

ANALISIS KINERJA FEC MENGGUNAKAN METODE QC-LDPC PADA SISTEM KOMUNIKASI CAHAYA TAMPAK DI DALAM AIR

(PERFORMANCE ANALYSIS OF FEC USING QC-LDPC METHOD ON UNDERWATER VISIBLE LIGHT COMMUNICATION SYSTEM)

Erik Yusuf Fahamsyah¹, Nachwan Mufti Adriansyah², Brian Pamukti³

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

¹erikyusuff@telkomuniversity.ac.id, ²nachwanma@telkomuniversity.co.id,

³brianp@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Underwater Visible Light Communication (UVLC) menjadi salah satu potensi pengembangan dari *Visible Light Communication* (VLC) untuk diteliti performansinya. Dengan adanya perkembangan UVLC, kini sistem VLC dapat diimplementasikan di dalam air. Namun masih terdapat sejumlah masalah dari UVLC, salah satunya yaitu jarak jangkauan komunikasi sebagai salah satu faktor performansi sistem yang telah dapat ditanggulangi menggunakan *Low Density Parity Check* (LDPC) yang digunakan sebagai *Forward Error Correction* (FEC). Penelitian ini menggunakan Quasi-Cyclic (QC)-LDPC untuk meningkatkan performansi sistem UVLC pada jenis air laut *clear ocean* dan *coastal ocean*.

Pada tugas akhir ini telah dilakukan analisis kinerja FEC menggunakan QC-LDPC pada sistem UVLC kemudian dibandingkan dengan sistem UVLC yang tidak menggunakan QC-LDPC untuk dianalisis dengan menggunakan jenis air laut yang berbeda pada bagian Kanal LDPC yaitu *Line of Sight* (LOS), sehingga dapat membandingkan performansi QC-LDPC diantara dua jenis air laut yaitu *clear ocean* dan *coastal ocean*, dengan parameter uji yaitu *Bit Error Rate* (BER), *Signal to Noise Ratio* (SNR), dan Jarak transmisi.

Dari hasil simulasi yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa QC-LDPC secara keseluruhan mampu meningkatkan performansi lebih tinggi yaitu 10% pada *clear ocean water* dan meningkat 11% pada *coastal ocean water*. Jarak maksimal yang dapat dijangkau oleh sistem dengan menggunakan QC-LDPC adalah 3,73 meter pada jenis air *clear ocean*, sementara pada *coastal ocean* QC-LDPC mampu menjangkau sejauh 2,92 meter dengan acuan BER 10^{-3} .

Kata Kunci: VLC, UVLC, FEC, QC-LDPC, Bit Flipping, BER, SNR

Abstract

Underwater Visible Light Communication (UVLC) is one of the potential developments of *Visible Light Communication* (VLC) to study its performance. With the development of UVLC, now the VLC system can be implemented in water. However, there are still a number of problems with UVLC, one of which is the communication range as one of the system performance factors that can be overcome using *Low Density Parity Check* (LDPC) codes which are used as *Forward Error Correction* (FEC). This study uses Quasi-Cyclic (QC)-LDPC to improve the performance of the UVLC system in *clear ocean* and *coastal ocean* water types.

In this final project, an analysis of the performance of FEC using QC-LDPC on the UVLC system has been carried out and then compared with the UVLC system that does not use QC-LDPC to be analyzed using different types of seawater on the LDPC Channel, namely *Line of Sight* (LOS), so that it can compare the performance of QC-LDPC between two types of sea water, namely *clear ocean* and *coastal ocean*, with test parameters namely *Bit Error Rate* (BER), *Signal to Noise Ratio* (SNR), and *Transmission Distance*.

From the simulation results that have been carried out, it can be concluded that QC-LDPC as a whole is able to increase performance higher by 10% in *clear ocean water* and 11% increase in *coastal ocean water*. The maximum distance that can be reached by the system using QC-LDPC is 3.73 meters in *clear ocean water*, while in *coastal ocean* QC-LDPC is able to reach 2.92 meters with target BER 10^{-3} .

Keywords: VLC, UVLC, FEC, QC-LDPC, Bit Flipping, BER, SNR.

