

SYSTEMATIC BLOCK QC-LDPC CODES UNTUK SISTEM KOMUNIKASI BERLATENSI RENDAH DAN RELIABLE

Yoga Julian, Dr. Ir. Rina Pudji Astuti M.T.², Dr. Eng. Khoirul Anwar, S.T., M. Eng.³

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

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

¹yogajulian@student.telkomuniversity.ac.id, ²rina.pudjiastuti@telkomuniversity.ac.id,

³anwarkhoirul@telkomuniversity.ac.id

ABSTRAK

Teknologi telekomunikasi generasi kelima (5G) mensyaratkan bahwa beberapa aplikasi jaringan masa depan harus memenuhi garansi latensi $t \leq 1$ ms serta ultra reliable. Tugas Akhir ini mengusulkan Systematic Block (SB) pada Quasy-Cyclic Low Density Parity Check (QC-LDPC) codes, disebut SB QC-LDPC codes, untuk mencapai Ultra Reliable and Low Latency Communications (URLLC). SB QC-LDPC codes yang diusulkan diharapkan dapat mengurangi kompleksitas sistem dengan memperkenalkan matriks identitas dan sebuah vector yang dapat mewakili keseluruhan matriks.

Matriks parity check QC-LDPC codes terdiri atas dua buah matriks A1 dan A2 yang keduanya memiliki sifat quasy-cyclic (QC). Tugas Akhir ini mengusulkan A1, yang awalnya QC matriks, digantikan dengan sebuah matriks identitas dengan ukuran yang sama. Penggantian ini diharapkan mampu mengurangi kompleksitas QC-LDPC codes karena proses inversi matriks tidak diperlukan lagi. Sebagai konsekuensinya, kemampuan koreksi error mungkin akan menurun.

Dalam Tugas Akhir ini, SB QC-LDPC codes dievaluasi pada Additive White Gaussian Noise (AWGN) channel, slow Rayleigh fading channel, dan fast Rayleigh fading channel sehingga siap diaplikasikan pada user dengan berbagai mobilitas. Untuk memudahkan analisis, modulasi Binary Phase Shift Keying (BPSK) dipilih dalam simulasi komputer, namun teknik ini tetap bisa dikembangkan untuk modulasi yang lebih tinggi. Selain itu, kompleksitas SB QC-LDPC codes juga dievaluasi dengan menganalisis jumlah memory, komponen dan densitas matriks SB QC-LDPC codes. Hasil simulasi menunjukkan bahwa kompleksitas turun sebesar 64;516% dengan konsekuensi berupa degradasi bit-error-rate (BER) performance dibandingkan dengan BER pada QC-LDPC codes biasa. Penurunan performance ini diharapkan tetap bisa diterima, terutama untuk aplikasi yang tidak terlalu sensitif terhadap error, seperti sensor suhu atau smart parking yang lebih mementingkan efisiensi power.

Kata Kunci : Channel coding, LDPC codes, Computational complexity, ultra reliable

and low latency communications, 5G.

ABSTRACT

The fifth generation of telecommunication technology (5G) has several criterions to meet the requirement of 5G networks, especially the required latency $t \leq 1$ ms, and ultra reliability. This Bachelor Thesis proposes Systematic Block (SB) on the Quasy-Cyclic Low Density Parity Check (QC-LDPC) codes, called SB QC-LDPC codes, to fulfill the Ultra Reliable and Low Latency Communications (URLLC). The proposed SB QC-LDPC codes are expected to reduce the complexity of the system by using matrix identity and a vector representing the whole matrix.

The parity check matrix of QC-LDPC consists of two matrices, A1 and A2, having quasy-cyclic property. This Bachelor Thesis proposes to change A1 to an identity matrix with the same size. This replacement is expected to reduce the complexity of QC-LDPC due to inverse of A1 matrix is unnecessary, the error protection capability of which is probably weaker causing degradation on bit-error-rate (BER) performances.

SB QC-LDPC codes are evaluated via computer simulations over Additive White Gaussian Noise (AWGN), slow Rayleigh fading, and fast Rayleigh fading channels to support various user mobilities, where with Binary Phase Shift Keying (BPSK) is considered. In addition, the

complexity of SB QC-LDPC codes are also evaluated in terms of memory size, number of components and density of the matrices. The simulation results show that the complexity is reduced to 55%, with slightly performance degradation compared to the performances of QC-LDPC codes. This performance degradation is due to the change of QC-LDPC main matrix A_1 , which is replaced by an identity matrix, causing weaker error protection capability. This reduction is expected to be acceptable for applications having less sensitive to errors, such as temperature or smart parking sensors, where power efficiency is prioritized.

Keywords : LDPC, BER, complexity analysis, channel coding

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang Masalah

Perkembangan teknologi telekomunikasi sudah berkembang sangat pesat, yang asalnya hanya terdapat komunikasi Human to Human (H2H), saat ini sudah berkembang jenis komunikasi lainnya, yaitu komunikasi Device to Device (D2D)[27][28], dan komunikasi Machine to Machine (M2M)[29][30]. Penambahan jenis komunikasi ini berakibat pada peningkatan jumlah user yang sangat massive connection.[31][32][33], maka dari itu dibutuhkan teknologi baru yaitu Jaringan komunikasi Fifth Generation (5G).

