

**STUDI PADA *LOW DENSITY PARITY CHECK (LDPC) CODES* UNTUK  
TELEVISI DIGITAL DVB-T2 INDONESIA**

***STUDY ON LOW DENSITY PARITY CHECK (LDPC) CODES FOR  
INDONESIA DIGITAL TELEVISION DVB-T2***

**TUGAS AKHIR**

Disusun dalam rangka memenuhi salah satu persyaratan untuk menyelesaikan  
Program Studi S1 Teknik Telekomunikasi

Oleh  
**Citra Yasin Akbar Fadhlika**  
**1101164109**



**Telkom**  
University

**FAKULTAS TEKNIK ELEKTRO  
UNIVERSITAS TELKOM  
BANDUNG  
2020**

**LEMBAR PENGESAHAN  
TUGAS AKHIR**

**STUDI PADA *LOW DENSITY PARITY CHECK (LDPC) CODES UNTUK  
TELEVISI DIGITAL DVB-T2 INDONESIA*  
*STUDY ON LOW DENSITY PARITY CHECK (LDPC) CODES FOR  
INDONESIA DIGITAL TELEVISION DVB-T2***

**Telah disetujui dan disahkan sebagai Tugas Akhir  
Program Studi S1 Teknik Telekomunikasi  
Fakultas Teknik Elektro  
Telkom University  
Bandung**

Disusun oleh

**Citra Yasin Akbar Fadhlika  
1101164109**

**Bandung, 13 Januari 2020  
Menyetujui,**

Pembimbing I

Pembimbing II

Dr. Eng. Khoirul Anwar, S.T., M.Eng.  
16780069

Budi Prasetya, S.T., M.T.  
01750049

## **LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS**

Nama : Citra Yasin Akbar Fadhlika  
NIM : 1101164109  
Alamat : Jl. Mangga Dua No.19, Sukapura, Dayeuhkolot, Kab. Bandung.  
No. Telepon : 085799771159  
Email : citrayaf@gmail.co.id

Menyatakan bahwa Tugas Akhir ini merupakan karya orisinal saya sendiri, dengan judul:

**STUDI PADA *LOW DENSITY PARITY CHECK (LDPC) CODES UNTUK  
TELEVISI DIGITAL DVB-T2 INDONESIA***  
***STUDY ON LOW DENSITY PARITY CHECK (LDPC) CODES FOR  
INDONESIA DIGITAL TELEVISION DVB-T2***

Atas pernyataan ini, saya siap menanggung resiko/sanksi yang dijatuhkan kepada saya apabila kemudian ditemukan adanya pelanggaran terhadap kejujuran akademik atau etika keilmuan dalam karya ini, atau ditemukan bukti yang menunjukkan ketidakaslian karya ini.

Bandung, 13 Januari 2020



Citra Yasin Akbar Fadhlika  
1101164109

## ABSTRAK

Tugas Akhir ini melakukan studi pada *Low Density Parity Check (LDPC) codes Digital Video Broadcasting - Second Generation Terrestrial DVB-T2* untuk mendapatkan struktur dan kinerja dengan *channel model* Indonesia. Langkah pertama pada Tugas Akhir ini adalah melakukan pengujian *code rate* LDPC codes dari standar DVB-T2 pada *channel model* Indonesia. Pengujian dilakukan dengan simulasi komputer menggunakan struktur LDPC codes dari standar DVB-T2 sehingga kinerja setiap *code rate* yang berpeluang menjadi standar TV digital Indonesia bisa diketahui. Tugas Akhir ini juga mengusulkan modifikasi LDPC codes DVB-T2 untuk menjadi standar LDPC codes pada DVB-T2 Indonesia dengan menggunakan metode *Extrinsic Information Transfer (EXIT) analysis*.

Untuk mengurangi kompleksitas proses komputasi pada *encoder* dan *decoder*, Tugas Akhir ini mengusulkan teknik *downscaling* dengan dan tanpa algoritma *Progressive Edge-Growth (PEG)* untuk LDPC codes DVB-T2. Teknik *downscaling* memungkinkan untuk memperpendek panjang LDPC codes, sehingga LDPC codes DVB-T2 dengan panjang blok 16200 dapat diperkecil menjadi hanya 270. *Downscaled LDPC codes* juga diharapkan dapat digunakan untuk perangkat lain dengan daya dan kompleksitas yang rendah.

Tugas Akhir ini menghasilkan beberapa poin berikut ini: (i) struktur LDPC codes dengan panjang blok 16200 dan 270 untuk setiap *code rate* yang sesuai dengan standar DVB-T2, (ii) teknik perancangan LDPC codes menggunakan algoritma PEG tanpa adanya *girth* 4 sehingga menjamin *error* yang rendah karena tidak terjadi *cycle* yang melibatkan 4 *nodes*, (iii) teknik untuk menghitung *girth* pada LDPC codes yang bermanfaat untuk desain LDPC berbagai ukuran, (iv) kinerja yang baik dari LDPC codes DVB-T2 pada kanal *Additive White Gaussian Noise (AWGN)* dan *frequency-selective fading* dengan menggunakan *channel model* DVB-T2 Indonesia. Hasil Tugas Akhir ini diharapkan juga dapat membantu optimalisasi DVB-T2 Indonesia, serta membantu pengembangan LDPC codes yang berukuran kecil untuk perangkat berdaya dan kompleksitas rendah, seperti perangkat *Internet of Things (IoT)* dan drone.

Kata Kunci: *Error correction coding, DVB-T2, LDPC codes, code rate*

## ABSTRACT

This thesis studies Low Density Parity Check (LDPC) codes of Digital Video Broadcasting Second Generation (DVB-T2) to obtain good structure and performances for Indonesia DVB-T2 channel model. The first step of this thesis simulates performances of LDPC codes from DVB-T2 standard in Indonesia DVB-T2 channel model using computer-based simulation. All the code rates of DVB-T2 LDPC codes are evaluated, of which has a chance to become parameter for digital television standard in Indonesia can be known. This thesis also propose a modified DVB-T2 LDPC codes for standard of Indonesia.

To reduce the computational complexity of encoder and decoder, this thesis uses a downscaling technique and proposes downscaling technique using Progressive Edge-Growth (PEG) algorithm for LDPC codes of DVB-T2 with a reduced block length of 16200 bits to 270 bits. The results of downscaled LDPC codes are also expected to be used for devices consuming low power and low complexity such as device for Internet of Things (IoT) and drones.

This thesis obtained following results: (i) the structure of DVB-T2 LDPC codes with block length 16200 and 270 for each code rate, (ii) a technique for designing LDPC codes without girth 4 for LDPC codes construction, (iii) proposed technique to calculate girth from LDPC codes, and (iv) the simulation results showing acceptable Bit Error Rate (BER) performances of DVB-T2 LDPC codes under Additive White Gaussian Noise (AWGN) and frequency selective fading channel using Indonesia DVB-T2 channel model. The results of this thesis are expected to fasten the DVB-T2 implementation in Indonesia and assist in the development of small-sized LDPC codes for devices with low power and complexity.

Keywords: **Error correction coding, DVB-T2, LDPC codes, code rate**

## **UCAPAN TERIMA KASIH**

Penulis ingin berterima kasih sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu pengerjaan baik secara langsung maupun tidak langsung.

1. Allah SWT, atas semua kasih sayang, segala petunjuk, dan hidayah dalam setiap proses kehidupan penulis.
2. Rasulullah SAW, sebagai suri tauladan yang menginspirasi penulis dalam menjalani hidup dan berusaha menjadi lebih baik.
3. Kedua orang tua penulis yang tercinta, Bapak Era Revianto dan Ibu Ciptani Tresnowati yang tidak henti-hentinya dalam memberikan dukungan, motivasi, dan doa kepada penulis untuk menjadi pribadi yang lebih baik.
4. Adik penulis, Citra Putra Arrafian yang selalu menjadi teman bermain penulis, sehingga penulis tetap dapat menikmati apa yang dihadapi.
5. Keluarga besar dari Papa dan Mama yang selalu memberikan dukungan kepada penulis.
6. Bapak Dr. Eng. Khoirul Anwar, S. T., M. Eng., selaku pembimbing pertama yang selalu memberikan arahan, masukan, dan motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini. Terima kasih telah mengajarkan untuk selalu memberikan yang optimal dalam berkontribusi di dunia ilmu pengetahuan dengan dilandasi kejujuran dan keikhlasan, dan untuk semua nasihat tentang kehidupan yang luar biasa menginspirasi penulis.
7. Bapak Budi Prasetya S.T., M.T., selaku pembimbing kedua yang selalu memberikan masukan dan dukungan untuk saya mengerjakan Tugas Akhir ini dengan sangat baik.
8. Bapak Budi Syihabuddin S.T., M.T., selaku dosen wali yang senantiasa membimbing dan membantu penulis dalam hal akademik selama masa perkuliahan di Telkom University.
9. Bapak Suryo Adhi Wibowo Ph.D., selaku wakil direktur *Center of Advanced for Wireless Technology* (AdWiTech) yang selalu mengingatkan dan memberikan dukungan kepada penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.

10. Seluruh Keluarga Besar AdWiTech yang telah menjadi keluarga penulis selama kuliah di Telkom University. Terima kasih atas bantuan, ilmu, pengalaman, canda tawa, hiburan, dan bentuk dukungan yang tidak akan penulis lupakan selama masa perjuangan menyelesaikan Tugas Akhir ini.
11. Keluarga besar Laboratorium Dasar Komputer (DasKom), yang telah memberikan kenangan dan motivasi yang luar biasa selama penulis menjalani masa perkuliahan.
12. Seluruh teman-teman Laboratorium *Image Processing and Vision* (IMV) yang selalu berbaik hati.
13. Teman-teman kelas TT-40-04 yang senantiasa menemani penulis hingga memperoleh gelar Sarjana Teknik bersama-sama.
14. Saudara-saudara 'Kos Normies' yang telah memberikan warna dan kebahagian dalam masa perkuliahan di Telkom University.
15. Seluruh dosen dan civitas akademika Telkom University yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu. Terima kasih waktu, wawasan, nasihat, dan pengalaman yang telah diberikan selama penulis menimba ilmu di Telkom University.

Bandung, 6 Januari 2020

Citra Yasin Akbar Fadhlika

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT, atas segala rahmat, petunjuk, dan hidayah-Nya sehingga Penulis mampu menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir ini. Tak lupa shalawat serta salam senantiasa tercurah kepada junjungan Nabi Muhammad S.A.W beserta sahabat dan keluarganya. Tugas Akhir ini dibuat untuk memenuhi syarat kelulusan tahap Sarjana program studi Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Telkom University. Judul dari Tugas Akhir ini adalah "**STUDI PADA LOW DENSITY PARITY CHECK (LDPC) CODES UNTUK TELEVISI DIGITAL DVB-T2 INDONESIA**".

Sebagian hasil Tugas Akhir ini telah dipublikasikan pada *The 3rd International Conference on Symposium on Future Telecommunication Technologies* (SOFTT) 2019 pada 18-19 November 2019 di Kuala Lumpur, Malaysia.

Penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan pada Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun dari pembaca sangat diharapkan untuk perbaikan. Kritik dan saran dapat disampaikan, semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca khususnya dan bagi perkembangan telekomunikasi pada umumnya, terutama di Indonesia.

Bandung, 13 Januari 2020

Citra Yasin Akbar Fadhlika

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN</b>	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK</b>	<b>iv</b>
<b>UCAPAN TERIMA KASIH</b>	<b>vi</b>
<b>KATA PENGANTAR</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR ISI</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b>	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR ACHIEVEMENT</b>	<b>xvi</b>
<b>I PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang Masalah . . . . .	1
1.2 Rumusan Masalah . . . . .	2
1.3 Tujuan Penelitian . . . . .	2
1.4 Batasan Masalah . . . . .	2
1.5 Metodologi Penelitian . . . . .	3
1.6 Sistematika Penulisan . . . . .	4
<b>II KONSEP DASAR</b>	<b>5</b>
2.1 <i>Digital Video Broadcasting – Second Generation Terrestrial (DVB-T2)</i> . . . . .	5
2.2 <i>Low Density Parity Check (LDPC) Codes</i> . . . . .	6
2.2.1 <i>Tanner Graph</i> . . . . .	8
2.2.2 <i>Girth</i> . . . . .	9
2.2.3 <i>Regular LDPC Codes</i> . . . . .	10
2.2.4 <i>Irregular LDPC Codes</i> . . . . .	10
2.2.5 <i>LDPC Staircase Codes</i> . . . . .	10
2.3 <i>Accumulator</i> . . . . .	11

2.4	<i>Low Density Generator Matrix (LDGM)</i>	12
2.5	Algoritma <i>Progressive Edge-Growth</i> (PEG)	13
2.6	Modulasi	14
2.7	Pemodelan Kanal	14
2.7.1	Kanal <i>Additive White Gaussian Noise</i> (AWGN)	15
2.7.2	<i>Frequency Selective Fading Channel</i>	16
2.8	<i>Power Delay Profile</i> (PDP)	17
2.9	<i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i> (OFDM)	17
2.9.1	<i>Cyclic Prefix</i> (CP)	19
2.9.2	<i>Inverse Fast Fourier Transform</i> (IFFT)	19
2.9.3	<i>Fast Fourier Transform</i> (FFT)	19
2.9.4	Matriks <i>Circulant</i> dan Matriks <i>Toeplitz</i>	20
2.10	<i>Signal-to-Noise Power Ratio</i> (SNR)	21
2.11	<i>Extrinsic Information Transfer</i> (EXIT) <i>Chart</i>	22
2.12	<i>Bit Error Rate</i> (BER)	23
<b>III MODEL SISTEM DAN USULAN LDPC <i>CODES</i> DVB-T2</b>		<b>25</b>
3.1	Blok Sistem DVB-T2	25
3.2	Skenario Pengujian Kinerja LDPC <i>Codes</i> DVB-T2	26
3.3	Perancangan LDPC <i>Codes</i> DVB-T2	28
3.4	<i>Quadrature Phase Shift Keying</i> (QPSK)	28
3.5	<i>Channel Model</i> DVB-T2 Indonesia	29
3.6	<i>Soft Decoding</i>	29
3.7	Usulan LDPC <i>Codes</i> DVB-T2 dengan $N_{LDPC} = 16200$	29
3.8	Usulan LDPC <i>Codes</i> DVB-T2 menggunakan Teknik <i>Downscaling</i>	31
3.9	Usulan Algoritma PEG	34
3.9.1	Langkah PEG	34
3.9.2	Usulan LDPC <i>Codes</i> DVB-T2 menggunakan PEG	37
3.10	Usulan Teknik untuk Menghitung <i>Girth</i> LDPC <i>Codes</i>	38
<b>IV ANALISIS DAN EVALUASI KINERJA LDPC <i>CODES</i> DVB-T2</b>		<b>39</b>
4.1	Analisis EXIT <i>Chart</i> LDPC <i>Codes</i> DVB-T2 pada Kanal AWGN	39
4.2	Analisis Kinerja BER	44
4.2.1	Kinerja pada Kanal AWGN	44
4.2.2	Kinerja pada <i>Channel Model</i> DVB-T2 Indonesia	47
4.3	Evaluasi <i>Girth</i> LDPC <i>Codes</i>	51

<b>V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	<b>53</b>
5.1 Kesimpulan . . . . .	53
5.2 Saran . . . . .	54
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>55</b>
<b>A TABEL ADDRESSES PARITY BIT ACCUMULATORS LDPC CODES DVB-T2</b>	
<b>B TABEL ADDRESSES PARITY BIT ACCUMULATORS DOWNSCALED LDPC CODES DVB-T2</b>	

## DAFTAR GAMBAR

1.1	Klasifikasi standar TV digital dunia. . . . .	1
2.1	Matriks <i>parity check regular LDPC codes</i> (3,6). . . . .	7
2.2	Matriks <i>parity check irregular LDPC codes</i> . . . . .	7
2.3	Tanner <i>graph</i> matriks <i>parity check regular LPDC codes</i> dengan $d_v = 3$ dan $d_c = 6$ . . . . .	8
2.4	Tanner <i>graph</i> matriks <i>parity check irregular LDPC codes</i> dengan $\Lambda(x)$ pada (2.3) dan $\Omega(x)$ pada (2.4). . . . .	9
2.5	Sebuah contoh <i>girth 4</i> pada LDPC <i>codes</i> dengan <i>cycle</i> ditunjukkan dengan garis putus-putus: (a) dalam matriks <i>parity check</i> <b>H</b> dan (b) dalam Tanner <i>graph</i> . . . . .	9
2.6	Sebuah Tanner <i>graph</i> dari LDPC <i>Staircase codes</i> dengan $N = 10$ , $K = 6$ , dan $N_1 = 2$ . . . . .	12
2.7	Sebuah Tanner <i>graph</i> untuk <i>accumulator</i> dengan <b>H</b> pada (2.12). . .	12
2.8	Diagram blok kanal AWGN. . . . .	15
2.9	Karakteristik kanal untuk <i>frequency selective fading</i> . . . . .	16
2.10	PDP pada <i>multipath fading channel</i> . . . . .	17
2.11	Efisiensi spektrum dengan <i>saving bandwidth</i> sebagai hasil OFDM dibandingkan dengan FDM. . . . .	18
2.12	Ilustrasi penambahan CP pada awal OFDM simbol sebesar $T_{CP}$ . . .	18
2.13	EXIT <i>chart</i> LDPC <i>codes</i> untuk $d_v = 3$ dan $d_c = 6$ pada berbagai $E_b/N_0$ . . . . .	22
2.14	Kinerja BER <i>Uncoded BER</i> QPSK pada kanal AWGN dibandingkan dengan BER teori QPSK. . . . .	23
3.1	Diagram blok sistem transmisi DVB-T2 dengan penekanan pada LDPC <i>codes</i> . . . . .	26
3.2	Diagram alir evaluasi kinerja LDPC <i>codes</i> pada sistem DVB-T2. . .	27
3.3	Representasi Tanner <i>graph</i> LDPC <i>codes</i> DVB-T2 dengan $N_{LDPC} = 16200$ dan <i>code rate</i> $R_e = \frac{4}{9}$ . . . . .	30
3.4	Matriks <i>parity check</i> original DVB-T2 LDPC <i>codes</i> dengan $N_{LDPC} = 16200$ . . . . .	32

3.5	Matriks <i>downscaled parity check</i> DVB-T2 LDPC codes dengan $N_{LDPC} = 270$ . . . . .	33
3.6	Hasil graf pohon dan matriks <i>parity check</i> LDPC codes menggunakan algoritma PEG yang diusulkan. . . . .	36
3.7	Algoritma untuk menghitung <i>girth</i> LDPC codes yang diusulkan. . . . .	38
4.1	Analisis EXIT chart LDPC codes DVB-T2 dengan (a) $R_e = \frac{4}{9}$ dan (b) $R_e = \frac{3}{5}$ , masing-masing, pada SNR $\gamma = 2,5 \text{ dB}$ dan $\gamma = 3,75 \text{ dB}$ . . . . .	40
4.2	Analisis EXIT chart LDPC codes DVB-T2 dengan $R_e = \frac{2}{3}$ pada SNR $\gamma = 4 \text{ dB}$ . . . . .	41
4.3	Analisis EXIT chart LDPC codes DVB-T2 dengan $R_e = \frac{11}{15}$ pada SNR $\gamma = 4,25 \text{ dB}$ . . . . .	42
4.4	Analisis EXIT chart LDPC codes DVB-T2 pada (a) $R_e = \frac{7}{9}$ dan (b) $R_e = \frac{37}{45}$ , masing-masing, pada SNR $\gamma = 4,5 \text{ dB}$ dan $\gamma = 5,25 \text{ dB}$ . . . . .	43
4.5	Kinerja BER LDPC codes DVB-T2 dengan $N_{LDPC} = 16200$ pada kanal AWGN. . . . .	44
4.6	Kinerja BER LDPC codes DVB-T2 dengan: (a) $N_{LDPC} = 270$ menggunakan metode <i>downscaling</i> dan (b) $N_{LDPC} = 270$ menggunakan PEG dengan <i>accumulator</i> pada kanal AWGN. . . . .	45
4.7	Kinerja BER LDPC codes DVB-T2 dengan $N_{LDPC} = 270$ menggunakan PEG dengan LDGM pada kanal AWGN. . . . .	46
4.8	Kinerja BER LDPC codes DVB-T2 dengan $N_{LDPC} = 16200$ pada <i>channel model</i> DVB-T2 Kota Bandung. . . . .	48
4.9	Kinerja BER <i>downscaled</i> LDPC codes DVB-T2 dengan $N_{LDPC} = 270$ pada <i>channel model</i> DVB-T2 Kota Bandung. . . . .	49
4.10	Kinerja BER LDPC codes DVB-T2 dengan: (a) $N_{LDPC} = 270$ menggunakan PEG dengan <i>accumulator</i> , dan (b) $N_{LDPC} = 270$ menggunakan PEG dengan LDGM pada <i>channel model</i> DVB-T2 Kota Bandung. . . . .	50
4.11	Distribusi <i>girth</i> <i>downscaled</i> LDPC codes DVB-T2 dengan <i>code rate</i> $R_e$ : (a) $R_e = \frac{4}{9}$ , (b) $R_e = \frac{3}{5}$ , (c) $R_e = \frac{2}{3}$ , (d) $R_e = \frac{11}{15}$ , (e) $R_e = \frac{7}{9}$ , dan (f) $R_e = \frac{37}{45}$ . . . . .	51
4.12	Distribusi <i>girth</i> pada <i>downscaled</i> LDPC codes DVB-T2 menggunakan PEG dengan <i>code rate</i> $R_e$ : (a) $R = \frac{4}{9}$ , (b) $R_e = \frac{3}{5}$ , (c) $R_e = \frac{2}{3}$ , (d) $R_e = \frac{11}{15}$ , (e) $R_e = \frac{7}{9}$ , dan (f) $R_e = \frac{37}{45}$ . . . . .	52

## DAFTAR TABEL

2.1 Distribusi <i>column weight</i> LDPC <i>codes</i> DVB-T2 <i>short frame</i> . . . . .	5
2.2 <i>Addresses of parity bit accumulators</i> untuk $N_{LDPC} = 16200$ dengan <i>code rate</i> $R_e = \frac{4}{9}$ . . . . .	6
 3.1 Pemetaan simbol QPSK yang dipakai dalam Tugas Akhir ini. . . . .	29
 4.1 Perbandingan kinerja LDPC <i>codes</i> DVB-T2 yang diusulkan pada kanal AWGN. . . . .	47
4.2 Perbandingan kinerja LDPC <i>codes</i> DVB-T2 yang diusulkan pada <i>channel model</i> DVB-T2 Kota Bandung. . . . .	47
 A.1 <i>Addresses of parity bit accumulators</i> untuk $N_{LDPC} = 16200$ dengan <i>code rate</i> $R = \frac{4}{9}$ . . . . .	.
A.2 <i>Addresses of parity bit accumulators</i> untuk $N_{LDPC} = 16200$ dengan <i>code rate</i> $R = \frac{3}{5}$ . . . . .	.
A.3 <i>Addresses of parity bit accumulators</i> untuk $N_{LDPC} = 16200$ dengan <i>code rate</i> $R = \frac{2}{3}$ . . . . .	.
A.4 <i>Addresses of parity bit accumulators</i> untuk $N_{LDPC} = 16200$ dengan <i>code rate</i> $R = \frac{3}{4}$ . . . . .	.
A.5 <i>Addresses of parity bit accumulators</i> untuk $N_{LDPC} = 16200$ dengan <i>code rate</i> $R = \frac{4}{5}$ . . . . .	.
A.6 <i>Addresses of parity bit accumulators</i> untuk $N_{LDPC} = 16200$ dengan <i>code rate</i> $R = \frac{5}{6}$ . . . . .	.
 B.1 <i>Addresses of parity bit accumulators</i> untuk $N_{LDPC} = 270$ dengan <i>code rate</i> $R = \frac{4}{9}$ . . . . .	.
B.2 <i>Addresses of parity bit accumulators</i> untuk $N_{LDPC} = 270$ dengan <i>code rate</i> $R = \frac{3}{5}$ . . . . .	.
B.3 <i>Addresses of parity bit accumulators</i> untuk $N_{LDPC} = 270$ dengan <i>code rate</i> $R = \frac{2}{3}$ . . . . .	.
B.4 <i>Addresses of parity bit accumulators</i> untuk $N_{LDPC} = 270$ dengan <i>code rate</i> $R = \frac{3}{4}$ . . . . .	.
B.5 <i>Addresses of parity bit accumulators</i> untuk $N_{LDPC} = 270$ dengan <i>code rate</i> $R = \frac{4}{5}$ . . . . .	.



