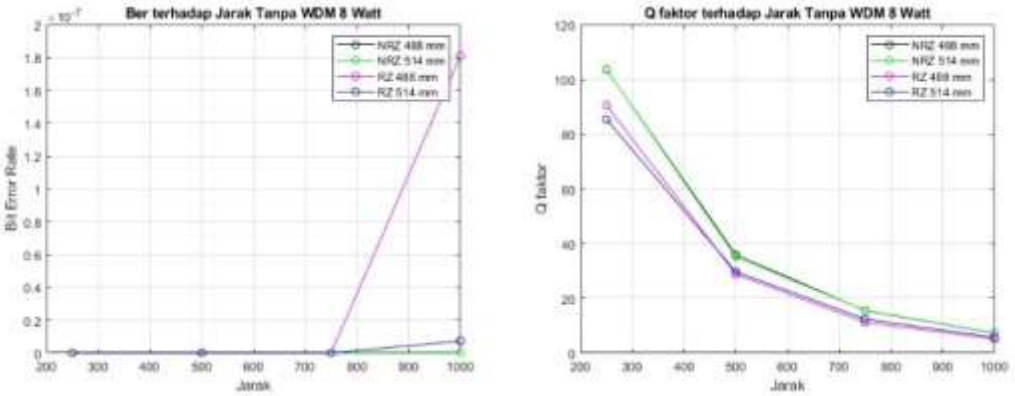
Pada gambar 4.8, 4.9 dan 4.10 didapatkan hasil dari simulasi dengan merubah parameter jarak dengan daya transmitter sebesar 6 Watt. Pada grafik 4.8, dapat dianalisa perbedaan dari hasil BER dan Q-factor dari rangkaian UVLC tanpa menggunakan WDM. Modulasi dengan modulasi OOK-NRZ dan OOK-RZ dengan panjang laser yang masing-masing memiliki panjang gelombang 488 nm dan 514 nm dengan bit rate masing-masing laser bernilai 4 GBits/s, menghasilkan BER yang hampir mirip, namun BER laser dengan panjang gelombang 488 nm yang dimodulasi dengan OOK-RZ meningkat lebih buruk saat mulai menyentuh jarak 500 meter. Pada Q-factor, hasil yang dimodulasi menggunakan OOK-NRZ memiliki nilai yang lebih baik dibandingkan dengan OOK-RZ.

Lalu, pada gambar 4.9 rangkaian diubah dengan menambahkan WDM pada rangkaian UVLC. Dengan penggunaan modulasi OOK-NRZ, nilai BER yang dihasilkan dari dua panjang gelombang yang dipecah menjadi 4 sumber cahaya dimana masing-masing memiliki nilai bit rate 2Gbits/s yang menghasilkan BER bernilai baik pada jarak kedalaman 250 meter hingga mulai memburuk pada jarak kedalaman 500 meter. Hasil BER dari laser dengan panjang gelombang 514 nm memiliki nilai yang lebih baik dibandingkan dengan panjang gelombang 488 nm. Pada Q-factor, memiliki nilai yang baik dan mengalami penurunan pada kedalaman 500 meter. Pada Q-Factor, nilai hasil dari laser dengan panjang gelombang 514 nm juga memiliki nilai yang lebih baik dibandingkan 488 nm.

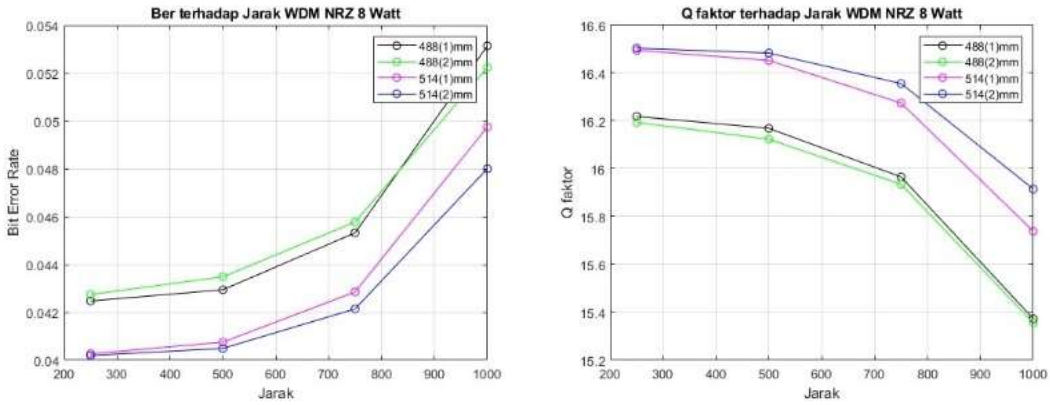
Pada gambar 4.10, perbedaan dengan gambar 4.3 ada pada rangkaian yang diubah dengan menggunakan modulasi OOK-RZ pada rangkaian WDM UVLC. Dengan nilai BER antara panjang

