

ANALISIS KINERJA *VISIBLE LIGHT COMMUNICATION* (VLC) MENGUNAKAN KODE *QUASI-CYCLIC LOW-DENSITY PARITY-CHECK* (QC-LDPC)

ANALYSIS ON VISIBLE LIGHT COMMUNICATION (VLC) PERFORMANCE USING QUASI-CYCLIC LOW-DENSITY PARITY-CHECK (QC-LDPC) CODE

Fernaldy Arifin¹, Dr. Nachwan Mufti Adriansyah, S.T., M.T.², Brian Pamukti, S.T., M.T.³

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

¹frnaldy@student.telkomuniversity.ac.id, ²nachwanma@telkomuniversity.ac.id,

³brianpamukti@telkomuniversity.ac.id.

Abstrak

Tugas Akhir ini melakukan studi atas teknologi yang berkembang pesat pada sistem pertelekomunikasian. Saat ini komunikasi yang cepat dan efisien menjadi kebutuhan yang penting. Untuk mewujudkannya, dibutuhkan teknologi yang mumpuni yaitu Visible Light Communication (VLC). VLC yang memanfaatkan free-space optic sebagai kanal transmisi memiliki kemampuan komunikasi data kecepatan tinggi, yang menggunakan LED sebagai transmitter.

Salah satu bagian dari channel coding sebagai Forward Error Correction (FEC) yang menjanjikan adalah Quasi-Cyclic Low-Density Parity-Check (QC-LDPC) codes. Channel coding ini berfungsi untuk melindungi sinyal informasi dan memungkinkan terhindarnya dari noise pada kanal transmisi. Maka, untuk meningkatkan performansi sistem VLC, pengkodean FEC ini digunakan pada encoder dan decoder. Pada penelitian ini dilakukan evaluasi kinerja dengan variasi jumlah iterasi decoding sehingga mendapatkan kinerja performansi yang baik. Kemudian sistem VLC menggunakan QC-LDPC codes akan dibandingkan dengan sistem VLC tanpa menggunakan pengkodean FEC terhadap parameter uji BER, received power, jarak propagasi, dan SNR.

Simulasi pada penelitian menggunakan FEC ini menghasilkan performansi yang terbaik apabila menggunakan jumlah iterasi decoding sebanyak 15. Didapatkan hasil simulasi sistem VLC menggunakan QC-LDPC codes dengan target BER $\leq 10^{-3}$ dapat meningkatkan performansi dengan kenaikan jarak propagasi sebesar 7%, dengan keunggulan sebesar 2.75 dB pada SNR, serta received power dengan kinerja lebih baik sebesar 27.5%

Kata Kunci : VLC, QC-LDPC codes, Received Power, BER, SNR.

Abstract

This Final Project studies a technology that is being developed in the telecommunications system. Nowadays fast and efficient communication becomes an important requirement. To make this happen, a reliable technology is needed, namely Visible Light Communication (VLC). VLC that utilizes free space optics as a transmission channel has high speed data communication capability, which uses LEDs as a transmitter.

One of the promising channel coding as Forward Error Correction (FEC) is the QC-LDPC codes. The function of this channel coding is to protect the information signal and allow avoidance of noise on the transmission channel. So, to improve the performance of the VLC system, FEC codes are used in this study on the encoder and decoder. An evaluation performance with variation number of decoding iterations are studied, as to get a good performance. Then the VLC system using QC-LDPC codes will be compared to the VLC system which is not using the FEC encoding towards the BER, received power, propagation distance and SNR.

The simulation in this study produced with this FEC codes is when using 15 iterations of decoding iteration. The results of the simulation of the VLC system using QC-LDPC codes with a target of BER $\leq 10^{-3}$ improves performance by increasing the propagation distance by 7%, with advantages of 2.75 dB on SNR, and received power with better performance of 27.5%

Keywords : VLC, LDPC, Channel Coding, BER, SNR, coderate, iteration.

1. Pendahuluan

Visible Light Communication (VLC) merupakan teknologi nirkabel menggunakan cahaya tampak yang menggunakan *Light Emitting Diode* (LED) sebagai *transmitter*. Cahaya tampak bekerja pada frekuensi spektrum 300 Tera Hertz (THz) sampai 700 THz untuk komunikasi data kecepatan tinggi. Keamanan privasi komunikasi data terjamin dengan sifat cahaya tampak yang tidak dapat menembus bidang solid.