## **DAFTAR ACHIEVEMENT**

C. Y. A. Fadhlika and K. Anwar, "*Downscaled LDPC Codes for Indonesia Digital Video Broadcasting Terrestrial 2nd Generation (DVB-T2)*", dipublikasikan pada *International Conference on Symposium of Future Telecommunication Technologies* (SOFTT) 2019, Kuala Lumpur, Malaysia, November 2019.

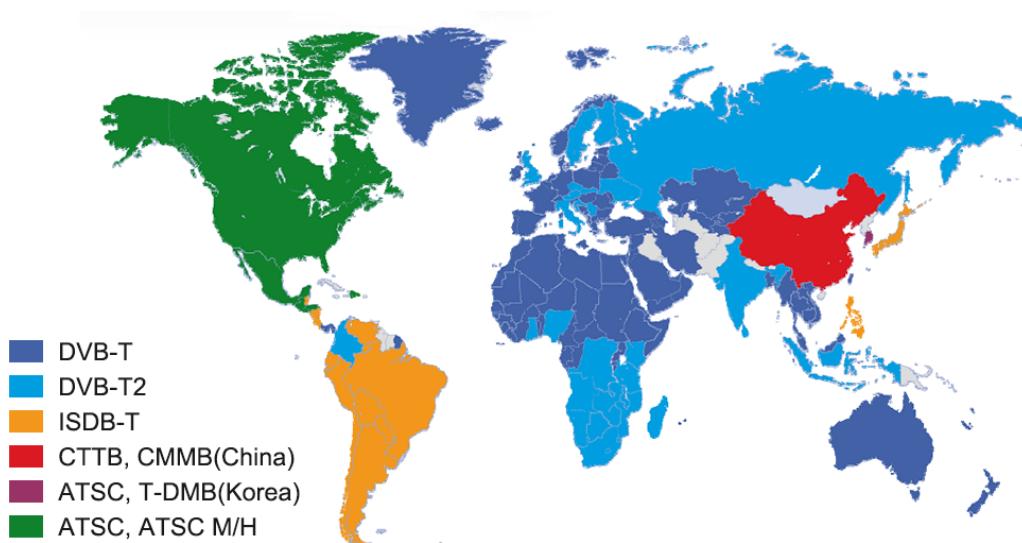
# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Indonesia telah melakukan migrasi dari penyiaran televisi (TV) analog ke TV digital dengan menggunakan standar *Digital Video Broadcasting-Terrestrial* (DVB-T) sejak tahun 2007 [1]. Saat ini, perkembangan TV digital di dunia sangat pesat. Berbagai negara telah menggunakan standar *Digital Video Broadcasting - Second Generation Terrestrial* (DVB-T2) menggantikan standar DVB-T dikarenakan DVB-T2 menggunakan besar spektrum yang sama, tetapi dapat mengirimkan lebih banyak program siaran TV atau dapat mengirimkan kualitas video/audio yang lebih baik daripada DVB-T [2]. Indonesia diharapkan di masa mendatang dapat melakukan transisi dari DVB-T ke DVB-T2 secara menyeluruh, sesuai dengan regulasi dari Menteri Komunikasi dan Infomatika (Menkominfo) DVB-T2 akan menggantikan standar DVB-T di Indonesia [3].

Transisi dari DVB-T ke DVB-T2 memerlukan banyak persiapan. Untuk memperoleh kinerja optimal standar DVB-T2 harus disesuaikan dengan kondisi alam (*channel model*) Indonesia. DVB-T2 menggunakan *Low Density Parity Check* (LDPC) codes sebagai *channel coding* di *inner coding* dari *Frame Error Correction* (FEC) [4]. Untuk melakukan migrasi dari DVB-T ke DVB-T2 di Indonesia struktur



Gambar 1.1 Klasifikasi standar TV digital dunia.

dan *code rate* LDPC codes DVB-T2 yang sesuai dengan *channel model* Indonesia diperlukan. Penyesuaian LDPC codes DVB-T2 diperlukan agar LDPC codes dapat bekerja secara optimal, sehingga memiliki peluang *error* menjadi sangat kecil.

Tantangan utama untuk melakukan transisi dari DVB-T ke DVB-T2 adalah standar DVB-T2 yang diterbitkan oleh *European Telecommunications Standards Institute* (ETSI), merupakan standar untuk menerapkan DVB-T2 di Jerman [5]. Indonesia memiliki *channel model* yang sangat berbeda dari Jerman, oleh karena itu diperlukan standar DVB-T2 yang sesuai dengan *channel model* di Indonesia sehingga DVB-T2 dapat memperoleh kinerja yang optimal. Tugas Akhir ini bertujuan memperoleh standar FEC di bagian *inner coding* dari DVB-T2 yang sesuai dengan *channel model* Indonesia untuk penerapan DVB-T2 di Indonesia kedepannya.

Hasil yang diharapkan dari Tugas Akhir ini adalah struktur dan *code rate* optimal dari LDPC codes DVB-T2 yang sesuai dengan *channel model* Indonesia. Pengujian kinerja menggunakan metode *Extrinsic Information Transfer* (EXIT) chart serta simulasi pada kanal *Additive White Gaussian Noise* (AWGN) dan *frequency-selective fading* menggunakan aplikasi MATLAB, hasil divalidasi dengan teori dasar, sehingga hasil kinerja *inner coding* dari FEC DVB-T2 ini optimal.

## 1.2 Rumusan Masalah

Sejak tahun 2012 Menkominfo telah menetapkan DVB-T2 sebagai standar penyiaran TV digital di Indonesia [3], tapi sampai saat ini Indonesia belum memiliki standar spesifikasi DVB-T2 yang sesuai dengan *channel model* Indonesia. Salah satu spesifikasi DVB-T2 adalah *inner coding* dari FEC DVB-T2 yaitu LDPC codes. Tidak adanya struktur optimal ini menyebabkan tidak diketahuinya karakteristik kinerja DVB-T2 Indonesia yang menyebabkan sulitnya industri membuat produk yang terbaik dan sesuai standar Indonesia.

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tugas Akhir ini bertujuan melakukan studi pada struktur dan nilai *code rate* LDPC codes DVB-T2 yang dievaluasi dengan *channel model* Indonesia, sehingga kinerja TV digital Indonesia bisa diketahui. Hasil ini bermanfaat juga bagi industri dalam mengembangkan alat-alat pemancar dan penerima TV digital.

## 1.4 Batasan Masalah

Tugas Akhir ini memiliki batasan masalah sebagai berikut:

1. Menguji kinerja LDPC *codes* DVB-T2 menggunakan *code rate*  $\frac{1}{2}, \frac{3}{5}, \frac{2}{3}, \frac{3}{4}, \frac{4}{5}$ , dan  $\frac{5}{6}$  pada DVB-T2 LDPC *codes* dengan panjang blok  $N_{LDPC} = 16200$ .
2. Simulasi menggunakan kanal AWGN dan *frequency selective fading* pada *channel model* DVB-T2 di Indonesia.
3. Untuk simplifikasi penelitian, maka penulis menggunakan modulasi *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK).

## 1.5 Metodologi Penelitian

Tugas Akhir ini menerapkan metodologi penelitian sebagai berikut:

a. Studi Literatur

Tahap ini melakukan pengumpulan informasi, menganalisis, dan mengidentifikasi tentang LDPC *codes* secara umum dan LDPC *codes* DVB-T2 dari berbagai literatur. Literatur yang menjadi rujukan adalah *text book*, *thesis*, buku disertasi, standar DVB-T2, dan jurnal atau *paper conference* internasional yang dipublikasikan *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE).

b. Simulasi pada Kanal AWGN dan *Frequency Selective Fading*

Tahap ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja LDPC *codes* DVB-T2 pada kanal AWGN dan *channel model* DVB-T2 Indonesia.

c. Perancangan Struktur

Tahap ini melakukan perancangan struktur LDPC *codes* berdasarkan hasil yang didapat pada tahap (b), jika hasil sudah sesuai, maka perancangan struktur *code* yang baru menjadi minimal. Apabila hasil kurang bagus, maka perancangan struktur akan cukup banyak.

d. Analisis EXIT *Chart*

Tahap ini menganalisis struktur dan *code rate* dari LDPC *codes* DVB-T2 untuk menghasilkan kurva EXIT *chart* yang tidak berpotongan untuk mengetahui kinerja yang paling baik.

e. Studi Analisis

Tahap ini menganalisis hasil simulasi dari semua *code rate* LDPC *codes* DVB-T2 pada tahap sebelumnya. Analisis dilakukan terhadap EXIT *chart*, *girth*, dan kinerja *Bit Error Rate* (BER) pada kanal AWGN dan *frequency-selective fading* menggunakan *channel model* DVB-T2 Indonesia

f. Penarikan Kesimpulan

Tahap ini menarik kesimpulan dari seluruh hasil evaluasi dan usulan untuk LDPC *codes* pada DVB-T2.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Untuk selanjutnya, Tugas Akhir ini ditulis dengan sistematika sebagai berikut:

- **BAB II KONSEP DASAR**

Bab ini menjelaskan teori dan dasar LDPC *codes*, DVB-T2, dan pendukung penelitian Tugas Akhir ini.

- **BAB III MODEL SISTEM DAN USULAN LDPC CODES DVB-T2**

Bab ini menjelaskan model sistem mulai dari *transmitter*, model kanal, hingga *receiver*, dan posisi LDPC *codes* dalam sistem tersebut. Bab ini juga menjelaskan LDPC *codes* yang diusulkan.

- **BAB IV ANALISIS DAN EVALUASI KINERJA LDPC CODES DVB-T2**

Bab ini menganalisis dan mengevaluasi kinerja LDPC *codes* DVB-T2 pada kanal AWGN dan *channel model* DVB-T2 Indonesia yang divalidasi dengan parameter praktis BER.

- **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini berisi kesimpulan hasil studi kinerja LDPC *codes* DVB-T2 dan saran untuk pengembangan lebih lanjut Tugas Akhir ini pada masa mendatang.

## BAB II

### KONSEP DASAR

Bab ini membahas tentang konsep dan teori yang mendasari penelitian Tugas Akhir ini yang meliputi tentang DVB-T2, LDPC *codes*, standar LDPC *codes* DVB-T2, algoritma *Progressive Edge-Growth* (PEG) untuk LDPC *codes*, modulasi QPSK, *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM), pemodelan kanal yang digunakan, dan EXIT *chart*.

#### 2.1 *Digital Video Broadcasting – Second Generation Terrestrial (DVB-T2)*

DVB-T2 merupakan standar untuk penyiaran televisi digital yang telah ditetapkan oleh ETSI. DVB-T2 memiliki kinerja lebih baik daripada generasi sebelumnya yaitu DVB-T. DVB-T2 memiliki banyak perbedaan dengan DVB-T salah satunya adalah FEC DVB-T2 yang menggunakan Bose Chaudhuri Hocquenghem (BCH) *codes* dan LDPC *codes*. Dampak penggunaan FEC ini, memberikan keunggulan pada DVB-T2, sehingga memiliki laju data yang lebih cepat 30% daripada DVB-T dan memungkinkan DVB-T2 untuk menggunakan 256-QAM, *Fast Fourier Transform* (FFT) *size* sebesar 16K dan 32K, serta diagram konstelasi yang beroptasi. Akibatnya, memungkinkan untuk mengirimkan kualitas video *High Definition Television Video* (HDTV) [5].

LDPC *codes* merupakan *inner coding* dari FEC DVB-T2, *code rate* dari LDPC *codes* yang telah ditentukan oleh standar dari ETSI, yaitu :  $\frac{1}{2}, \frac{3}{5}, \frac{2}{3}, \frac{3}{4}, \frac{4}{5}$ , atau  $\frac{5}{6}$  [5]. *Code rate* sebesar  $\frac{1}{2}$  memiliki perlindungan proteksi maksimal dan laju data minimal, sedangkan untuk *code rate* sebesar  $\frac{5}{6}$  memiliki perlindungan proteksi minimal

**Tabel 2.1** Distribusi *column weight* LDPC *codes* DVB-T2 *short frame*.

Code rate		Column weight						
$R_n$	$R_e$	13	12	8	3	2	1	
1/2	4/9			1800	5400	8999	1	
3/5	3/5		3240		6480	6479	1	
2/3	2/3	1080			9720	5399	1	
3/4	11/15		360		11520	4319	1	
4/5	7/9				12600	3599	1	
5/6	37/45	360			12960	2879	1	

**Tabel 2.2** Addresses of parity bit accumulators untuk  $N_{LDPC} = 16200$  dengan code rate  $R_e = \frac{4}{9}$ .

20	712	2386	6354	4061	1062	5045	5158
21	2543	5748	4822	2348	3089	6328	5876
22	926	5701	269	3693	2438	3190	3507
23	2802	4520	3577	5324	1091	4667	4449
24	5140	2003	1263	4742	6497	1185	6202
0	4046	6934					
1	2855	66					
2	6694	212					
3	3439	1158					
4	3850	4422					
5	5924	290					
6	1467	4049					
7	7820	2242					
8	4606	3080					
9	4633	7877					
10	3884	6868					
11	8935	4996					
12	3028	764					
13	5988	1057					
14	7411	3450					

dan laju data maksimal. Sesuai standar ETSI, LDPC *codes* dari DVB-T2 menggunakan struktur *cyclic* di bagian informasi dan struktur *staircase* di bagian *parity*. Untuk panjang blok di LDPC *codes* dapat menggunakan 16.200 blok (*short frame*) yang akan lebih baik untuk laju data rendah dan 64.800 blok (*long frame*) yang akan lebih baik untuk laju data yang lebih tinggi. Pembentukan matriks *parity check* LDPC *codes* DVB-T2 dibuat berdasarkan dari Tabel *Addresses Parity Bit Accumulator*-nya. Kinerja dari LDPC *codes* akan dipengaruhi oleh *code rate*, lebar spektrum frekuensi, *Guard Interval* (GI), panjang *frame*, dan parameter transmisi lainnya.

## 2.2 Low Density Parity Check (LDPC) Codes

LDPC *codes* atau dapat disebut juga *Gallager's codes* diusulkan pada tahun 1962 oleh Robert Gallager [6]. LDPC *codes* merupakan sebuah *channel coding* untuk melakukan *error correction* yang menggunakan pengkodean dengan menggunakan matriks generator berukuran besar yang jumlah elemen 1 lebih sedikit dibandingkan elemen 0, sehingga disebut *low-density codes* [7]. Elemen 1 menunjukkan hubungan antara bit masukan dengan bit keluaran dari LDPC *codes*. MacKay merupakan salah satu peniliti yang telah menunjukkan bahwa LDPC *codes*

memiliki kinerja yang mendekati kapasitas Shannon [8–10].

Generator matriks LDPC *codes* ( $\mathbf{G}$ ) berfungsi sebagai pembentuk *codeword* dari bit informasi di sisi pengirim dan matriks *parity check* ( $\mathbf{H}$ ) untuk mengembalikan *codeword* menjadi bit informasi. Keduanya harus memenuhi

$$\mathbf{GH}^T = \mathbf{0}. \quad (2.1)$$

Jika Persamaan (2.1) tidak terpenuhi, LDPC *codes* tidak dapat mendekripsi dan mengecek *error* atas *codeword* yang diterima. Bentuk matriks *parity check* dari LDPC *codes* disesuaikan dengan panjang blok ( $N$ ), dimensi ( $K$ ), redundansi ( $M$ ), *degree of variable node* ( $d_v$ ), dan *degree of check node* ( $d_c$ ) dengan

$$M = N - K, \quad (2.2)$$

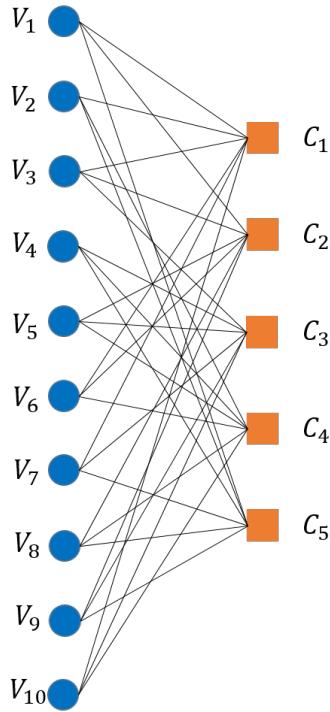
maka matriks *parity check* LDPC *codes* memiliki dimensi  $M \times N$ . *Variable node* digunakan untuk mendeskripsikan setiap kolom dan *check node* untuk setiap baris dari matriks LDPC *codes*.

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad \begin{array}{l} \text{Panjang Blok (N)} \\ d_c = 6 \\ d_v = 3 \end{array}$$

**Gambar 2.1** Matriks *parity check regular LDPC codes* (3,6).

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \begin{array}{l} \text{Panjang Blok (N)} \\ d_c = 3 \\ d_v = 3 \quad d_v = 2 \quad d_v = 1 \end{array}$$

**Gambar 2.2** Matriks *parity check irregular LDPC codes*.



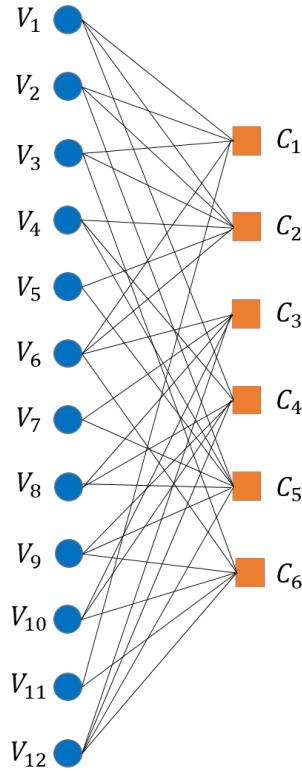
**Gambar 2.3** Tanner graph matriks parity check regular LPDC codes dengan  $d_v = 3$  dan  $d_c = 6$ .

### 2.2.1 Tanner Graph

Tanner graph merupakan *bipartite graph* yang digunakan untuk menyatakan batasan atau persamaan dari sebuah *error correcting codes* [11]. Matriks parity check LDPC codes dapat direpresentasikan dalam bentuk graf yaitu Tanner graph yang terdiri dari beberapa set *node*. Tanner graph memiliki sebuah garis yang menghubungkan antara *variable node* dan *check node*, jika dan hanya jika *variable node* memiliki hubungan dengan *check node*. Gambar 2.3 menunjukkan Tanner graph dari matriks parity check pada Gambar 2.1, sedangkan Gambar 2.4 merupakan bentuk Tanner graph irregular LDPC codes yang memiliki distribusi *variable node degree* (VND)  $\Lambda(x)$  dan *check node degree* (CND)  $\Omega(x)$  sebagai berikut:

$$\Lambda(x) = \frac{3}{12}x^2 + \frac{7}{12}x^3 + \frac{1}{12}x^4 + \frac{1}{12}x^5, \quad (2.3)$$

$$\Omega(x) = \frac{1}{6}x^4 + \frac{2}{6}x^5 + \frac{1}{6}x^6 + \frac{2}{6}x^7. \quad (2.4)$$



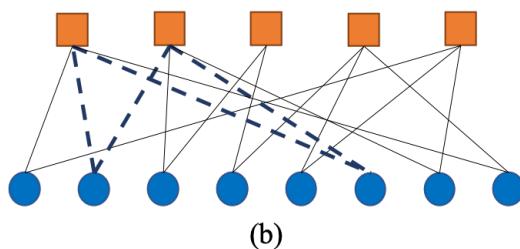
**Gambar 2.4** Tanner graph matriks parity check irregular LDPC codes dengan  $\Lambda(x)$  pada (2.3) dan  $\Omega(x)$  pada (2.4).

### 2.2.2 Girth

*Girth* adalah panjang siklus terpendek dalam sebuah Tanner graph yang menjadi hal penting dalam menentukan kinerja LDPC codes [12]. Adapun *girth* lokal, *girth* lokal ini terbentuk dari siklus per-node pada sebuah Tanner graph LDPC codes. *Girth* terkecil yang mungkin muncul pada LDPC codes adalah *girth* 4, oleh karena itu pada perancangan LDPC codes munculnya *girth* 4 harus dihindari. *Girth* dapat dihitung dengan mudah dengan mengamati Tanner graph yang terbentuk pada LDPC codes. Untuk *girth* 4 dapat diamati melalui matriks parity check LDPC codes dengan mengamati elemen 1 yang ada, apabila terdapat elemen 1 yang membentuk

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

(a)



**Gambar 2.5** Sebuah contoh *girth* 4 pada LDPC codes dengan *cycle* ditunjukkan dengan garis putus-putus: (a) dalam matriks parity check  $\mathbf{H}$  dan (b) dalam Tanner graph.

persegi atau persegi panjang maka *girth* 4 pasti muncul pada LDPC *codes* tersebut seperti pada Gambar 2.5. *Girth* kecil pada LDPC *codes* akan memberikan efek buruk pada LDPC *codes*, karena mengurangi kinerja dari *extrinsic information* dalam proses *iterative decoding* LDPC *codes* [13].

### 2.2.3 Regular LDPC Codes

*Regular LDPC codes* merupakan struktur LDPC *codes* yang memiliki nilai  $d_v$  atau banyaknya nilai 1 di setiap kolomnya sama dan nilai  $d_c$  atau banyaknya nilai 1 di setiap barisnya sama. Gambar 2.1 merupakan contoh matriks dari *regular LDPC codes* yang memiliki nilai  $N$  sama dengan 10,  $d_v$  sama dengan 3, dan  $d_c$  sama dengan 6. Nilai *code rate* *regular LDPC codes* dapat diketahui dengan

$$R = 1 - \frac{d_v}{d_c}. \quad (2.5)$$

### 2.2.4 Irregular LDPC Codes

*Irregular LDPC codes* merupakan jenis struktur dari LDPC *codes* yang memiliki nilai  $d_v$  dan  $d_c$  yang tidak sama di setiap baris dan kolomnya, dari segi kinerja *irregular LDPC codes* dapat mengungguli *regular LDPC codes* [14]. Hal ini dikarenakan, nilai *girth* dari *irregular LDPC codes* cenderung lebih besar dari *regular LDPC codes*. *Irregular LDPC codes* memiliki persamaan untuk distribusi VND  $\Lambda(x)$  dan distribusi CND  $\Omega(x)$ , sebagai berikut:

$$\Lambda(x) = \sum_{i=1}^{dv} \Lambda_i x^i, \quad (2.6)$$

$$\Omega(x) = \sum_{i=1}^{dc} \Omega_i x^i \quad (2.7)$$

dengan asumsi semua persamaan  $\Lambda(x)$  dan  $\Omega(x)$  bersifat saling independen linier, maka *code rate* ( $R$ ) dari *irregular LDPC codes* adalah

$$R(\Lambda, \Omega) = 1 - \frac{\int_0^1 \Omega(x) dx}{\int_0^1 \Lambda(x) dx}. \quad (2.8)$$

### 2.2.5 LDPC Staircase Codes

LDPC *Staircase codes* merupakan LDPC *codes* yang menggunakan struktur matriks *lower triangular*. Matriks LDPC *Staircase codes* memiliki bentuk seperti

”tangga” yang terbentuk oleh elemen 1, sehingga setiap simbol yang *error* dapat dikoreksi dari nilai jumlah simbol sebelumnya di baris terkait [15]. Matriks *parity check* LDPC *Staircase codes* memiliki bentuk

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & \mathbf{1} & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & \mathbf{1} & \mathbf{1} & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & \mathbf{1} & \mathbf{1} & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & \mathbf{1} & \mathbf{1} \end{bmatrix}. \quad (2.9)$$

Matriks (2.9) dibagi menjadi dua bagian  $(\mathbf{H}_1 \mid \mathbf{H}_2)$ .  $\mathbf{H}_1$  merupakan bagian sebelah kiri matriks  $\mathbf{H}$  dari kolom 0 ke  $K - 1$  yang mendefinisikan penempatan simbol dari sumber informasi dalam sebuah persamaan linier.  $\mathbf{H}_2$  merupakan bagian sebelah kanan matriks  $\mathbf{H}$  dari  $K$  ke  $N - 1$  yang mendefinisikan persamaan-persamaan simbol perbaikan pada baris yang berkaitan dan membentuk seperti ”tangga”. Operasi dasar dalam pembentukan matriks *parity check* LDPC *Staircase codes* menggunakan operasi *exclusive or* (XOR). LDPC *Staircase codes* yang memiliki nilai *code rate* ( $R$ ) setiap  $m$  baris dari matriks  $\mathbf{H}_1$  akan memiliki *degree*

$$d_{R_{\mathbf{H}_1}} = \frac{N_1}{\frac{1}{R} - 1} \quad (2.10)$$

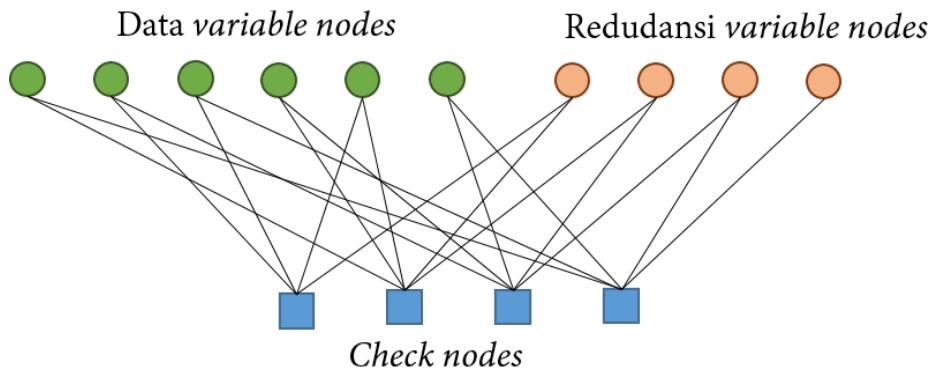
dengan  $N_1$  merupakan jumlah banyaknya nilai elemen 1 di setiap kolom matriks  $\mathbf{H}_1$ . Matriks (2.9). Akibat dari struktur *staircase* di matriks  $\mathbf{H}_2$ , satu baris  $m$  dari matriks  $\mathbf{H}$  akan memiliki *degree*

$$d_r(m) = \begin{cases} d_{r_{\mathbf{H}_1}} + 1 & \text{if } m = 1, \\ d_{r_{\mathbf{H}_1}} + 2 & \text{if } m > 1. \end{cases} \quad (2.11)$$

Representasi LDPC *Staircase codes* dalam bentuk Tanner *graph* ditunjukkan oleh Gambar 2.6.