1. Pendahuluan

Visible Light Communication (VLC) telah berkembang sebagai salah satu inovasi teknologi zaman modern. VLC memanfaatkan panjang gelombang 380 nm - 780 nm spektrum cahaya tampak yang sesuai dengan 430 THz - 790 THz spektrum frekuensi untuk komunikasi data kecepatan tinggi [1]. Underwater Visible Light Communication (UVLC) menjadi salah satu potensi pengembangan untuk diteliti performansinya. Dengan adanya perkembangan UVLC, kini sistem VLC dapat diimplementasikan di dalam air. UVLC sangat menarik bagi militer, industri, dan komunitas ilmiah, karena mereka memainkan peran penting dalam pengawasan taktis, pemantauan polusi, pengendalian dan pemeliharaan minyak, eksplorasi lepas pantai, pemantauan perubahan iklim, dan penelitian oseanografi. Underwater Visible Light Communication (UVLC) adalah sistem komunikasi optik yang memanfaatkan cahaya tampak yang dimodulasi untuk mengirimkan data dengan media transmisi berupa air dengan jenis Pure Sea Water atau Clean Ocean Water dan Coastal Ocean Water. Media transmisi air laut mempunyai loss propagasi dipengaruhi dari beam extinction coefficients. Hal tersebut, memungkinkan sistem mempunyai loss propagasi yang lebih besar dari sistem VLC. Maka dari itu UVLC membutuhkan optical concentrator yang digunakan dalam photodetector yang memiliki kualitas lebih baik walau dengan kuantitas terbatas [3].

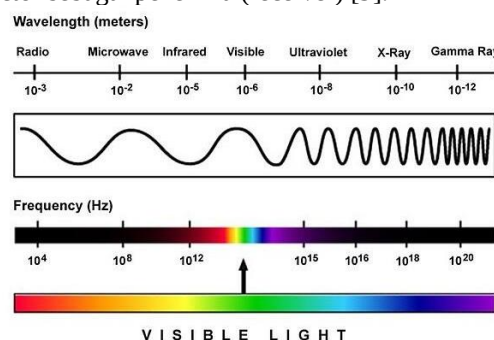
UVLC merupakan salah satu perkembangan teknologi dalam Underwater Wireless Optical Communication (UWOC) menggunakan cahaya tampak dalam spektrum elektromagnetik, air relatif transparan jika terkena cahaya dan absorpsi mempunyai nilai minimumnya. Pada UVLC mempunyai redaman cahaya dalam air yang dikarenakan oleh absorpsi dan hamburan yang mempengaruhi fase, amplitudo dan juga sudut tembak cahaya. Ini adalah mekanisme penyerapan utama dalam laut dan sangat bervariasi dengan panjang gelombang [4]. Dalam teknologi optik terdapat dua jenis photodetector yang dapat digunakan yaitu Avalanche Photodetector (APD) dan Positive Intrinsic Negative (PIN) Photodetector. Pada penelitian [3] menjelaskan concentrator jenis Compound Parabolic Concentrator yang dimana mempresentasikan optical concentrator merupakan kunci dalam sistem optical wireless communication (OWC).

Tugas Akhir ini bertujuan untuk membandingkan kinerja sistem UVLC dengan FEC yang telah menggunakan kode *Quasi-Cyclic Low-Density Parity-Check* (QC-LDPC codes) dengan sistem UVLC tanpa FEC yang digunakan di dalam air dengan jenis *clear ocean* dan *coastal ocean*. Parameter yang diuji adalah *Bit Error Rate* (BER), *Signal to Noise Ratio* (SNR), dan jangkauan komunikasi pada sistem UVLC dengan menggunakan *software* simulasi. Diharapkan dengan implementasi QC-LDPC codes dapat mengoptimalkan kinerja sistem UVLC. Berdasarkan hal tersebut, maka penelitian ini mengkonstruksi sejenis kode QC-LDPC dengan menggunakan gagasan kelompok perkalian, dengan kata lain memasukkan matriks sirkuler berstruktur garis diagonal ganda kuasi ke dalam matriks pemeriksa paritasnya.

2. Dasar Teori

2.1 Underwater Visible Light Communication (UVLC)

Visible Light Communication (VLC) merupakan komunikasi yang menggunakan cahaya tampak dengan panjang gelombang 380 nm – 780 nm sebagai media penghantar informasi. [1] Pada Gambar 2.1 dapat dilihat cahaya terbagi menjadi dua jenis yaitu cahaya tampak dan tidak tampak pada spektrum gelombang elektromagnetik. Spektrum cahaya tampak memiliki warna yang berbeda-beda. Cahaya tampak yang digunakan untuk VLC adalah Light Emitting Diode (LED) yang berfungsi sebagai sinyal pembawa (sinyal carrier) dan photodetector sebagai penerima (receiver) [9].