gelombang 488 nm dan 514 nm yang mengalami kenaikan mulai dari jarak 750 meter, namun panjang laser dengan panjang gelombang 514 nm memiliki nilai BER yang lebih baik dengan kenaikan yang tidak terlalu signifikan dibandingkan dengan laser 488 nm. Sedangkan pada Q-factor dari laser 488 nm juga memiliki nilai yang lebih baik walaupun terdapat penurunan yang signifikan dibandingkan dengan laser 514 nm.

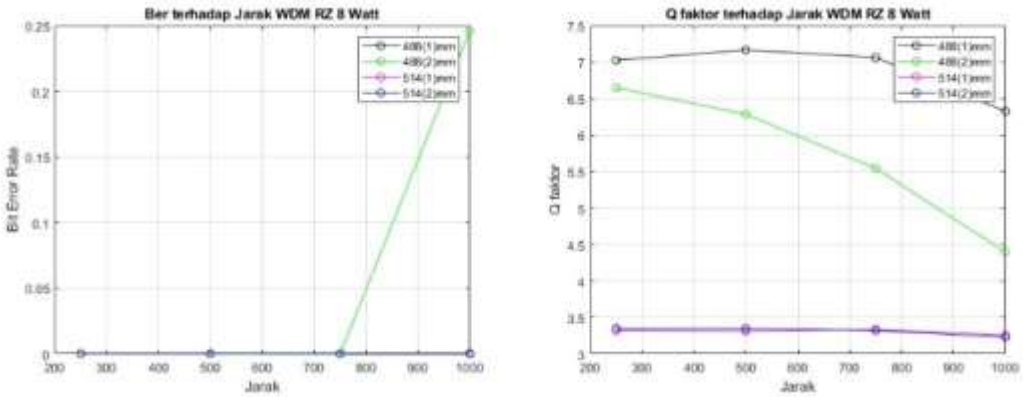
4.5 Hasil Percobaan Menggunakan Power Input 8 Watt



Gambar 4.11 Grafik BER dan Q-factor rangkaian Non-WDM daya 8 Watt



Gambar 4.12 Grafik BER dan Q-factor pada rangkaian WDM-NRZ daya 8 Watt



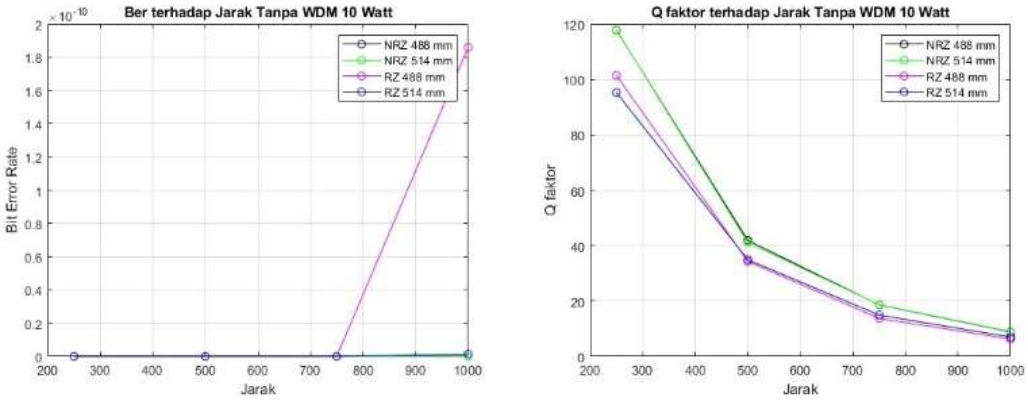
Gambar 4.13 Grafik BER dan Q-factor pada rangkaian WDM-RZ daya 8 Watt