### 2.3 Accumulator

*Accumulator* adalah sebuah teknik yang diadaptasi dari Turbo *codes*, *accumulator* terbukti memiliki kinerja yang baik dalam proses *decoding* dan simpel dalam pembentukan generator matriks pada LDPC *codes* [16]. Kombinasi antara *accumulator* dengan *irregular* LDPC *codes* terbukti memiliki kinerja yang lebih baik daripada *irregular* LDPC *codes* terbaik yang pernah ada. *Accumulator* memiliki



**Gambar 2.6** Sebuah Tanner graph dari LDPC Staircase codes dengan  $N = 10$ ,  $K = 6$ , dan  $N_1 = 2$ .

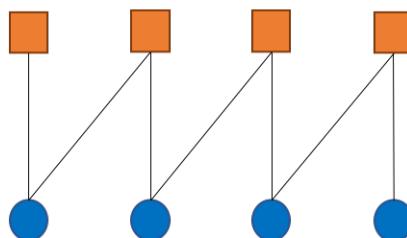
matriks seperti

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}. \quad (2.12)$$

Gambar 2.7 menunjukkan struktur dari *accumulator* pada persamaan (2.12) memiliki pola *zigzag* dengan proses *decoding* menggunakan operasi XOR.

## 2.4 Low Density Generator Matrix (LDGM)

Dalam proses pengkodean, *Low Density Generator Matrix* (LDGM) menggunakan operasi XOR. LDGM dapat di-decode dengan *Sum Product Algorithm* (SPA). Keuntungan dari pengkodean LDGM adalah proses yang sederhana [17], karena hanya terdiri dari perkalian matriks dari input simbol dengan matriks *sparse* generator  $\mathbf{G}$ . Matriks *parity check*  $\mathbf{H}$  LDGM codes memiliki *degree* satu dengan matriks identitas di dalamnya yang menunjukkan bahwa matriks tersebut sederhana dalam



**Gambar 2.7** Sebuah Tanner graph untuk *accumulator* dengan  $\mathbf{H}$  pada (2.12).

proses pembuatan matriks generator seperti matriks berikut

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \mathbf{G} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (2.13)$$

LDGM *codes* dikombinasikan dengan LDPC *codes* sebagai *parity* yang berfungsi untuk menjadi *redundancy* dengan memberikan tambahan bit *parity* pada *codeword*  $\mathbf{c}$ . Parameter  $\mathbf{c}$  merupakan bit informasi  $\mathbf{b}$  yang telah diberi bit *parity* untuk menambah kemampuan dalam koreksi kesalahan.

## 2.5 Algoritma *Progressive Edge-Growth* (PEG)

*Progressive Edge-Growth* (PEG) adalah salah satu metode dalam merancang matriks *parity check* LDPC *codes* berdasarkan dari Tanner *graph* dengan memperhatikan penyebaran *edge* yang terhubung pada setiap *node* untuk menghasilkan *girth* besar [18]. Perancangan LDPC *codes* dengan menggunakan PEG dapat dibuat berdasarkan jumlah *variable nodes* atau *block length*  $n$ , *check node*  $m$ , VND, dan CND. PEG melakukan penyebaran *edge* menggunakan graf pohon dengan memperhatikan *degree* setiap *node* yang telah ditentukan dan setiap *node* hanya muncul sekali saja. Kedalaman dari graf pohon akan disimbolkan dengan  $l$ .

Secara sederhana proses pembuatan LDPC *codes* menggunakan algoritma PEG adalah sebagai berikut [18]:

1. Tempatkan elemen 1 mulai dari kolom ke-1 sampai ke- $n$ , penempatan ini memperhatikan baris atau *check node* dengan *degree* terkecil.
2. Menyebarluaskan *edge* ke *node* yang belum terhubung dengan memperhatikan *degree* dari *check node*.

*Cycle* dari LDPC *codes* yang terbentuk menggunakan PEG dapat dipastikan akan bernilai  $2(l + 2)$ . Dalam perancangan LDPC *codes* menggunakan algoritma PEG dengan nilai  $d_v$ ,  $d_c$ , dan  $m$  yang telah ditentukan, dapat diketahui batas dari nilai *girth* melalui persamaan

$$t = \frac{\log \left( md_c^{max} - \frac{md_c^{max}}{d_v^{max}} - m + 1 \right)}{\log [(d_v^{max} - 1)(d_c^{max} - 1)]} - 1 \quad (2.14)$$

$$g \geq 2(|t| + 2), \quad (2.15)$$

dengan  $g$  adalah *girth*, dari Persamaan (2.14) dan (2.15) maka

$$\frac{d_v^{\max} \left[ (d_v^{\max} - 1)^{t+1} (d_c^{\max} - 1)^{t+1} - 1 \right]}{(d_v^{\max} - 1)(d_c^{\max} - 1) - 1} < m. \quad (2.16)$$

PEG memiliki dua metode dalam proses perancangan LDPC *codes* dengan cara [19]:

1. Secara acak memilih *check nodes* terkecil yang ditemukan.
2. Selalu memilih *check nodes* terkecil yang ditemukan sesuai dengan urutannya  $c_1, c_2, c_3, \dots, c_m, m$  adalah jumlah baris.

Hal ini mengakibatkan LDPC *codes* akan memiliki matriks *parity check* berbeda, apabila menggunakan algoritma PEG.

## 2.6 Modulasi

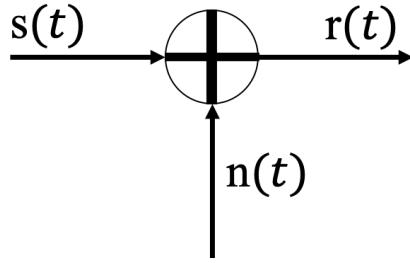
Modulasi merupakan proses perubahan sebuah gelombang periodik menjadi sebuah sinyal yang mampu membawa informasi. Sinyal informasi akan ditumpangkan pada gelombang radio yang bertugas sebagai sinyal pembawanya (*carrier*). Langkah terbaik untuk mengirimkan informasi yang berupa +1 atau -1 menggunakan gelombang radio dengan memodulasi sinyal *carrier* dengan frekuensi  $f_c$  yang sesuai sinyal informasinya [20]. Bentuk gelombang dari sinyal *carrier*  $S(t)$  dapat dinyatakan sebagai

$$S(t) = A \cos \{2\pi f_c t + \theta(t)\} \quad (2.17)$$

dengan  $A$  adalah amplitudo,  $f_c$  adalah frekuensi tengah, dan  $\theta(t)$  adalah fasa sesuai dengan variansi waktu dari gelombang sinyal *carrier*.

## 2.7 Pemodelan Kanal

Tugas Akhir ini menggunakan pemodelan kanal radio. Terdapat dua paramater utama dalam pemodelan kanal yang dirancang, yaitu adanya *noise* dan terjadinya *multipath fading*. Sub bab ini akan menjelaskan kanal AWGN dan *frequency selective fading*.



**Gambar 2.8** Diagram blok kanal AWGN.

### 2.7.1 Kanal *Additive White Gaussian Noise* (AWGN)

Kanal AWGN adalah kanal paling populer karena dianggap sebagai model yang baik untuk banyak aplikasi. Kanal AWGN memiliki beberapa karakteristik, antara lain [21]:

1. *Additive*, karena *noise* ditambahkan ke simbol-simbolnya.
2. *White*, memiliki rapat daya yang konstan di setiap frekuensi.
3. *Gaussian*, karena *noise* dari kanal AWGN terdistribusi *Gaussian*.

Pemodelan matematika untuk sinyal yang diterima di *receiver* pada kanal AWGN berdasarkan Gambar 2.8 adalah

$$r(t) = s(t) + n(t) \quad (2.18)$$

dengan  $s(t)$  adalah sinyal yang ditransmisikan,  $n(t)$  adalah *white Gaussian noise*, dan  $r(t)$  adalah sinyal yang diterima.

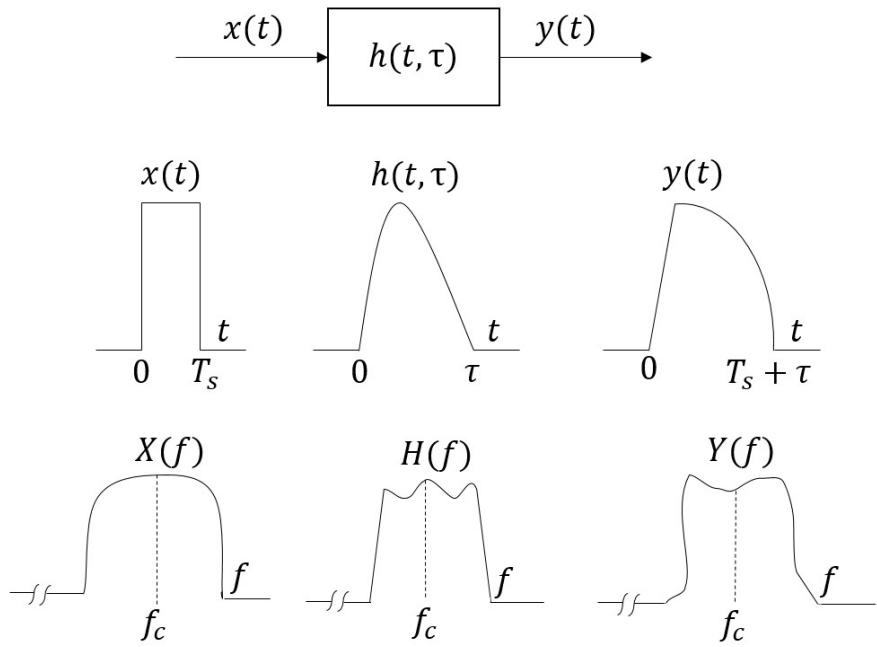
Proses transmisi pada kanal AWGN akan disimulasikan dengan menggunakan aplikasi MATLAB. Densitas spektral daya kanal AWGN sama rata untuk semua frekuensi. Sinyal yang diterima dalam aplikasi MATLAB didefinisikan sebagai

$$\mathbf{r}_x = \mathbf{H} \cdot \mathbf{t}_x + \mathbf{n} \quad (2.19)$$

dengan  $\mathbf{r}_x$  merupakan sinyal yang diterima oleh *receiver*,  $\mathbf{h} = 1$  untuk AWGN *channel*. Parameter  $\mathbf{t}_x$  adalah sinyal yang dikirimkan dari *transmitter*, dan *noise*  $\mathbf{n}$  didefinisikan dengan perintah MATLAB

$$\mathbf{n} = \sigma \cdot (\text{randn}(1, B)) + \sqrt{-1} \times (\text{randn}(1, B)), \quad (2.20)$$

yang memiliki distribusi Gaussian sepanjang simbol ( $B$ ) dengan varians  $\sigma^2$  pada



**Gambar 2.9** Karakteristik kanal untuk *frequency selective fading*.

(*double-sided noise*) dan rata-rata nol. Probabilitas fungsi densitasnya adalah

$$p(m) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left(-\frac{m^2}{2\sigma^2}\right) \quad (2.21)$$

dengan  $m$  adalah *random variabel* dari *noise*.

### 2.7.2 Frequency Selective Fading Channel

*Frequency selective fading channel* terjadi ketika amplitudo konstan dan respon fasa linier pada *wireless channel* lebih sempit daripada *bandwidth* sinyal, sehingga amplitudo respon frekuensi dari sinyal yang ditransmisikan menjadi bervariasi terhadap frekuensi [22]. Gambar 2.9 menunjukkan karakteristik dari *frequency selective fading channel* dan ilustrasi di *domain* waktu dan frekuensi. *Frequency selective fading channel* adalah sebuah *wideband channel* dengan kondisi kanal ( $\tau$ ) lebih besar dari pada periode simbol sinyal yang ditransmisikan ( $T_s$ ) atau jika *maximum excess delay* ( $T_m$ ) lebih besar daripada ( $T_s$ ) [23]. Sehingga dapat disimpulkan sinyal dipengaruhi oleh *frequency selective fading channel* jika:

$$\begin{aligned} B_s &\geq B_c, \\ T_s &\leq \sigma_\tau, \\ T_s &\leq T_m. \end{aligned} \quad (2.22)$$

Oleh karena itu, sebuah kanal dianggap *frequency selective fading channel* ketika  $\sigma_\tau = 0.1T_s$ .

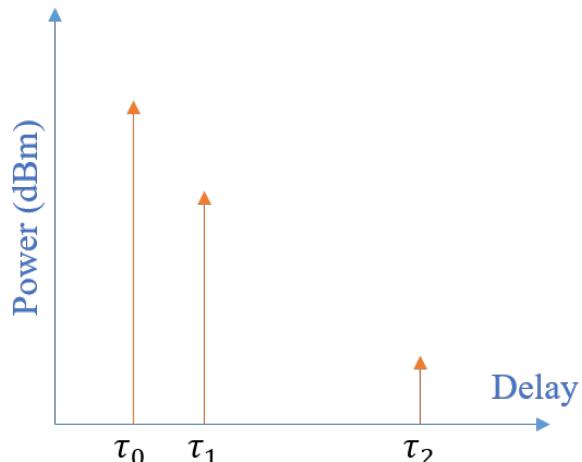
## 2.8 Power Delay Profile (PDP)

*Power Delay Profile* (PDP) merepresentasikan daya rata-rata sebagai fungsi *delay* propagasi akibat *multipath delay* yang dialami kanal. Daya yang diterima dan dispersifitas *multipath* dalam saluran nirkabel dapat diprediksi berdasarkan nilai PDP. Kanal dapat mengalami *multipath* akibat adanya refleksi (*reflection*), pembiasan (*refraction*), hamburan (*scattering*), dan penyaluran (*ducting*) sehingga menyebabkan interferensi [24]. Kanal *multipath* menyebabkan adanya *Inter-Symbol Interference* (ISI) yang dihasilkan dari pengaruh lingkungan jalur rambat antara pemancar dan penerima [25].

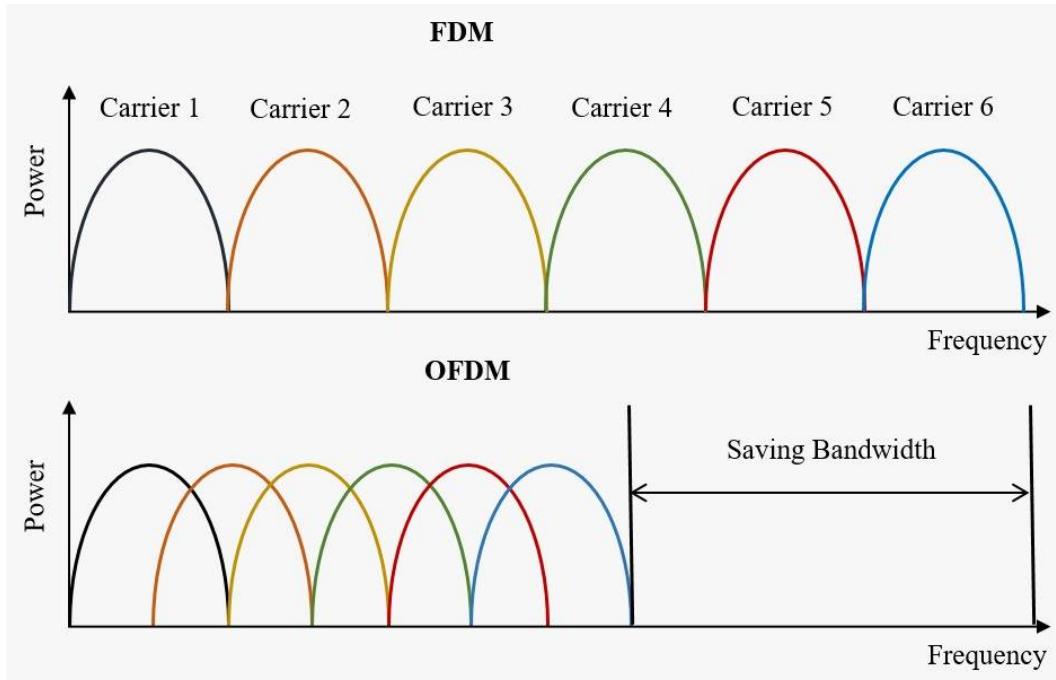
Dalam proses mengeplot PDP, sumbu X mewakili *delay* propagasi masing-masing *path* dan sumbu Y mewakili daya sinyal dari setiap *path*. Gambar 2.10 menunjukkan contoh bagaimana sinyal yang ditransmisikan akan diterima pada sisi penerima dengan daya yang berbeda-beda melalui kanal *multipath* berdasarkan *delay* propagasi yang berbeda pula. PDP dicirikan dengan nilai *maximum excess delay*, *mean excess delay*, dan *root mean square* (RMS) *delay spread*.

## 2.9 Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)

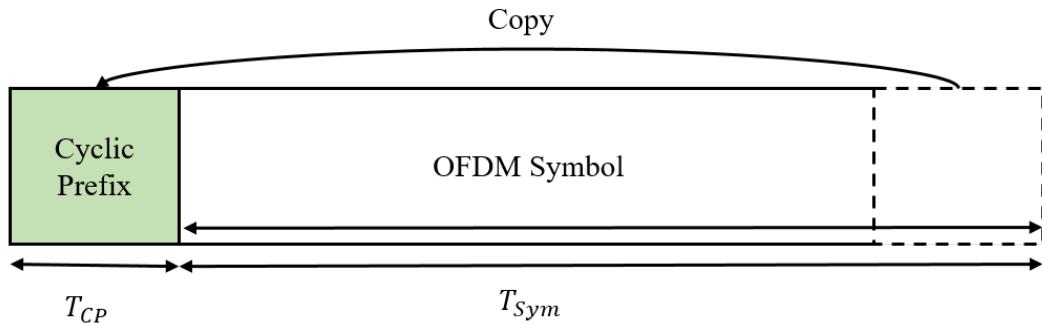
OFDM adalah sebuah skema untuk mengirimkan banyak informasi melalui satu saluran atau *multicarrier modulation* dengan alokasi frekuensi tertentu yang sederhana dan sesuai untuk transmisi data berkecepatan tinggi melalui kanal *mul-*



Gambar 2.10 PDP pada *multipath fading channel*.



**Gambar 2.11** Efisiensi spektrum dengan *saving bandwidth* sebagai hasil OFDM dibandingkan dengan FDM.



**Gambar 2.12** Ilustrasi penambahan CP pada awal OFDM simbol sebesar  $T_{CP}$ .

*tipath fading*. OFDM mampu mengubah kanal *frequency-selective fading* menjadi kanal *frequency-flat fading* dalam sistem transmisi paralel melalui kanal *narrow-band* [26]. OFDM mampu menghilangkan gangguan ISI dan *Inter-Carrier Interference* (ICI) melalui penggunaan *cyclic prefix* (CP). OFDM dianggap sebagai penerus teknik *Frequency Division Multiplexing* (FDM) dengan cara menghilangkan ketidakefisienan dalam saluran seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.11 dengan memanfaatkan *subcarriers* yang saling tegak lurus (*orthogonal subcarriers*) [27].

### **2.9.1 Cyclic Prefix (CP)**

CP adalah awalan simbol OFDM yang merupakan pengulangan bagian akhir dari simbol OFDM seperti ditunjukkan pada Gambar 2.12 dengan  $T_{CP}$  adalah panjang CP dan panjang simbol informasi dinyatakan dengan  $N$ . CP digunakan dalam OFDM untuk mengatasi efek dari ISI akibat kanal *multipath fading*. Simbol yang telah dilengkapi dengan CP akan mampu melakukan *recovery* dengan baik pada sisi penerima walaupun terkena interferensi *fading* dari kanal yang cukup besar. Dalam CP-OFDM, satu blok simbol kompleks dipetakan ke dalam satu pasang *orthogonal carriers*. Arsitektur CP-OFDM memiliki kompleksitas yang rendah, karena penggunaan *Inverse Fast Fourier Transform* (IFFT) dalam OFDM [28]. Selain itu, panjang CP diusahakan sama atau lebih besar dari jumlah *path* dalam PDP untuk menjamin kinerja sistem yang terbebas gangguan ISI. Penggunaan CP-OFDM secara umum memiliki dua tujuan, antara lain:

1. Pemberian *guard interval* untuk menghilangkan ISI yang disebabkan simbol sebelumnya.
2. Penyalinan bagian akhir dari simbol yang menyebabkan konvolusi linier dari kanal *frequency-selective fading* dapat dihitung sebagai konvolusi melingkar, sehingga mampu menyederhanakan proses estimasi kanal.

### **2.9.2 Inverse Fast Fourier Transform (IFFT)**

IFFT adalah proses untuk menghasilkan simbol-simbol OFDM pada sisi pengirim dengan frekuensi daripada setiap informasinya akan dibuat saling tegak lurus (orthogonal). IFFT mengubah sebuah spektrum, yaitu amplitudo dan fasa dari setiap sinyal informasi ke bentuk sinyal dalam domain waktu [29]. IFFT mengubah sejumlah simbol bernilai kompleks ke dalam domain waktu dengan jumlah simbol yang tetap. *Subcarrier* yang *orthogonal* pada IFFT digunakan dalam sinyal OFDM agar dapat mengatur amplitudo dan fasa dari setiap simbol dengan mudah.

### **2.9.3 Fast Fourier Transform (FFT)**

FFT adalah proses pemisahan antara frekuensi *carrier* dengan simbol OFDM yang diterima pada sisi penerima sebelum didemodulasi dan diubah kembali ke dalam bentuk bit. FFT juga digunakan untuk implementasi *discrete fourier transform* agar lebih cepat dan efisien. Ukuran FFT (FFT size) mengacu pada jumlah *subcarrier* dari simbol OFDM yang diharapkan sesuai ukuran  $2^N$ , dengan  $N$  adalah

jumlah sampel yang diubah waktu ke domain frekuensi [29]. Oleh karena itu, ukuran FFT akan mempengaruhi jumlah simbol OFDM untuk setiap blok atau frame dari suatu sistem OFDM. Ukuran FFT ditentukan dengan memperhatikan keseimbangan antara perlindungan terhadap efek *multipath*, pergeseran Doppler (*Doppler shift*), dan kompleksitas sistem. Ukuran FFT yang semakin besar akan mengurangi *subcarrier spacing* dan menambahkan durasi simbol. Hal ini akan memudahkan dalam melindungi simbol OFDM dari interferensi akibat *multipath*. Di sisi lain, berkurangnya *subcarrier spacing* akan membuat sistem lebih terhadap ICI akibat efek Doppler *spread* dalam sistem komunikasi *wireless*.

