

IMPLEMENTASI DAN ANALISIS *CHANNEL CODING* DVB-T2 PADA SOFTWARE GNURADIO

IMPLEMENTATION AND ANALYSIS OF *CHANNEL CODING* IN DVB-T2 USING GNURADIO SOFTWARE

Maryam Namira¹, Achmad Ali Muayyadi², Edwar³

^{1,2,3} Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Telkom University
¹maryamnamira@student.telkomuniversity.ac.id, ²alimuayyadi@telkomuniversity.ac.id,
³edwarm@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Channel coding adalah teknik yang digunakan sistem komunikasi dengan tujuan utama mendeteksi dan mengoreksi *error*. *Channel coding* yang digunakan pada DVB-T2 adalah *Forward Error Correction (FEC) encoding* dengan penggabungan dua jenis *code* yaitu *Low Density Parity Check (LDPC) code* dan *Bose Chaudhuri Hocquenghem (BCH) code* sehingga diharapkan dapat menghasilkan *Bit Error Rate (BER)* yang lebih kecil dari sistem dengan penggunaan satu jenis *code* saja. Tugas akhir ini mengimplementasikan blok DVB-T2 berdasarkan standar ETSI EN 302 755 V1.3.1 pada *software* GNURadio. Implementasi pada *software* GNURadio dilakukan dengan jumlah *subcarrier* 6817, *mapper* 64-QAM, besar *guard interval* 1/8 serta *code rate* 1/2, 3/5, 3/4, 4/5 and 5/6, sementara itu pada *software* simulasi BER dengan *code rate* 1/2 dan 3/5. Hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai E_b/N_0 terkecil didapatkan pada *code rate* LDPC 1/2 dengan E_b/N_0 0,79 dB dan *coding gain* sebesar 8,64 dB terhadap kurva BER teori pada BER 10^{-5} dan E_b/N_0 terbesar didapatkan pada *code rate* LDPC 3/5 dengan E_b/N_0 1,2 dB.

Kata kunci: DVB-T2, *channel coding*, GNURadio, TV Digital, *code rate*.

Abstract

Channel coding is a technique used in communication system with main purpose to detect and correct errors. *Channel coding* that has been used in DVB-T2 is *Forward Error Correction (FEC) encoding* with a concatenation of two code, thus are *Low Density Parity Check (LDPC) code* and *Bose Chaudhuri Hocquenghem (BCH) code*. It is expected to obtain lower *Bit Error Rate (BER)* with the use of concatenation code rather than usage of only one code. This thesis implement DVB-T2 blocks based ETSI EN 302 755 V1.3.1 in GNURadio software. Implementation in GNURadio software is done using number of *subcarrier* 6817, *mapper* 64-QAM, *guard interval* 1/8, and *code rate* 1/2, 3/5, 3/4, 4/5 and 5/6 while in BER simulation software is done with *code rate* 1/2 and 3/5. Simulation result smallest E_b/N_0 value obtained in LDPC code rate 1/2 with E_b/N_0 0.79 dB and *coding gain* 8.64 dB toward theoretical BER curve in BER 10^{-5} and biggest E_b/N_0 obtained in LDPC code rate 3/5 with E_b/N_0 1.2 dB.

Keywords: DVB-T2, *channel coding*, GNURadio, Digital TV, *code rate*.

1. Pendahuluan

Channel coding adalah teknik yang digunakan sistem komunikasi dengan tujuan utama mendeteksi dan mengoreksi *error*. *Channel coding* yang digunakan pada DVB-T2 adalah *Forward Error Correction (FEC) encoding* dengan penggabungan dua jenis *code* yaitu *Low Density Parity Check (LDPC)* dan *Bose Chaudhuri Hocquenghem (BCH) code*. LDPC *code* adalah *code* utama yang digunakan dalam sistem sementara itu BCH *code* berfungsi mendukung kinerja LDPC *code* ketika mengoreksi *error*. Pada [1] dijelaskan bahwa BCH *code* memiliki ketahanan yang baik terhadap *burst error*, sementara itu pada [1] LDPC *code* lebih rentan terhadap *burst error* walaupun baik dalam mengoreksi *multiple error*. Berdasarkan hasil pada [1] diperoleh data yang *error free* saat pentransmisian pada SNR 3 dB. Latar belakang tersebut melandasi penggunaan dua jenis *code* yaitu BCH dan LDPC pada implementasi sistem DVB-T2. Pada tugas akhir ini dilakukan implementasi sistem *transmitter* DVB-T2 pada *software* GNURadio berdasarkan standar ETSI EN 302 755 V1.3.1. Hasil implementasi pada GNURadio menghasilkan nilai SNR dan E_b/N_0 . Setelah itu, dilakukan implementasi sistem DVB-T2 pada aplikasi simulasi BER agar didapatkan grafik BER terhadap E_b/N_0 pada sistem DVB-T2. Implementasi pada GNURadio menggunakan *mapper* 64-QAM, besar *guard interval* 1/8, jumlah *subcarrier* 6817, serta *code rate* 1/2, 3/5, 3/4, 4/5 dan 5/6. Sementara itu implementasi pada *software* simulasi BER menggunakan *mapper* QPSK, dengan *guard interval* 1/8, dan *code rate* 1/2 dan 3/5. Pemilihan parameter pada *software* simulasi BER dilandasi alasan karena parameter tersebut adalah parameter paling sederhana.