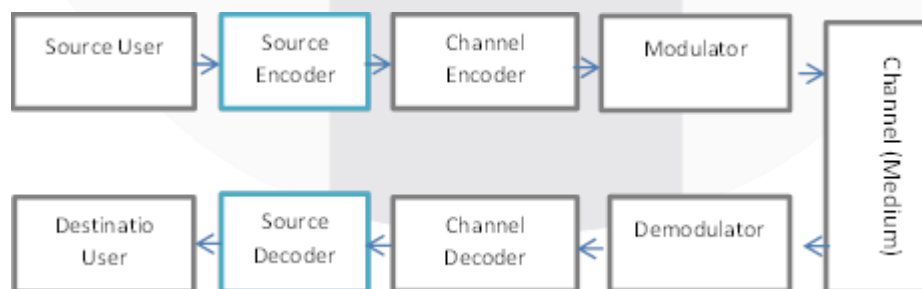
Jaringan komunikasi 5G memiliki beberapa kriteria dalam memenuhi kebutuhan jaringannya. Kebutuhannya tersebut di antara lain adalah kecepatan pengiriman data dengan throughput sebesar 10 Gbps, garansi latensi ≤ 1 ms, dan massive connection[26]. Sedangkan untuk rata-rata latensi jaringan saat ini adalah 33-75 ms[26][34]. Sistem komunikasi latensi ≤ 1 ms yang reliabel ini diperlukan dalam hal menangani implementasi factory automation dan motion control[26]. Sistem komunikasi yang reliabel adalah sistem dengan Bit Error Rate (BER) sebesar $[10]^{-4}$ sampai $[10]^{-6}$ [26]. Oleh karena itu dibutuhkan sistem dengan kompleksitas[38][39] yang lebih sederhana untuk mengurangi waktu proses perangkat keras tetapi tetap reliabel. Selain itu, massive connection dan jumlah perangkat terhubung pada jaringan komunikasi yang selalu meningkat setiap tahunnya, mengharuskan suatu arsitektur jaringan yang scalable[35][36].

QC-LDPC merupakan teknik efisien yang sangat mendekati optimal low latency design dan mudah untuk diimplementasikan pada komponen Hardware [37]. Efisien dalam hal ini adalah penggunaan jumlah komponen yang dibutuhkan dalam melakukan decoding sinyal informasi. Walaupun LDPC memiliki latency yang lebih besar dibandingkan convolutional code [38], LDPC lebih reliabel karena memiliki kemampuan erasure correction dan error correction. Berbicara tentang kehandalan jaringan, Raptor code memang memiliki kehandalan yang lebih baik dibandingkan QC-LDPC, akan tetapi memiliki kompleksitas jaringan yang lebih besar, dikarenakan terdapat dua kali encoding dan decoding. Oleh sebab itu penulis ingin mengembangkan teknik QC LDPC karena selain mendekati optimal low latency design juga memiliki jaringan yang handal.

2. Dasar Teori

2.1 Pengantar Komunikasi Digital

Komunikasi digital melibatkan transmisi pesan dengan menggunakan simbol yang terbatas selama interval waktu yang terbatas. Setiap sistem komunikasi, (baik itu analog maupun digital yang terjadi di alam) di pasar elektronik, (baik itu hard disk drive, Compact Discs, telephony, mobile phone, dll.) Terdiri dari unsur - unsur berikut:



Gambar 1. Arsitektur dasar system komunikasi

2.1.1 Tujuan Utama Desain Sistem Komunikasi

1) Mengurangi bandwidth yang dibutuhkan untuk mengirim data.

Bandwidth, sumber daya yang terbatas dan berharga, merupakan selisih antara frekuensi yang tertinggi dan yang terendah yang dialokasikan untuk mentransmisikan pesan dalam sistem komunikasi apapun. Misalnya di GSM Teknologi bandwidth khas yang dialokasikan untuk satu pengguna adalah 200 KHz. Lebih banyak bandwidth maka, lebih banyak data serta lebih banyak laju transmisi dalam ukuran bit per second (bps). Oleh karena itu penting untuk mengirim lebih banyak data dalam bandwidth yang lebih rendah. Hal ini dapat dicapai dengan, mengompres yang di Transmisikan dan melakukan dekompresi pada penerima. "Source Encoder" dan "Source Decoder" lah yang dapat melakukan semua ini.

2) Membuat data kuat terhadap lingkungan yang keras

Data akan rusak saat dikirim dalam media yang keras (disebut "channel"). Misalnya mobile telephone dioperasikan di lingkungan yang sangat bising dimana sumber suara bisa menjadi salah satu atau beberapa dari hal berikut ini: gangguan dari pengguna ponsel lainnya, kebisingan pengapian, thermal noise, multipath interference dan suara orang lain. Channel coding adalah teknik untuk membuat data yang ditransmisikan kuat terhadap hal-hal seperti itu, artinya Anda masih dapat memulihkan data Anda (mengggunakan Channel Decoder) secara utuh bahkan jika rusak oleh sejumlah kebisingan.