Pada gambar 4.11, 4.12 dan 4.13 didapatkan hasil dari simulasi dengan merubah parameter jarak dengan daya transmitter sebesar 8 Watt. Pada grafik 4.11, dapat dianalisa perbedaan dari hasil BER dan Q-factor dari rangkaian UVLC tanpa menggunakan WDM. Modulasi dengan modulasi OOK-NRZ dan OOK-RZ dengan panjang laser yang masing-masing memiliki panjang gelombang 488 nm dan 514 nm dengan bit rate masing-masing laser bernilai 4 GBits/s, menghasilkan BER yang hampir mirip dimana BER akan meningkat lebih buruk saat mulai menambahkan parameter jarak menjadi lebih dalam. Pada Q-factor, kedua modulasi menghasilkan nilai yang tidak jauh berbeda dengan penurunan Q-factor seiring dengan penambahan parameter jarak. Jika dilihat dari hasil simulasi pada grafik maka didapatkan hasil dari modulasi OOK-NRZ memiliki nilai yang lebih baik dari modulasi OOK-RZ

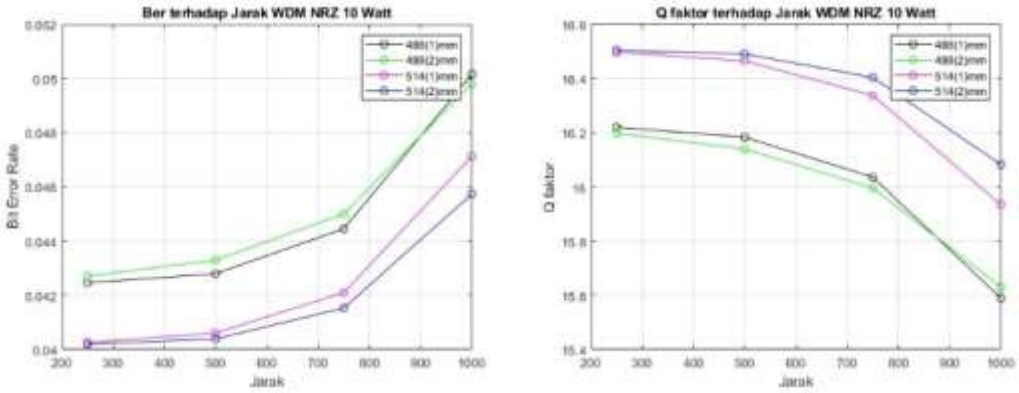
Lalu, pada gambar 4.12 rangkaian diubah dengan menambahkan WDM pada rangkaian UVLC. Dengan penggunaan modulasi OOK-NRZ, nilai BER yang dihasilkan dari dua panjang gelombang yang dipecah menjadi 4 sumber cahaya dimana masing-masing memiliki nilai bit rate 2Gbits/s yang menghasilkan BER bernilai baik pada jarak kedalaman 250 meter hingga mulai memburuk pada jarak kedalaman 750 meter. Pada Q-factor, memiliki nilai yang baik dan mengalami penurunan pada kedalaman 750 meter.

Pada gambar 4.13, perbedaan dengan gambar 4.12 ada pada rangkaian yang diubah dengan menggunakan modulasi OOK-RZ pada rangkaian WDM UVLC. Dengan nilai BER antara panjang gelombang 488 nm dan 514 nm yang mengalami kenaikan mulai dari jarak 750 meter, namun panjang laser dengan panjang gelombang 488 nm memiliki kenaikan yang tidak terlalu signifikan dibandingkan dengan laser 514 nm. Lalu pada Q-factor dari laser 488 nm memiliki penurunan yang signifikan namun dengan hasil yang tetap lebih baik dibandingkan dengan panjang gelombang 514 nm

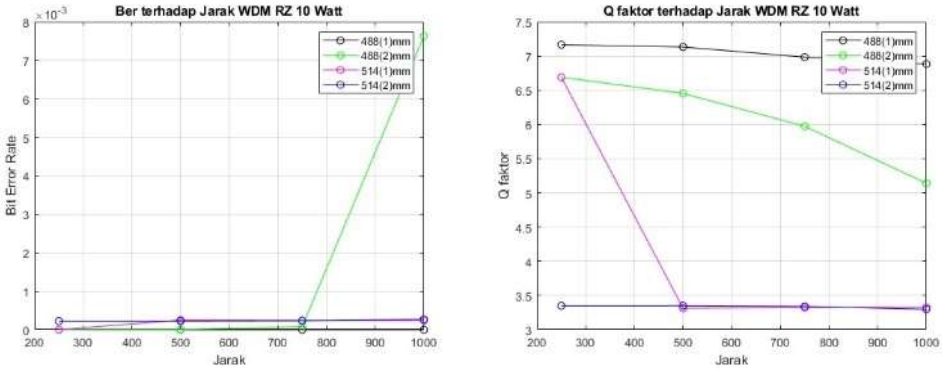
4.6 Hasil Percobaan Menggunakan Power Input 10 Watt