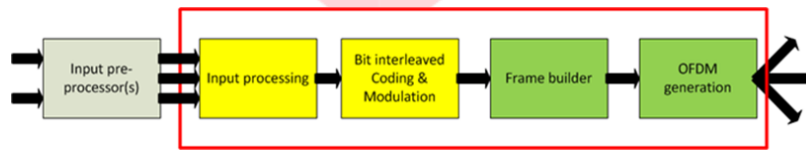
2. Teori Penunjang Implementasi Channel Coding pada Transmitter DVB-T2

A. Arsitektur Umum Sistem DVB-T2

Sistem DVB-T2 memiliki proses yang cukup panjang dimulai dari memilih masukan dalam bentuk video, proses pentransmisian, hingga video tersebut dapat diterima oleh penerima. Masukan berupa video yang dimasukkan ke dalam sistem akan diubah ke dalam bentuk bit. Bit tersebut kemudian ditambahkan header berdasarkan informasi mengenai video masukan lalu bit-bit tersebut diacak[2].

Setelah dilakukan pengacakan bit atau *scrambling*, bit-bit tersebut kemudian melalui proses *coding*. Pada proses ini, bit-bit tersebut dianggap sebagai *message* yaitu masukan pada proses *coding*. Dalam proses *coding*, *message* akan diubah ke dalam bentuk *codeword*. *Codeword* adalah *message* yang sudah ditambahkan bit *parity*[3]. Sementara itu, bit *parity* adalah bit yang ditambahkan pada *message* untuk membantu koreksi *error* pada bit *message* tersebut.

Setelah melalui proses *coding*, *codeword* yang semula dalam bentuk bit diurutkan lalu dipetakan dalam diagram konstelasi. Teknik pemetaan yang digunakan dalam sistem ini adalah *Gray mapping*. Bit-bit yang telah dipetakan tersebut kemudian ditransmisikan menggunakan *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM). Pentransmisian tersebut dilewatkan pada kanal Rayleigh yaitu kanal dengan kondisi penerimaan tanpa ada sinyal langsung dari pengirim sehingga sinyal yang diterima telah mengalami pemantulan, penghamburan, dan lain-lain.



Gambar 1. Sistem umum transmitter DVB-T2.

B. Perbedaan Sistem DVB-T dan Sistem DVB-T2

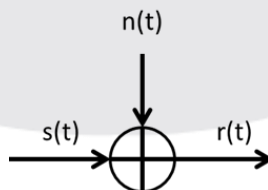
Secara keseluruhan, sistem DVB-T2 memiliki banyak perbedaan dibandingkan dengan pendahulunya DVB-T. DVB-T2 menawarkan data rate yang lebih tinggi dari DVB-T dan sinyal yang memiliki ketahanan lebih tinggi. Perbedaan DVB-T2 terhadap DVB-T dapat dilihat pada tabel di bawah ini [3]:

Tabel 1 Perbandingan sistem DVB-T dan DVB-T2

	DVB-T	DVB-T2
Input stream	Transport Stream (TS)	<ul style="list-style-type: none"> Transport Stream (TS) Generic Encapsulated Stream (GSE) Generic Continuous Stream (GCS) Generic Fixed Packet-length Packetized Stream (GFPS)
Channel coding	<ul style="list-style-type: none"> Outer coding: Reed Solomon Inner coding: Convolutional code 	<ul style="list-style-type: none"> Outer coding: BCH code Inner coding: LDPC code
Bandwidth	6 MHz, 7 MHz, and 8 MHz	1.7 MHz, 6 MHz, 7 MHz, 8 MHz, and 10 MHz
Modulation scheme	QPSK, 16-QAM, and 64-QAM	QPSK, 16-QAM, 64-QAM, and 256-QAM
Code rate	1/2, 2/3, 3/4, 5/6, and 7/8	1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, and 5/6
Guard interval	1/4, 1/8, 1/16, and 1/32	1/4, 19/128, 1/8, 19/256, 1/16, 1/32, and 1/128
FFT size	2k and 8k	1k, 2k, 4k, 8k, 16k, and 32k
Typical data rate	24 Mbit/s	40 Mbit/s
Max. data rate	31.7 Mbit/s (using 8 MHz)	45.5 Mbit/s (using 8 MHz)
Required C/N	16.7 dB	10.8 dB

C. Kanal Additive White Gaussian Noise

Kanal Gaussian adalah kanal *time-discrete* dengan *input* $s(t)$ dan *output* $r(t)$ dimana $r(t) = s(t) + n(t)$ dengan $n(t)$ sebagai model *noise* yang terdistribusi secara normal.