3) Dapat mengirim data dengan jarak yang jauh,

Data harus dikirim melalui jarak jauh melalui media yang digunakan untuk atau oleh sistem komunikasi. Media tersebut bisa berupa kabel tembaga twisted pair sederhana yang digunakan di jaringan telepon atau media udara pada sistem komunikasi bergerak atau satelit. Menurut hukum kuadrat terbalik jarak intensitas sinyal yang ditransmisikan berbanding terbalik dengan kuadrat dari jarak.

$$\text{Signal Intensity} \propto \frac{1}{\text{distance}^2}, \quad (1.1)$$

Data bisa melakukan perjalanan lebih jauh jika memiliki lebih banyak energi. Tantangannya adalah untuk meningkatkan energi sinyal sehingga bisa menempuh perjalanan jarak jauh yang diinginkan. Sinyal yang dikirim melalui media pada dasarnya adalah gelombang elektromagnetik. Menurut Planck-Einstein persamaan, energi foton dan frekuensi gelombang elektromagnetik terkait oleh (1.2), dimana E adalah energi sinyanya yang ditransmisikan, h adalah konstanta Planck dan v adalah frekuensi transmisi.

$$E = hv. \quad (1.2)$$

2.2 Blok Sistem Komunikasi

2.3.1 Source Coding dan Decoding

Source coding, blok pertama dalam arsitektur sistem komunikasi yang ditunjukkan pada gambar 1 adalah proses coding informasi untuk mengurangi jumlah bit yang ditransmisikan. Semua teknik kompresi data bisa diklasifikasikan dalam dua kategori, yaitu teknik kompresi lossless dan kompresi lossy. Dalam kompresi lossless data asli yang tepat dapat direkonstruksi dari kompresi. Tapi dalam kompresi lossy ada beberapa kesalahan setelah de-compression, tapi kesalahannya tidak terlihat.

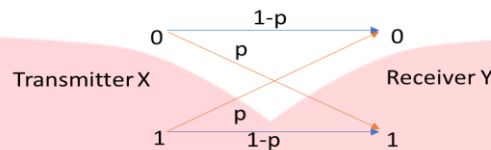
2.3.2 Channel Coding dan Decoding

Blok berikutnya dalam sistem komunikasi adalah blok channel coding. Channel coding berbeda dengan source coding. Source coding mencoba untuk memampatkan data dan meningkatkan utilisasi bandwidth, sedangkan, channelcoding mencoba menambahkan redundansi ke data membuatnya lebih handal dan membuatnya lebih kuat terhadap noise saluran.

2.3.2.1 Binary Symmetric Channel (BSC)

Dalam model ini, pemancar mengirimkan suatu bit dan penerima menerimanya. Misalkan jika ada sebuah probabilitas untuk bit ini teralik, atau salah interpretasi, maka itu disebut sebagai Binary

Symmetric Channel. Pada model berikut, probabilitas penerimaan yang salah adalah 'p' dan probabilitas penerimaan yang benar adalah '1-p'. Keadaan ini dapat ditunjukkan secara diagram seperti yang ditunjukkan dal gamambar berikut.



Gambar 2. BSC channel model

2.3.2.2 Additive White Gaussian Noise Channel

Additive White Gaussian Noise adalah model kanal sistem komunikasi dengan distribusi normal. Artinya tidak terjadi pelemahan atau penguatan sinyal bit informasi karena noise hanya berpengaruh pada penambaha atau pengurangan kekuatan sinyal bit informasi. Saluran AWGN adalah model yang bagus untuk banyak jalur komunikasi satelit dan dalam ruang angkasa. Dalam komunikasi data serial, AWGN digunakan untuk memodelkan kesalahan waktu yang disebabkan oleh jitter acak.

2. 4 LDPC

Low Density Parity Check Code adalah suatu teknik Coding dengan jumlah bit 1 yang sedikit dari total bit dalam perhitungan matrix[23]. Bit '1' ataupun '0' merupakan interpretasi dari terjadinya hubungan link atau juga bisa untuk menggambarkan apakah bit input dari suatu timeslot diperhitungkan ke dalam timeslot keluaran.

LDPC pada umumnya diterapkan pada perhitungan kanal radio atau untuk mengatasi fading dari propagasi. Akan tetapi dalam tugas akhir ini penulis mengaplikasikan LDPC itu sendiri pada encoder sehingga kalkulasi dapat diatur sedemikian rupa sehingga lebih rapih dan tidak mengalami perubahan.

Pengaplikasian LDPC ini sendiri bertujuan untuk mengurangi bit error. LDPC ini bisa mengurangi error dengan menambahkan bit parity untuk memeriksa apakah bit yang dikirimkan sesuai dengan bit informasi yang sebenarnya. Sederhananya, jika terjadi eror dalam satu paket pengiriman, maka bit tersebut dapat dikembalikan dengan melakukan kalkulasi pada parity bitnya.