Selain kelebihan VLC yang disebutkan, sistem VLC ini menunjukkan beberapa kekurangan. Pada penelitian [1] didapatkan jarak komunikasi sebesar 2.5 m, hal tersebut terbilang relatif pendek jika dihubungkan dengan fungsi LED sebagai penerang ruangan. Hal tersebut disebabkan semakin jauh jarak antara pengirim dan penerima maka sinyal *error* akan semakin besar. Interferensi dari paparan ataupun refleksi cahaya putih lain juga menjadi masalah pada VLC karena dapat mengganggu transmisi data [2].

Untuk meningkatkan kinerja sistem VLC, maka pada simulasi akan digunakan QC-LDPC *codes* sebagai *Forward Error Correction* (FEC) dengan parameter uji yaitu BER, *received power*, SNR, dan jangkauan jarak komunikasi.

2. Dasar Teori

2.1. Visible Light Communication

Visible Light Communication merupakan teknologi nirkabel yang menggunakan cahaya LED sebagai media transmisi datanya [4]. VLC memanfaatkan *free-space channel* sebagai media transmisi cahaya tampak. Sistem VLC tidak menimbulkan radiasi akibat transmisi gelombang elektromagnetik yang dapat berbahaya. Selain itu, penggunaan VLC pada kawasan yang melarang *Radio Frequency* (RF) juga merupakan salah satu solusi, contoh; rumah sakit, Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU), dan pesawat. VLC yang tidak menggunakan lisensi pada bandwidth merupakan sebuah keunggulan dibandingkan RF. Perbandingan antara VLC dengan komunikasi (RF) dapat dilihat pada Tabel 1. Oleh karena itu, VLC menjadi alternatif yang menjanjikan jika dibandingkan dengan *Radio Frequency* (RF).

Tabel 1. Perbandingan sistem VLC dan RF [5].

Parameter	VLC	RF
Jangkauan	Sempit-lebar	Lebar
Jarak	Pendek	Jauh
Sumber <i>noise</i>	Cahaya tampak dan cahaya matahari	Perangkat elektronik
Interferensi elektromagnetik	Tidak terpengaruh	Terpengaruh
Keamanan	Baik	Buruk
Mobilitas	Terbatas	Baik

2.2. Channel Coding

Channel coding digunakan untuk meningkatkan performansi dari suatu kanal transmisi sehingga sinyal transmisi yang dihasilkan terhindar dari *noise* dan mencapai komunikasi yang dapat diandalkan. Area *channel coding* terdiri dari dua bagian, yaitu *waveform coding* dan *structured sequence*. Pada bagian *waveform coding* dilakukan perbaikan sinyal transmisi, sedangkan *structured sequence* memiliki bit *redundancy* yang berfungsi untuk mendeteksi dan mengoreksi *error* [5].

2.3. Quasi-Cyclic Low-Density Parity-Check (LDPC) codes

Salah satu *linear block* dengan matriks *parity check* yang bersifat memiliki kebanyakan elemen bit '0' atau *sparse* adalah QC-LDPC *codes*. FEC ini merupakan kode blok linear (n, k) yang mengambil simbol informasi k bit dan peta ke n bit *codeword*. Konstruksi matriks H QC-LDPC *codes* memiliki kompleksitas komputasi yang rendah yaitu, 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 girth 4 pada konstruksi matriks [6].

QC-LDPC code terdiri dari blok matriks identitas yang bergeser melingkar [7]. Sebagai contoh P adalah $L \times L$ matriks permutasi sirkular

$$P = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \\ 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

dengan P berasal dari matriks identitas I setelah yang paling akhir bergeser ke kanan sejauh i ($0 \leq i \leq L$). Pada (2.7), terlihat hasil matriks *parity check* H ($j \cdot L$) \times ($k \cdot L$).

$$H = \begin{bmatrix} p^{11} & p^{12} & \dots & p^{1(k-1)} & p^{1k} \\ p^{21} & p^{22} & \dots & p^{2(k-1)} & p^{2k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ p^{j1} & p^{j2} & \dots & p^{j(k-1)} & p^{jk} \end{bmatrix}, \quad (2)$$

2.4. Encoding QC-LDPC codes

Pada proses *encoding* QC-LDPC codes, digunakan matriks generator G yang didapatkan dari matriks *parity check* H . Digunakan metode eliminasi *Gauss-Jordan* sebagai konstruksi matriks generator G untuk H yang diberikan. Langkah encoding menggunakan matriks generator G seperti [6] sebagai berikut, pertama matriks H akan dibentuk seperti persamaan (3)

$$H = [P, I_{n-k}] , \quad (3)$$

dengan P adalah matriks biner sirkular dan I adalah matriks identitas.