Gambar 2.1 Spektrum gelombang elektromagnetik

2.2 Light Emitting Diode (LED)

Light Emitting Diode (LED) adalah semi-konduktor yang dapat menghasilkan cahaya. LED hanya akan memancarkan cahaya apabila dialiri tegangan maju (forward bias) dari Anoda menuju ke Katoda. Proses terjadinya pancaran pembangkitan cahaya pada LED diperoleh dari proses eksitasi elektron. Eksitasi elektron adalah perpindahan elektron akibat dikenai energi dari keadaan dasar menuju keadaan yang lebih tinggi, ketika elektron berenergi kembali ke keadaan stabil, elektron akan melepaskan energinya dalam proses ini dan energi ini dilepaskan dalam bentuk foton [9].

2.3 Photodetector

Photodetector adalah penerima optik yang memiliki cara kerja hampir sama dengan solar cell. Komponen ini berfungsi untuk mendeteksi cahaya yang datang dan mengubahnya ke besaran listrik. Photodetector menghasilkan sinyal listrik yang sebanding dengan sinyal optik, sehingga sinyal yang dihasilkan oleh photodetector selalu sebanding dengan daya optik yang diterima. Sinyal optik umumnya lemah setelah melakukan transmisi melalui saluran komunikasi, maka photodetector harus memenuhi persyaratan, seperti sensitivitas yang tinggi, bandwidth yang memadai untuk mengakomodasi laju data yang diinginkan, dan tingkat noise yang rendah. Terdapat empat jenis photodetector yang dapat digunakan di sisi penerima optik: PIN photodiode, Avalance Photodiode (APD), Photoconductor, dan metal semiconductor metal photodiode. Pada sistem VLC photodetector yang paling sering digunakan adalah PIN dan APD [2].

2.4 Modulasi

Modulasi merupakan proses penumpangan sinyal informasi ke dalam sinyal pembawa (carrier). Pada sistem UVLC modulasi digunakan untuk mengefisiensikan daya dan bandwidth. Modulasi On-Off Keying (OOK) merupakan Teknik modulasi yang paling sederhana yang digunakan pada sistem komunikasi optik. Modulasi OOK dinyatakan dengan bit data "1" dan "0". Bit data 1 merepresentasikan pulsa optik yang menempati seluruh atau sebagian dari interval bit, sementara bit 0 merepresentasikan tidak adanya pulsa optik. Dapat diartikan, ketika bit data bernilai 1 maka sumber cahaya "on" dan ketika bit data bernilai 0 maka dinyatakan "off" [8].

2.5 Kanal Propagasi

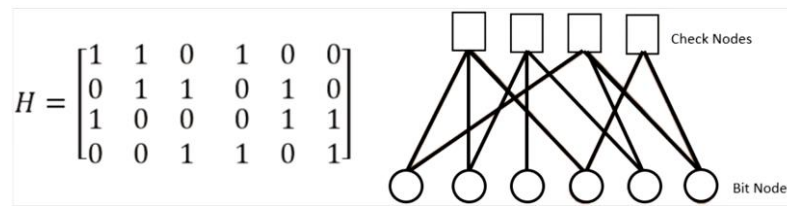
Pada suatu sistem komunikasi, kanal merupakan media yang digunakan untuk menyalurkan data dari transmitter menuju ke receiver. Kanal yang digunakan pada sistem komunikasi bawah laut adalah kanal air laut. Dimana kanal laut memiliki tiga macam tipe, diantaranya yaitu *Pure Sea Water atau Clean Ocean Water, Coastal Ocean Water, dan Turbid Harbor* [3].

Tabel 2.1 Karakteristik Tipe Air Laut

Water Type	$a \text{ (m}^{-1}\text{)}$	$b \text{ (m}^{-1}\text{)}$	$c \text{ (m}^{-1}\text{)}$
Clear ocean	0.114	0.037	0.151
Coastal ocean	0.179	0.220	0.339
Turbid Ocean	0.366	1.829	2.195

2.6 Quasi-Cyclic Low-Density Parity-Check (QC-LDPC)

Salah satu linear block dengan matriks parity check yang bersifat memiliki kebanyakan elemen bit '0' atau sparse adalah kode Low-Density Parity-Check (LDPC). LDPC codes diperkenalkan oleh Gallager tahun 1960. LDPC codes biasa direpresentasikan dalam bentuk matriks dan Tanner graph yang terdiri dari dua set simpul, simpul n untuk kode bit, sedangkan simpul m sebagai persamaan Parity Check. Berdasarkan Gambar 2.6 terdapat m check node menyatakan jumlah bit Parity Check, dan n bit node menyatakan jumlah bit pada codeword. Selain LDPC codes ada teknik koding yang juga menjanjikan dengan kompleksitas komputasi yang lebih rendah yaitu QC-LDPC codes, di mana bit 1 pada setiap baris akan bergeser ke kanan (cyclic shift) mengikuti baris sebelumnya. QC-LDPC codes dapat menghemat memori dan menghindari jumlah gir 4 pada konstruksi matriks [6].