Gambar 4.14 Grafik BER dan Q-factor rangkaian Non-WDM daya 10 Watt



Gambar 4.15 Grafik BER dan Q-factor pada rangkaian WDM-NRZ daya 10 Watt



Gambar 4.16 Grafik BER dan Q-factor pada rangkaian WDM-RZ daya 10 Watt

Pada gambar 4.14, 4.15 dan 4.16 didapatkan hasil dari simulasi dengan merubah parameter jarak dengan daya transmitter sebesar 10 Watt. Pada grafik 4.14, dapat dianalisa perbedaan dari hasil BER dan Q-factor dari rangkaian UVLC tanpa menggunakan WDM. Modulasi dengan modulasi OOK-NRZ dan OOK-RZ dengan panjang laser yang masing-masing memiliki panjang gelombang 488 nm dan 514 nm dengan bit rate masing-masing laser bernilai 4 GBits/s, menghasilkan BER yang hampir mirip dimana BER akan meningkat lebih buruk saat mulai menambahkan parameter jarak menjadi lebih dalam. Pada Q-factor, kedua modulasi menghasilkan nilai yang tidak jauh berbeda dengan penurunan Q-factor seiring dengan penambahan parameter jarak. Dapat diketahui nilai BER serta Q-Factor dari hasil modulasi OOK-NRZ lebih baik dari OOK-RZ. Sebagai contoh, dapat diketahui dan diambil nilai dari gambar 4.14 pada jarak 1000 meter hasil simulasi pada OPTYSISTEM pada rangkaian tanpa WDM, untuk rangkaian OOK-RZ menghasilkan BER dan Q-Factor sebesar 0 dan 15 untuk kedua LASER (488 nm dan 514 nm). Sedangkan untuk rangkaian OOK-NRZ menghasilkan BER dan QFactor sebesar 0 dan 15 untuk kedua LASER (488 nm dan 514 nm). Lalu, pada gambar 4.15 rangkaian diubah dengan menambahkan WDM pada rangkaian UVLC. Dengan penggunaan modulasi OOK-NRZ, nilai BER yang dihasilkan dari dua panjang gelombang yang dipecah menjadi 4 sumber cahaya dimana masing-masing memiliki nilai bit rate 2 Gbits/s yang menghasilkan BER bernilai baik pada jarak kedalaman 250 meter hingga mulai memburuk pada jarak kedalaman 750 meter. Pada Q-factor, memiliki nilai yang baik dan mengalami penurunan pada kedalaman 750 meter. Pada gambar tersebut dapat dilihat laser dengan panjang gelombang 514 nm memiliki BER dan Q-factor yang lebih baik dibandingkan dengan laser dengan panjang gelombang 488 nm.

Pada gambar 4.16, perbedaan dengan gambar 4.15 ada pada rangkaian yang diubah dengan menggunakan modulasi OOK-RZ pada rangkaian WDM UVLC. Dengan nilai BER antara panjang gelombang 488 nm dan 514 nm yang mengalami kenaikan mulai dari jarak 750 meter, namun laser dengan panjang gelombang 488 nm memiliki kenaikan yang sangat signifikan dibandingkan dengan laser 514 nm yang memiliki nilai stabil. Sebaliknya, Q-factor dari laser 514 nm memiliki penurunan yang signifikan dibandingkan dengan laser 488 nm, dimana laser dengan panjang gelombang 488 nm memiliki penurunan Q-factor yang terlihat lebih stabil. Sebagai contoh, dapat diketahui dan diambil nilai dari gambar 4.16 pada jarak 1000 meter hasil simulasi pada OPTYSISTEM pada rangkaian OOK-RZ dengan menggunakan WDM, dimana dapat menghasilkan BER sebesar 0 untuk LASER dengan panjang gelombang 488 nm dan bernilai 0,2 untuk LASER dengan panjang gelombang 514 nm. Lalu, Q-factor yang masing-masing LASER memiliki hasil yang berbeda, untuk LASER dengan panjang gelombang 488 nm pada sumber pertama bernilai $8x10^{-3}$ dan kedua memiliki nilai 5,1. Lalu pada LASER dengan panjang gelombang 514 nm pada sumber pertama dan kedua sama-sama memiliki nilai 3,4.

5. Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil simulasi penggunaan modulasi OOK-RZ dan OOK-NRZ pada WDM UVLC dengan laser pada OPTISYSTEM, dapat dianalisis dan diambil kesimpulan bahwa :

1. Penggunaan WDM pada UVLC dengan modulasi OOK-RZ dan OOK-NRZ dapat meningkatkan performansi, dapat dilihat melalui hasil analisis melalui presentase kenaikan BER dan Q-Factor, dimana penggunaan WDM dapat meningkatkan performansi sistem hingga 0.0025% pada jarak 500 meter, lalu kenaikan Q-Factor sebesar 100% hingga 2.1x lipat pada jarak 500 meter.
2. Penggunaan WDM hanya meningkatkan perfomansi pada kasus tertentu, seperti pada jarak 1000 meter dengan penggunaan 10 Watt daya penggunaan WDM memberikan presentase penurunan Q-Factor sebesar 33-40%.

Referensi:

[1] J. C. Maxwell, A Treatise on Electricity and Magnetism, 3rd ed., vol. 2. Oxford: Clarendon, 1892.

[2] M. Young, The Technical Writer's Handbook. Mill Valley, CA: University Science, 1989.

[3] Y. Yorozu, M. Hirano, K. Oka, and Y. Tagawa, "*Electron spectroscopy studies on magneto-optical media and plastic substrate interface*," IEEE Transl. J. Magn. Japan, vol. 2, No. 3, pp. 740-741, August 1987.

[4] B. N. Eason, and I.N. Sneddon, "*On certain integrals of Lipschitz-Hankel type involving products of Bessel functions,*" Phil. Trans. Roy. Soc. London, vol. A247, No. 11, pp. 529-551, April 1955.

[5] J. Riley, "Call for new look at skilled migrants,"*The Australian*, May 31, 2005. Available: Factiva, http://global.factiva.com. [Accessed on 31 May 2005, 23:59:59 WIB].

[6] M. Elamassie, F. Miramirkhani, and M. Uysal, "Performance characterization of underwater visible light communication," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 67, no. 1, pp. 543–552, 2018.

[7] Y. Wei, B. Lin, X. Tang, Y. Li, M. Zhang, Z. Ghassemlooy, Y. Wu, and H. Li, "Underwater visible light communications based on spatial diversity," in *2017 16th International Conference on Optical Communications and Networks (ICOCN)*. IEEE, 2017, pp. 1–3.

[8] M. A. A. Ali, "Characteristics of optical channel for underwater optical wireless communication system," *IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering*, vol. 10, no. 1, 2015.

[9] H. Al Hajjar, B. Fracasso, and F. Lamarque, "Mini optical concentrator design for indoor high bit rate optical wireless communications," in *2013 2nd International Workshop on Optical Wireless Communications (IWOW)*. IEEE, 2013, pp. 147–151.

[10] H. Kaushal and G. Kaddoum, "Underwater optical wireless communication," *IEEE access*, vol. 4, pp. 1518–1547, 2016.

[11] E. Hulburt, "Optics of distilled and natural water," *Josa*, vol. 35, no. 11, pp. 698–705, 1945.

[12] Z. Ghassemlooy, W. Popoola, and S. Rajbhandari, *Optical wireless communications: system and channel modelling with Matlab* R . CRC press, 2019.

[13] R. Islam, P. Choudhury, and M. A. Islam, "Analysis of dco-ofdm and flip-ofdm for im/dd optical-wireless system," in *8th International Conference on Electrical and Computer Engineering*. IEEE, 2014, pp. 32–35.

[14] G. Keiser, *Optical communications essentials*. McGraw Hill Professional, 2003.

[15] S. J. Alam, M. R. Alam, G. Hu, and M. Z. Mehrab, "Bit error rate optimization in fiber optic communications," *International Journal of Machine Learning and Computing*, vol. 1, no. 5, p. 435, 2011.

[16] C. Basu, M. Meinhardt-Wollweber, and B. Roth, "Lighting with Laser Diodes," Advanced Optical Technologies, vol. 2, Aug. 2013, pp. 313–21.

[17] D. Tsonev, S. Videv, and H. Haas, "Towards a 100 gb/s Visible Light Wireless Access Network," Opt. Express, vol. 23, no. 2, Jan 2015, pp. 1627–37.

[18] T. Borogovac and T. Little, "Laser Visible Light Communications," Proc. IEEE Photonics Society Summer Topical Meeting Series, July 2012, pp. 117–18.

[19] L. Y. Kuritzky and J. S. Speck, "Lighting for the 21st Century with Laser Diodes Based on Non-Basal Plane Orientations of Gan," MRS Communications, vol. 5, 2015, pp. 463–73.

[20] A. Neumann et al., "Four-Color Laser White Illuminant Demonstrating High Color-Rendering Quality," Opt. Express, vol. 19, no. S4, Jul 2011, pp. A982–9