3. Pembahasan

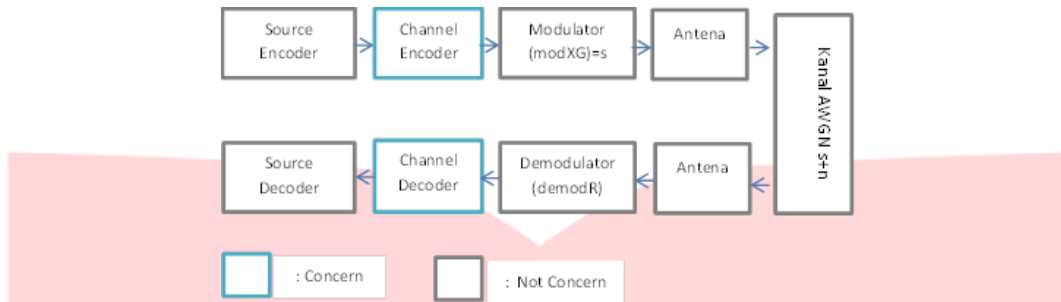
Pada Bab ini akan dibahas mengenai skenario sistem komunikasi yang dapat digunakan untuk komunikasi antar mesin, maupun mesin ke local server. Sistem yang dirancang adalah sistem indoor *Line of Sight* bermobilitas rendah yang akan digunakan pada *factory automation*. Selain itu juga dibahas mengenai blok sistem yang digunakan sebagai gambaran sistem penelitian yang dilakukan, skenario pengujian, dan parameter yang digunakan.

3.1. Model Sistem

Tabel 2. Perancangan Sistem

Perancangan Sistem Sistem	
Modulasi	BPSK
BER	10^{-5}
FEC	LDPC QC-LDPC Systematic Block QC-LDPC
Channel	Awgn
Block Code	(16,8)
Mobilitas	Low

Tabel 2 merupakan infomasi umum dari sistem komunikasi yang dirancang pada



Gambar 4. Blok Diagram model komunikasi yang dirancang

3.2 Blok Sistem Systematic Block QC-LDPC

3.2.1 Blok Encoder-Decoder

Blok Encoder ini menjadi bagian utama atau fokus penelitian. Encoder yang digunakan adalah *systematic block QC-LDPC*. Prinsip codes ini adalah dengan memanfaatkan suatu nilai polinom *low density* sebagai mother matriks untuk digunakan pada baris matrik selanjutnya dengan dilakukan pergeseran 1 kolom ke kanan.

Contoh untuk polinom $A_1 = 1 + X^3 + X^6$ menghasilkan mother matriks A_1 sbb :

Mother Matriks $A_1 = (1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0)$

$$Matriks A_1 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Sehingga, *parity matrix* atau matriks H sbb:

$$Matriks H = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \tag{3.1}$$

Sinyal informasi keluaran decoder merupakan hasil dai perkalian matriks antara bit informasi dengan menggunakan *Generator Matrix* (G) yang dapat diperoleh dengan cara sbb:

$$G = [I_n (A_1^{-1})^T] \tag{3.2}$$

Dengan n adalah panjang bit informasi dalam satu block code, I_n adalah matriks identitas dengan ukuran n . F adalah matriks dari polinom F dan K adalah matriks dari polinom K . Invers matrix F sbb :

$$Matriks A_1^{-1} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\text{Matriks}(A_1^{-1})^T = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Sehingga diperoleh matriks G sebagai berikut dengan persamaan (3.2) sbb:

$$\text{Matriks } G = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Misalkan dikirim 'BitInformasi' adalah 10111000, maka 'BitKirim' atau bit keluaran Encoder adalah sbb:

$$\text{BitKirim} = \text{BitInformasi} * G \quad (3.3)$$

$$\text{BitKirim} = (1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1)$$

LDPC dalam melakukan error correction hard decision membutuhkan *Syndrome* untuk dapat menentukan Bit mana yang harus diperbaiki. 'ErrorTable' pada gambar di bawah merupakan *Syndrome* dari *systematic block QC-LDPC* yang didapatkan dari transpose matriks H.

$$\text{Syndrome} = H^T \quad (3.4)$$

$$\text{Syndrome} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Apabila terjadi kerusakan pada Bit-4

$$\text{BitTerima} = (1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1)$$

Nilai X merupakan Error Indikator untuk mendeteksi bit error pada LDPC, QC-LDPC maupun *systematic block QC-LDPC*. Sedangkan Y merepresentasikan Bit yang telah dikoreksi berdasarkan *error detection* oleh X .

$$X = H * \text{BitTerima}^T \quad (3.3)$$

$$X = (0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0)$$

Berdasarkan hasil nilai X bernilai sama dengan *Syndrome* baris pertama, sehingga terdeteksi bahwa BitTerima mengalami error pada bit ke-empat, sehingga nilainya perlu dibalik, '0' menjadi '1'.

$$Y = (1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1)$$

Ternyata Bit Corrected atau 'Y' sama dengan Bit Kirim hal ini membuktikan bahwa Error Correction berhasil begitu pula dengan bit lainnya.

