

BAB III

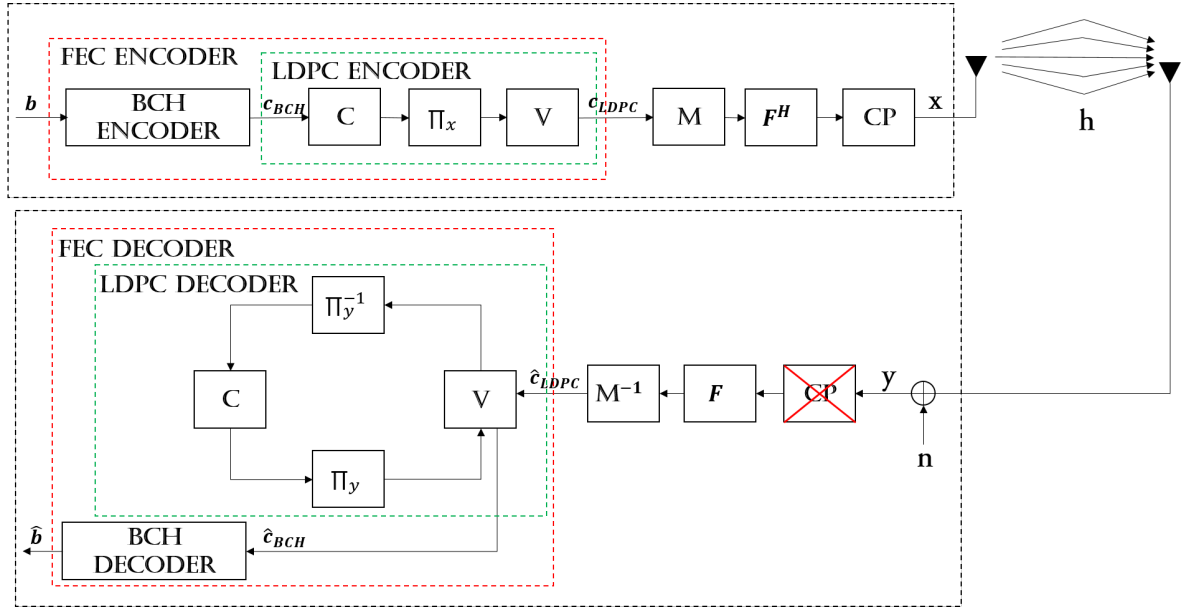
MODEL SISTEM DAN USULAN LDPC CODES DVB-T2

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. Parameter yang akan dianalisis adalah EXIT chart dan kinerja BER.

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 b dibangkitkan secara acak dengan probabilitas kemunculan bit 0 dan 1 sama. Bit yang telah dibangkitkan kemudian masuk ke FEC encoder, b yang masuk ke BCH encoder merupakan *outer code* FEC DVB-T2. Setelah itu dari proses BCH encoder menghasilkan *codeword* BCH (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 Π_x sehingga menghasilkan *codeword* (c_{LDPC}). Blok C merupakan deretan CND dan Blok V merupakan deretan VND. Blok *Bit Interleaver* (Π_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 *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) *baseband modulator* yang akan memodulasi frekuensi *subcarrier* untuk setiap simbol yang dibangkitkan pada blok ini. Simbol akan ditambahkan *Cyclic Prefix* (CP) untuk mempertahankan properti ortogonalitas sinyal dan mencegah terjadinya ISI dan *Inter Carrier Interference* (ICI). Berikutnya, data akan dikirimkan melalui antena dan melewati kanal *multipath*.

Sinyal terima berupa data yang telah terpengaruhi oleh *multipath channel* dan *noise*. Kemudian, CP pada sinyal OFDM yang diterima akan dihilangkan 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 *Demod-*



Gambar 3.1 Diagram blok sistem transmisi DVB-T2.

ulator (M^{-1}) menjadi bit \hat{c}_{LDPC} . Bit \hat{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 (Π_y^{-1}), Blok C, dan Blok Π_y . Proses *decoding* LDPC codes menggunakan *Sum Product Algorithm* (SPA), sehingga pada Blok V LLR diproses dengan persamaan