#### 2.9.4 Matriks *Circulant* dan Matriks *Toeplitz*

Matriks *circulant*  $\mathbf{H}_c$  adalah sebuah matriks *Toeplitz* yang memiliki dimensi mengikuti jumlah CP dan FFT *size*, jumlah baris  $\mathbf{H}_c$  dinyatakan oleh

$$m_{\mathbf{H}_c} = (F + Q \times 2) - 1 \quad (2.23)$$

dengan  $m_{\mathbf{H}_c}$  adalah baris dari  $\mathbf{H}_c$ ,  $F$  adalah FFT *size*, dan  $Q$  adalah panjang CP. Untuk kolom dari  $\mathbf{H}_c$  dinyatakan oleh

$$n_{\mathbf{H}_c} = F + Q. \quad (2.24)$$

Sifat dari matriks *circulant* yang mudah diturunkan membuat matriks ini dapat digunakan untuk memperkirakan dan menjelaskan perilaku dari matriks *Toeplitz* dengan baik, salah satunya seperti yang terjadi dalam sinyal terima di *receiver* y yang dinyatakan menurut

$$\mathbf{y} = \mathbf{H}_c \cdot \mathbf{x} + \mathbf{n}, \quad (2.25)$$

dengan  $\mathbf{H}_c$  adalah matriks *circulant* yang berisi nilai *path* yang merepresentasikan kondisi kanal. Apabila sebuah kanal memiliki *path*  $\mathbf{h} = [1 \ 0.9 \ 0.8]$  dan bit yang dikirimkan  $\mathbf{x}$  ditambah dengan CP menjadi  $\mathbf{x}_{cp} = [cd : abcd]$ , maka sinyal yang

diterima dinyatakan menjadi

$$\mathbf{y} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.9 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.8 & 0.9 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.8 & 0.9 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.8 & 0.9 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.8 & 0.9 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.8 & 0.9 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.8 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c \\ d \\ a \\ b \\ c \\ d \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ n_3 \\ n_4 \\ n_5 \\ n_6 \\ n_7 \\ n_8 \end{bmatrix}, \quad (2.26)$$

$$\mathbf{y} = \begin{bmatrix} c \\ 0.9c+d \\ 0.8c+0.9d+a \\ 0.8d+0.9a+b \\ 0.8a+0.9b+c \\ 0.8b+0.9c+d \\ 0.8c+0.9d \\ 0.8d \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ n_3 \\ n_4 \\ n_5 \\ n_6 \\ n_7 \\ n_8 \end{bmatrix}, \quad (2.27)$$

Setelah CP dihapus dengan menghapus bagian yang berwarna abu-abu, sinyal yang diterima menjadi

$$\mathbf{y} = \begin{bmatrix} 0.8c+0.9d+a \\ 0.8d+0.9a+b \\ 0.8a+0.9b+c \\ 0.8b+0.9c+d \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_3 \\ n_4 \\ n_5 \\ n_6 \end{bmatrix}, \quad (2.28)$$

yang ekivalen dengan

$$\mathbf{y} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0.8 & 0.9 \\ 0.9 & 1 & 0 & 0.8 \\ 0.8 & 0.9 & 1 & 0 \\ 0 & 0.8 & 0.9 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ n_3 \\ n_4 \end{bmatrix}, \quad (2.29)$$

$$= \mathbf{H}_c \cdot \mathbf{x} + \mathbf{n}. \quad (2.30)$$

## 2.10 Signal-to-Noise Power Ratio (SNR)

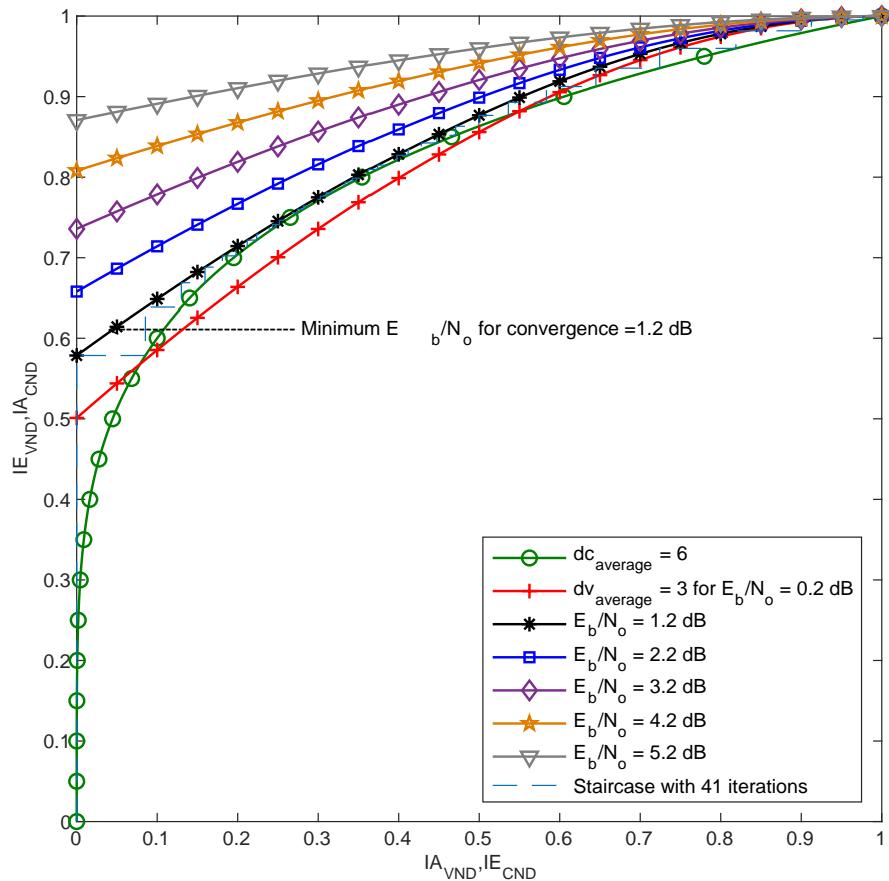
*Signal-to-Noise Power Ratio* (SNR) adalah rasio antara amplitudo sinyal data yang diinginkan  $P_{signal}$  dan amplitudo noise  $P_{noise}$  dalam kanal transmisi pada waktu tertentu. SNR digunakan untuk mengukur kualitas sebuah kanal transmisi. Apa-

bila SNR semakin tinggi, maka semakin mudah juga untuk mengidentifikasi dan mengisolasi sumber *noise* pada kanal. SNR bernilai nol menunjukkan bahwa sinyal data hampir tidak dapat dibedakan dari *noise* yang ada. Penurunan SNR juga berpengaruh pada penurunan *throughput* yang disebabkan oleh kesalahan yang terjadi di beberapa paket data [30]. SNR  $\gamma$  biasanya dinyatakan secara logaritmik dalam desibel (dB) menurut

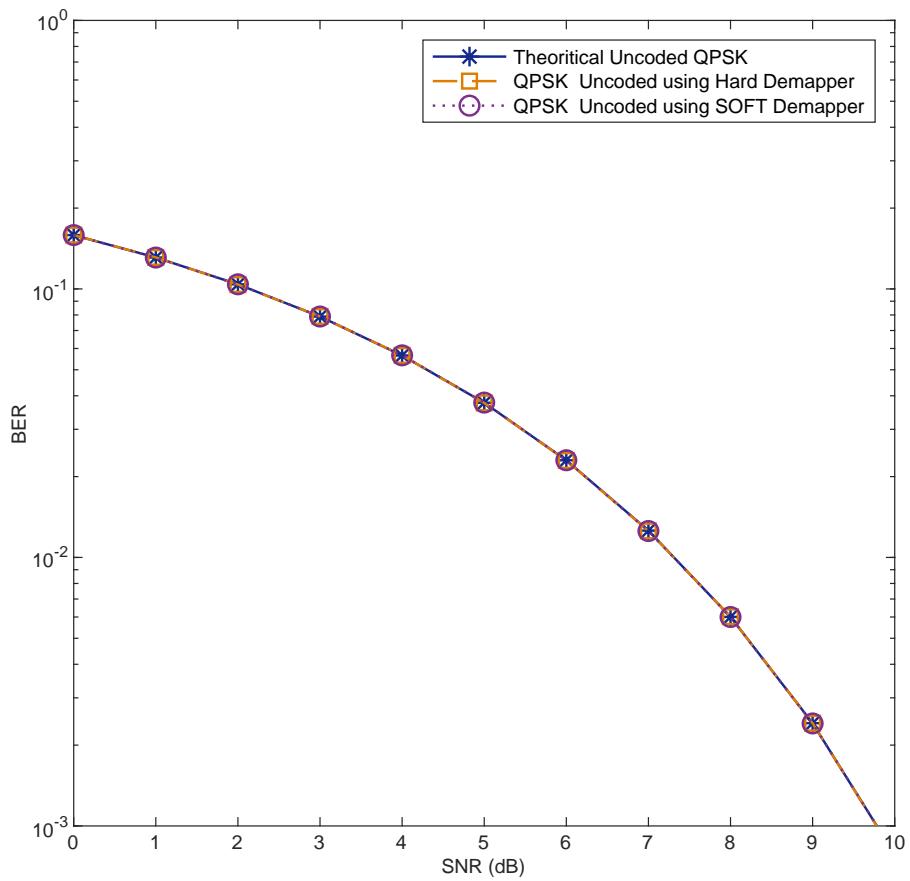
$$\gamma = \frac{P_{signal}}{P_{noise}}. \quad (2.31)$$

## 2.11 Extrinsic Information Transfer (EXIT) Chart

EXIT chart pertama diperkenalkan oleh Stephan ten Brink untuk menganalisis informasi timbal balik di *decoder* dengan menggunakan proses *iterative* dan untuk mengetahui jumlah iterasi yang diperlukan agar *decoding* sukses [31]. Proses dari transfer informasi direpresentasikan dalam bentuk grafik. Informasi yang masuk



Gambar 2.13 EXIT chart LDPC codes untuk  $d_v = 3$  dan  $d_c = 6$  pada berbagai  $E_b/N_0$ .



**Gambar 2.14** Kinerja BER *Uncoded* BER QPSK pada kanal AWGN dibandingkan dengan BER teori QPSK.

*decoder* atau belum di-*decode* disebut *apriori mutual information* ( $I_A$ ), sedangkan informasi yang keluar dari *decoder* atau telah di-*decode* disebut *extrinsic mutual information* ( $I_E$ ). EXIT chart menganalisis menggunakan dua *decoder* dan keluaran *decoder* pertama adalah masukan *decoder* kedua. Lalu di iterasi kedua, keluaran *decoder* kedua menjadi masukan *decoder* pertama dan begitu seterusnya. EXIT chart direpresentasikan menggunakan grafik dengan mengeplot kinerja kedua *decoder* dengan sumbu yang saling berlawanan. Kurva yang dihasilkan menggunakan fungsi *staircase* yang dimulai dari titik (0, 0) ketika tidak ada informasi timbal balik dan *decoding* berhasil ketika mencapai titik (1, 1) seperti pada Gambar 2.13.

## 2.12 Bit Error Rate (BER)

Saat ini, segala komunikasi telah beralih ke bentuk komunikasi digital. Salah satu parameter pengukuran kinerja dari komunikasi digital menggunakan BER. Ni-

lai BER didapat dari membandingkan bit yang diterima dengan bit yang ditransmisikan di sebuah sistem elektronika, antena, dan *signal path* [32]. Untuk di kanal AWGN, BER adalah kinerja yang dipengaruhi langsung oleh *noise channel* dan untuk di *fading channel* BER akan menjadi lebih buruk [33]. Persamaan sederhana BER adalah

$$BER = \frac{\text{jumlah bit error}}{\text{total bit yang dikirimkan}}. \quad (2.32)$$

Perhitungan BER dalam teori tersebut untuk modulasi QPSK pada kanal AWGN dinyatakan oleh

$$BER_{QPSK\text{-}AWGN} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left( \sqrt{\frac{\gamma}{2}} \right) \quad (2.33)$$

dengan  $\gamma$  adalah SNR. BER teori untuk modulasi QPSK pada kanal *singlepath* dinyatakan dengan

$$BER_{QPSK\text{-}Fading} = \frac{1}{2} \left[ 1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{2}{\gamma}}} \right]. \quad (2.34)$$

## BAB III

### MODEL SISTEM DAN USULAN LDPC *CODES* DVB-T2

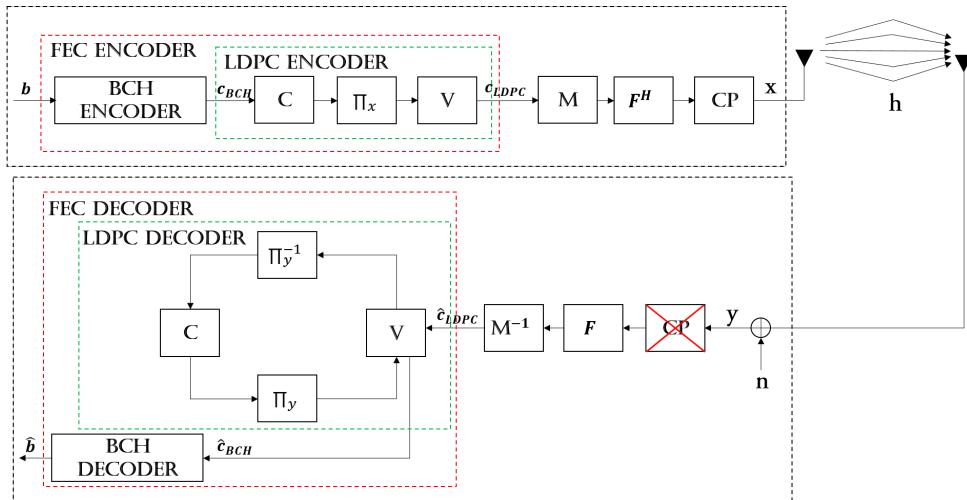
Bab ini membahas tentang perancangan dan pemodelan sistem LDPC *codes* DVB-T2 mulai dari *transmitter*, model kanal, hingga *receiver*, juga letak LDPC *codes* dalam sistem tersebut. Bab ini juga mengusulkan *degree distribution* LDPC *codes* DVB-T2, serta teknik untuk menghitung *girth* pada LDPC *codes* dan merancang LDPC *codes* tanpa adanya *girth* 4.

#### 3.1 Blok Sistem DVB-T2

Diagram blok sistem pada Gambar 3.1 menunjukkan sistem DVB-T2 dari pengirim ( $Tx$ ) hingga ke penerima ( $Rx$ ) yang berfungsi untuk mempermudah dalam menjelaskan alur komunikasi data DVB-T2. Dimulai dari sisi pengirim, bit informasi  $\mathbf{b}$  dibangkitkan secara acak dengan probabilitas kemunculan bit 0 dan 1 sama. Bit yang telah dibangkitkan kemudian masuk ke FEC *encoder*,  $\mathbf{b}$  yang masuk ke BCH *encoder* merupakan *outer code* FEC DVB-T2. Setelah itu dari proses BCH *encoder* menghasilkan *codeword* BCH ( $\mathbf{c}_{BCH}$ ) dan akan masuk ke LDPC *encoder* yang merupakan *inner code* FEC DVB-T2. Bit akan di-*encode* oleh Blok C ke Blok V dengan Blok  $\Pi_x$ , sehingga menghasilkan *codeword* ( $\mathbf{c}_{LDPC}$ ).

Blok C merupakan deretan CND dan Blok V merupakan deretan VND. Blok *Bit Interleaver* ( $\Pi_x$ ) mengatur ulang bit, sehingga hasil keluaran dapat dibaca dalam siklus bolak-balik. Kemudian, hasil keluaran dipetakan ke modulasi QPSK yang ditunjukkan dengan Blok  $M$ , sehingga menghasilkan data berupa simbol per-bit. Simbol akan dikirimkan dengan mode transmisi *orthogonal multi-carrier* yang selanjutnya simbol akan ditransformasikan dari domain frekuensi ke domain waktu pada Blok FFT ( $F^H$ ). Blok  $F^H$  juga berfungsi sebagai OFDM *baseband modulator* yang akan memodulasi frekuensi *subcarrier* untuk setiap simbol yang dibangkitkan pada blok ini. Simbol akan ditambahkan CP untuk mempertahankan properti ortogonalitas sinyal dan mencegah terjadinya ISI dan ICI. Berikutnya, data akan dikirimkan melalui antena dan melewati kanal *multipath*.

Sinyal terima berupa data yang telah terpengaruhi oleh kanal *multipath* dan *noise*. Kemudian, CP pada sinyal OFDM yang diterima akan dilepas dan sinyal terima akan ditransformasikan kembali dari domain waktu ke domain frekuensi di Blok  $F$ . Lalu, sinyal terima dikembalikan menjadi bit-bit data pada Blok *Demodu-*



**Gambar 3.1** Diagram blok sistem transmisi DVB-T2 dengan penekanan pada LDPC codes.

lator ( $M^{-1}$ ) menjadi bit  $\hat{\mathbf{c}}_{LDPC}$ . Bit  $\hat{\mathbf{c}}_{LDPC}$  akan di-decode oleh LDPC decoder di bagian FEC decoder. Proses iterative decoding di LDPC decoder dilakukan oleh Blok  $V$ , Blok Bit Deinterleaver ( $\Pi_y^{-1}$ ), Blok  $C$ , dan Blok  $\Pi_y$ . Proses decoding LDPC codes menggunakan SPA, sehingga pada Blok  $V$  LLR diproses dengan persamaan

$$L_{E_{v_i}}(n) = L_{ch} + \sum_{j=1, j \neq i}^{d_{v_n}} L_{A_{v_j}}, \quad (3.1)$$

dan pada Blok *C*

$$L_{E_{c_j}}(k) = \sum_{i=1, i \neq j}^{d_{c_k}} \boxplus L_{A_{c_i}}, \quad (3.2)$$

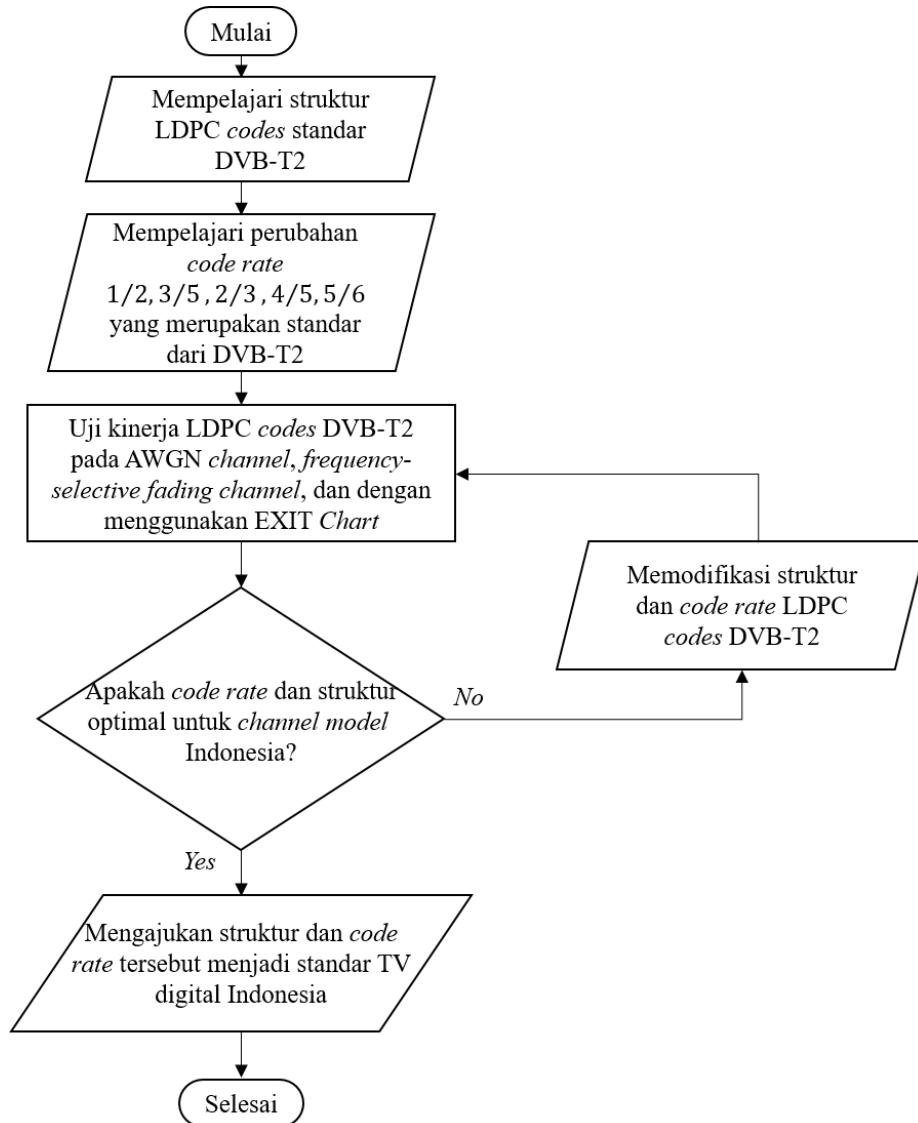
$$L_{E_{c_j}}(k) = \sum_{i=1, i \neq j}^{d_{c_k}} \boxplus L_{A_{c_i}}, \quad (3.3)$$

$$\approx (-1) \operatorname{sgn} \left\{ L_{A_{c_i}} \right\} \operatorname{sgn} \left\{ L_{A_{c_{i+1}}} \right\} \cdot \min \left\{ \left| L_{A_{c_i}} \right|, \left| L_{A_{c_{i+1}}} \right| \right\}. \quad (3.4)$$

Setelah proses LDPC *decoding* yang menghasilkan *codeword* BCH codes ( $\hat{\mathbf{c}}_{BCH}$ ),  $\hat{\mathbf{c}}_{BCH}$  akan masuk ke BCH *decoder* untuk menghasilkan bit informasi ( $\hat{\mathbf{b}}$ ). Bit informasi yang diterima akan dibandingkan dengan bit kirim untuk dianalisis.

### 3.2 Skenario Pengujian Kinerja LDPC Codes DVB-T2

Setiap LDPC *codes* yang terbentuk dari setiap nilai *code rate* akan diuji kinerja BER-nya dan akan dioptimalisasi dengan EXIT *chart* untuk mendapatkan *code rate* dan struktur LDPC *codes* sehingga dapat bekerja optimal di *channel model DVB-*



**Gambar 3.2** Diagram alir evaluasi kinerja LDPC codes pada sistem DVB-T2.

T2 Indonesia. Apabila kinerja LDPC codes dari standar DVB-T2 memiliki kinerja optimal di *channel model* DVB-T2 Indonesia, maka struktur dan *code rate* yang didapat akan diajukan menjadi standar TV digital Indonesia. Namun, apabila LDPC codes dari standar DVB-T2 memiliki kinerja yang tidak optimal di *channel model* DVB-T2 Indonesia, maka langkah selanjutnya perlu memodifikasi struktur dan *code rate* LDPC codes DVB-T2, sehingga dapat bekerja dengan baik dan optimal pada *channel model* DVB-T2 Indonesia.

### 3.3 Perancangan LDPC *Codes* DVB-T2

LDPC *codes* DVB-T2 dengan panjang blok  $N_{LDPC} = 16200$  memiliki nilai *code rate*  $R_e = \left\{ \frac{4}{9}, \frac{3}{5}, \frac{2}{3}, \frac{11}{15}, \frac{7}{9}, \frac{37}{45} \right\}$ . Setiap *code rate* pada LDPC *codes* DVB-T2 memiliki nilai *effective code rate* dan VND untuk setiap *variable nodes* yang telah ditunjukkan oleh Tabel 2.1. Perancangan matriks *parity check* LDPC *codes*  $\mathbf{H}$  untuk setiap *code rate* menggunakan nilai seperti pada Tabel 2.2, sedangkan matriks generator  $\mathbf{G}$  dibentuk menggunakan Gauss Jordan *elimination*. Tugas Akhir ini melakukan perancangan LDPC *codes* untuk semua *code rate*.

Matriks  $\mathbf{H}$  yang terbentuk pada LDPC *codes* DVB-T2 dengan  $N_{LDPC} = 16200$  memenuhi dimensi matriks

$$(1 - R_e) \cdot 16200 \times 16200 \quad (3.5)$$

dengan  $R$  adalah *code rate*, sehingga setiap *code rate* akan mengirimkan bit informasi (**b**) sebanyak

$$b = R_e \times 16200. \quad (3.6)$$

### 3.4 Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)

Dalam standar, DVB-T2 dapat menggunakan modulasi QPSK, 16-QAM, 64-QAM, ataupun 256-QAM. Dalam Tugas Akhir ini DVB-T2 menggunakan modulasi QPSK. QPSK memiliki empat kemungkinan simbol. Setiap simbolnya akan membawa dua bit. Setiap fasa dari QPSK memiliki empat kemungkinan dengan nilai

$$\varphi(t) = (2i - 1) \frac{\pi}{4} \quad i = 1, 2, 3, 4, \quad (3.7)$$

maka setiap simbolnya memiliki persamaan sebagai berikut:

$$s_i(t) = \sqrt{\frac{2E}{T}} \cos \left[ (2i - 1) \frac{\pi}{4} \right] \cos [2\pi f_c t] - \sqrt{\frac{2E}{T}} \sin \left[ (2i - 1) \frac{\pi}{4} \right] \sin [2\pi f_c t] \quad (3.8)$$

dengan  $0 \leq t \leq T$  dan  $i = \{1 \dots 4\}$ . Setiap simbol memiliki nilai fasa yang ditunjukkan pada Tabel 3.1.