Gambar 2 Skema kanal AWGN.

Gambar 2 menjelaskan skema kanal AWGN dimana $s(t)$ sebagai sinyal yang ditransmisikan, $n(t)$ sebagai Gaussian noise, dan $r(t)$ sebagai sinyal keluaran. Dalam kondisi tanpa distorsi atau konstan, parameter noise dapat diperkirakan dengan parameter μ dan σ^2 dimana

$$m = \frac{1}{K} \sum_{k=0}^{K-1} w|k|. \quad (1)$$

Hukum bilangan besar dari probabilitas dan statistika telah membuktikan bahwa nilai K cenderung mendekati nilai ∞ sehingga sampel *mean* m konvergen terhadap μ yang dapat dianggap bernilai 0. Dengan nilai $\mu=0$, besar daya noise dapat diindikasikan dengan variansi σ^2 yang dapat diperkirakan dengan

$$s^2 = \frac{1}{K} \sum_{k=0}^{K-1} (w|k| - m)^2. \quad (2)$$

Sebelumnya telah disinggung mengenai $w|k|$ yang didapatkan dari distribusi Gaussian

$$f_w(w) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(w-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (3)$$

Dengan *zero-mean noise*, $\mu=0$ [4].

D. LDPC code dan BCH code

1. LDPC code

Low-density Parity Check (LDPC) code yang merupakan salah satu jenis *Linear Block Code* disebut *low density* karena memiliki jumlah bit 0 lebih banyak dari bit 1 sehingga memudahkan koreksi *multiple error* [5]. LDPC code sering digunakan karena memiliki performansi mendekati limit Shannon [1]. Ada dua jenis LDPC yaitu *regular* dan *irregular*. LDPC disebut *regular* apabila jumlah kolom (w_c) dan jumlah baris (w_r) dalam matriks *parity check* \mathbf{H} adalah konstan. Selain dari kriteria tersebut dianggap sebagai LDPC *irregular*. Contoh LDPC *irregular* dituliskan dalam matriks di bawah ini

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Sementara itu, LDPC *irregular* dituliskan dalam *degree distribution polynomial* $\lambda(x)$ yang didefinisikan sebagai persamaan

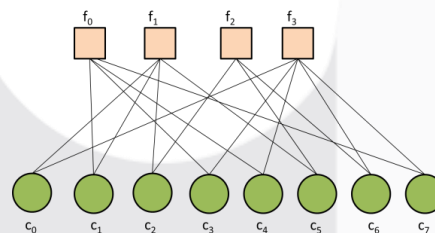
$$\lambda(x) = \sum_{i=2}^{d_i} \lambda_i x^{i-1} \quad (5)$$

$$\rho(x) = \sum_{i=2}^{d_r} \rho_i x^{i-1} \quad (6)$$

dengan $\lambda_i(x)$ dan $\rho_i(x)$ adalah fraksi yang termasuk dalam *variable node* dan *check node*, d_i adalah pangkat maksimum *variable node* d_r adalah pangkat maksimum *check node* [1]. Pada LDPC code terdapat dua cara representasi code yaitu dengan menggunakan matriks dan menggunakan grafik dengan penjelasan sebagai berikut sebagai berikut. LDPC code biasanya dituliskan dengan \mathbf{H} seperti pada persamaan (4) merupakan matriks *bit parity check* dengan ukuran $(n-k) \times k$ dengan n adalah *code length* dan k adalah $k = n - m$ dengan m adalah jumlah bit *parity check* dalam code. Matriks *parity check* terdiri dari matriks identitas dan matriks koefisien

$$\mathbf{H}_{(n-k) \times n} = [\mathbf{I}_{n-k} \quad \mathbf{P}^T] \quad (7)$$

seperti pada persamaan (7). Selain dalam bentuk matriks, LDPC code juga dapat direpresentasikan dalam grafik Tanner.



Gambar 3 Grafik Tanner.

Gambar 3 merupakan grafik Tanner dari matriks pada persamaan (4). Pada Gambar 3, terdapat bentuk persegi yaitu *check node* dan bentuk lingkaran yaitu *variable node*. Jumlah *variable node* dalam grafik sama dengan jumlah kolom, sementara itu jumlah *check node* sama dengan jumlah baris. Nilai 1 dalam matriks pada persamaan (7) menandakan adanya garis penghubung atau *edge* antara *check node* dan *variable node* sehingga didapatkan grafik Tanner seperti pada Gambar 3.