Gambar 2.1 Matriks Parity Check dan Tanner graph $m \times n$ (4,6) koresponden

2.7 Parameter Hasil Perancangan

a) Bit Error Rate (BER)

BER merupakan nilai kesalahan bit yang terjadi saat proses mentransmisikan sinyal. Jika nilai BER = 10^{-3} artinya terdapat probabilitas satu bit yang error dari 1000 data yang dikirimkan dalam satu kali mentransmisikan data. Nilai BER dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$BER = \frac{\text{jumlah bit error}}{\text{total bit}} \quad (2.1)$$

Dari persamaan tersebut bisa kita tinjau jika semakin kecil nilai bit error pada jumlah data yang besar akan menghasilkan BER semakin kecil dan apabila BER semakin kecil, maka semakin baik suatu sistem transmisi pada jaringan komunikasi.

b) Signal to Noise Ratio (SNR)

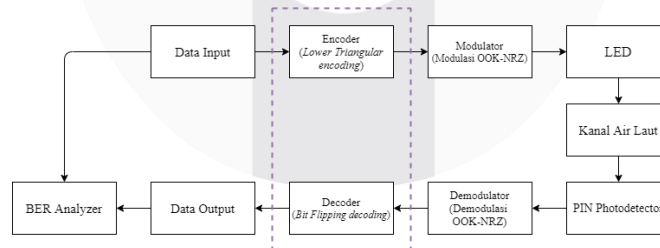
Signal to Noise Ratio (SNR) didefinisikan sebagai perbandingan daya sinyal yang ditransmisikan dengan daya noise yang terdapat pada sistem [3]. SNR merupakan parameter yang penting karena berhubungan dengan Bit Error Rate (BER) dimana BER merupakan parameter utama dalam pengukuran kualitas kinerja keseluruhan sistem komunikasi. Noise merupakan parameter yang mengganggu proses transmisi sinyal, semakin besar noise dalam sistem maka sinyal yang dapat diterima akan semakin kecil. Nilai SNR dapat diperoleh dari persamaan berikut:

$$SNR = \frac{(Pr \times R \times M)^2}{2 \times q \times Pr \times R \times M^2 \times F(M) \times B_e + \left(\frac{4 \times K_B \times T \times B_e}{R_L} \right)} \quad (2.2)$$

3. Model Sistem dan Perancangan

3.1 Desain Sistem

Pada penelitian ini dilakukan pengukuran kinerja FEC menggunakan metode QC-LDPC pada sistem UVLC. Kemudian hasil pengukuran akan dibandingkan dengan pengukuran sistem UVLC tanpa QC-LDPC sebagai FEC. Dalam bab ini menjelaskan tentang perencanaan sebuah sistem simulasi yang digunakan untuk menentukan kinerja FEC menggunakan QC-LDPC dengan sumber cahaya yang digunakan adalah LED, sehingga diperoleh hasil perbandingan dan dapat mengevaluasi kinerja QC-LDPC pada sistem UVLC.



Gambar 3.1 Blok Diagram Sistem UVLC dengan QC-LDPC

3.2 Sistem Pengolahan Data

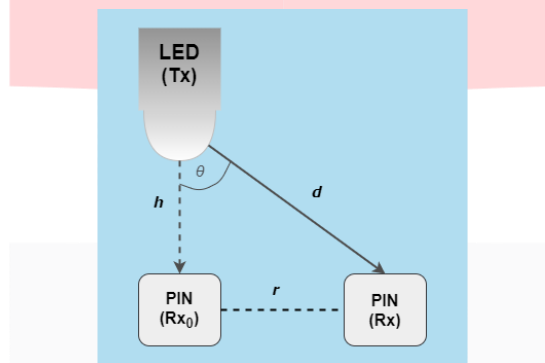
Pada penelitian ini terdapat dua simulasi dalam satu sistem. Simulasi pertama menjalankan sistem UVLC tanpa menggunakan FEC, dimana keluaran simulasi pertama diharapkan BER dengan nilai 10^{-3} . Setelah mendapatkan nilai yang diinginkan, selanjutnya masuk ke simulasi kedua dimana terdapat QC-LDPC codes sebagai *forward error correction* (FEC). Tahapan yang dilakukan sebagai berikut:

- 1) Melakukan perancangan dan desain sistem UVLC serta komponen-komponen pendukung simulasi.
- 2) Setelah perancangan sistem, diperlukan penentuan parameter jarak dan posisi *receiver* (*photodetector*). Penelitian ini disimulasikan di dalam air laut dengan jenis *clean ocean* dan *coastal ocean*.
- 3) Melakukan simulasi pertama pada sistem UVLC menggunakan kode FEC QC-LDPC codes.