**Tabel 3.1** Pemetaan simbol QPSK yang dipakai dalam Tugas Akhir ini.

Bit informasi	Simbol QPSK
00	$\frac{\pi}{4}$
10	$\frac{3\pi}{4}$
11	$\frac{5\pi}{4}$
01	$\frac{7\pi}{4}$

### 3.5 Channel Model DVB-T2 Indonesia

Tugas Akhir ini mensimulasikan proses transmisi *broadband* pada *channel model* DVB-T2 Indonesia berdasarkan [34], *channel model* DVB-T2 di daerah Bandung digunakan sebagai representasi dari Indonesia. PDP didapatkan melalui New York *channel simulator* (NYUSIM) dengan menggunakan parameter dari Kota Bandung dan DVB-T2. *Channel model* DVB-T2 pada daerah Bandung mengalami *frequency selective fading channel*, kondisi yang terjadi saat *bandwidth* kanal lebih kecil daripada *bandwidth* sinyal transmisi. Akibatnya kanal akan mengalami *multipath* dan ISI. Setelah proses normalisasi *channel model* DVB-T2 Bandung menghasilkan *path* sebanyak 8 *path* melalui NYUSIM. Untuk mengurangi efek dari *frequency selective fading channel* dan *multipath*, DVB-T2 menggunakan OFDM.

### 3.6 Soft Decoding

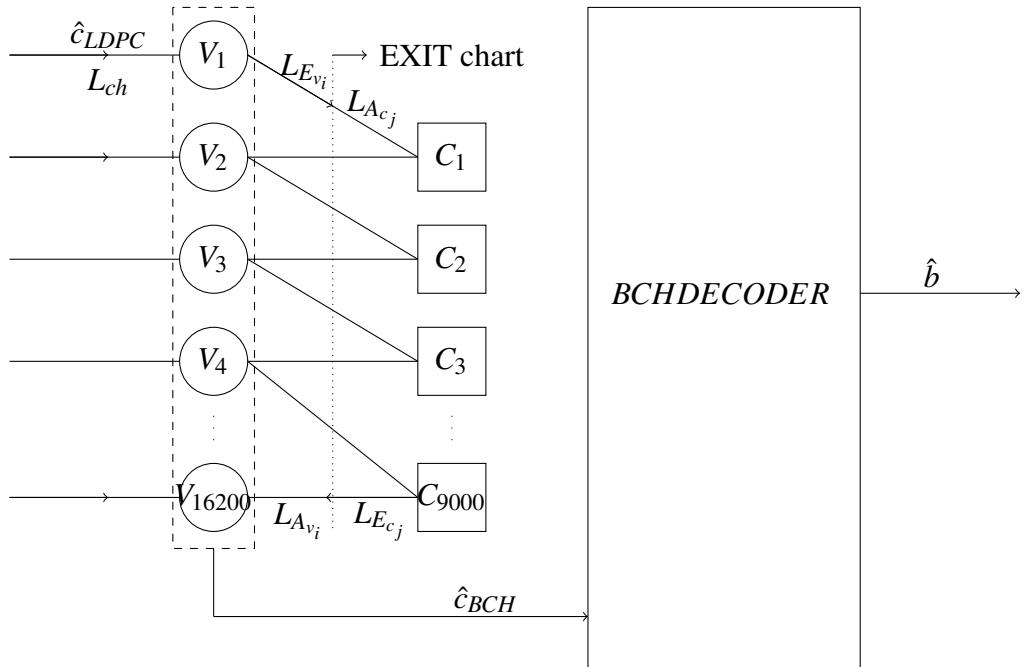
*Soft decoding* menggunakan *Log-Likelihood Ratio* (LLR), LLR merupakan pengukuran statistik untuk membandingkan dua model statistik. LLR membandingkan antar probabilitas pada  $p(v) = 0$  dan  $p(v) = 1$ . LLR pada sinyal terima  $y$  dapat dihitung dengan

$$\begin{aligned} LLR &= \log \frac{P(y | x = +1)}{P(y | x = -1)}, \\ LLR &= \frac{2}{\sigma^2} \cdot y \end{aligned} \quad (3.9)$$

dengan  $\sigma$  adalah variansi untuk *double-sided noise* dengan distribusi Gaussian.

### 3.7 Usulan LDPC Codes DVB-T2 dengan $N_{LDPC} = 16200$

LDPC codes dibentuk menggunakan Tabel *Addresses Parity Bit Accumulator* berdasarkan standar DVB-T2 untuk LDPC codes DVB-T2 dengan panjang  $N_{LDPC} =$



**Gambar 3.3** Representasi Tanner graph LDPC codes DVB-T2 dengan  $N_{LDPC} = 16200$  dan code rate  $R_e = \frac{4}{9}$ .

16200. Tugas Akhir ini menyimbolkan VND  $d_v$  pada LDPC codes DVB-T2 sebagai  $\Lambda(x)$ , sedangkan CND  $d_c$  disimbolkan sebagai  $\Omega(x)$ . *Degree distribution* pada *downscaled LDPC codes* yang diusulkan oleh Tugas Akhir ini untuk code rate  $R_e = \frac{4}{9}$  adalah:

$$\Lambda(x) = \frac{1}{16200}x + \frac{8999}{16200}x^2 + \frac{5400}{16200}x^3 + \frac{1800}{16200}x^8, \quad (3.10)$$

$$\Omega(x) = \frac{1441}{9000}x^4 + \frac{3239}{9000}x^5 + \frac{3600}{9000}x^6 + \frac{720}{9000}x^7, \quad (3.11)$$

dan untuk code rate  $R_e = \frac{3}{5}$  adalah:

$$\Lambda(x) = \frac{1}{16200}x + \frac{6479}{16200}x^2 + \frac{6480}{16200}x^3 + \frac{3240}{16200}x^{12}, \quad (3.12)$$

$$\Omega(x) = \frac{1}{6480}x^8 + \frac{6479}{6480}x^9, \quad (3.13)$$

dan untuk code rate  $R_e = \frac{2}{3}$  adalah:

$$\Lambda(x) = \frac{1}{16200}x + \frac{5399}{16200}x^2 + \frac{9720}{16200}x^3 + \frac{1080}{16200}x^{13}, \quad (3.14)$$

$$\Omega(x) = \frac{1}{5400}x^9 + \frac{5339}{5400}x^{10}, \quad (3.15)$$

dan untuk *code rate*  $R_e = \frac{11}{15}$  adalah:

$$\Lambda(x) = \frac{1}{16200}x + \frac{4319}{16200}x^2 + \frac{11520}{16200}x^3 + \frac{360}{16200}x^{12}, \quad (3.16)$$

$$\Omega(x) = \frac{361}{4320}x^9 + \frac{1079}{4320}x^{10} + \frac{1440}{4320}x^{11} + \frac{1080}{4320}x^{12} + \frac{360}{4320}x^{13}, \quad (3.17)$$

dan untuk *code rate*  $R_e = \frac{7}{9}$  adalah:

$$\Lambda(x) = \frac{1}{16200}x + \frac{3599}{16200}x^2 + \frac{12600}{16200}x^3, \quad (3.18)$$

$$\Omega(x) = \frac{361}{3600}x^{11} + \frac{1079}{3600}x^{12} + \frac{2160}{3600}x^{13}, \quad (3.19)$$

dan untuk *code rate*  $R_e = \frac{37}{45}$  adalah:

$$\Lambda(x) = \frac{1}{16200}x + \frac{2879}{16200}x^2 + \frac{12960}{16200}x^3 + \frac{360}{16200}x^{13}, \quad (3.20)$$

$$\Omega(x) = \frac{1}{2880}x^{15} + \frac{1439}{2880}x^{16} + \frac{360}{2880}x^{17} + \frac{360}{2880}x^{18} + \frac{720}{2880}x^{19}. \quad (3.21)$$

### 3.8 Usulan LDPC *Codes* DVB-T2 menggunakan Teknik *Downscaling*

Teknik *downscaling* digunakan untuk mengurangi kompleksitas komputasi pada *encoder* dan *decoder*, sehingga akan meringankan proses simulasi dan memungkinkan untuk *device* dengan kemampuan komputasi rendah [35]. Langkah-langkah untuk melakukan *downscaling* LDPC *codes* DVB-T2 adalah sebagai berikut:

1. Tentukan *scaling factor*  $s_f$ ,  $s_f$  harus merupakan faktor dari 360.
2. Masukkan nilai pada Tabel *Addresses Parity Bit Accumulator* seperti pada Tabel 2.2 ke  $p_1(j), p_2(j), p_3(j), \dots, p_q(j)$ ,  $j = 1, 2, 3, \dots, J$  dan  $q = 1, 2, 3, \dots, Q$ .
3. Hitung  $r_1(j), r_2(j), r_3(j), \dots, r_q(j)$

$$r_q(j) = \text{mod} \left\{ \left[ p_q(j) + J \times (k - 1) \right], \left[ P/s_f \right] \right\}, \quad (3.22)$$

4. Nilai  $r_q(j)$  akan menjadi Tabel *Addresses Parity Bit Accumulator* baru untuk *downscaled LDPC codes* DVB-T2.

Parameter  $q$  adalah kolom dan  $j$  adalah baris dari Tabel *Addresses Parity Bit Accumulators*. Nilai  $s_f$  akan menentukan panjang blok matriks *parity check downscaled*

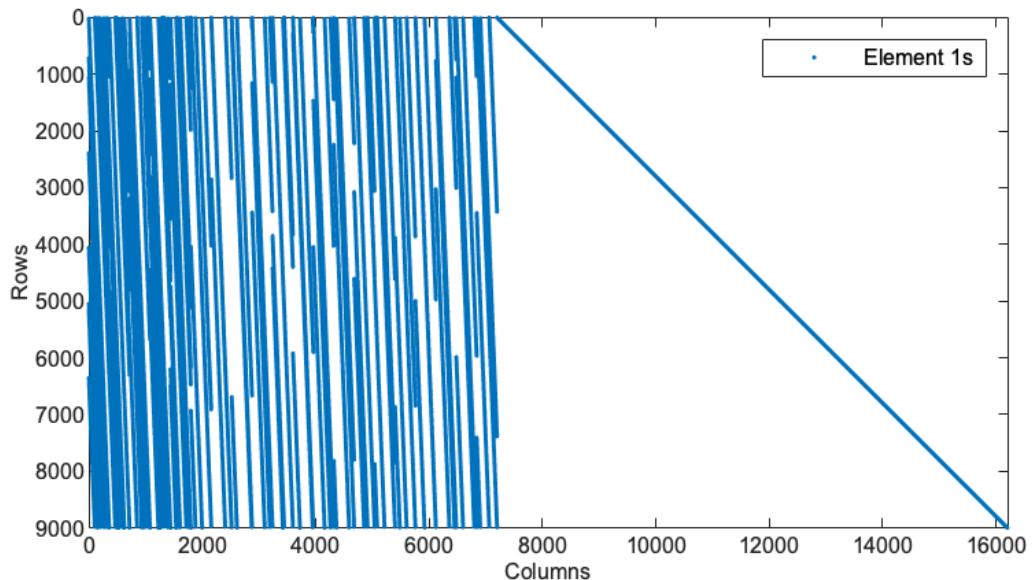
LDPC codes DVB-T2.  $P$  adalah nilai dari baris original matriks LDPC codes DVB-T2, nilai  $k$  memiliki batas dengan  $1 < k \leq (360/s_f)$ . Nilai 360 adalah jumlah *node indices* LDPC codes DVB-T2.

Tugas Akhir ini menggunakan *scaling factor*  $s_f = 60$  untuk mengetahui efek *downscaling* pada kinerja LDPC codes DVB-T2 dan meringankan proses simulasi. *Downscaled* matriks *parity check* LDPC codes ditunjukkan oleh Gambar 3.5, sedangkan original matriks *parity check* LDPC codes ditunjukkan oleh Gambar 3.4. Tugas Akhir ini telah melakukan *downscaling* untuk semua *code rate* pada LDPC codes DVB-T2, karena  $s_f = 60$  maka *downscaled* LDPC codes DVB-T2 memiliki panjang blok  $N_{LDPC} = 270$ .

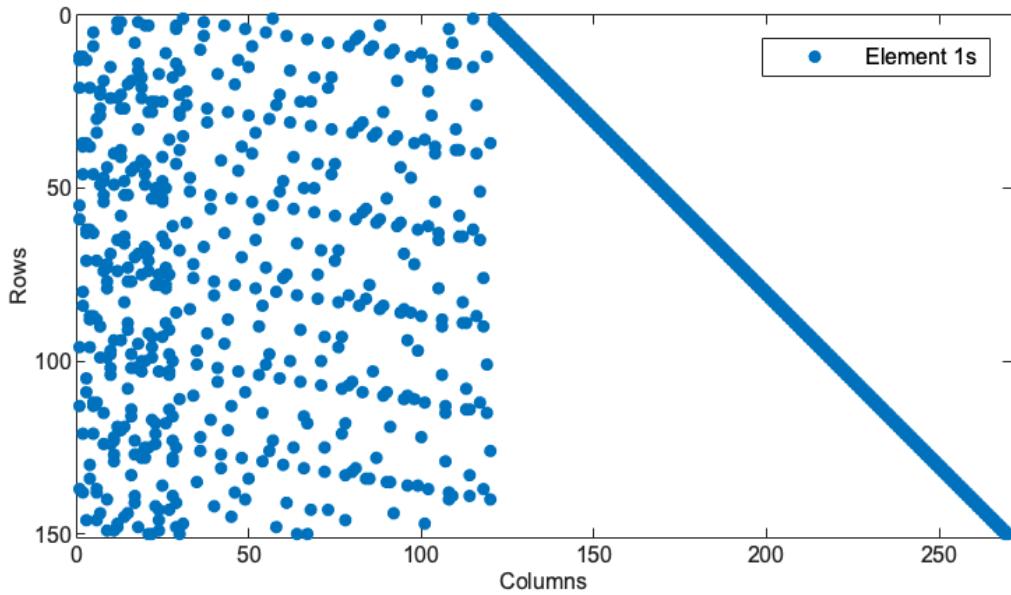
Tugas Akhir ini menyimbolkan VND  $d_v$  pada LDPC codes DVB-T2 sebagai  $\Lambda(x)$ , sedangkan CND  $d_c$  disimbolkan sebagai  $\Omega(x)$ . *Degree distribution* pada *downscaled* LDPC codes yang diusulkan oleh Tugas Akhir ini untuk *code rate*  $R_e = \frac{4}{9}$  adalah:

$$\Lambda(x) = \frac{1}{270}x + \frac{149}{270}x^2 + \frac{90}{270}x^3 + \frac{30}{270}x^8, \quad (3.23)$$

$$\Omega(x) = \frac{25}{150}x^4 + \frac{53}{150}x^5 + \frac{60}{150}x^6 + \frac{12}{150}x^{12}, \quad (3.24)$$



**Gambar 3.4** Matriks *parity check* original DVB-T2 LDPC codes dengan  $N_{LDPC} = 16200$ .



**Gambar 3.5** Matriks *downscaled parity check DVB-T2 LDPC codes* dengan  $N_{LDPC} = 270$ .

untuk *code rate*  $R_e = \frac{3}{5}$  adalah:

$$\Lambda(x) = \frac{1}{270}x + \frac{107}{270}x^2 + \frac{132}{270}x^3 + \frac{30}{270}x^{12}, \quad (3.25)$$

$$\Omega(x) = \frac{1}{108}x^8 + \frac{107}{108}x^9, \quad (3.26)$$

untuk *code rate*  $R_e = \frac{2}{3}$  adalah:

$$\Lambda(x) = \frac{1}{270}x + \frac{89}{270}x^2 + \frac{162}{270}x^3 + \frac{18}{270}x^{13}, \quad (3.27)$$

$$\Omega(x) = \frac{1}{90}x^9 + \frac{89}{90}x^{10}, \quad (3.28)$$

untuk *code rate*  $R_e = \frac{11}{15}$  adalah:

$$\Lambda(x) = \frac{1}{270}x + \frac{71}{270}x^2 + \frac{192}{270}x^3 + \frac{6}{270}x^{12}, \quad (3.29)$$

$$\begin{aligned} \Omega(x) = & \frac{7}{72}x^9 + \frac{11}{72}x^{10} + \frac{36}{72}x^{11} + \frac{12}{72}x^{12} \\ & + \frac{6}{72}x^{13}. \end{aligned} \quad (3.30)$$

untuk *code rate*  $R_e = \frac{7}{9}$  adalah:

$$\Lambda(x) = \frac{1}{270}x + \frac{71}{270}x^2 + \frac{198}{270}x^3, \quad (3.31)$$

$$\Omega(x) = \frac{7}{60}x^{11} + \frac{29}{60}x^{12} + \frac{24}{60}x^{13}, \quad (3.32)$$

dan untuk *code rate*  $R_e = \frac{37}{45}$  adalah:

$$\Lambda(x) = \frac{1}{270}x + \frac{71}{270}x^2 + \frac{192}{270}x^3 + \frac{6}{270}x^{12}, \quad (3.33)$$

$$\Omega(x) = \frac{7}{48}x^{15} + \frac{17}{48}x^{16} + \frac{18}{48}x^{17} + \frac{6}{48}x^{18}, \quad (3.34)$$

*Degree distribution* untuk setiap *code rate* tetap memenuhi ketentuan pada Tabel 2.1 dengan jumlah yang disesuaikan pada ukuran matriksnya.

## 3.9 Usulan Algoritma PEG

Tugas Akhir ini mengusulkan Algoritma PEG menggunakan metode kedua dari PEG yaitu dengan memilih nilai CND terkecil secara terurut. Pada langkah kedua PEG, Tugas Akhir ini menambahkan sebuah algoritma untuk menghindari pembentukan LDPC *codes* dengan *girth*-4 yang dinamakan algoritma *Anti Girth*-4. Penggunaan PEG dalam pembuatan matriks *parity check* LDPC *codes* memungkinkan untuk membuat matriks *parity check* LDPC *codes* sesuai dengan nilai panjang blok  $n$ , baris  $m$ , dan set dari VND  $D_v = \{d_{v_1}, d_{v_2}, d_{v_3}, \dots, d_{v_n}\}$  yang telah ditentukan. Proses penempatan elemen 1 dimulai dari kolom 1 sampai  $n$  dan dari baris 1 ke  $m$  yang prosesnya berjalan dari kiri ke kanan dan dari atas ke bawah.

### 3.9.1 Langkah PEG

Langkah-langkah perancangan matriks *parity check* LDPC *codes* menggunakan algoritma PEG yang diusulkan dengan nilai  $n = 8$ ,  $m = 5$ , dan  $D_v = \{2, 2, 2, 2, 2\}$  adalah sebagai berikut:

$$\mathbf{H} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (3.35)$$

1. Buat matriks nol dengan dimensi  $m \times n$ , dengan  $n$  adalah jumlah variable *nodes* dan  $m$  adalah jumlah *check nodes* yang telah ditentukan.

$$\mathbf{H} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (3.36)$$

2. Elemen 1 pertama ditempatkan sesuai dengan algoritma pertama dari proses PEG. Elemen 1 kedua dan seterusnya sebanyak  $d_v(n)$  ditempatkan menggunakan kombinasi algoritma PEG dengan *Anti Girth-4*.

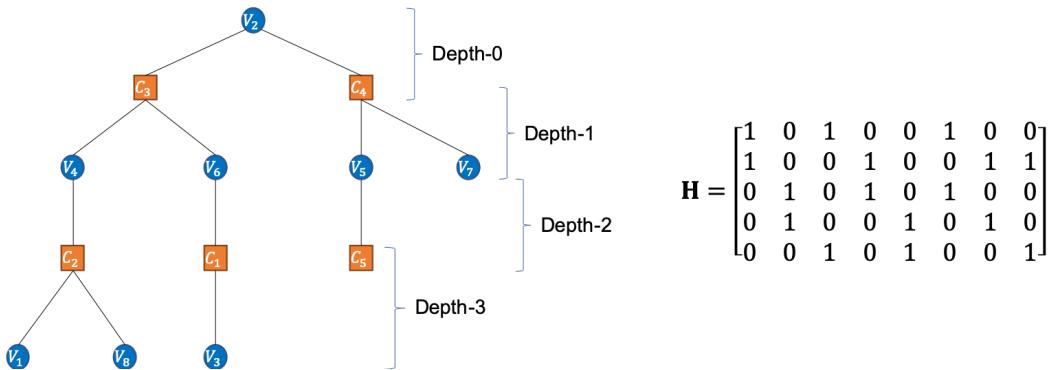
$$\mathbf{H} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (3.37)$$

3. Elemen 1 ditempatkan pada *check node* urutan pertama dengan nilai CND terendah.

$$\mathbf{H} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & x & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (3.38)$$

4. Simbol  $x$  adalah calon letak elemen 1,  $x$  dipilih berdasarkan baris yang memiliki nilai CND terendah. Kemudian langkah berikutnya menggunakan algoritma *Anti Girth-4*, melakukan pengecekan ke kiri apabila tidak ada elemen satu maka letak tersebut akan menjadi elemen 1.

$$\mathbf{H} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & x & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (3.39)$$



**Gambar 3.6** Hasil graf pohon dan matriks *parity check* LDPC codes menggunakan algoritma PEG yang diusulkan.

5. Algoritma *Anti Girth-4* dimulai dengan menyimpan, baris dari elemen 1 sebelumnya yang nantinya akan digunakan pada pengecekan akhir. Kemudian melakukan pengecekan dari kiri ke kanan apabila ditemukan elemen 1, maka akan berlanjut ke langkah berikutnya. Apabila tidak ditemukan elemen 1 pada kolom tersebut, maka  $x$  akan menjadi elemen 1. Pengecekan akan dilakukan sampai kolom sebelum kolom  $x$ .

$$\mathbf{H} = \left( \begin{array}{|c|cccccc|} \hline & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ \hline 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & x & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ \hline \end{array} \right) \quad (3.40)$$

6. Langkah ke-2 Algoritma *Anti Girth-4*, menyimpan kolom dari elemen 1 yang ditemukan pada proses pengecekan di langkah pertama.
7. Kemudian melakukan pengecekan akhir, yaitu apabila

$$\mathbf{H}_{Baris\_simpan, Kolom\_simpan} = 1, \quad (3.41)$$

pada  $x$  akan terbentuk *girth 4* jika  $x$  berelemen 1, sehingga  $x$  akan berpindah ke *check node* dengan CND minimal berikutnya dan melakukan pengecekan lagi.

Matriks *parity check* LDPC codes yang terbentuk dan graf pohon pada variable *nodes* ke-dua menggunakan aturan PEG ditunjukkan oleh Gambar 3.6. Dapat diketahui bahwa matriks *parity check* tidak menghasilkan *girth-4*.