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

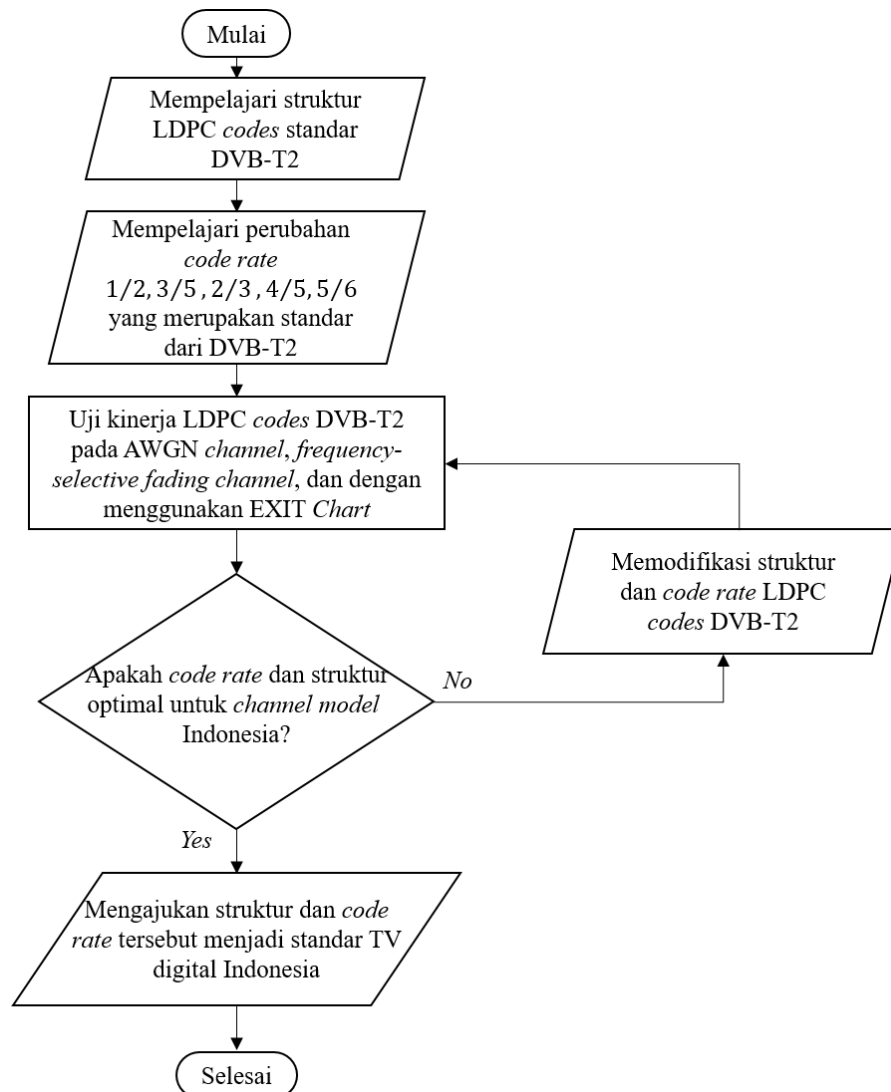
dan pada Blok C

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

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

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

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



Gambar 3.2 Diagram alir sistem pengujian.

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* Indonesia. Apabila kinerja LDPC codes dari standar DVB-T2 memiliki kinerja optimal di *channel model* 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* Indonesia, maka langkah selanjutnya perlu memodifikasi struktur dan *code rate* LDPC codes DVB-T2 sehingga dapat bekerja dengan baik dan optimal di *channel model* Indonesia.

3.3 Perancangan LDPC Codes DVB-T2

LDPC codes DVB-T2 dengan panjang blok $N_{LDPC} = 16200$ memiliki nilai *code rate* R : $\frac{1}{2}, \frac{3}{5}, \frac{2}{3}, \frac{3}{4}, \frac{4}{5}$, atau $\frac{5}{6}$. 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 H untuk setiap *code rate* menggunakan nilai seperti pada Tabel 2.2, sedangkan matriks generator G dibentuk menggunakan Gauss Jordan *elimination*. Tugas Akhir melakukan perancangan LDPC codes untuk semua *code rate*.

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

$$1 - R \times 16200, \quad (3.5)$$

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

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

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.