- 4) Jika hasil keluaran simulasi belum mendapatkan $BER \leq 10^{-3}$, maka kembali ke tahap *input* data dan ubah jarak *receiver*.
- 5) Jika hasil keluaran simulasi memenuhi $BER \leq 10^{-3}$, maka akan didapatkan hasil simulasi UVLC dengan menggunakan FEC QC-LDPC.
- 6) Tahap selanjutnya adalah simulasi kedua yaitu UVLC tanpa menggunakan FEC QC-LDPC, dengan parameter *input* data yang sama dengan simulasi pertama (dengan FEC QC-LDPC).
- 7) Jika hasil keluaran simulasi belum mendapatkan $BER \leq 10^{-3}$, maka kembali ke tahap *input* data.
- 8) Jika hasil keluaran simulasi memenuhi $BER \leq 10^{-3}$, maka telah didapatkan hasil UVLC tanpa QC-LDPC.
- 9) Setelah melakukan simulasi dan mendapatkan hasil, selanjutnya adalah tahap analisis. Hasil jarak yang dapat dijangkau oleh UVLC dengan FEC QC-LDPC akan dibandingkan dengan yang tanpa menggunakan QC-LDPC *codes* berdasarkan parameter pengujian.

3.3 Desain Simulasi UVLC

Pada Penelitian ini, simulasi sistem UVLC memfokuskan perbandingan kinerja UVLC yang menggunakan FEC QC-LDPC *codes* dan yang tidak menggunakan FEC. Parameter pengujian pada simulasi yaitu spesifikasi LED, spesifikasi photodetector, jarak transmitter dan receiver, dan teknik modulasi telah ditentukan.



Gambar 3.1 Ilustrasi Desain Sistem UVLC.

3.4 Parameter Performansi Sistem

Analisis hasil kinerja simulasi UVLC dengan menggunakan FEC yang diterapkan pada QC-LDPC *codes* akan dibandingkan dengan sistem tanpa menggunakan FEC terhadap jarak komunikasi sistem, maka diperlukan parameter uji sebagai berikut:

Tabel 3.1 Spesifikasi Parameter Sistem UVLC

Parameter		Nilai/Keterangan
Transmitter	Jenis	LED
	Jumlah	1 buah
	Daya	2 Watt
Receiver	Jenis	PIN <i>photodetector</i>
	Luas permukaan detector	1 cm ²
	FOV	70°
	Responsivitas	0.85
Media	Kanal	<i>Line of Sight (LOS)</i>
	Air Laut	<i>Clean Ocean & Coastal Ocean</i>
Modulasi	On-Off Keying	OOK-NRZ
Lain-lain	Coderate	$1/2$
	Bit Rate	1 Mbps
	Jumlah Sample	10000 bit
	Jarak	2-5 m dan 4-7 m
	Kedalaman	2 m dan 4 m

3.5 Skenario Penelitian

Simulasi yang dilakukan bertujuan menemukan hasil jangkauan jarak terjauh sistem UVLC di jenis air *clear ocean* dan *coastal ocean* dengan BER dan SNR yang telah didapatkan. Terdapat dua skenario yang disimulasikan pada penelitian ini.

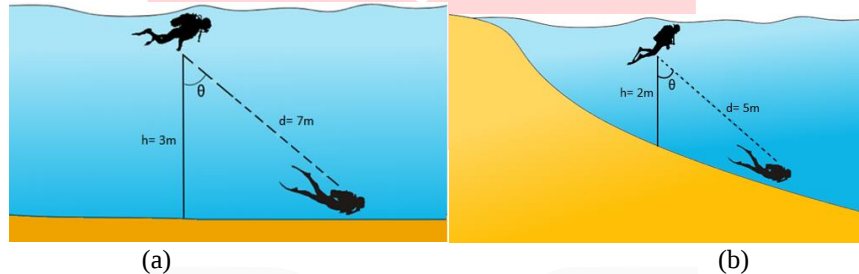
3.5.1 Sistem UVLC Menggunakan QC-LDPC

Pada skenario pertama, sistem UVLC disimulasikan menggunakan QC-LDPC pada *encoder* dan *decoder*. Pada skenario ini dilakukan juga perbandingan antara dua jenis air laut, yaitu *clear ocean* dan *coastal ocean*. *Photodetector* sebagai Rx akan diposisikan 70° dibawah LED. Hitung BER yang didapat pada jarak Rx yang terus menjauhi Tx. Perubahan jarak Rx dilakukan hingga didapatkan jarak maksimum pada *threshold* BER $\leq 10^{-3}$. Jika telah mendapatkan BER $\leq 10^{-3}$ pada jarak maksimum maka simulasi selesai.