3.2.2 Blok Modulator-Demodulator

Modulasi digunakan untuk meningkatkan bit rate peniriman informasi dengan cara menggantikan bit informasi dengan simbol-simbol sehingga informasi yang panjang dapat dikurangi ukurannya tanpa menghilangkan informasi asalnya. Simbol dalam modulasi pada umumnya dibedakan dengan nilai real dan imajiner. Semakin akurat modulasi yang diterima, maka semakin kecil error yang terjadi. Semakin besar modulasi yang dilakukan dapat meningkatkan kecepatan pengiriman data, akan tetapi juga mengurangi jarak antar simbol sehingga meningkatkan kemungkinan terjadinya simbol error. Dalam penelitian ini sistem modulasi yang digunakan adalah modulasi BPSK. Modulasi BPSK merupakan modulasi yang jumlah bit input dengan symbol output yang sama atau 1:1.

1.2.3 Kanal AWGN

Additive White Gaussian Noise adalah model kanal sistem komunikasi dengan distribusi normal. Artinya tidak terjadi pelemahan atau penguatan sinyal bit informasi karena noise hanya berpengaruh pada penambah atau pengurangan kekuatan sinyal bit informasi.

$$y = c + n \quad (3.6)$$

Kanal AWGN digunakan karena sistem komunikasi yang dirancang adalah sistem komunikasi Line of Sight di dalam ruangan dengan mobilitas rendah.

3.2.4 Bit Error Rate

Untuk mengetahui apakah pengaplikasian coding yang kita lakukan sudah optimal maka perlu adanya parameter untuk menilai hal tersebut. Bit error rate merupakan peluang terjadinya error pada bit informasi yang dikirimkan. Pada sistem generasi 4G digunakan standar untuk pengiriman data wireless adalah 10^{-5} , artinya hanya boleh terdapat maksimum satu bit yang error setiap pengiriman seratus ribu bit yang dikirimkan.

Bit Error rate ini dipengaruhi oleh beberapa hal, salah satunya yang menjadi fokus utama pada tugas akhir ini adalah Energy per Bit to Noise power spectral density ratio (E_b/N_0). Untuk perhitungan BER itu sendiri memiliki persamaan sebagai berikut :

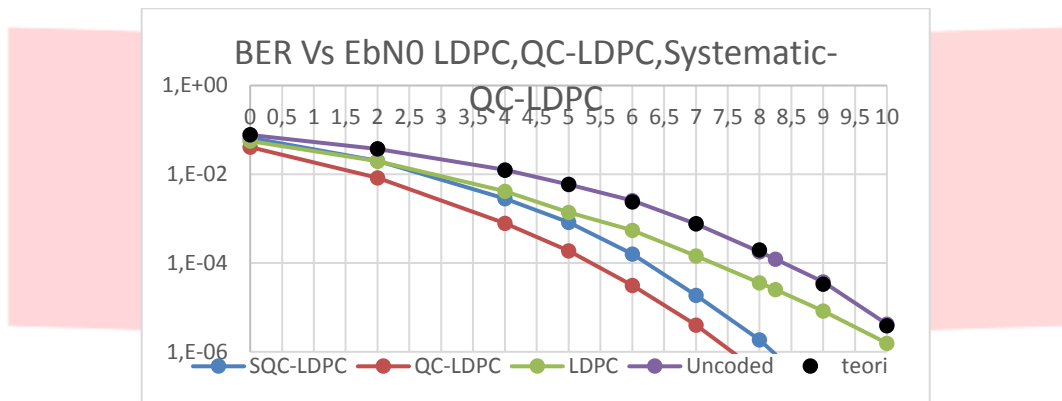
$$BER \text{ for BPSK} = 1/2 \operatorname{erfc}\sqrt{(E_b/N_0)} \quad (3.7)$$

3.3 Parameter Penelitian

Parameter yang digunakan pada penelitian ini adalah BER terhadap E_b/N_0 , BER terhadap *Signal to Noise Ratio* (SNR), dan *matrix density*. Semakin besar perbandingan BER terhadap E_b/N_0 , berarti semakin kecil energi yang dibutuhkan dalam mentransmisikan suatu bit informasi. Semakin besar perbandingan BER terhadap SNR semakin kecil energi yang dibutuhkan dalam mentransmisikan suatu bit informasi. Semakin kecil *matrix density* berarti desain codes semakin sederhana.

4. Analisis

4.1 Validasi Simulasi



Gambar 5. Perbandingan BER dengan EbN0dB antara Uncoded BPSK, LDPC, QCLDPC dan SQCLDPC

Sebelum menganalisa sebaiknya diperiksa terlebih dahulu lakukan validasi apakah sistem yang dibuat dan disimulasikan sudah sesuai dengan teori yang ada, yaitu dengan membandingkan ‘theory BPSK AWGN’ dengan ‘Uncoded BPSK’ pada kanal AWGN. Dari grafik terlihat bahwa hasil simulasi persis dengan teori, hal ini membuktikan bahwa simulasi yang dibuat telah valid sesuai dengan teori.

4.2 Kemampuan Error Correction QCLDPC vs LDPC

Dari grafik pada Gambar 2. dapat dilihat bahwa performansi dari QC-LDPC lebih baik dibandingkan dengan LDPC biasa dikarenakan susunan syndrome yang teratur pada QC LDPC sehingga tidak terjadi ambiguitas pada syndromenya sehingga memaksimalkan kemampuan *error corection* sebanyak 2^n macam kesalahan. Ambiguitas yang dimaksud adalah kejadian dimana suatu nilai Error table memiliki 2 interpretasi error correction.