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 Pemodelan Kanal

LDPC *codes* akan diuji pada AWGN *channel* dan *frequency selective fading channel* dengan menggunakan modulasi QPSK.

3.5.1 AWGN Channel

Proses transmisi pada AWGN *channel* akan disimulasikan dengan menggunakan aplikasi MATLAB. Densitas spektral daya AWGN *channel* sama rata untuk semua frekuensi. Sumber *noise* pada AWGN *channel* berupa *noise thermal* yang diakibatkan oleh kondisi panas komponen elektronik di *receiver*. Sinyal yang diterima dalam aplikasi MATLAB didefinisikan sebagai

$$r_x = h \cdot t_x + n, \quad (3.9)$$

dengan r_x merupakan sinyal yang diterima oleh *receiver*, $h = 1$ untuk AWGN *channel*, t_x merupakan sinyal yang dikirimkan dari *transmitter*, dan n adalah

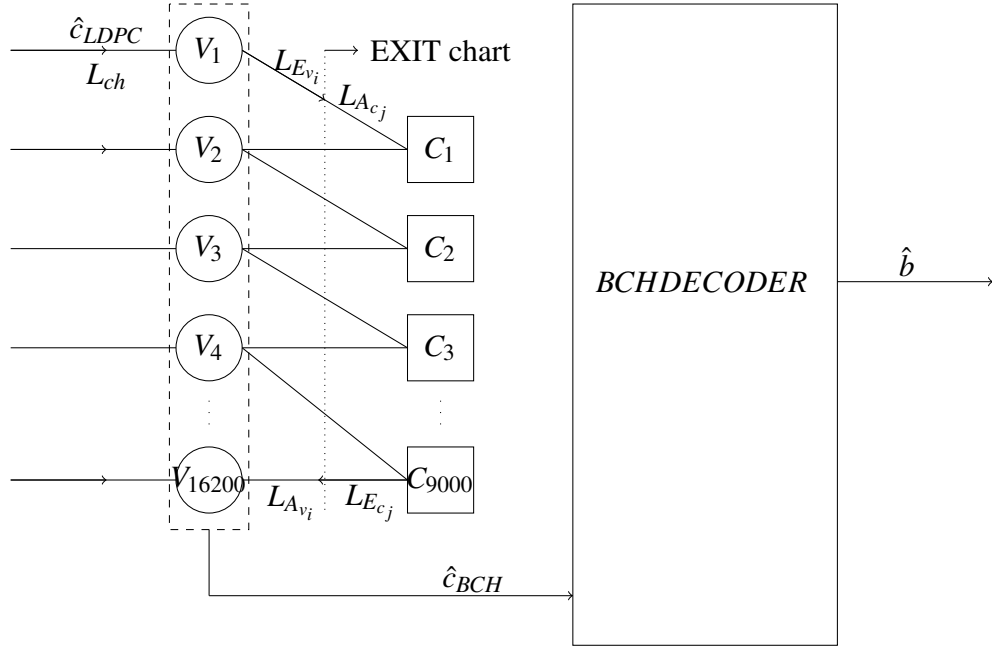
$$n = \sigma \cdot (\text{rand}(1, B)) + j \times (\text{rand}(1, B)), \quad (3.10)$$

dengan vektor *noise* n yang memiliki distribusi Gaussian sepanjang simbol (B) dengan varians pada σ^2 (*double-sided noise*) dan rata-rata nol. Probabilitas fungsi densitasnya

$$p(m) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left(\frac{-m}{2\sigma^2}\right). \quad (3.11)$$

3.5.2 Channel Model DVB-T2 Indonesia

Tugas Akhir ini mensimulasikan proses transmisi *broadband* pada *channel model* DVB-T2 Indonesia berdasarkan [22], *channel model* DVB-T2 di daerah Bandung digunakan sebagai representasi dari Indonesia. *Power delay profile* (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 saat *bandwidth* kanal lebih kecil daripada *bandwidth* sinyal transmisi, akibatnya kanal akan menghasilkan *multipath* dan ISI. Melalui NYUSIM, *channel model* Bandung setelah normalisasi menghasilkan 8 *path*. Untuk mengurangi efek dari *frequency selective fading channel* dan *multipath*, DVB-T2 menggunakan OFDM.