3.5.2 Sistem UVLC Tanpa FEC QC-LDPC

Parameter dan skenario yang digunakan pada skenario kedua sama dengan skenario pertama, kecuali pada simulasi ini, tanpa menggunakan FEC QC-LDPC *codes*. Tahapan yang dilakukan sama seperti skenario pertama.

3.5.3 Skenario Simulasi *Clear Ocean* dan *Coastal Ocean*



Gambar 3.1 Skenario situasi aktual pada (a) *clear ocean water* dan (b) *coastal ocean water*

a. *Clear Ocean*

Clear ocean memiliki konsentrasi partikel terlarut yang lebih tinggi, memiliki panjang gelombang dengan rentang 450 nm - 500 nm dengan warna LED putih. Jenis air *clear ocean* memiliki nilai absorpsi sebesar 0.144, nilai scattering sebesar 0.037, dan nilai atenuasi sebesar 0.151.

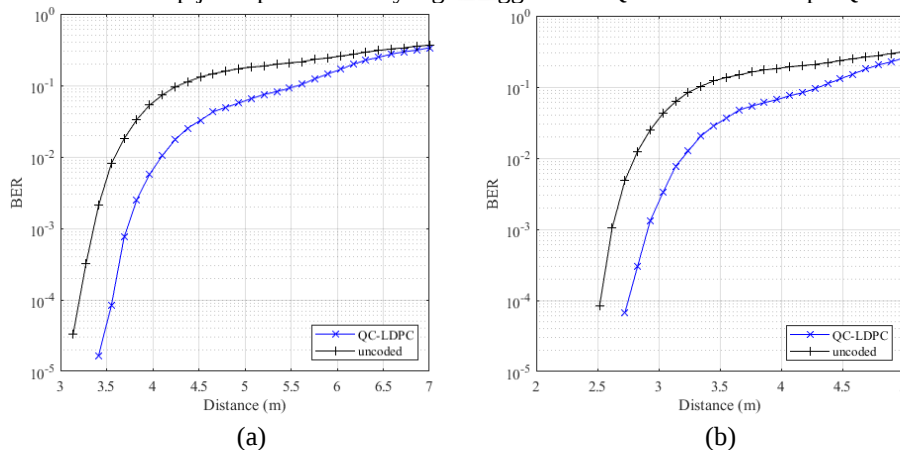
b. *Coastal Ocean*

Coastal ocean memiliki konsentrasi partikel terlarut yang lebih tinggi, dengan nilai absorpsi sebesar 0.179, nilai scattering sebesar 0.220, dan nilai atenuasi sebesar 0.339. *Coastal ocean* memiliki panjang gelombang sekitar 520 nm - 570 nm dengan warna LED putih.

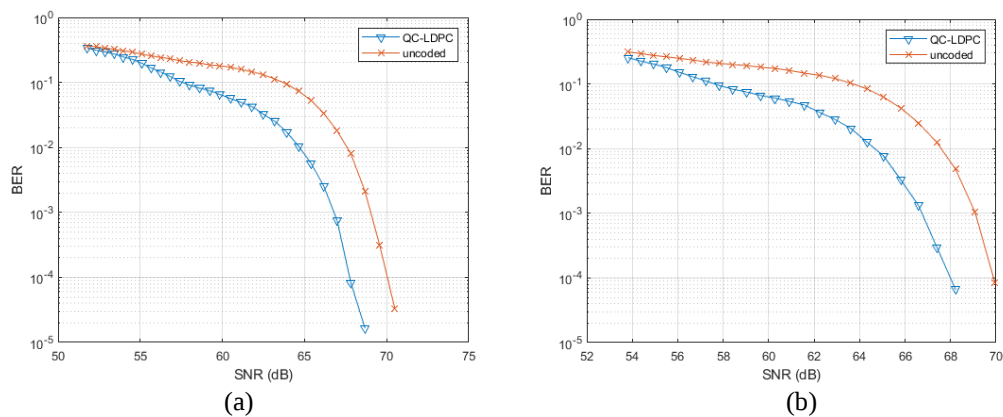
4. Hasil dan Analisis

4.1 Analisis Kinerja Sistem UVLC

Untuk menganalisis sistem komunikasi UVLC di jenis air *clear ocean* dan *coastal ocean* ini dilakukan simulasi BER terhadap jarak pada UVLC yang menggunakan QC-LDPC dan tanpa QC-LDPC.