4.2.1 Kemampuan Error Correction QCLDPC

Pada simulasi ini baik Systematic QC LDPC maupun QC LDPC memiliki kempuan koreksi 2 bit error dengan $n = 8$ dan $k = 16$. k merupakan panjang *block codes*. Sehingga jumlah *unique error table combination* adalah sbb:

$$unique\ error\ table\ combination = 2^n \tag{4.1}$$

Sedangkan untuk mengatasi r error maka dibutuhkan *unique error table combination* sbb:

$$E(r) = k! / (k! - r!) \tag{4.2}$$

$E_t(r)$ merupakan total *unique error table combination* yang dibutuhkan dalam mengatasi 0 sampai r error.

$$E(t) = E(r) + E(r - 1) \dots E(1) \tag{4.3}$$

Karena $E_t(2)$ membutuhkan 136 kombinasi unik agar tidak terjadi ambiguitas, sedangkan $E_t(3)$ membutuhkan 696 kombinasi unik. Karena *unique error table combination* berjumlah 256, maka QCLDPC(16,8) mampu memperbaiki 2 bit error dengan baik. Hal ini mengikuti rumus kombinasi dimana urutan tidak dianggap, sehingga semua kombinasi memiliki nilai yang unik.

H =

1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1
0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0
0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1
0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0
0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0
0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1

Matrix yang disimpan hanya baris ke 1 pada QC LDPC dan sudah menggambarkan keseluruhan Generator maupun Parity Check Matrix.

G =

1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

H =

1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

4.4.2 Penurunan Jumlah Komponen QCLDPC

Pengurangan memory yang disebutkan di paragraf sebelumnya juga dapat di perhatikan sebagai susunan komponen dalam bentuk Tanner Graph. Misalnya untuk teknologi LDPC konvensional diperlukan Tanner Graph Parity Check Code sebagai berikut:

Tanner graph parity check matrix disini merupakan gambaran dari bit Decoder untuk merubah bit terima(r) menjadi syndrome untuk memeriksa dan memperbaiki error yang terjadi pada bit terima(r). Dan apabila tidak terdapat kesalahan maka syndrome keluaran semuanya bernilai "0". Dari Tanner Graph diatas dapat dilihat bahwa :

1. komponen yang digunakan berkurang sejumlah n-1 untuk bagian bit input, dan hal ini menjadikan QC-LDPC
2. tidak memerlukan komponen untuk mengubah suatu *block length* dari bentuk serial menjadi paralel dan digantikan dengan sistem penghubung yang berputar.

Berbicara mengenai memory memang ada jenis coding lain yang menggunakan memory lebih kecil dibandingkan LDPC, akan tetapi LDPC memiliki kemampuan lain, tidak hanya memperbaiki bit yang *error*, tetapi juga dapat mengembalikan bit yang hilang, walaupun pengembalian bit yang hilang tidak menjadi fokus penulis dan tidak disajikan dalam Tugas Akhir ini.

4.5 Systematic QCLDPC vs QCLDPC

Systematic QCLDPC tidak berbeda jauh dengan QCLDPC. QCLDPC menggunakan polinom sebagai matriks A_2 dan binnary invers untuk matriks A_1 , sedangkan Systematic QCLDPC menggunakan matriks indetitas sebagai matriks A_2 . Contoh :

a. Matriks QCLDPC

$A_2 =$

1	0	0	1	0
0	1	0	0	1
1	0	1	0	0
0	1	0	1	0
0	0	1	0	1

$A_1 =$

1	0	1	0	1
1	1	0	1	0
0	1	1	0	1
1	0	1	1	0
0	1	0	1	1

QC-LDPC memiliki persamaan *parity check matrix* dan *generator matrix* sbb:

$$H = [A_2 \ A_1] \tag{4.4}$$

$$G = [I_n \ (A_1^{-1} \ A_2)^T] \tag{4.5}$$

b. Matriks *systematic block* QCLDPC

$$\begin{array}{c}
 \mathbf{A}_2 = \\
 \begin{array}{ccccc}
 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 1
 \end{array}
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{c}
 \mathbf{A}_1 = \\
 \begin{array}{ccccc}
 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\
 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\
 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\
 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\
 0 & 1 & 0 & 1 & 1
 \end{array}
 \end{array}$$

QC-LDPC memiliki persamaan *parity check matrix* dan *generator matrix* sbb:

$$H = [I_n \ A_1] \quad (4.6)$$

$$G = [I_n \ (A_1^{-1})^T] \quad (4.7)$$

Berdasarkan hasil penelitian dapat dilihat bahwa QC-LDPC memiliki generator matriks density sebesar 8 dan *parity check* matriks density sebesar 6 sehingga total matriks density adalah 14. Sedangkan *systematic block* QC-LDPC memiliki generator matriks density sebesar 6 dan *parity check* matriks density sebesar 4 sehingga total matriks density adalah 10. Dari hasil ini dapat diperoleh bahwa *systematic* QC-LDPC memiliki efisiensi matrix density sebesar:

$$\text{efficiency density} = \left(\frac{(\text{Matrix Density QCLDPC})}{(\text{Matrix Density SB QCLDPC})} - 1 \right) \times 100\% \quad (4.8)$$

Sehingga didapatkan efficiency matrix density sebesar 40%, sedangkan *systematic block* QC-LDPC membutuhkan energi 0,75 dB lebih besar dibandingkan QC-LDPC sehingga membutuhkan energi 18,9% lebih besar dibandingkan QC-LDPC.