Setelah itu sub matriks I bertukar tempat dengan sub matriks P . Matriks generator G pada *linear block codes* didefinisikan saat matriks generator seperti format berikut

$$G = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 & p_{1,1} & p_{1,2} & \dots & p_{1,n-k} \\ 0 & 1 & \dots & 0 & p_{2,1} & p_{2,2} & \dots & p_{2,n-k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 1 & p_{k,1} & p_{k,2} & \dots & p_{k,n-k} \end{bmatrix} , \quad (4)$$

dengan I_k adalah matriks identitas $k \times k$ dan P^T sebagai matriks $k \times (n-k)$. Selanjutnya akan dilakukan encoding dengan generator matriks menggunakan persamaan

$$c = u * G , \quad (5)$$

dengan c adalah codeword yang dihasilkan dan u adalah bit informasi. Codeword c dikatakan valid apabila memenuhi persamaan berikut

$$H * c = 0 . \quad (6)$$

2.5. Decoding QC-LDPC codes

Decoding jenis *Bit Flipping* (BF) adalah metode *decoding* yang membutuhkan XOR dan perbandingan untuk melakukan operasinya. Metode *bit-flipping* merupakan bagian decoding *hard-decision* untuk setiap bit yang diterima (0 atau 1). Langkah penting pada algoritma decoding iterative adalah pelewatan pesan antar node pada tanner graph. Pada bit-flipping, message node mengirimkan pesan biner pada check node. Lalu setiap check node mengirim pesan pada message node yang terhubung tanner graph lalu dicek apakah parity-check terpenuhi atau tidak.

2.6. Bit Error Rate (BER)

Nilai BER didapatkan dari perbandingan jumlah bit yang error terhadap jumlah total bit pada saat proses decoding. Pada simulasi ini diinginkan BER maksimal 10⁻³, yang berarti hanya 1 bit yang error dari total 1000 bit. Pada BER, semakin kecil nilainya maka akan semakin baik karena dari jumlah bit total yang lebih banyak, peluang bit error semakin kecil. Sebaliknya, BER dengan nilai yang besar memiliki peluang bit error yang lebih besar.

$$BER = \frac{\text{jumlah bit error}}{\text{total bit}} , \quad (4)$$

2.7. Signal to Noise Ratio (SNR)

Signal to Noise Ratio adalah perbandingan daya sinyal dengan noise yang diterima [2]. SNR dapat dirumuskan sebagai:

$$SNR = \frac{(RP_r)^2}{\sigma_{shot}^2 + \sigma_{thermal}^2} , \quad (5)$$

dengan $\sigma_{shot}^2 + \sigma_{thermal}^2$ dirumuskan sebagai:

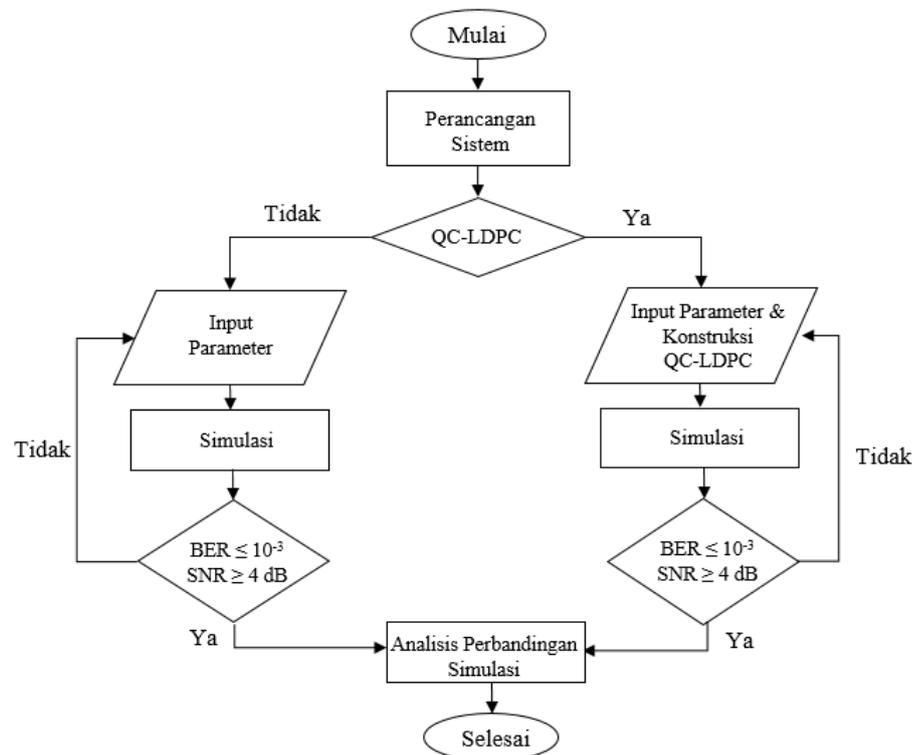
$$\sigma_{shot}^2 = 2QR P_r B + 2Q I_B I_2 B , \quad (6)$$