Gambar 4.1 Hasil Pengukuran BER terhadap Jarak pada (a) *Clear Ocean* b) *Coastal Ocean*



Gambar 4.2 Hasil Pengukuran BER terhadap SNR pada (a) Clear Ocean b) Coastal Ocean

Untuk membandingkan sistem UVLC pada jenis air laut clear ocean dan coastal ocean yang menggunakan QC-LDPC dengan tanpa QC-LDPC dilakukan perbandingan BER terhadap jarak dan SNR. Setelah melakukan simulasi dan analisis terhadap beberapa parameter uji tersebut, terbukti sistem yang menggunakan QC-LDPC mampu memberikan performansi yang lebih baik. Hal ini terbukti dari masing-masing target BER 10^{-3} yang dibandingkan dengan parameter uji.

Tabel 4.1 Perbandingan Nilai SNR dan Jarak terhadap BER 10^{-3} pada 2 Jenis Air

Jenis Air			
Parameter		Clear Ocean	Coastal Ocean
Jarak (m)	QC-LDPC	3,73 m	2,92 m
	Uncoded	3,37 m	2,62 m
SNR (dB)	QC-LDPC	66,78 dB	66.98 dB
	Uncoded	68,95 dB	69.07 dB

Secara keseluruhan penggunaan FEC menggunakan metode QC-LDPC pada sistem UVLC pada jenis air laut *clear ocean* dan *coastal ocean* memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan sistem yang tidak menggunakan QC-LDPC. Hal tersebut karena koreksi *error* pada FEC mampu mengontrol kesalahan dalam transmisi data dimana *transmitter* (pemancar) mengirimkan data yang berlebihan dan *receiver* (penerima) hanya mengenali bagian data yang tidak mengandung kesalahan yang jelas. Koreksi terhadap *error* dilakukan dengan menggunakan teknik *coding* sebelum data dikirimkan dan sebelum data diterima. Karena FEC tidak memerlukan sentuhan antara pengirim dan penerima, FEC dapat digunakan untuk mengirimkan data ke banyak tujuan secara bersamaan dari satu sumber. Sehingga meningkatkan reliabilitas data dalam proses pengiriman data yang mampu mendeteksi dan mengoreksi kesalahan bit selama transmisi.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis penelitian mengenai analisis kinerja FEC menggunakan metode QC-LDPC pada sistem UVLC pada jenis air *clear ocean* dan *coastal ocean* dengan melakukan perbandingan sistem yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil penggunaan QC-LDPC pada sistem UVLC pada jenis air *clear ocean* dan *coastal ocean* menggunakan *codelength* 10000 dengan *coderate* $\frac{1}{2}$, dan iterasi *decoding* sebanyak 20 kali memiliki performansi yang lebih baik dibandingkan sistem tanpa pengkodean QC-LDPC. Untuk target BER 10^{-3} pada jenis air *clear ocean*, penggunaan QC-LDPC mampu menempuh jarak transmisi sejauh 3,73 meter, sedangkan jika simulasi tanpa menggunakan QC-LDPC didapatkan jarak sejauh 3,37 meter. Untuk target BER 10^{-3} pada jenis air *coastal ocean*, penggunaan QC-LDPC mampu mencapai jarak transmisi sejauh 2.92 meter, sedangkan jika simulasi tanpa menggunakan QC-LDPC maka didapatkan jarak yang mampu dicapai sejauh 2.62 meter.
2. Pada simulasi sistem UVLC yang menggunakan jenis air *clear ocean* dan *coastal ocean* dengan acuan BER 10^{-3} , penggunaan teknik pengkodean QC-LDPC menghasilkan nilai SNR yang lebih baik dibandingkan dengan sistem tanpa QC-LDPC. Untuk target BER 10^{-3} pada jenis air *clear ocean*, penggunaan QC-LDPC mampu menghasilkan nilai SNR sebesar 66.78 dB, sedangkan jika simulasi

tanpa menggunakan QC-LDPC maka dihasilkan nilai SNR sebesar 68,95 dB. Untuk target BER 10^{-3} pada jenis air *coastal ocean*, penggunaan QC-LDPC mampu menghasilkan nilai SNR sebesar 66,98 dB, sedangkan jika simulasi tanpa menggunakan QC-LDPC maka dihasilkan nilai SNR sebesar 69,07 dB.