5. KESIMPULAN PENELITIAN

5.1 Kesimpulan

QC LDPC memiliki performa yang lebih baik dibandingkan dengan LDPC konvensional dalam hal BER terhadap E_b/N_0 dengan kemampuan mendeteksi n^2 macam kesalahan. Selain itu QC LDPC juga memiliki efisiensi memory n kali dibandingkan dengan LDPC konvensional dengan menggunakan code rate $\frac{1}{2}$ dimana n adalah jumlah informasi yang digunakan dalam satu *block code*. Dalam hal memory QC LDPC juga lebih efisien dengan kemampuan mengurangi “ $2 \times (n - 1)$ ” timeslot bit masukan pada *Tanner Graph Generator Matrix* dan *Parity Check Code*. Selain itu juga menjadikan LDPC bekerja seperti halnya convolutional code dan tidak membutuhkan komponen *serial to paralel* sebagai data masukan.

Dari hasil penelitian didapatkan efficiency matrix density sebesar 40%, sedangkan *systematic block* QC-LDPC membutuhkan energi 0,75 dB lebih besar dibandingkan QC-LDPC sehingga membutuhkan energi 18,9% lebih besar dibandingkan QC-LDPC, dan efektifitas total menjadi 17,75% dengan persamaan:

$$\text{efficiency total} = \left(\left(\frac{\text{QCLDPC power}}{\text{SB QCLDPC power}} \times (\text{efficiency density} + 1) \right) - 1 \right) \times 100\% \quad (4.9)$$

Daftar Pustaka

- [1] T. Marzetta, “Noncooperative cellular wireless with unlimited numbers of base station antennas,” *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 9, no. 11, pp. 3590–3600, Nov. 2010.
- [2] “Report M.2134: Requirements related to technical performance for IMT-Advanced radio interface(s)”. ITU-R. November 2008. Retrieved August 25, 2011.
- [3] L. H. Trinh, F Ferrero, R. Staraj, “Mobile Phone Antenna for 2G, 3G and 4G Standards” University of Nice-Sophia Antipolis. 2013
- [4] R. Vij, P. Mishra and G. Singh, “Performance Evaluation of Comparison of Sphere Decoder with Other Equalization Techniques on 2x2 MIMO Systems Using Rayleigh and Rician Flat Fading Channels,” 2014 Fourth International Conference on Communication Systems and Network Technologies, Bhopal, 2014, pp. 182-186.
- [5] S. Lee; S. H. Hyeon; J. Kim; H. Roh; W. Lee, “The Useful Impact of Carrier Aggregation: A Measurement Study in South Korea for Commercial LTE-Advanced Networks,” in *IEEE Vehicular Technology Magazine*, vol. PP, no.99, pp. XX13-XX13
- [6] K. Chang, A. Soong, M. Tseng, and Z. Xiang, “Global wireless machineto- machine standardization,” *IEEE Internet Computing*, vol. 15, no. 2, pp. 64–69, March 2011.
- [7] oneM2M, “oneM2M: the interoperability enabler for the entire M2M ecosystem,” [online] [http://www.onem2m.org/images/files/oneM2Mwhite paper-January-2015.pdf](http://www.onem2m.org/images/files/oneM2Mwhite%20paper-January-2015.pdf), 2015.
- [8] ETSI, “Machine-to-machine communications (M2M); functional architecture,” TS 102.690 v1.1.1, 2011.