$$thermal = \frac{8\pi k T_k}{G_{ol}} C_{pd} A I_2 B^2 + \frac{16\pi^2 k T_k \Gamma}{gm} C_{pd}^2 A^2 I_3 B^3 , \quad (7)$$

dengan R adalah nilai Responsivitas detektor (A/W), P_r adalah daya jatuh pada PIN (Watt), B adalah *Receiver electrical bandwidth* (Hz), Q adalah Muatan elektron ($1,69 \times 10^{-19}$ C), I_B adalah *Photocurrent*, T_k adalah Suhu (K) C_{pd} adalah kapasitas *photodetector* per satuan luas dan g_m adalah Faktor transkonduktansi. I_2 adalah *Noise bandwidth* 0,562, k adalah Konstanta Boltzman ($1,38 \times 10^{-23}$ J/K), dan I_3 adalah noise bandwidth (0,0868).

3. Perancangan Sistem

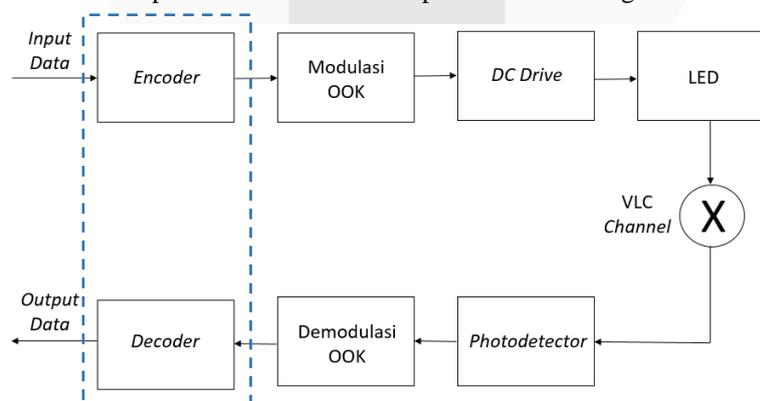
Dalam penelitian ini langkah diurutkan seperti pada Gambar 2 dimulai dengan melakukan pemodelan sistem dan melakukan simulasi berdasarkan parameter yang telah ditentukan. Simulasi dilakukan untuk menganalisis nilai BER terhadap parameter uji *received power*, jarak, dan SNR dan kemudian akan membandingkan sistem yang menggunakan QC-LDPC *codes* dan tanpa pengkodean.



Gambar 1. Diagram Alir Perancangan Simulasi.

3.1. Blok Diagram Sistem VLC

Tugas Akhir ini melakukan penelitian sistem VLC seperti didesain sebagai berikut:



Gambar 2. Diagram Blok Sistem VLC.

Pada Gambar 2 menunjukkan input data berupa bit (0 dan 1) akan melewati *channel coding*, dimana *encoder* dengan QC-LDPC *codes* akan mengenkapsulasi bit info dengan *parity bit*. Encoder menggunakan metode generator matriks G dan akan menghasilkan sebuah *codeword*. Lalu akan melewati proses penumpangan sinyal informasi menggunakan teknik modulasi OOK-NRZ. Dengan daya yang dihasilkan oleh *drive current*, LED akan mentransmisikan bit-bit informasi. Selanjutnya bit informasi akan melewati kanal VLC dengan medium udara

melalui gelombang cahaya tampak pada LED. Setelah melewati kanal udara VLC, sinyal optik kemudian akan diterima oleh *photodetector*. *Photodetector* merupakan perangkat semikonduktor yang berfungsi untuk mendeteksi bit transmisi beserta noise yang dihasilkan oleh kanal udara. Pada demodulator akan dipisahkan kembali sinyal informasi dengan sinyal *carrier*. Selanjutnya pada *decoder bit-flipping* akan dideteksi bit informasi menggunakan matriks H . Menggunakan QC-LDPC codes pada *encoder* dan *decoder*, sinyal hasil transmisi akan dioptimalisasi agar BER = 10^{-3} tercapai. Maka proses transmisi bit informasi dari *transmitter* ke *receiver* telah selesai.