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

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

$$\begin{aligned} LLR &= \log \frac{P(y | x = +1)}{P(y | x = -1)}, \\ LLR &= \frac{2}{\sigma^2} \cdot y, \end{aligned} \quad (3.12)$$

dengan σ 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* dari standar untuk LDPC codes DVB-T2 dengan panjang $N_{LDPC} = 16200$. 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 *down-scaled* LDPC codes yang diusulkan oleh Tugas Akhir ini untuk code rate $R = \frac{4}{9}$ adalah

$$\Lambda(x) = \frac{1}{16200}x + \frac{8999}{16200}x^2 + \frac{5400}{16200}x^3 + \frac{1800}{16200}x^8, \quad (3.13)$$

$$\Omega(x) = \frac{1441}{9000}x^4 + \frac{3239}{9000}x^5 + \frac{3600}{9000}x^6 + \frac{720}{9000}x^7, \quad (3.14)$$

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

$$\Lambda(x) = \frac{1}{16200}x + \frac{6479}{16200}x^2 + \frac{6480}{16200}x^3 + \frac{3240}{16200}x^{12}, \quad (3.15)$$

$$\Omega(x) = \frac{1}{6480}x^8 + \frac{6479}{6480}x^9, \quad (3.16)$$

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

$$\Lambda(x) = \frac{1}{16200}x + \frac{5399}{16200}x^2 + \frac{9720}{16200}x^3 + \frac{1080}{16200}x^{13}, \quad (3.17)$$

$$\Omega(x) = \frac{1}{5400}x^9 + \frac{5339}{5400}x^{10}, \quad (3.18)$$

dan untuk code rate $R = \frac{11}{15}$ adalah

$$\Lambda(x) = \frac{1}{16200}x + \frac{4319}{16200}x^2 + \frac{11520}{16200}x^3 + \frac{360}{16200}x^{12}, \quad (3.19)$$

$$\Omega(x) = \frac{361}{4320}x^9 + \frac{1079}{4320}x^{10} + \frac{1440}{4320}x^{11} + \frac{1080}{4320}x^{12} + \frac{360}{4320}x^{13}, \quad (3.20)$$

dan untuk code rate $R = \frac{7}{9}$ adalah

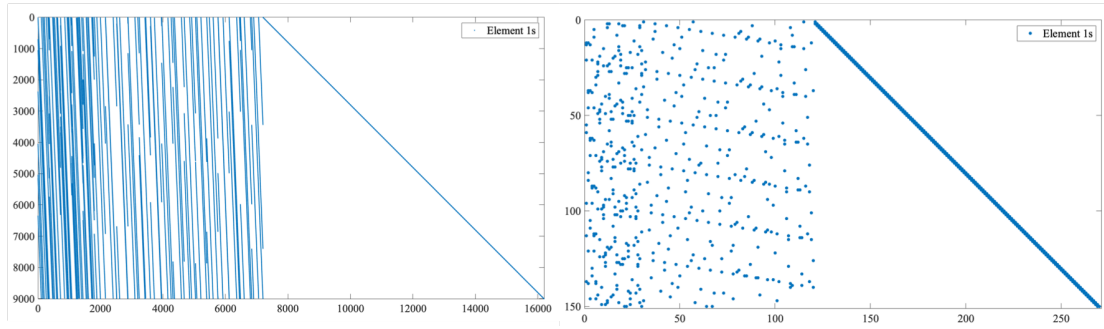
$$\Lambda(x) = \frac{1}{16200}x + \frac{3599}{16200}x^2 + \frac{12600}{16200}x^3, \quad (3.21)$$

$$\Omega(x) = \frac{361}{3600}x^{11} + \frac{1079}{3600}x^{12} + \frac{2160}{3600}x^{13}, \quad (3.22)$$

dan untuk code rate $R = \frac{37}{45}$ adalah

$$\Lambda(x) = \frac{1}{16200}x + \frac{2879}{16200}x^2 + \frac{12960}{16200}x^3 + \frac{360}{16200}x^{13}, \quad (3.23)$$

$$\Omega(x) = \frac{1}{2880}x^{15} + \frac{1439}{2880}x^{16} + \frac{360}{2880}x^{17} + \frac{360}{2880}x^{18} + \frac{720}{2880}x^{19}. \quad (3.24)$$



Gambar 3.4 Perbandingan matriks *parity check downscaled* dengan original LDPC codes DVB-T2.