- [9] G. Wu, S. Talwar, K. Johnsson, N. Himayat, and K. D. Johnson, "M2M: from mobile to embedded Internet," *IEEE Communications Magazine*, vol. 49, no. 4, pp. 36–43, April 2011.
- [10] G. Wu, S. Talwar, K. Johnsson, N. Himayat, and K. D. Johnson, "M2M: from mobile to embedded Internet," *IEEE Communications Magazine*, vol. 49, no. 4, pp. 36–43, April 2011.
- [11] X. Xiong, K. Zheng, R. Xu, W. Xiang, and P. Chatzimisios, "Low power wide area machine-to-machine networks: key techniques and prototype," *IEEE Communications Magazine*, vol. 53, no. 9, pp. 64–71, September 2015.
- [12] J. Gozalvez, "New 3GPP standard for IoT [mobile radio]," *IEEE Vehicular Technology Magazine*, vol. 11, no. 1, pp. 14–20, March 2016.
- [13] Z. M. Fadlullah, M. M. Fouda, N. Kato, X. Shen, and Y. Nozaki, "An early warning system against malicious activities for smart grid communications," *IEEE Network*, vol. 25, no. 5, pp. 50–55, September 2011.
- [14] M. M. Fouda, Z. M. Fadlullah, N. Kato, R. Lu, and X. Shen, "A lightweight message authentication scheme for smart grid communications," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 2, no. 4, pp. 675–685, December 2011.
- [15] K. S. Ko, M. J. Kim, K. Y. Bae, D. K. Sung, J. H. Kim, and J. Y. Ahn, "A novel random access for fixed-location machine-to-machine communications in OFDMA based systems," *IEEE Communications Letters*, vol. 16, no. 9, pp. 1428–1431, September 2012.
- [16] R. C. Paiva, H. Wilhelm, M. Saily, D. Navratil, and M. Taponen, "Overload control method for synchronized MTC traffic in GERAN," in *IEEE Vehicular Technology Conference (VTC Fall)*, San Francisco, CA, September 2011.
- [17] Z. Wang and V. Wong, "Optimal access class barring for stationary machine type communication devices with timing advance information," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 14, no. 10, pp. 5374–5387, October 2015.
- [18] F. Ming, X. Zhu, M. Torres, L. Anaya, and L. Patanapongpibul, "GSM/GPRS bearers efficiency analysis for machine type communications," in *IEEE Vehicular Technology Conference (VTC Spring)*, Yokohama, Japan, May 2012.
- [19] J. Krnic and S. Krco, "Impact of WSN applications' generated traffic on WCDMA access networks," in *IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC)*, Cannes, France, September 2008.
- [20] J. Zhang, L. Shan, H. Hu, and Y. Yang, "Mobile cellular networks and wireless sensor networks: toward convergence," *IEEE Communications Magazine*, vol. 50, no. 3, pp. 164–169, March 2012.
- [21] J. Zhang, L. Shan, H. Hu, and Y. Yang, "Mobile cellular networks and wireless sensor networks: toward convergence," *IEEE Communications Magazine*, vol. 50, no. 3, pp. 164–169, March 2012.
- [22] IEEE Computer Society, IEEE Microwave Theory and Techniques Society "IEEE Standard for Air Interface for Broadband Wireless Access Systems" IEEE Std 802.16™, August 2012.
- [23] Wikipedia (2017). Low-density parity-check code [online]. Retrieved Mei 9, 2017, from http://en.wikipedia.org/wiki/Low-density_parity-check_code
- [24] Wikipedia (2017). 5G Vision: 100 Billion connections, 1 ms Latency, and 10 Gbps Throughput [online]. Retrieved Mei 18, 2017, from <http://www.huawei.com/minisite/5g/en/defining-5g.html>
- [25] IEEE Std 802.11a-1999, "Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications, High-speed Physical Layer in the 5 GHz Band", section 17.3.5.7.
- [26] Ultra-Reliable and Low-Latency (URLLC) 5G Communication, Sony Ericsson.
- [27] E. Christy, R. P. Astuti, B. Syihabuddin, B. Narottama, O. Rhessa and F. Rachmawati, "Optimum UAV flying path for Device-to-Device communications in disaster area," *2017 International Conference on Signals and Systems (ICSigSys)*, Bali, Indonesia, 2017, pp. 318-322.
- [29] J. Yuan, H. Shan, A. Huang, T. Q. S. Quek and Y. D. Yao, "Massive Machine-to-Machine Communications in Cellular Network: Distributed Queueing Random Access Meets MIMO," in *IEEE Access*, vol. 5, no. , pp. 2981-2993, 2017.
- [30] B. W. Khoueir and M. R. Soleymani, "A Novel Machine-to-Machine Communication Strategy Using Rateless Coding for the Internet of Things," in *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 3, no. 6, pp. 937-950, Dec. 2016.
- [31] A. Gupta and R. K. Jha, "A Survey of 5G Network: Architecture and Emerging Technologies," in *IEEE Access*, vol. 3, no. , pp. 1206-1232, 2015.
- [32] "5G", Wikipedia, <https://en.wikipedia.org/wiki/5G> Retrieved 09 April 2017
- [33] "5G A Technology Vision.pdf", Huawei, <http://www.huawei.com/5gwhitepaper/> retrieved 06 Juli 2017
- [34] "Network Latency", at&t, http://ipnetwork.bgtmo.ip.att.net/pws/network_delay.html retrieved 23 Maret 2017
- [35] C. H. Liu and J. Fan, "Scalable and Efficient Diagnosis for 5G Data Center Network Traffic," in *IEEE Access*, vol. 2, no. , pp. 841-855, 2014.
- [36] N. Chen, B. Rong, X. Zhang and M. Kadoch, "Scalable and Flexible Massive MIMO Precoding for 5G H-CRAN," in *IEEE Wireless Communications*, vol. 24, no. 1, pp. 46-52, February 2017.
- [37] C. Zhang, Z. Wang and X. You, "Efficient Decoder Architecture for Single Block-Row Quasi-Cyclic LDPC Codes," in *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*, vol. 61, no. 10, pp. 793-797, Oct. 2014.
- [38] C. Rächinger, R. Müller and J. B. Huber, "Low latency-constrained high rate coding: LDPC codes vs. convolutional codes," *2014 8th International Symposium on Turbo Codes and Iterative Information Processing (ISTC)*, Bremen, 2014, pp. 218-222.
- [39] Low-density parity-check code, Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Low-density_parity-check_code retrieved 03 Februari 2017