3.2. Desain Simulasi VLC

Simulasi pada sistem VLC menggunakan pengkodean QC-LDPC dengan matriks generator G sebagai algoritma pada bagian *encoding*. Pada bagian *decoding* menggunakan algoritma *Bit Flipping*, pengujian jumlah iterasi pada *decoding* akan disimulasikan untuk mengetahui kinerja yang paling baik dengan BER yang dicapai.

Selain algoritma pada *encoding* dan *decoding* terdapat parameter sistem yang digunakan saat simulasi antara lain:

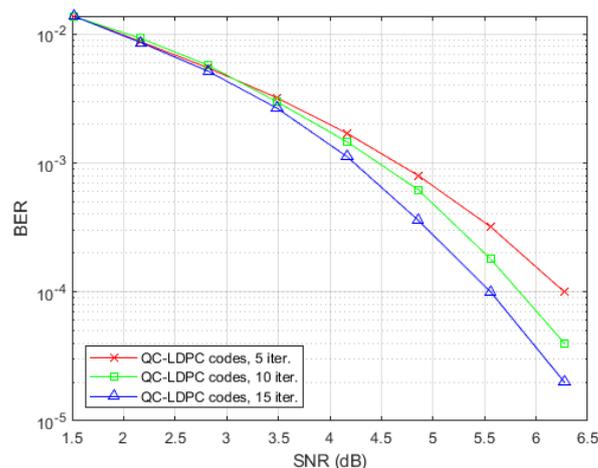
Tabel 2. Parameter simulasi.

Parameter		Nilai
Transmitter	Jenis	LED
	Jumlah	1 (satu) buah
	Daya	2 Watt
Receiver	Jenis	PIN <i>photodetector</i>
	Luas permukaan detector	1 cm ²
	FOV	70°
	Responsivitas	0.85

4. Hasil Simulasi dan Analisis

4.1. Analisis Jumlah Iterasi Decoding QC-LDPC Codes

Pada sub bab ini, QC-LDPC codes yang telah dirancang dengan $R = \frac{1}{2}$ pada sistem VLC akan dianalisis jumlah iterasi nya pada *decoder*. Jumlah iterasi yang disimulasikan pada skenario ini adalah sebanyak tiga variasi iterasi. Gambar 4.1 memperlihatkan hasil perbandingan BER terhadap SNR pada beberapa variasi jumlah iterasi decoding QC-LDPC codes yaitu 5, 10, dan 15 iterasi. Gambar tersebut menjelaskan bahwa jumlah iterasi mempengaruhi nilai BER terhadap SNR yang dihasilkan. Pada jumlah iterasi = 5, didapatkan target nilai BER = 10^{-3} saat SNR bernilai 4.67 dB. Lalu pada jumlah iterasi = 10 dengan acuan nilai BER yang sama, didapatkan nilai SNR sebesar 4.47 dB. Sedangkan pada jumlah iterasi = 15 dengan acuan nilai BER yang sama, didapatkan nilai SNR sebesar 4.21 dB.



Gambar 4. Perbandingan jumlah iterasi decoding.

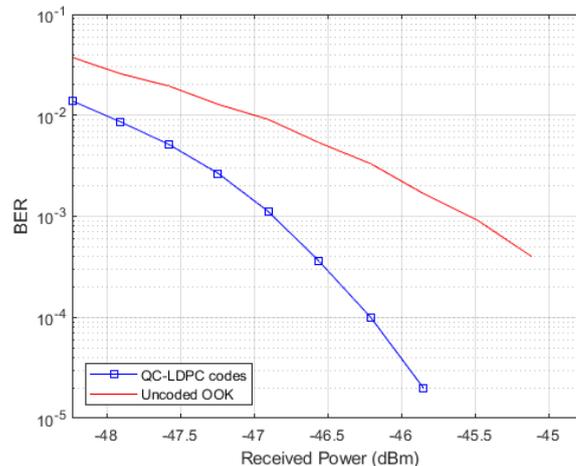
Terlihat dari hasil pengujian, nilai SNR untuk mencapai target BER = 10^{-3} akan semakin menurun sejalan dengan bertambahnya jumlah iterasi *decoding*. Terlihat bahwa jumlah iterasi = 15 memiliki kinerja paling baik karena menghasilkan nilai BER paling rendah. Dapat dianalisis bahwa kenaikan jumlah pada setiap iterasi *decoding* meningkatkan performansi *coding gain*, walaupun kenaikan jumlah iterasi menghasilkan waktu delay

pada *decoding* lebih lama. Dalam hal ini didapatkan coding gain sebesar ± 0.5 dB dari perbandingan jumlah iterasi terbesar dan terkecil.