3.8 Usulan LDPC Codes DVB-T2 menggunakan *Downscaled*

Metode *Downscaled* digunakan untuk mengurangi kompleksitas komputasi dari *encoder* dan *decoder*, sehingga akan meringankan proses simulasi dan memungkinkan untuk *device* dengan kemampuan komputasi rendah [23]. Langkah-langkah untuk *downscaling* LDPC codes DVB-T2 sesuai [23], sebagai berikut:

1. Tentukan *scaling factor* s_f , s_f harus merupakan faktor dari 360.
2. Masukkan nilai pada tabel *addresses of parity bit accumulators* 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 $r_1(j), r_2(j), r_3(j), \dots, r_q(j)$

$$r_q(j) = \text{mod} \{ [p_q(j) + J \times (k - 1)], [P/s_f] \}, \quad (3.25)$$

4. Nilai $r_q(j)$ akan menjadi tabel *addresses parity bit accumulators* baru untuk *downscaled* LDPC codes DVB-T2.

Dengan q adalah kolom dan j baris dari tabel *addresses parity bit accumulators*. Nilai s_f yang akan membentuk matriks *downscaled parity check* LDPC codes. P adalah nilai dari $N - K$ matriks LDPC codes original, 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 dari kinerja LDPC codes DVB-T2 dan meringankan proses simulasi. Perbandingan *downscaled* matriks *parity check* LDPC codes dengan original matriks *parity check* LDPC codes ditunjukkan oleh Gambar 3.4. Tugas Akhir ini telah melakukan *downscaled* 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* $R = \frac{4}{9}$ adalah

$$\Lambda(x) = \frac{1}{270}x + \frac{149}{270}x^2 + \frac{90}{270}x^3 + \frac{30}{270}x^8, \quad (3.26)$$

$$\Omega(x) = \frac{25}{150}x^4 + \frac{53}{150}x^5 + \frac{60}{150}x^6 + \frac{12}{150}x^{12}, \quad (3.27)$$

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

$$\Lambda(x) = \frac{1}{270}x + \frac{89}{270}x^2 + \frac{162}{270}x^3 + \frac{18}{270}x^{13}, \quad (3.28)$$

$$\Omega(x) = \frac{1}{90}x^9 + \frac{89}{90}x^{10}, \quad (3.29)$$

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

$$\Lambda(x) = \frac{1}{270}x + \frac{107}{270}x^2 + \frac{132}{270}x^3 + \frac{30}{270}x^{12}, \quad (3.30)$$

$$\Omega(x) = \frac{1}{108}x^8 + \frac{107}{108}x^9, \quad (3.31)$$

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

$$\Lambda(x) = \frac{1}{270}x + \frac{71}{270}x^2 + \frac{192}{270}x^3 + \frac{6}{270}x^{12}, \quad (3.32)$$

$$\Omega(x) = \frac{7}{48}x^{15} + \frac{17}{48}x^{16} + \frac{18}{48}x^{17} + \frac{6}{48}x^{18}, \quad (3.33)$$

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

$$\Lambda(x) = \frac{1}{270}x + \frac{71}{270}x^2 + \frac{198}{270}x^3, \quad (3.34)$$

$$\Omega(x) = \frac{7}{60}x^{11} + \frac{29}{60}x^{12} + \frac{24}{60}x^{13}, \quad (3.35)$$

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

$$\Lambda(x) = \frac{1}{270}x + \frac{71}{270}x^2 + \frac{192}{270}x^3 + \frac{6}{270}x^{12}, \quad (3.36)$$

$$\begin{aligned} \Omega(x) = & \frac{7}{72}x^9 + \frac{11}{72}x^{10} + \frac{36}{72}x^{11} + \frac{12}{72}x^{12} \\ & + \frac{6}{72}x^{13}. \end{aligned} \quad (3.37)$$

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.

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:

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

n

m

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

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

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*.

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

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

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

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.