3. Berdasarkan dari hasil simulasi dan analisis perancangan sistem UVLC di jenis air *clear ocean* menggunakan teknik pengkodean QC-LDPC secara keseluruhan mampu meningkatkan performansi lebih tinggi yaitu 10%, jarak maksimal yang dapat dijangkau oleh sistem dengan menggunakan QC-LDPC adalah 3,73 meter yang berarti mempunyai selisih jarak sejauh 0,36 meter apabila dibandingkan dengan simulasi yang tanpa menggunakan QC-LDPC.
4. Untuk simulasi yang diuji pada jenis air *coastal ocean* dengan menggunakan QC-LDPC mampu menjangkau sejauh 2,92 meter yang berarti mempunyai selisih jarak sejauh 0,3 meter apabila dibandingkan dengan simulasi yang tanpa menggunakan QC-LDPC dengan acuan BER 10^{-3} . Sehingga setelah dianalisis, dapat disimpulkan bahwa penerapan sistem UVLC menggunakan teknik pengkodean QC-LDPC pada jenis air *coastal ocean* dapat meningkatkan performansi sistem yang lebih tinggi yaitu sebesar 11%.
5. Tugas Akhir ini menguji sebuah skema sistem UVLC dengan menggunakan QC-LDPC yang kemudian dibandingkan dengan sistem UVLC tanpa pengkodean pada 2 jenis air laut yang berbeda yaitu *clear ocean* dan *coastal ocean*. Teknik pengkodean QC-LDPC memiliki kompleksitas komputasi yang rendah pada proses *encoding* dan *decoding*. Tugas Akhir ini mengkonfirmasi bahwa penggunaan QC-LDPC dapat meningkatkan performansi sistem UVLC secara keseluruhan yaitu dengan meningkatnya kinerja BER dan jarak propagasi sebesar 10% pada jenis air *clear ocean* dan meningkat 11% pada *coastal ocean water*.

REFERENSI

- [1] Y. Chen, Y. Su, D. Xue, and C. Dong, "Research on performance of visible light communication based on LDPC code," *Proc. - 5th Int. Conf. Instrum. Meas. Comput. Commun. Control. IMCCC 2015*, pp. 1461–1465, 2016, doi: 10.1109/IMCCC.2015.310.
- [2] Z. Ghassemlooy, W. Popoola, and S. Rajbhandari, *Optical Wireless Communications*. Second edition. | Boca Raton, FL : CRC Press/Taylor & Francis Group, 2018.: CRC Press, 2019.
- [3] H. Kaushal and G. Kaddoum, "Underwater Optical Wireless Communication," *IEEE Access*, vol. 4, pp. 1518–1547, 2016, doi: 10.1109/ACCESS.2016.2552538.
- [4] M. Elamassie, F. Miramirkhani, and M. Uysal, "Performance characterization of underwater visible light communication," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 67, no. 1, pp. 543–552, 2019, doi: 10.1109/TCOMM.2018.2867498.
- [5] A. Khalid, M. Ahmad, N. Khan, and A. Ali, "Enhancement of Visible Light Communication Transceiver using LDPC Codes," *Proc. - 2018 Int. Conf. Front. Inf. Technol. FIT 2018*, pp. 94–98, 2019, doi: 10.1109/FIT.2018.00024.
- [6] L. Piterman, F. Judd, G. Blashki, H. Yang, and S. Thomas, "Case Studies of Mental Health in General Practice- Who Cares for the Carer of a Mentally Ill Patient," *Chinese Gen. Pract.*, vol. 16, no. 12, pp. 4014–4019, 2013, doi: 10.3969/j.
- [7] STEVE HRANILOVIC, *BOOK Wireless Optical Communications Systems*. 2005.
- [8] K. D. Rao, *Channel coding techniques for wireless communications*. 2015.
- [9] E. Abdullah and A. Idris, "Comparison between LDPC codes and QC-LDPC codes in term of PAPR in OFDM system with different encoding techniques," *Proc. - 2015 6th IEEE Control Syst. Grad. Res. Colloquium, ICSGRC 2015*, pp. 23–26, 2016, doi: 10.1109/ICSGRC.2015.7412458.
- [10] J. Amano, T. Wada, and K. Mukumoto, "An evaluation of a parallel transmission visible light communication system employing an LDPC code," *2012 Int. Symp. Inf. Theory Its Appl. ISITA 2012*, pp. 566–570, 2012.
- [11] R. P. Aisyah, "ITS - Institut Teknologi Sepuluh Nopember," *Inst. Teknol. Sepuluh Nop.*, 2006, [Online]. Available: <http://old.its.ac.id/berita.php?nomer=2512>.
- [12] P. Karthik, B. M. Kumar, B. A. Ravikiran, K. Suresh, and G. Toney, "Implementation of visible light communication (VLC) for vehicles," *Proc. 2016 Int. Conf. Adv. Commun. Control Comput. Technol. ICACCCT 2016*, no. Vlc, pp. 673–675, 2017, doi: 10.1109/ICACCCT.2016.7831724.