### 3.9.2 Usulan LDPC Codes DVB-T2 menggunakan PEG

Tugas Akhir ini juga mengusulkan *degree distribution* untuk *downscaled LDPC codes* DVB-T2 dengan menggunakan algoritma PEG. *Degree distribution* pada *downscaled LDPC codes* yang diusulkan untuk *code rate*  $R_e = \frac{4}{9}$  adalah:

$$\Lambda(x) = \frac{1}{270}x + \frac{149}{270}x^2 + \frac{90}{270}x^3 + \frac{30}{270}x^8 \quad (3.42)$$

$$\Omega(x) = \frac{92}{150}x^5 + \frac{58}{150}x^6, \quad (3.43)$$

untuk *code rate*  $R_e = \frac{3}{5}$  adalah:

$$\begin{aligned} \Lambda(x) &= \frac{1}{270}x + \frac{107}{270}x^2 + \frac{132}{270}x^3 + \frac{1}{270}x^7 + \frac{7}{270}x^8 \\ &\quad + \frac{1}{270}x^9 + \frac{11}{270}x^{10} + \frac{10}{270}x^{12}, \end{aligned} \quad (3.44)$$

$$\Omega(x) = \frac{59}{108}x^8 + \frac{49}{108}x^9, \quad (3.45)$$

untuk *code rate*  $R_e = \frac{2}{3}$  adalah:

$$\begin{aligned} \Lambda(x) &= \frac{1}{270}x + \frac{89}{270}x^2 + \frac{162}{270}x^3 + \frac{1}{270}x^7 \\ &\quad + \frac{9}{270}x^8 + \frac{1}{270}x^{12} + \frac{7}{270}x^{13}, \end{aligned} \quad (3.46)$$

$$\Omega(x) = \frac{37}{90}x^{10} + \frac{53}{90}x^9, \quad (3.47)$$

untuk *code rate*  $R_e = \frac{11}{15}$  adalah:

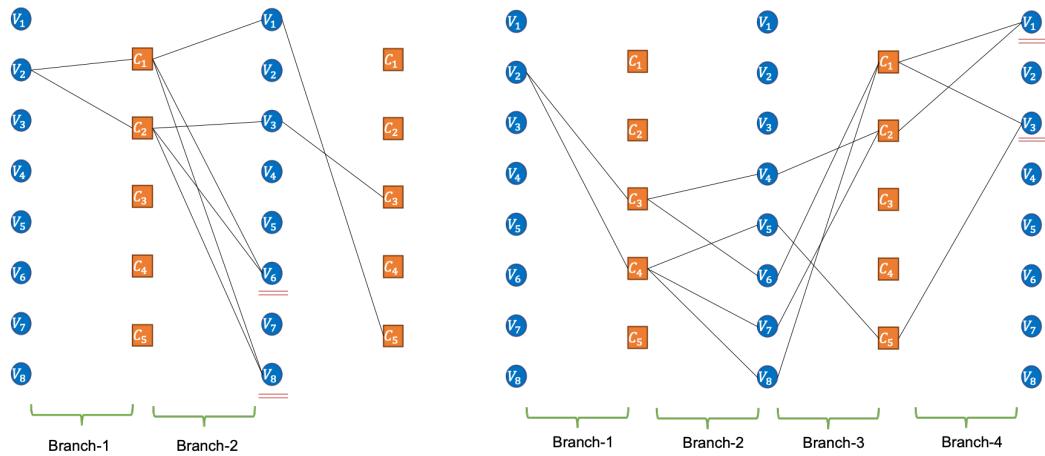
$$\Lambda(x) = \frac{1}{270}x + \frac{71}{270}x^2 + \frac{192}{270}x^3 + \frac{6}{270}x^{12}, \quad (3.48)$$

$$\Omega(x) = \frac{4}{72}x^{10} + \frac{65}{72}x^{11} + \frac{3}{72}x^{12}, \quad (3.49)$$

untuk *code rate*  $R_e = \frac{7}{9}$  adalah:

$$\Lambda(x) = \frac{1}{270}x + \frac{59}{270}x^2 + \frac{210}{270}x^3, \quad (3.50)$$

$$\Omega(x) = \frac{31}{60}x^{12} + \frac{29}{60}x^{13}, \quad (3.51)$$



**Gambar 3.7** Algoritma untuk menghitung *girth* LDPC codes yang diusulkan.

untuk *code rate*  $R_e = \frac{37}{45}$  adalah:

$$\Lambda(x) = \frac{1}{270}x + \frac{76}{270}x^2 + \frac{185}{270}x^3 + \frac{2}{270}x^4 + \frac{1}{270}x^{12} + \frac{3}{270}x^{13}, \quad (3.52)$$

$$\Omega(x) = \frac{5}{48}x^{15} + \frac{39}{48}x^{16} + \frac{2}{48}x^{17} + \frac{2}{48}x^{18}. \quad (3.53)$$

### 3.10 Usulan Teknik untuk Menghitung *Girth* LDPC Codes

Tugas Akhir ini mengusulkan sebuah teknik untuk menghitung *girth* dari setiap *variable nodes* pada LDPC codes, sehingga dapat diketahui distribusi *local girth* dari LDPC codes. *Girth* adalah nilai *local girth* terkecil dari distribusi *girth* LDPC codes. Teknik yang diusulkan adalah hasil dari modifikasi dan pengembangan dari algoritma pembuatan graf pohon pada PEG ditunjukkan oleh Gambar 3.7. Berikut langkah-langkah untuk menghitung *girth* yang diusulkan:

1. Tentukan satu *variable node* dan sebarkan *edges*-nya sesuai dari matriks.
2. Sebarkan *edges* terus menerus sampai terdapat *node* yang tidak dapat menyebarkan *edge*.
3. Hitung *branch b* dimulai dari satu, lalu dengan menggunakan persamaan

$$g = b \times 2, \quad (3.54)$$

maka nilai *local girth*  $g$  dapat diketahui.

## BAB IV

### ANALISIS DAN EVALUASI KINERJA LDPC CODES DVB-T2

Bab ini menunjukkan hasil dari studi kinerja LDPC *codes* DVB-T2 pada kanal AWGN dan *channel model* DVB-T2 Indonesia. Bab ini juga menganalisis *degree distribution* LDPC *codes* DVB-T2 yang diusulkan dengan menggunakan EXIT *chart* beserta validasinya menggunakan parameter praktis BER dan jumlah *girth*.

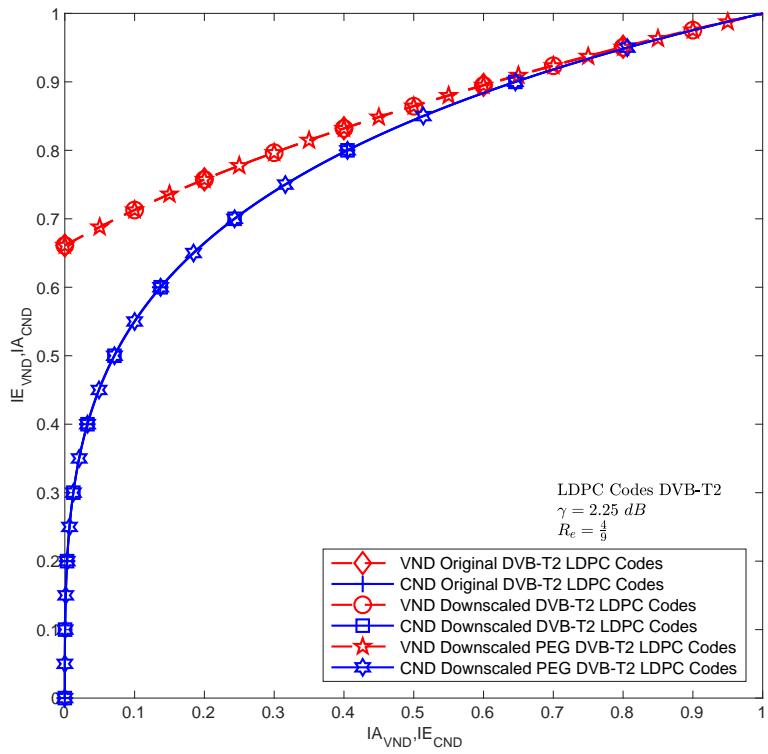
#### 4.1 Analisis EXIT *Chart* LDPC *Codes* DVB-T2 pada Kanal AWGN

Tugas Akhir ini menganalisis kinerja LDPC *codes* DVB-T2 menggunakan EXIT *chart* berdasarkan *degree distribution* setiap *code rate* dari LDPC *codes* yang terbentuk. EXIT *chart* mengeplot *mutual information* di titik  $V$  dan  $C$  yang ditunjukkan pada proses *iterative decoding* LDPC *codes*. Secara praktis informasi ini diwakili oleh LLR, *iterative decoding* pada LDPC *codes* menukar LLR antara VND dan CND melalui *edge* yang menghubungkan keduanya. *Mutual information* yang terlibat adalah  $I_{A,C}, I_{E,C}, I_{A,V}, I_{E,V}$  seperti pada Gambar 4.1 dan 4.2 mengeksplorikan *mutual information* yang masuk ke CND, *mutual information* yang keluar dari CND, *mutual information* yang masuk ke VND, dan *mutual information* yang keluar dari VND pada iterasi LDPC *codes*. Gambar 4.1 menunjukkan EXIT *chart* untuk *code rate*  $R_e = \frac{4}{9}$  untuk semua LDPC *codes* DVB-T2 yang diusulkan pada SNR  $\gamma = 2.25$  dB dan menunjukkan EXIT *chart* untuk *code rate*  $R_e = \frac{3}{5}$  untuk semua LDPC *codes* DVB-T2 yang diusulkan pada SNR  $\gamma = 3.75$  dB. Gambar 4.2 menunjukkan EXIT *chart* untuk *code rate*  $R_e = \frac{2}{3}$  untuk semua LDPC *codes* DVB-T2 yang diusulkan pada SNR  $\gamma = 4$  dB.

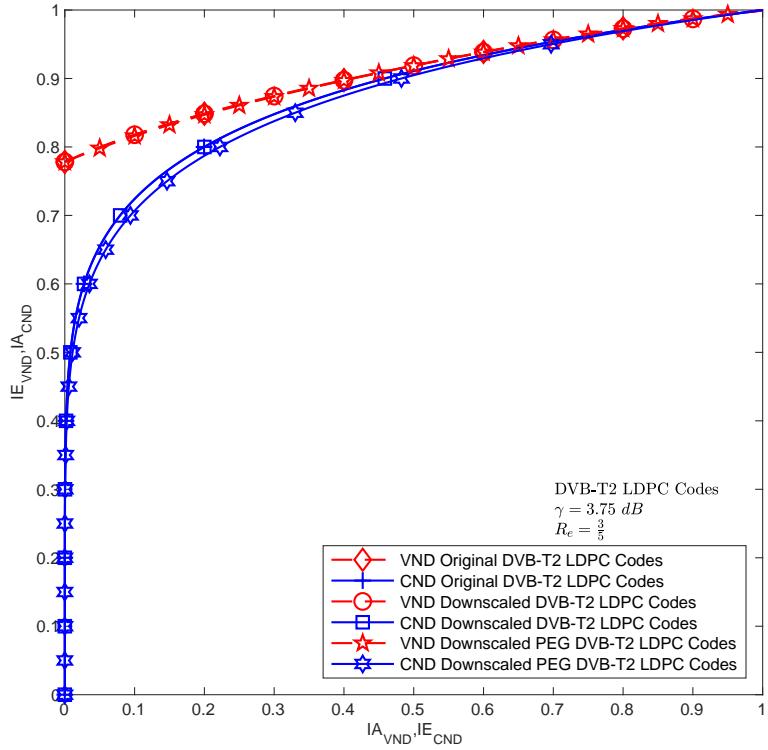
Tugas Akhir ini menganalisis EXIT *chart* pada setiap LDPC *codes* DVB-T2 yang diusulkan pada kanal AWGN dalam dua dimensi (2D). Untuk mempermudah analisis, Tugas Akhir ini mengukur *mutual information* menggunakan fungsi  $J$  dan  $J^{-1}$ . Hubungan antara varians dan *mutual information* adalah [36]

$$\sigma = J^{-1}(I_A), \quad (4.1)$$

$$I = J(\sigma) \quad (4.2)$$

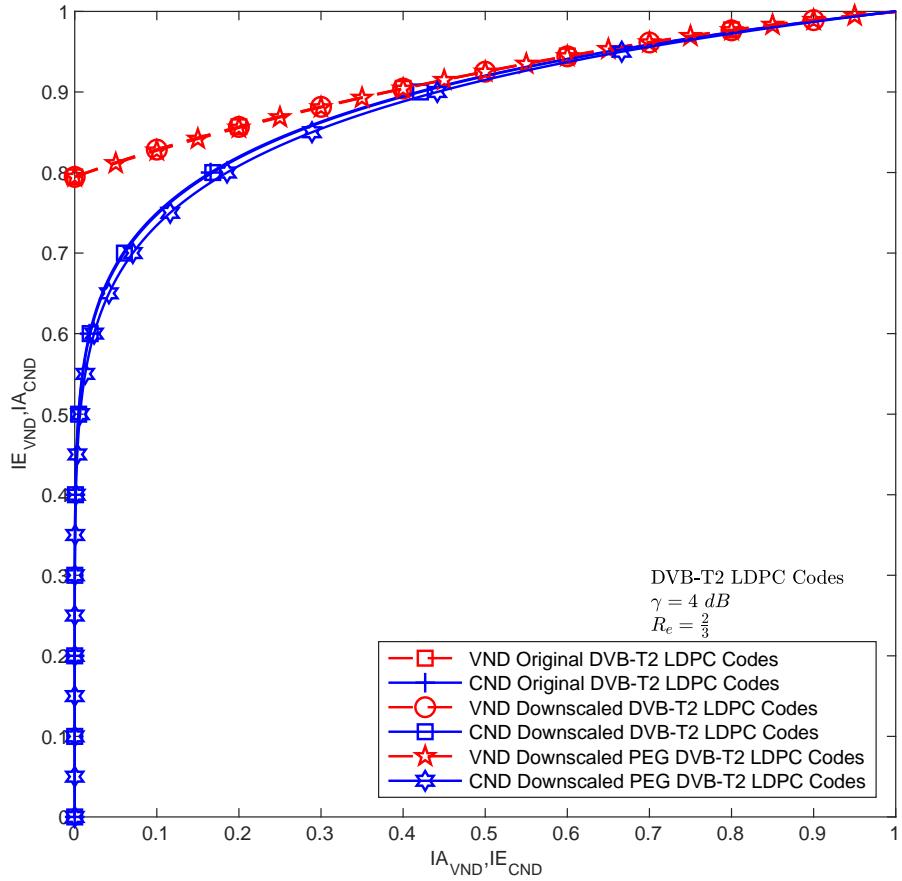


(a)



(b)

**Gambar 4.1** Analisis EXIT chart LDPC codes DVB-T2 dengan (a)  $R_e = \frac{4}{9}$  dan (b)  $R_e = \frac{3}{5}$ , masing-masing, pada SNR  $\gamma = 2,5 \text{ dB}$  dan  $\gamma = 3,75 \text{ dB}$ .



**Gambar 4.2** Analisis EXIT chart LDPC codes DVB-T2 dengan  $R_e = \frac{2}{3}$  pada SNR  $\gamma = 4 \text{ dB}$ .

dengan  $\sigma^2 = \frac{4}{\sigma_n^2}$ ,  $\sigma_n^2$  adalah *noise variance*. EXIT chart dalam Tugas Akhir ini mengeplot berdasarkan *mutual information*

$$I_{E,V} = \sum_i \mathcal{F}_i^\Lambda J \left( \sqrt{(d_{V_i} - 1)[J^{-1}(I_{A,V})]^2 + [J^{-1}(I_{A_{CH}})]^2} \right) \quad (4.3)$$

dengan  $\mathcal{F}_i^\Lambda$  adalah pecahan ke- $i$  dari  $\Lambda_{LDPC}(x)$  dan

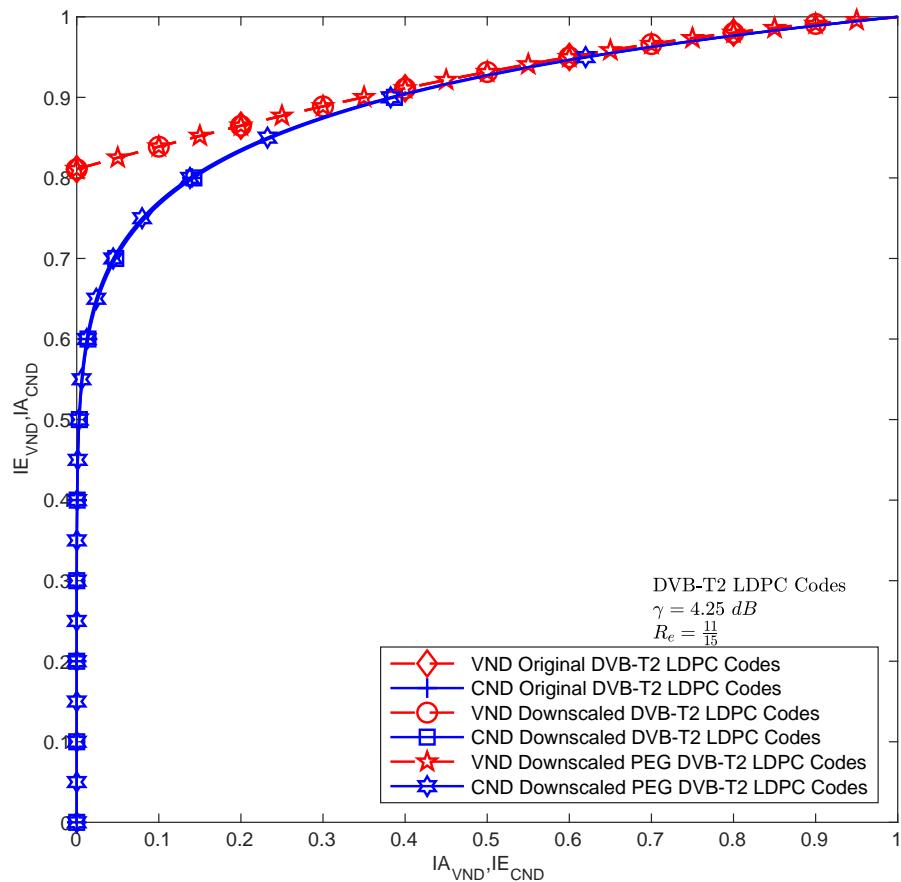
$$I_{E,C} = 1 - \sum_i \mathcal{F}_i^\Omega J \left( \sqrt{(d_{C_i} - 1)[J^{-1}(1 - I_{A,C})]^2} \right) \quad (4.4)$$

dengan  $\mathcal{F}_i^\Omega$  adalah pecahan ke- $i$  pada  $\Omega_{LDPC}(x)$ . Parameter  $I_{A_{CH}}$  adalah *mutual information* yang berasal dari *channel*.

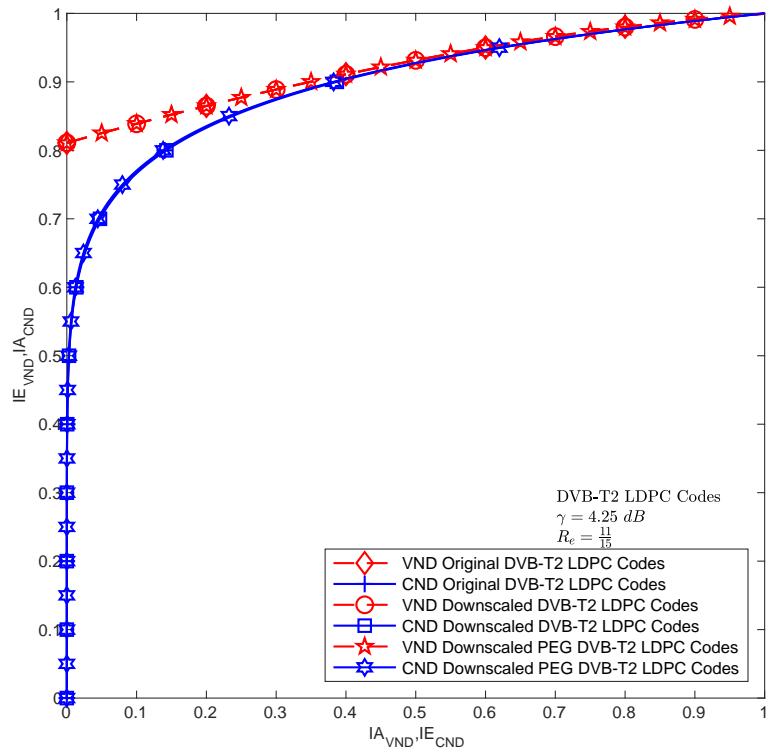
Gambar 4.3 menunjukkan EXIT chart untuk *code rate*  $R_e = \frac{11}{15}$  untuk semua LDPC codes DVB-T2 yang diusulkan pada SNR  $\gamma = 4.25 \text{ dB}$ . Gambar 4.4 menunjukkan EXIT chart untuk *code rate*  $R_e = \frac{11}{15}$  untuk semua LDPC codes DVB-T2

yang diusulkan pada SNR  $\gamma = 4.5$  dB dan menunjukkan EXIT chart untuk *code rate*  $R_e = \frac{37}{45}$  untuk semua LDPC codes DVB-T2 yang diusulkan pada SNR  $\gamma = 5.25$  dB.

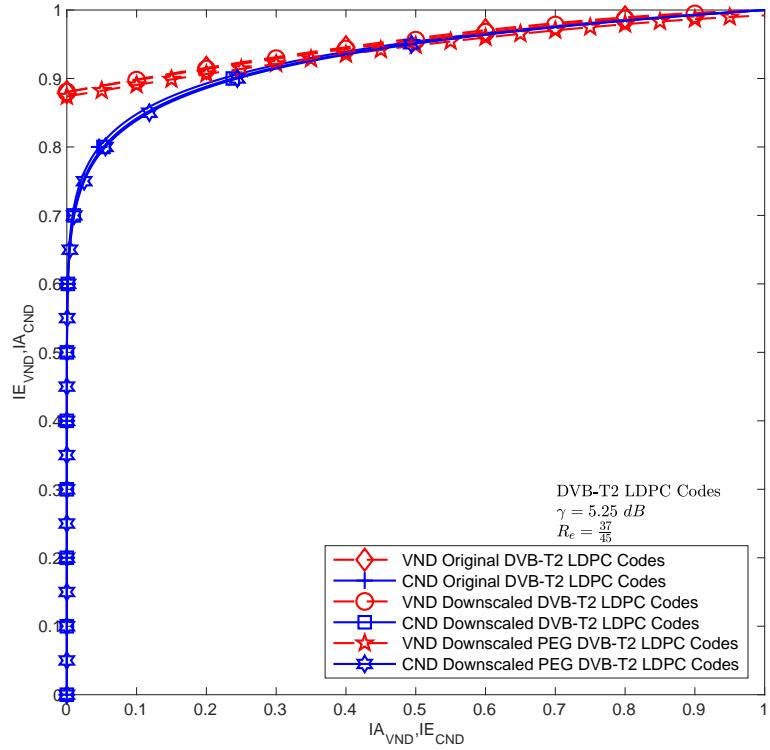
EXIT chart menunjukkan celah kecil yang membuktikan distribusi derajat yang baik, celah terbuka pada EXIT chart bermanfaat untuk memulai decoding di awal kurva. Evaluasi EXIT chart pada Tugas Akhir ini menunjukkan semakin besar *code rate*, maka nilai SNR untuk mencapai kurva EXIT yang baik semakin besar. Setiap kurva EXIT chart menunjukkan bahwa original LDPC codes memiliki EXIT chart yang sedikit lebih baik daripada LDPC codes DVB-T2 yang diusulkan, sehingga membuktikan bahwa *downscaled* LDPC codes dapat memiliki kinerja yang tidak jauh beda daripada original LDPC codes.



**Gambar 4.3** Analisis EXIT chart LDPC codes DVB-T2 dengan  $R_e = \frac{11}{15}$  pada SNR  $\gamma = 4,25$  dB.



(a)



(b)

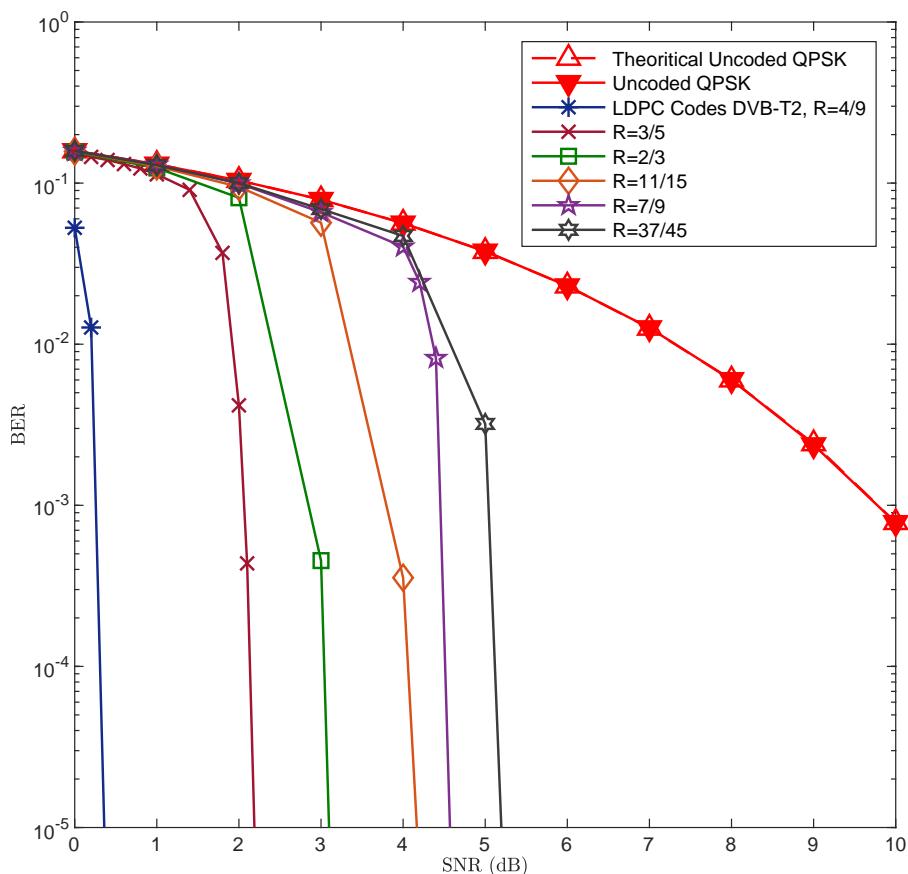
**Gambar 4.4** Analisis EXIT chart LDPC codes DVB-T2 pada (a)  $R_e = \frac{7}{9}$  dan (b)  $R_e = \frac{37}{45}$ , masing-masing, pada SNR  $\gamma = 4,5 \text{ dB}$  dan  $\gamma = 5,25 \text{ dB}$ .