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

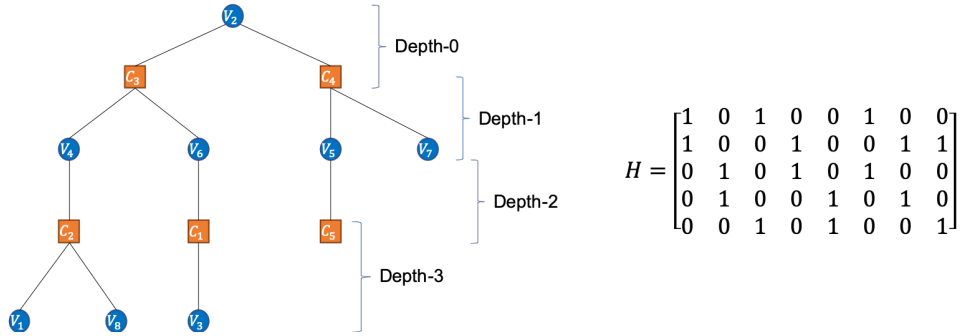
5. Algoritma *Anti Girth-4* dimulai dari iterasi ke-1, baris dari elemen 1 sebelumnya disimpan yang nantinya akan digunakan pada pengecekan akhir. Kemudian melakukan pengecekan dari kiri ke kanan apabila ditemukan elemen 1, maka akan berlanjut ke iterasi berikutnya. Apabila tidak ditemukan elemen 1 pada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

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

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

$$H_{\text{Baris_simpan}, \text{Kolom_simpan}} = 1, \quad (3.38)$$

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.



Gambar 3.5 Hasil graf pohon dan matriks *parity check* LDPC codes menggunakan algoritma PEG yang diusulkan.

Matriks *parity check* LDPC codes yang terbentuk dan graf pohon pada variable *nodes* ke-dua menggunakan aturan PEG ditunjukkan oleh Gambar 3.5. Dapat diketahui bahwa matriks *parity check* tidak menghasilkan *girth*-4.

3.9.1 Usulan LDPC Codes DVB-T2 menggunakan PEG

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

$$\Lambda(x) = \frac{1}{270}x + \frac{149}{270}x^2 + \frac{90}{270}x^3 + \frac{30}{270}x^8 \quad (3.39)$$

$$\Omega(x) = \frac{92}{150}x^5 + \frac{58}{150}x^6, \quad (3.40)$$

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

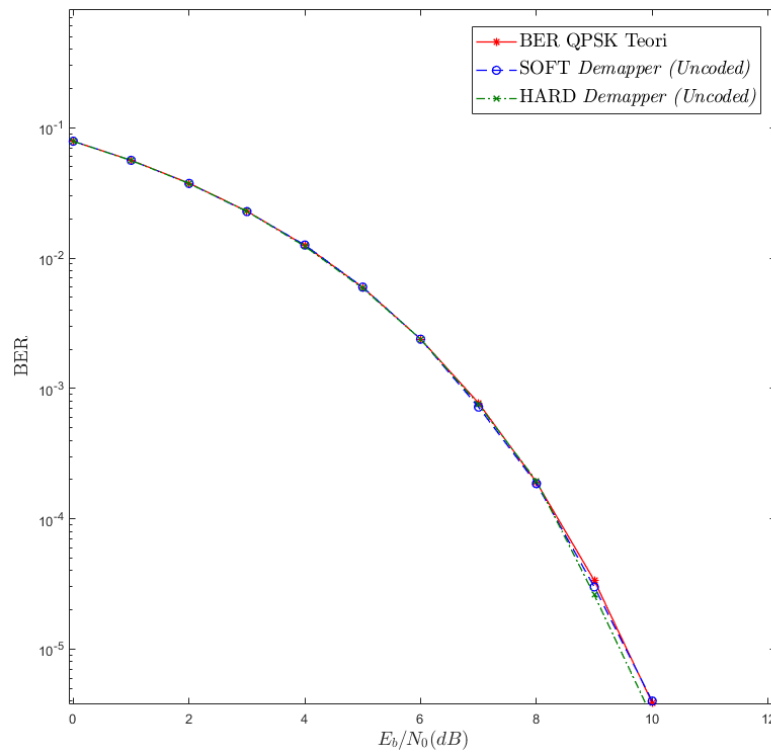
$$\Lambda(x) = \frac{1}{270}x + \frac{107}{270}x^2 + \frac{132}{270}x^3 + \frac{1}{270}x^7 + \frac{7}{270}x^8 + \frac{1}{270}x^9 + \frac{11}{270}x^{10} + \frac{10}{270}x^{12}, \quad (3.41)$$