4.2 Analisis Paramater Uji

Perbandingan hasil simulasi sistem VLC dengan menggunakan QC-LDPC *codes* dengan $R = \frac{1}{2}$ dan sistem VLC tanpa menggunakan *forward error correction* atau *uncoded* OOK. Pada skenario ini digunakan satu buah lampu LED dengan daya 2 Watt. Teknik modulasi pada simulasi ini adalah OOK-NRZ dengan model kanal LOS. Parameter uji yang akan dianalisis yaitu BER terhadap *received power*, jarak, dan SNR.

4.2.1 Analisis BER Terhadap Received Power



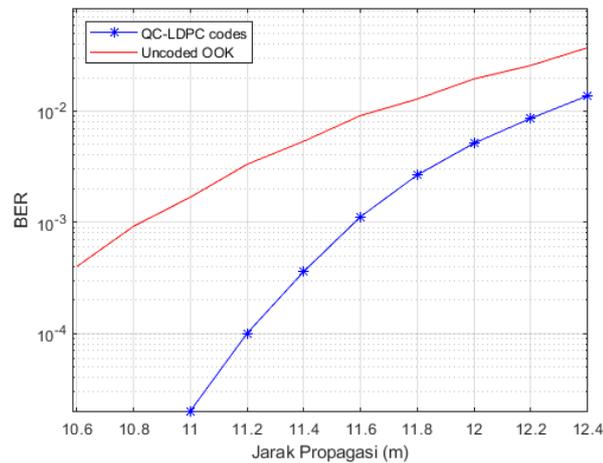
Gambar 5. Perbandingan BER QC-LDPC dan uncoded OOK terhadap minimum *received power*.

Pada Gambar 5 memperlihatkan perbandingan minimum *received power* terhadap threshold BER = 10^{-3} . Nilai BER pada simulasi ini merupakan hasil dari 15 iterasi *decoding*. Pada sistem VLC tanpa menggunakan *forward error correction* atau *uncoded* OOK, threshold BER = 10^{-3} dapat tercapai saat minimum *received power* bernilai -45.5 dBm. Nilai BER terendah yang didapatkan bernilai 4×10^{-4} saat *received power* bernilai -45.11 dBm. Pada sistem VLC dengan menggunakan QC-LDPC *codes*, didapatkan nilai *threshold* BER = 10^{-3} saat minimum *received power* bernilai -46,9 dBm. Sedangkan nilai BER terendah yang didapatkan bernilai 2×10^{-5} saat *received power* bernilai -45.85 dBm. Dapat dianalisis bahwa Semakin tinggi *received power* maka nilai BER akan semakin menurun secara logaritmik, ataupun sebaliknya. Terlihat bahwa pada penggunaan QC-LDPC *codes* terjadi peningkatan kinerja sistem VLC dengan adanya penurunan kebutuhan daya transmisi untuk mencapai *threshold* BER = 10^{-3} yaitu sebesar ± 1.4 dBm atau 28.5% terhadap *uncoded* OOK.

4.2.2 Analisis BER Terhadap Jarak

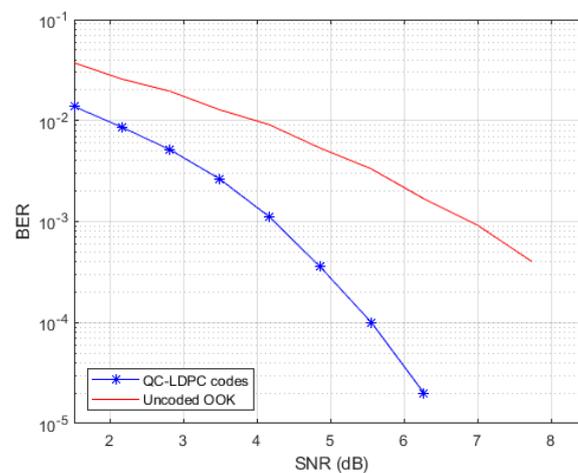
Pengujian pada skenario ini dilakukan pada jarak antara transmitter dan receiver yang diubah untuk mencari jarak terjauh dengan target BER = 10^{-3} . Nilai BER QC-LDPC *codes* merupakan hasil dari 15 iterasi *decoding*. Terlihat pada Gambar 6 bahwa sistem VLC tanpa penggunaan *forward error correction* atau *uncoded* OOK, menghasilkan nilai *threshold* BER = 10^{-3} pada jarak terjauh penerima adalah 10.8 m. Sedangkan pada sistem VLC menggunakan QC-LDPC *codes*, jarak terjauh penerima adalah 11.6 m pada acuan BER = 10^{-3} . Nilai BER = 0 dapat tercapai pada jarak 11 m menggunakan QC-LDPC *codes*.