## 4.2 Analisis Kinerja BER

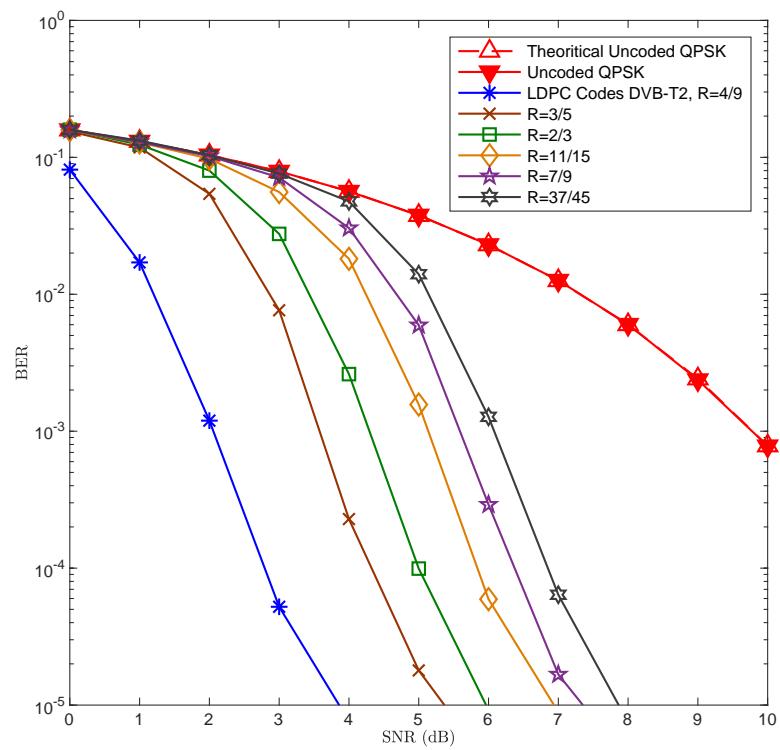
Tugas Akhir ini mengevaluasi kinerja BER dari LDPC *codes* DVB-T2 dengan  $N_{LDPC} = 16200$ , *downscaled* LDPC *codes* DVB-T2 dengan  $N_{LDPC} = 270$ , *downscaled* LDPC *codes* DVB-T2 menggunakan PEG dengan *accumulator*, dan *downscaled* LDPC *codes* DVB-T2 menggunakan PEG dengan LDGM pada kanal AWGN dan *channel model* DVB-T2 Indonesia.

### 4.2.1 Kinerja pada Kanal AWGN

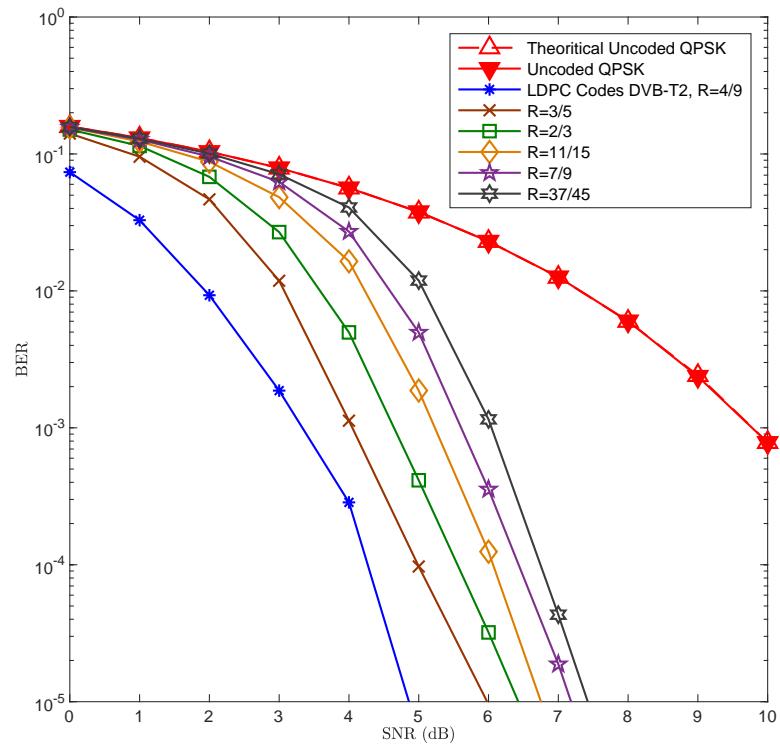
Tugas Akhir ini membandingkan hasil kinerja BER dengan teori BER pada kanal AWGN dalam SNR  $\gamma$  seperti pada Gambar 4.5 dan 4.6.



**Gambar 4.5** Kinerja BER LDPC *codes* DVB-T2 dengan  $N_{LDPC} = 16200$  pada kanal AWGN.



(a)

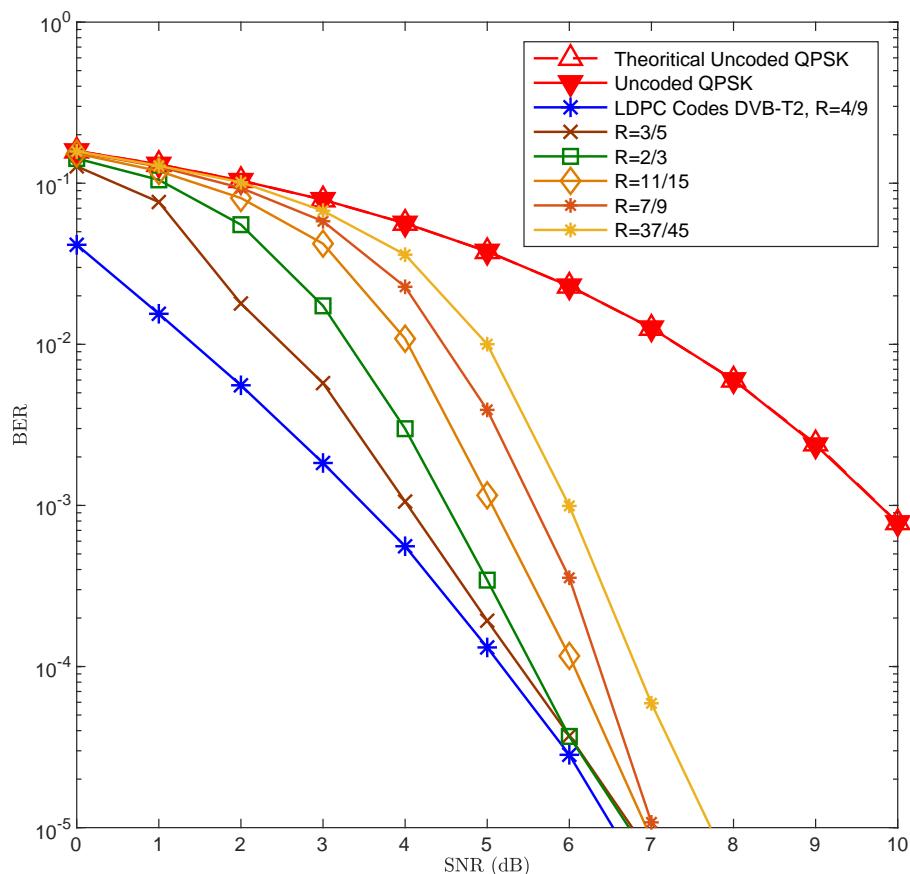


(b)

**Gambar 4.6** Kinerja BER LDPC codes DVB-T2 dengan: (a)  $N_{LDPC} = 270$  menggunakan metode *downscaling* dan (b)  $N_{LDPC} = 270$  menggunakan PEG dengan *accumulator* pada kanal AWGN.

Gambar 4.5 menunjukkan perbandingan kinerja original LDPC *codes* DVB-T2 untuk semua *code rate* pada kanal AWGN dengan teori BER QPSK dan *uncoded* QPSK, LDPC *codes* DVB-T2 yang diusulkan terbukti dapat memiliki kinerja BER yang jauh lebih baik daripada teori BER QPSK dan tanpa *channel coding* (*uncoded*) QPSK. Gambar 4.6 (a) menunjukkan perbandingan kinerja *downscaled* LDPC *codes* DVB-T2 untuk semua *code rate* pada kanal AWGN dengan teori BER QPSK dan *uncoded* QPSK, sedangkan Gambar 4.6 (b) menunjukkan perbandingan kinerja *downscaled* LDPC *codes* DVB-T2 yang dikombinasikan dengan *accumulator* untuk semua *code rate* pada kanal AWGN dengan teori BER QPSK dan *uncoded* QPSK. Gambar 4.7 menunjukkan perbandingan kinerja *downscaled* LDPC *codes* DVB-T2 yang dikombinasikan dengan LDGM untuk semua *code rate* pada kanal AWGN dengan teori BER QPSK dan *uncoded* QPSK.

Kinerja BER LDPC *codes* DVB-T2 yang diusulkan terbukti dapat memiliki kinerja BER yang jauh lebih baik daripada teori BER QPSK dan *uncoded* QPSK.



**Gambar 4.7** Kinerja BER LDPC *codes* DVB-T2 dengan  $N_{LDPC} = 270$  menggunakan PEG dengan LDGM pada kanal AWGN.

**Tabel 4.1** Perbandingan kinerja LDPC *codes* DVB-T2 yang diusulkan pada kanal AWGN.

Analisis SNR terhadap $BER = 10^{-4}$				
<i>Code rate</i>	Original LDPC	Downscaled LDPC	PEG LDPC accumulator	PEG LDPC LDGM
$R_e = \frac{4}{9}$	0,2 dB	2,83 dB	4,25 dB	5,15 dB
$R_e = \frac{3}{5}$	2,1 dB	4,1 dB	5,1 dB	5,25 dB
$R_e = \frac{2}{3}$	3,1 dB	5 dB	5,5 dB	5,35 dB
$R_e = \frac{11}{15}$	4,1 dB	5,8 dB	6,2 dB	6 dB
$R_e = \frac{7}{9}$	4,4 dB	6,15 dB	6,4 dB	6,25 dB
$R_e = \frac{37}{45}$	5,1 dB	7 dB	6.85 dB	6,85 dB

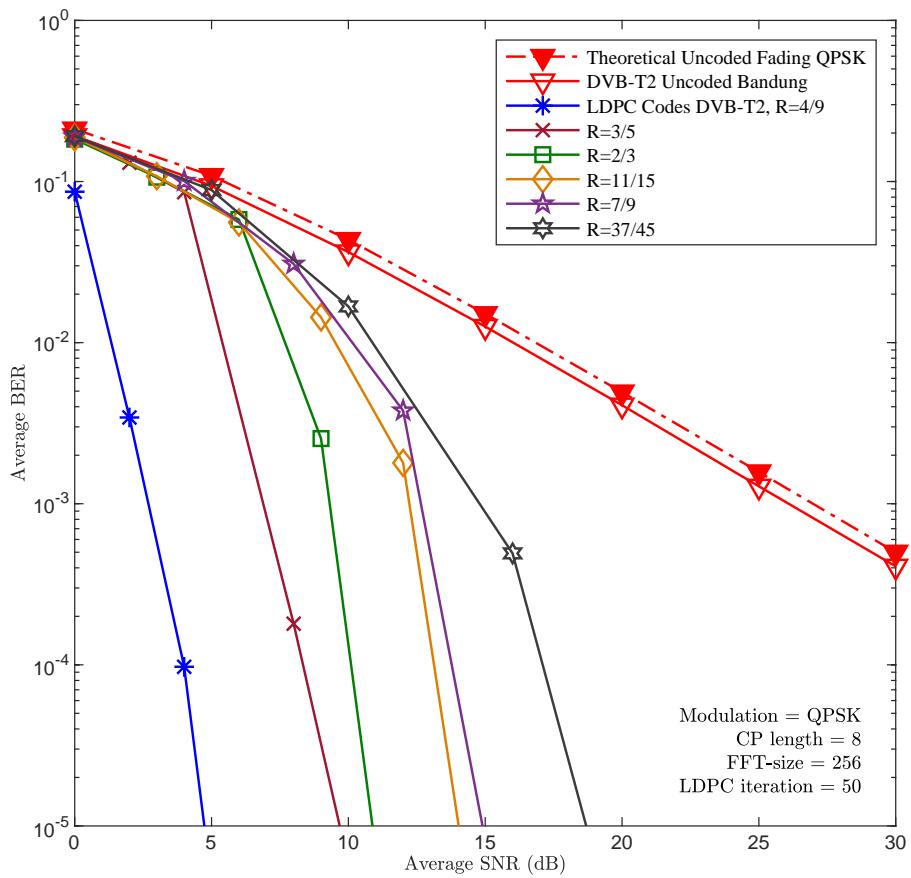
**Tabel 4.2** Perbandingan kinerja LDPC *codes* DVB-T2 yang diusulkan pada *channel model* DVB-T2 Kota Bandung.

Analisis SNR terhadap $BER = 10^{-4}$				
<i>Code rate</i>	Original LDPC	Downscaled LDPC	PEG LDPC accumulator	PEG LDPC LDGM
$R_e = \frac{4}{9}$	4 dB	15 dB	16 dB	17,15 dB
$R_e = \frac{3}{5}$	9 dB	17,5 dB	17 dB	18,5 dB
$R_e = \frac{2}{3}$	11,1 dB	18,5 dB	18,5 dB	18,95 dB
$R_e = \frac{11}{15}$	14,25 dB	22 dB	19,4 dB	20 dB
$R_e = \frac{7}{9}$	14,95 dB	23 dB	22 dB	21,15 dB
$R_e = \frac{37}{45}$	17,1 dB	24 dB	23,5 dB	24,15 dB

Tabel 4.1 menunjukkan bahwa semakin besar panjang blok pada LDPC *codes* yang digunakan, maka LDPC *codes* akan memiliki kinerja lebih baik. Tabel 4.1 menunjukkan bahwa gap kinerja antara original dan *downscaled* LDPC *codes* rata-rata 2 dB pada setiap *code rate*.

#### 4.2.2 Kinerja pada *Channel Model* DVB-T2 Indonesia

Tugas Akhir ini membandingkan hasil kinerja BER dengan teori BER pada kanal *single path* (*Rayleigh fading*) dan BER untuk *uncoded QPSK* pada *channel model* DVB-T2 Kota Bandung dalam SNR  $\gamma$  yang ditunjukkan pada Tabel 4.2.



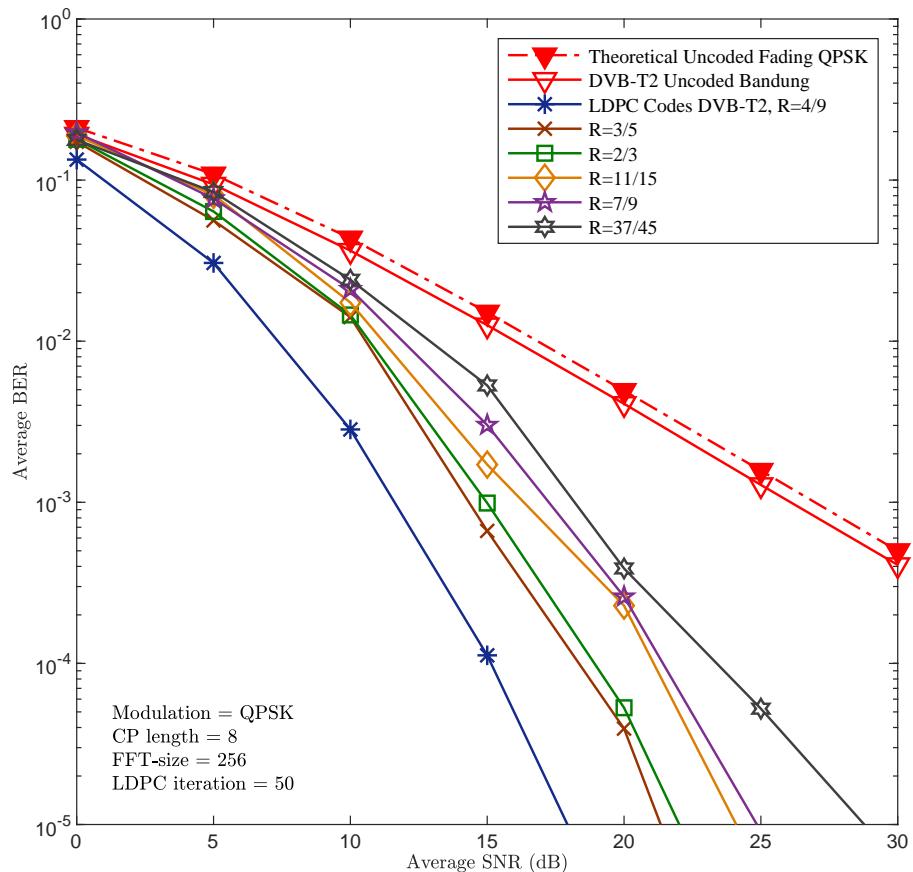
**Gambar 4.8** Kinerja BER LDPC *codes* DVB-T2 dengan  $N_{LDPC} = 16200$  pada *channel model* DVB-T2 Kota Bandung.

Sistem OFDM mengharuskan setiap simbol yang dikirim pada satu blok atau *frame* sama dengan jumlah FFT *size*, sedangkan bit yang dikirimkan LDPC *codes* untuk setiap *frame*-nya pun bersifat tetap. Oleh karena itu, Tugas Akhir ini menggunakan teknik penambahan *dummy* pada pengirim untuk mengisi bit yang kosong pada OFDM, kemudian pada penerima *dummy* akan dilepas sebelum di-*decode*, *dummy* diletakkan di bagian belakang bit yang akan dikirimkan.

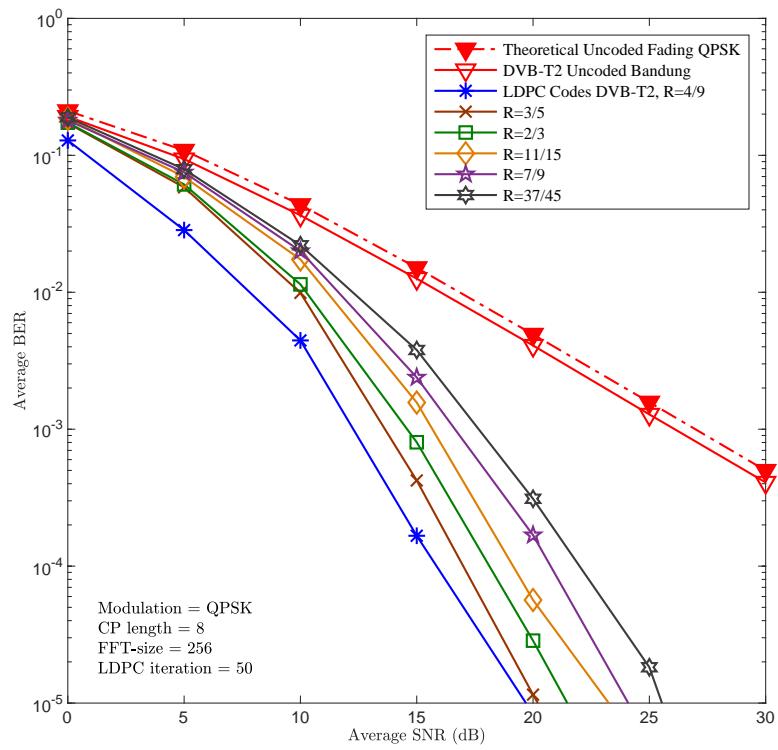
Khusus untuk LDPC *codes* dengan  $N_{LDPC} = 16200$  yang ditunjukkan pada Gambar 4.8 karena keterbatasan simulasi komputer, Tugas Akhir ini menggunakan metode *slicing* pada *codeword* yang terbentuk. *Codeword* dipotong-potong seukuran dengan FFT *size* 256. Sebelum proses *decoding* LLR yang terpotong-potong digabungkan kembali menjadi satu.

Tugas Akhir ini menyajikan analisis daya dalam SNR terhadap kinerja pada  $BER = 10^{-4}$  berdasarkan modulasi QPSK pada sistem OFDM dengan FFT *size* 256 dan panjang CP sebesar 8. Gambar 4.8 menunjukkan perbandingan kinerja original

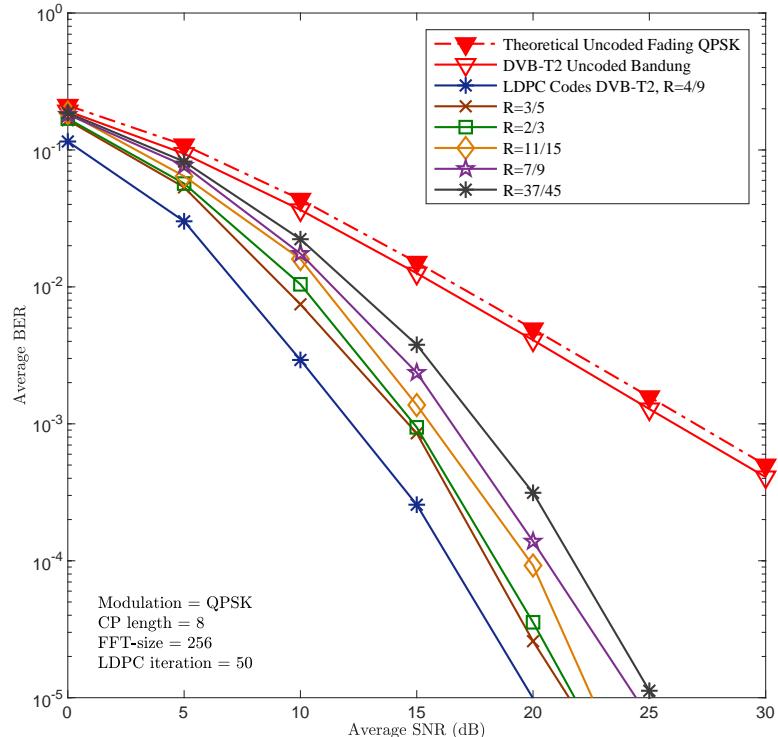
LDPC codes DVB-T2 untuk semua *code rate* pada *channel model* DVB-T2 Bandung dengan teori BER *singlepath* QPSK dan *uncoded* QPSK. Gambar 4.9 menunjukkan perbandingan kinerja *downscaled* LDPC codes DVB-T2 untuk semua *code rate* pada *channel model* DVB-T2 Bandung dengan teori BER *singlepath* QPSK dan *uncoded* QPSK. Gambar 4.10 (a) menunjukkan perbandingan kinerja *downscaled* LDPC codes DVB-T2 yang menggunakan *accumulator* untuk semua *code rate* pada *channel model* DVB-T2 Bandung, sedangkan Gambar 4.10 (b) menunjukkan perbandingan kinerja *downscaled* LDPC codes DVB-T2 yang menggunakan LDGM untuk semua *code rate* pada *channel model* DVB-T2 Bandung.



**Gambar 4.9** Kinerja BER *downscaled* LDPC codes DVB-T2 dengan  $N_{LDPC} = 270$  pada *channel model* DVB-T2 Kota Bandung.