$$\Omega(x) = \frac{59}{108}x^8 + \frac{49}{108}x^9, \quad (3.42)$$

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

$$\Lambda(x) = \frac{1}{270}x + \frac{89}{270}x^2 + \frac{162}{270}x^3 + \frac{1}{270}x^7 + \frac{9}{270}x^8 + \frac{1}{270}x^{12} + \frac{7}{270}x^{13}, \quad (3.43)$$

$$\Omega(x) = \frac{37}{90}x^{10} + \frac{53}{90}x^9, \quad (3.44)$$



Gambar 3.6 Nilai *Uncoded* BER QPSK pada AWGN channel.

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

$$\Lambda(x) = \frac{1}{270}x + \frac{71}{270}x^2 + \frac{192}{270}x^3 + \frac{6}{270}x^{12}, \quad (3.45)$$

$$\Omega(x) = \frac{4}{72}x^{10} + \frac{65}{72}x^{11} + \frac{3}{72}x^{12}, \quad (3.46)$$

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

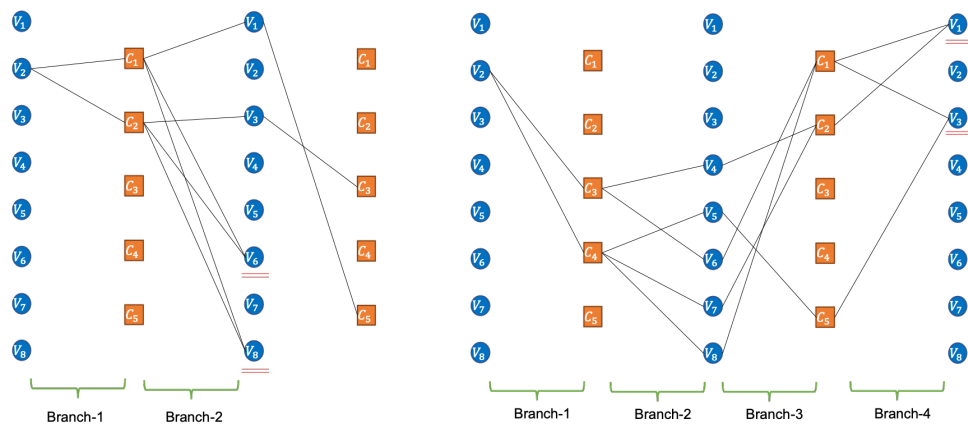
$$\Lambda(x) = \frac{1}{270}x + \frac{59}{270}x^2 + \frac{210}{270}x^3, \quad (3.47)$$

$$\Omega(x) = \frac{31}{60}x^{12} + \frac{29}{60}x^{13}, \quad (3.48)$$

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

$$\Lambda(x) = \frac{1}{270}x + \frac{76}{270}x^2 + \frac{185}{270}x^3 + \frac{2}{270}x^4 + \frac{1}{270}x^{12} + \frac{3}{270}x^{13} \quad (3.49)$$

$$\Omega(x) = \frac{5}{48}x^{15} + \frac{39}{48}x^{16} + \frac{2}{48}x^{17} + \frac{2}{48}x^{18}. \quad (3.50)$$



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

3.10 Bit Error Rate (BER)

Saat ini, segala komunikasi telah beralih ke bentuk komunikasi digital. Salah satu parameter pengukuran kinerja dari komunikasi digital menggunakan BER. Nilai BER didapat dari membandingkan bit yang diterima dengan bit yang ditransmisikan di sebuah sistem elektronika, antenna, dan *signal path* [24]. Untuk di AWGN *channel*, BER adalah kinerja yang dipengaruhi langsung oleh *noise channel* dan untuk di *fading channel* BER akan menjadi lebih buruk [25]. Persamaan sederhana BER adalah

$$BER = \frac{\text{jumlah bit error}}{\text{total bit yang dikirimkan}}. \quad (3.51)$$

3.11 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. 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

$$g = b \times 2, \quad (3.52)$$

maka nilai *local girth* g dapat diketahui.