Hal tersebut menjelaskan hubungan BER dengan jarak propagasi bahwa semakin dekat jarak *receiver* maka nilai BER akan semakin kecil secara logaritmik sampai dengan 0. Sebaliknya, saat jarak *receiver* semakin jauh maka akan menghasilkan BER yang semakin besar mendekati 10^0 . Terlihat bahwa penggunaan QC-LDPC *codes* meningkatkan jarak propagasi sistem VLC sebesar 7% pada simulasi ini lebih baik dari sistem VLC *uncoded* OOK.



Gambar 6. Perbandingan BER QC-LDPC codes dan uncoded OOK Terhadap Jarak.

4.2.3 Analisis BER Terhadap SNR



Gambar 7. Perbandingan BER QC-LDPC codes dan uncoded OOK Terhadap SNR.

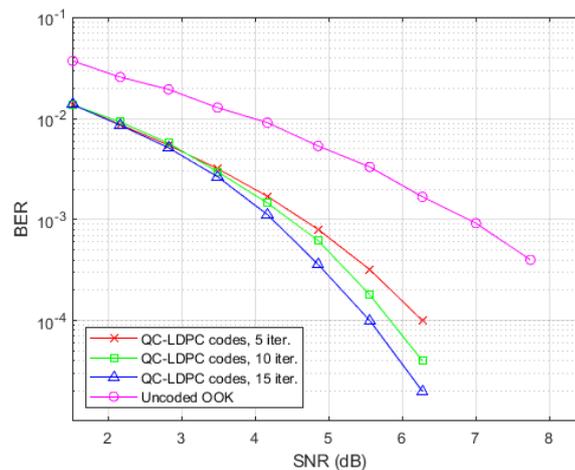
Perbandingan sinyal keluaran dengan *noise* pada *receiver* dalam dB sesuai persamaan (2.22) akan dianalisis dengan hasil nilai BER pada rentang 1-8 dB. Nilai BER yang didapatkan merupakan hasil 15 iterasi *decoding*. Pada Gambar 4.4 terlihat hasil perbandingan BER terhadap SNR pada sistem VLC tanpa QC-LDPC codes dan sistem VLC menggunakan QC-LDPC codes. Terlihat bahwa sistem VLC tanpa pengkodean *forward error correction* diperlukan nilai SNR lebih dari 7 dB untuk mencapai target BER = 10^{-3} . Sedangkan pada sistem VLC dengan menggunakan QC-LDPC codes, didapatkan nilai SNR sebesar 4.21 dB pada acuan BER yang sama.

Rentang nilai BER mendekati 0 pada kedua variansi akan semakin jauh secara logaritmik sejalan dengan kenaikan nilai SNR, begitupun sebaliknya. Jika diperhatikan hasil kedua variansi tersebut, QC-LDPC codes memiliki kinerja yang lebih baik untuk sistem VLC dengan terjadinya peningkatan kinerja sebesar ± 2.75 dB pada SNR jika dibandingkan dengan tanpa penggunaan *forward error correction*. Hal tersebut disebabkan karena pada *encoding* QC-LDPC codes terdapat *parity bit* yang dapat melindungi bit informasi dari *noise* kanal.

4.3 Analisis Sistem Keseluruhan

Pengujian jumlah iterasi *decoding* pada QC-LDPC codes memiliki pengaruh terhadap kinerja sistem VLC. Kenaikan jumlah iterasi akan meningkatkan kinerja sistem VLC dengan nilai BER yang terus menurun seperti Gambar 4.5. Hal tersebut dikarenakan hasil bit yang diterima pada *decoding* akan semakin mendekati bit info yang dikirimkan. Selain itu, kenaikan jumlah iterasi juga akan mempengaruhi waktu *delay decoding* yang menjadi semakin lama.