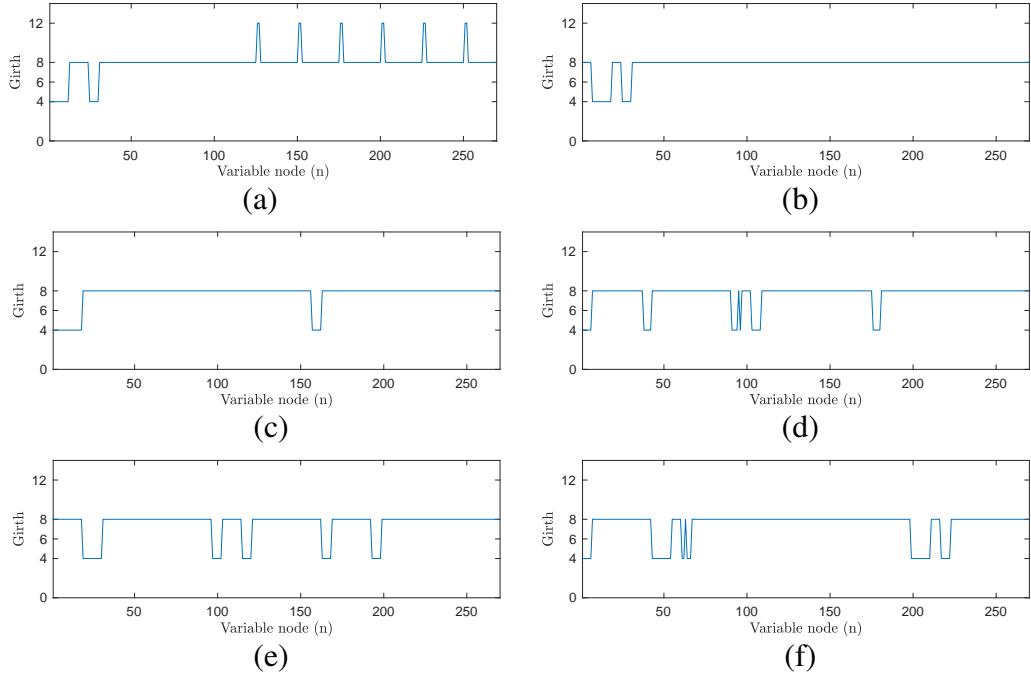


(a)



(b)

**Gambar 4.10** Kinerja BER LDPC codes DVB-T2 dengan: (a)  $N_{LDPC} = 270$  menggunakan PEG dengan *accumulator*, dan (b)  $N_{LDPC} = 270$  menggunakan PEG dengan LDGM pada *channel model* DVB-T2 Kota Bandung.

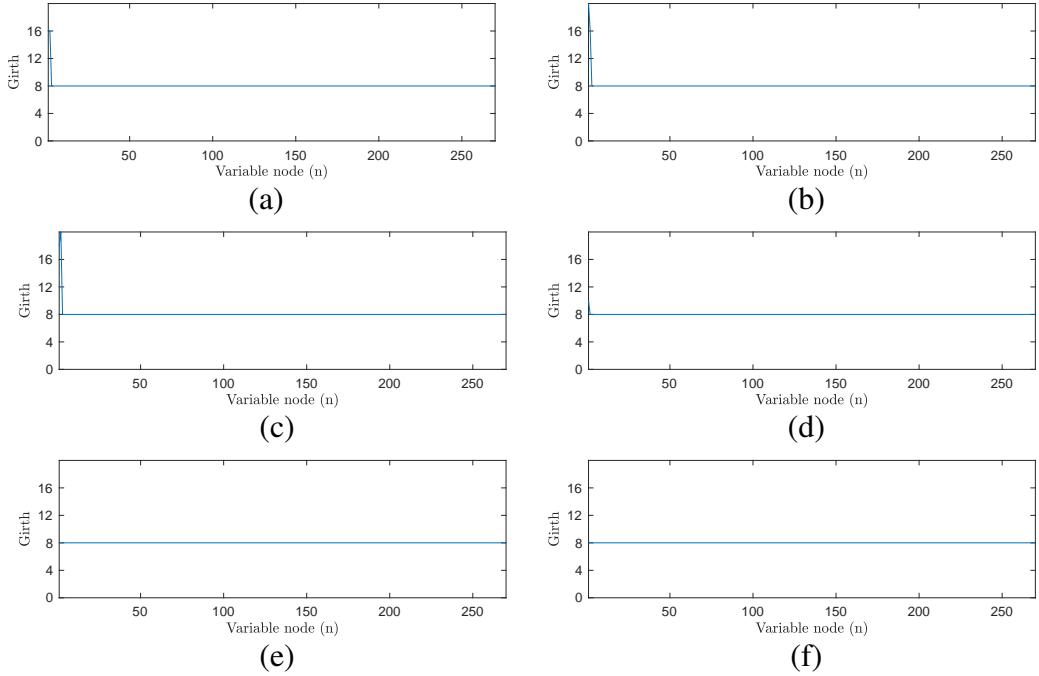


**Gambar 4.11** Distribusi *girth* *downscaled LDPC codes* DVB-T2 dengan *code rate*  $R_e$ : (a)  $R_e = \frac{4}{9}$ , (b)  $R_e = \frac{3}{5}$ , (c)  $R_e = \frac{2}{3}$ , (d)  $R_e = \frac{11}{15}$ , (e)  $R_e = \frac{7}{9}$ , dan (f)  $R_e = \frac{37}{45}$ .

Tabel 4.2 menunjukkan LDPC *codes* DVB-T2 dan sistem yang diusulkan memiliki kinerja yang baik pada *channel model* DVB-T2 di wilayah Indonesia. Kinerja BER pada *channel model* DVB-T2 Bandung menunjukkan bahwa LDPC *codes* DVB-T2 dengan *code rate*  $R_e = \frac{4}{9}$  memiliki kinerja terbaik pada *channel model* DVB-T2 Bandung untuk *downscaled* maupun original LDPC *codes* dan menunjukkan bahwa PEG dengan *accumulator codes* memiliki kinerja yang lebih baik daripada LDGM *codes*.

### 4.3 Evaluasi *Girth LDPC Codes*

Tugas Akhir ini mengevaluasi jumlah *girth* dari setiap LDPC *codes* DVB-T2 yang diusulkan. *Girth* dihitung menggunakan teknik yang telah diusulkan oleh Tugas Akhir ini. Gambar 4.11 dan 4.12 menunjukkan distribusi dari *girth* yang terbentuk pada *downscaled LDPC codes* DVB-T2 di setiap *variable node*. Gambar 4.11 menunjukkan bahwa pada *downscaled LDPC codes* DVB-T2 yang terbentuk di setiap *code rate*-nya memiliki nilai *girth* sebesar 4, hal ini merupakan parameter yang perlu dihindari dalam sebuah LDPC *codes* karena akan memperburuk proses *iterative decoding* pada LDPC *codes*. Tugas Akhir ini mengusulkan *downscaled LDPC codes* yang dirancang dengan menggunakan PEG. Gambar 4.12 menunjukkan bahwa *downscaled LDPC codes* DVB-T2 yang dirancang menggunakan PEG



**Gambar 4.12** Distribusi *girth* pada *downscaled LDPC codes* DVB-T2 menggunakan PEG dengan *code rate*  $R_e$ : (a)  $R_e = \frac{4}{9}$ , (b)  $R_e = \frac{3}{5}$ , (c)  $R_e = \frac{2}{3}$ , (d)  $R_e = \frac{11}{15}$ , (e)  $R_e = \frac{7}{9}$ , dan (f)  $R_e = \frac{37}{45}$ .

menghasilkan *girth* 8 untuk setiap *code rate*-nya.

Evaluasi ini menunjukkan efek dari teknik *downscaling* pada *LDPC codes* DVB-T2 akan menimbulkan *girth* 4, padahal original *LDPC codes* DVB-T2 tidak memiliki *girth* 4. Oleh karena itu, *downscaled* DVB-T2 *LDPC codes* tidak sepenuhnya memiliki karakteristik dari original *LPDC codes* dalam hal *girth*. Hal ini dikarenakan semakin kecil ukuran *LDPC codes*, maka kemungkinan untuk meletakkan elemen 1 untuk tidak membuat *girth* 4 semakin sulit. Untuk menghindari *girth* 4 diperlukan sebuah algoritma yang memperhatikan penempatan elemen 1. Algoritma PEG dan *Anti Girth* 4 yang diusulkan terbukti telah berhasil untuk menghindari terbentuknya *girth* 4 pada *LDPC codes* yang memiliki ukuran kecil.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Tugas Akhir ini telah melakukan studi terhadap kinerja LDPC *codes* DVB-T2 dengan panjang blok  $N_{LDPC} = 16200$  untuk setiap nominal *code rate*  $R_n = \{\frac{1}{2}, \frac{3}{5}, \frac{2}{3}, \frac{3}{4}, \frac{4}{5}, \frac{5}{6}\}$  yang memiliki nilai *effective code rate*  $R_e = \{\frac{4}{9}, \frac{3}{5}, \frac{2}{3}, \frac{11}{15}, \frac{7}{9}, \frac{37}{45}\}$ . Pengujian LDPC *codes* dalam sistem DVB-T2 dilakukan pada model kanal AWGN dan *channel model* DVB-T2 Indonesia untuk mengevaluasi dan memperoleh kinerja dari DVB-T2 yang dapat diimplementasikan di Indonesia. Tugas Akhir ini telah mengusulkan teknik *downscaling* untuk LDPC *codes* DVB-T2 dan *Anti-Girth* 4 PEG untuk menghindari *cycle* yang melibatkan 4 *nodes*, sehingga meminimalkan *error*. Tugas Akhir ini juga telah mengusulkan *degree distribution* LDPC *codes* DVB-T2 dengan  $N_{LDPC} = 16200$ , *downscaled* LDPC *codes* DVB-T2 dengan panjang blok  $N_{LDPC} = 270$  untuk  $R_e = \{\frac{4}{9}, \frac{3}{5}, \frac{2}{3}, \frac{11}{15}, \frac{7}{9}, \frac{37}{45}\}$  yang telah dievaluasi menggunakan *EXIT chart*. Tugas Akhir ini juga telah mengusulkan teknik untuk menghitung *girth* yang secara efektif dapat mengevaluasi *girth* pada berbagai LDPC *codes*.

Hasil kinerja BER dalam Tugas Akhir ini menunjukkan bahwa kinerja LDPC *codes* sangat dipengaruhi oleh panjang blok. Blok yang semakin panjang menjadikan kerja LDPC *codes* menjadi semakin baik. Penggunaan PEG dalam teknik *downscaled* berhasil menghindari munculnya *girth* 4 pada LDPC *codes* terutama untuk *codes* yang berukuran kecil. Hasil perancangan LDPC *codes* untuk ukuran matriks kecil bermanfaat untuk LDPC *codes* pada *device* berdaya dan kompleksitas rendah, seperti *device Internet of Things (IoT)* dan *drone*.

Tugas Akhir ini berhasil mengetahui karakteristik dan kinerja LDPC *codes* DVB-T2 pada *channel model* DVB-T2 Indonesia yang diharapkan menjadi rujukan kualitas TV digital Indonesia. Hasil dari semua evaluasi yang dilakukan pada Tugas Akhir ini menyimpulkan bahwa LDPC *codes* dengan bagian *parity* yang menggunakan *accumulator* memiliki kinerja yang lebih baik daripada matriks identitas seperti pada LDGM. *Girth* minimal yang lebih besar tidak selalu menjamin LDPC *codes* yang memiliki kinerja yang lebih baik, melainkan penyebaran *degree* pada bagian informasi dari LDPC *codes* memiliki peranan penting dalam kinerja sebuah LDPC *codes*. Evaluasi kinerja BER pada kanal AWGN dan *channel model* DVB-T2 Indonesia menunjukkan profil kinerja LDPC *codes* DVB-T2 untuk setiap *code*

*rate*, sehingga hasil dari Tugas Akhir ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam eksperimen implementasi DVB-T2 di wilayah Indonesia sebagai standar Televisi Digital Indonesia yang baru.

## 5.2 Saran

Tugas Akhir ini menyarankan untuk simulasi kinerja LDPC *codes* DVB-T2 dengan menggunakan modulasi 16-QAM, 64-QAM, maupun 256-QAM. Tugas Akhir ini juga menyarankan penggunaan LDPC *codes* dengan panjang blok  $N_{LDPC} = 64800$  pada *channel model* DVB-T2 Indonesia agar dapat melengkapi profil kinerja LDPC *codes* untuk setiap modulasi dari DVB-T2. Tugas Akhir ini juga menyarankan untuk melakukan evaluasi kinerja dari FEC DVB-T2 secara menyeluruh, sehingga misalnya, kinerja BCH *codes* dengan LDPC *codes* pada DVB-T2 dapat diketahui. Untuk pengembangan perancangan LDPC *codes* menggunakan PEG, perancangan PEG dengan menggunakan metode pertama dari PEG sebaiknya dicoba.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. K. dan Informatika, “Peraturan menteri kominfo nomor: 07/p/m.kominfo/3/2007,” March 2007.
- [2] ITU-R, “Frequency and network planning aspects of dvb-t2,” ITU-R, Geneva, Tech. Rep., March 2015.
- [3] M. K. dan Informatika, “Peraturan menteri komunikasi dan informatika nomor: 05/per/m.kominfo/2/2012,” February 2012.
- [4] ETSI, *Digital Video Broadcasting (DVB); Implementation guidelines for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2)*, 1st ed., August 2012.
- [5] ———, *Digital Video Broadcasting (DVB); Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2)*, 1st ed., ETSI, July 2015.
- [6] R. G. Gallager, “Low-density parity-check codes,” in *IRE Trans. on Info. Theory*, vol. IT-8, January 1962, pp. 21–28.
- [7] C. Zhang, Z. Wang, and X. You, “Efficient decoder architecture for single block-row quasi-cyclic ldpc codes,” *Circuits and Systems II: Express Briefs, IEEE Transactions on*, vol. 61, pp. 793–797, October 2014.
- [8] R. G. Gallager, “Good error-correcting codes based on very sparse matrices,” in *IEEE Trans. Znfo. Theory*, vol. 45, no. 2, March 1999, pp. 399–431.
- [9] M. C. Davey and D. J. MacKay, “Low density parity check codes over gf(q),” in *ZEEE Com. Letters*, vol. 2, no. 6, June 1998.
- [10] R. G. Gallager, “Near shannon limit performance of low density parity check codes,” in *Electron. Lett.*, vol. 33, no. 6, March 1997, pp. 457–458.
- [11] R. Tanner, “A recursive approach to low complexity codes,” *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 27, no. 5, pp. 533–547, Sep. 1981.
- [12] J. Fan and Y. Xiao, “A method of counting the number of cycles in ldpc codes,” in *2006 8th international Conference on Signal Processing*, vol. 3, Nov 2006.

- [13] M. Sipser and D. A. Spielman, “Expander codes,” *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 42, no. 6, pp. 1710–1722, Nov 1996.
- [14] M. Luby, M. Mitzenmacher, A. Shokrollahi, and D. Spielman, “Improved low-density parity-check codes using irregular graphs,” in *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 47, February 2001, pp. 585–598.
- [15] F. Matoussi, ‘‘Design and optimization of al-fec codes: the gldpc-staircase codes,’’ Ph.D. dissertation, February 2014.
- [16] H. Jin, A. Kh, and R. McEliece, “Irregular repeat accumulate codes,” 11 2000.
- [17] F. N. Hidayah and K. Anwar, “Low density generator matrix (ldgm)-based raptor codes for single carrier internet of things (sc-iot),” in *2017 International Conference on Signals and Systems (ICSigSys)*, May 2017, pp. 24–28.
- [18] Xiao-Yu Hu, E. Eleftheriou, and D. . Arnold, “Progressive edge-growth tanner graphs,” in *GLOBECOM’01. IEEE Global Telecommunications Conference (Cat. No.01CH37270)*, vol. 2, Nov 2001, pp. 995–1001 vol.2.
- [19] Xiao-Yu Hu, E. Eleftheriou, and D. M. Arnold, “Regular and irregular progressive edge-growth tanner graphs,” *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 51, no. 1, pp. 386–398, Jan 2005.
- [20] S. Nagul, “A review on 5g modulation schemes and their comparisons for future wireless communications,” in *2018 Conference on Signal Processing And Communication Engineering Systems (SPACES)*, Jan 2018, pp. 72–76.
- [21] H. Harada and R. Prasad, *Simulation and Software Radio for Mobile Communications*. Norwood, MA, USA: Artech House, Inc., January 2002.
- [22] B. Ahmed and M. Matin, *Coding for MIMO-OFDM in Future Wireless Systems*, May 2015.
- [23] R. Gustafsson and A. Mohammed, “Simulation of Wireless Fading Channels,” Department of Telecommunications and Signal Processing Blekinge Institute of Technology, Tech. Rep., February 2003.
- [24] C. Wang, J. Bian, J. Sun, W. Zhang, and M. Zhang, “A survey of 5g channel measurements and models,” *IEEE Communications Surveys Tutorials*, vol. 20, no. 4, pp. 3142–3168, Fourthquarter 2018.

- [25] A. Goldsmith, *Wireless Communications*. Cambridge University Press, June 2005.
- [26] J. Abdoli, M. Jia, and J. Ma, “Filtered ofdm: A new waveform for future wireless systems,” in *2015 IEEE 16th International Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications (SPAWC)*, June 2015, pp. 66–70.
- [27] N. Michailow, M. Matthé, I. S. Gaspar, A. N. Caldevilla, L. L. Mendes, A. Festag, and G. Fettweis, “Generalized frequency division multiplexing for 5th generation cellular networks,” *IEEE Transactions on Communications*, vol. 62, no. 9, pp. 3045–3061, Sep. 2014.
- [28] P. Guan, D. Wu, T. Tian, J. Zhou, X. Zhang, L. Gu, A. Benjebbour, M. Iwabuchi, and Y. Kishiyama, “5g field trials: Ofdm-based waveforms and mixed numerologies,” *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 35, no. 6, pp. 1234–1243, June 2017.
- [29] L. Marijanovic, S. Schwarz, and M. Rupp, “Optimal numerology in ofdm systems based on imperfect channel knowledge,” *2018 IEEE 87th Vehicular Technology Conference (VTC Spring)*, pp. 1–5, 2018.
- [30] M. Hasan and E. Hossain, “Distributed resource allocation in 5g cellular networks,” 2014.
- [31] S. Abdulatif, “EXIT Charts for LDPC Codes,” Institute of Telecommunications, University of Stuttgart, Germany, Feb 2019, webdemo. [Online]. Available: <http://webdemo.inue.uni-stuttgart.de>
- [32] G. Breed, “Bit Error Rate : Fundamental Concepts and Measurement Issues,” *High Frequency Electronics*, pp. 46–48, January 2003.
- [33] L. Hanzo, W. Webb, and T. Keller, “Single- and multi-carrier quadrature amplitude modulation: Principles and applications for personal communications, watm and broadcasting,” April 2000.
- [34] D. Fitriyani, K. Anwar, and D. M. Saputri, “Study on radio frequency profile of indonesia digital television dvb-t2 for urban areas,” in *Pending*, March 2019, pp. –.
- [35] F. A. Newagy and S. H. Elramly, “Novel technique for scaling down ldpc code lengths in dvb-t2 standard,” in *2012 International Conference on Telecommunications and Multimedia (TEMU)*, July 2012, pp. 180–184.

- [36] S. ten Brink, “Convergence behavior of iteratively decoded parallel concatenated codes,” *IEEE Transactions on Communications*, vol. 49, no. 10, pp. 1727–1737, Oct 2001.

# LAMPIRAN

**LAMPIRAN A**  
**TABEL ADDRESSES PARITY BIT ACCUMULATORS LDPC**  
**CODES DVB-T2**

Lampiran ini menyajikan informasi mengenai nilai dari *addresses parity bit accumulator* LDPC codes DVB-T2 dengan  $N_{LDPC} = 16200$  untuk setiap *code rate*  $R_n = \left\{ \frac{1}{2}, \frac{3}{5}, \frac{2}{3}, \frac{3}{4}, \frac{4}{5}, \frac{5}{6} \right\}$ .

**Tabel A.1** Addresses of parity bit accumulators untuk  $N_{LDPC} = 16200$  dengan code rate  $R = \frac{4}{9}$ .

20	712	2386	6354	4061	1062	5045	5158
21	2543	5748	4822	2348	3089	6328	5876
22	926	5701	269	3693	2438	3190	3507
23	2802	4520	3577	5324	1091	4667	4449
24	5140	2003	1263	4742	6497	1185	6202
0	4046	6934					
1	2855	66					
2	6694	212					
3	3439	1158					
4	3850	4422					
5	5924	290					
6	1467	4049					
7	7820	2242					
8	4606	3080					
9	4633	7877					
10	3884	6868					
11	8935	4996					
12	3028	764					
13	5988	1057					
14	7411	3450					

**Tabel A.2** Addresses of parity bit accumulators untuk  $N_{LDPC} = 16200$  dengan code rate  $R = \frac{3}{5}$ .

**Tabel A.3** Addresses of parity bit accumulators untuk  $N_{LDPC} = 16200$  dengan code rate  $R = \frac{2}{3}$ .

**Tabel A.4** Addresses of parity bit accumulators untuk  $N_{LDPC} = 16200$  dengan code rate  $R = \frac{3}{4}$ .

**Tabel A.5** Addresses of parity bit accumulators untuk  $N_{LDPC} = 16200$  dengan code rate  $R = \frac{4}{5}$ .

5	896	1565
6	2493	184
7	212	3210
8	727	1339
9	3428	612
0	2663	1947
1	230	2695
2	2025	2794
3	3039	283
4	862	2889
5	376	2110
6	2034	2286
7	951	2068
8	3108	3542
9	307	1421
0	2272	1197
1	1800	3280
2	331	2308
3	465	2552
4	1038	2479
5	1383	6343
6	94	236
7	2619	121
8	1497	2774
9	2116	1855
0	722	1584
1	2767	1881
2	2701	1610
3	3283	1732
4	168	1099
5	3074	243
6	3460	945
7	2049	1746
8	566	1427
9	3545	1168

**Tabel A.6** Addresses of parity bit accumulators untuk  $N_{LDPC} = 16200$  dengan code rate  $R = \frac{5}{6}$ .

**LAMPIRAN B**  
**TABEL ADDRESSES PARITY BIT ACCUMULATORS**  
**DOWNSCALED LDPC CODES DVB-T2**

Lampiran ini menyajikan informasi mengenai nilai dari *addresses parity bit accumulator* LDPC codes DVB-T2 dengan  $N_{LDPC} = 270$  untuk setiap *code rate*  $R_n = \left\{ \frac{1}{2}, \frac{3}{5}, \frac{2}{3}, \frac{3}{4}, \frac{4}{5}, \frac{5}{6} \right\}$ .

**Tabel B.1** Addresses of parity bit accumulators untuk  $N_{LDPC} = 270$  dengan code rate  $R = \frac{4}{9}$ .

20	112	136	54	11	12	95	58
21	143	48	22	98	89	28	26
22	26	1	119	93	38	40	57
23	102	20	127	74	41	17	99
24	40	53	63	92	47	135	52
0	146	34					
1	5	66					
2	94	62					
3	139	108					
4	100	72					
5	74	140					
6	117	149					
7	20	142					
8	106	80					
9	133	77					
10	134	118					
11	85	46					
12	28	14					
13	138	7					
14	61	0					

**Tabel B.2** Addresses of parity bit accumulators untuk  $N_{LDPC} = 270$  dengan code rate  $R = \frac{3}{5}$ .

20	112	136	54	11	12	95	58
21	143	48	22	98	89	28	26
22	26	1	119	93	38	40	57
23	102	20	127	74	41	17	99
24	40	53	63	92	47	135	52
0	146	34					
1	5	66					
2	94	62					
3	139	108					
4	100	72					
5	74	140					
6	117	149					
7	20	142					
8	106	80					
9	133	77					
10	134	118					
11	85	46					
12	28	14					
13	138	7					
14	61	0					

**Tabel B.3** Addresses of parity bit accumulators untuk  $N_{LDPC} = 270$  dengan code rate  $R = \frac{2}{3}$ .

**Tabel B.4** Addresses of parity bit accumulators untuk  $N_{LDPC} = 270$  dengan code rate  $R = \frac{3}{4}$ .

**Tabel B.5** Addresses of parity bit accumulators untuk  $N_{LDPC} = 270$  dengan code rate  $R = \frac{4}{5}$ .

50	41	50
51	18	49
52	17	15
53	52	4
54	53	57
45	8	12
46	35	40
47	30	19
48	24	28
49	7	54
50	1	55
51	39	51
52	36	13
53	33	47
54	52	26
45	37	42
46	45	25
47	16	13
48	30	17
49	3	4
50	48	28
51	19	41
52	24	46
53	42	59
54	1	40
45	47	9
46	52	6
47	46	35
48	28	37
49	33	4
50	59	48
51	25	30
52	54	51
53	11	32
54	50	13

**Tabel B.6** Addresses of parity bit accumulators untuk  $N_{LDPC} = 270$  dengan code rate  $R = \frac{5}{6}$ .