Pengujian perbandingan sistem VLC menggunakan QC-LDPC codes dan sistem VLC tanpa pengkodean dibandingkan menggunakan BER terhadap *received power*, jarak, dan SNR, terlihat pada Tabel 4.1. Hasil simulasi dan analisis terhadap parameter yang telah disebutkan memperlihatkan bahwa sistem VLC menggunakan QC-LDPC codes memiliki kinerja yang selalu lebih baik dibandingkan dengan sistem VLC tanpa pengkodean.



Gambar 8. Perbandingan performansi keseleruhan pada sistem VLC.

Terbukti dari hasil SNR yang memerlukan nilai lebih kecil dari *uncoded OOK*, QC-LDPC codes dapat menghemat daya untuk mencapai nilai BER $threshold = 10^{-3}$. Hal tersebut disebabkan beberapa faktor yaitu karena pada QC-LDPC codes terdapat *parity bit* yang melindungi bit info dari *noise* pada kanal. Selain itu QC-LDPC codes yang disimulasikan tidak menghasilkan *girth* 4 yang bisa menyebabkan meningkatnya nilai BER. Hal tersebut disebabkan oleh sub matriks pada H yang berupa matriks identitas sehingga menghemat memori dan kompleksitas menjadi lebih rendah.

5. Kesimpulan

Tugas Akhir ini menguji sebuah skema sistem VLC dengan menggunakan QC-LDPC codes yang kemudian dibandingkan dengan sistem VLC tanpa pengkodean *forward error correction*. QC-LDPC codes memiliki kompleksitas komputasi yang rendah pada *encoding* dan *decoding*. Tugas Akhir ini mengkonfirmasi bahwa penggunaan QC-LDPC codes dapat meningkatkan performansi sistem VLC yaitu dengan meningkatnya kinerja BER dan jarak propagasi sebesar 7%. Hasil simulasi ini membuktikan bahwa jumlah iterasi *decoding* berpengaruh terhadap kinerja pada sistem VLC yang menggunakan QC-LDPC codes. Kenaikan jumlah iterasi *decoding* sejalan dengan menurunnya nilai BER terhadap SNR. Didapatkan nilai SNR *uncoded* adalah 7 dB, sedangkan dengan pengkodean QC-LDPC codes pada jumlah iterasi paling baik yaitu 15, nilai SNR adalah 4.21 dB. Penggunaan QC-LDPC codes terbukti meningkatkan kinerja sistem VLC sebesar ± 2.75 dB pada nilai SNR. Pada minimum *received power* menggunakan QC-LDPC codes, yang dibutuhkan untuk mencapai $threshold BER = 10^{-3}$ adalah -46.9 dBm, meningkat 28.5% terhadap sistem VLC tanpa pengkodean.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Cossu, G., Khalid, A. M., Choudhury, P., Corsini, R., & Ciaramella, E. (2012, November). Long distance indoor high speed visible light communication system based on RGB LEDs. In Asia Communications and Photonics Conference (pp. AS3C-2). Optical Society of America.
- [2] Singh, C., John, J., Singh, Y. N., & Tripathi, K. K. (2002). A review of indoor optical wireless systems. IETE Technical review, 19(1-2), 3-17.
- [3] Jiang, T., & Wu, Y. (2008). An overview: Peak-to-average power ratio reduction techniques for OFDM signals. IEEE Transactions on broadcasting, 54(2), 257-268.
- [4] Zhang, X., Zhang, M., Han, D., Li, Q., & Zhang, F. (2014, August). Enhancement of practically deployable indoor VLC system with LDPC code. In 2014 12th International Conference on Optical Internet 2014 (COIN) (pp. 1-2). IEEE.
- [5] Ghassemlooy, Z., Popoola, W., & Rajbhandari, S. (2017). Optical wireless communications: system and channel modelling with Matlab®. CRC press.
- [6] Abdullah, E., & Idris, A. (2015, August). Comparison between LDPC codes and QC-LDPC codes in term of PAPR in OFDM system with different encoding techniques. In 2015 IEEE 6th Control and System Graduate Research Colloquium (ICSGRC)(pp. 23-26). IEEE.
- [7] S. Myung, K. Yang, and J. Kim, "Quasi-cyclic LDPC codes for fast encoding," IEEE Trans. Inf. Theory, vol. 51, no. 8, pp. 2894-2901, 2005.