2. BCH code

Bose Chaudhuri Hocquenghem (BCH) code adalah salah satu jenis *cyclic codes* yang digunakan dalam sistem dalam sistem DVB-T2. Panjang code BCH atau disebut *error-correcting* BCH (N_{bch} , K_{ldpc}) ditentukan

oleh Tabel 2. *Code error-correcting* tersebut harus diaplikasikan pada tiap *frame* untuk menghasilkan paket yang terproteksi dari *error* [2].

Tabel 2 Polinomial BCH code untuk normal FEC frame.

$g_1(x)$	$1 + x^2 + x^3 + x^5 + x^{16}$
$g_2(x)$	$1 + x + x^4 + x^5 + x^6 + x^8 + x^{16}$
$g_3(x)$	$1 + x^2 + x^3 + x^4 + x^5 + x^7 + x^8 + x^9 + x^{10} + x^{11} + x^{16}$
$g_4(x)$	$1 + x^2 + x^4 + x^6 + x^9 + x^{11} + x^{12} + x^{14} + x^{16}$
$g_5(x)$	$1 + x + x^2 + x^3 + x^5 + x^8 + x^9 + x^{10} + x^{11} + x^{12} + x^{16}$
$g_6(x)$	$1 + x^2 + x^4 + x^5 + x^7 + x^8 + x^9 + x^{10} + x^{12} + x^{13} + x^{14} + x^{15} + x^{16}$
$g_7(x)$	$1 + x^2 + x^5 + x^6 + x^8 + x^9 + x^{10} + x^{11} + x^{13} + x^{15} + x^{16}$
$g_8(x)$	$1 + x + x^2 + x^5 + x^6 + x^8 + x^9 + x^{12} + x^{13} + x^{14} + x^{16}$
$g_9(x)$	$1 + x^5 + x^7 + x^9 + x^{10} + x^{11} + x^{16}$
$g_{10}(x)$	$1 + x + x^2 + x^5 + x^7 + x^8 + x^{10} + x^{12} + x^{13} + x^{14} + x^{16}$
$g_{11}(x)$	$1 + x^2 + x^3 + x^5 + x^9 + x^{11} + x^{12} + x^{13} + x^{16}$
$g_{12}(x)$	$1 + x + x^5 + x^6 + x^7 + x^9 + x^{11} + x^{12} + x^{16}$

Jenis BCH code yang digunakan pada DVB-T2 adalah *binary systematic BCH code*. BCH code pada sistem ini *codeword* C_{bch} terdiri dari bit *message* dan bit *parity check* yang dituliskan dalam bentuk $C_{bch} = [m_{bch}(K_{bch} - 1), \dots, m_{bch}(1), m_{bch}(0), p_{bch}(N_{bch} - K_{bch} - 1), p_{bch}(1), p_{bch}(0)]$ dengan m_{bch} dan C_{bch} dinotasikan dengan K_{bch} dan N_{bch} . Jenis BCH code yang digunakan pada sistem adalah *primitive BCH code* yang memiliki ciri panjang blok $2^m - 1$. Pada DVB-T2, BCH code yang digunakan adalah *primitive BCH code* dengan bit berorde tinggi dituliskan sebagai 0 dan tidak ditampilkan sehingga disebut *zero-padded primitive BCH code*. Struktur dari blok BCH code dituliskan dalam bentuk $[0, 0, \dots, 0, m_{bch}(K_{bch} - 1), \dots, m_{bch}(1), m_{bch}(0), p_{bch}(N_{bch} - K_{bch} - 1), p_{bch}(1), p_{bch}(0)]$ dengan 0 adalah BCH dengan panjang $2^m - N_{bch} - 1$. Nilai m pada BCH code DVB-T2 adalah 16 dan bit nol pada orde tinggi tersebut dapat diabaikan [6].

Sehingga dalam menentukan jumlah bit yang dapat dikoreksi pada sistem, dapat dihitung dengan rumus $n - k \leq mt$ dengan n adalah panjang *codeword*, k panjang bit *message*, m adalah derajat pada BCH code, dan t adalah kemampuan BCH mengoreksi *error*. Pada *code rate* 1/2 panjang *codeword* adalah 32400 dengan panjang bit *message* 32208. Hasil pengurangan *codeword* dengan bit *message* adalah 192. Diketahui nilai m adalah 16 maka jumlah bit yang dapat dikoreksi adalah hasil pembagian hasil pengurangan $n-k$ dengan m sehingga didapatkan hasil t dapat mengoreksi 12 bit yang *error*. Hasil yang didapatkan tersebut sesuai dengan Tabel 2.2 dari standar ETSI pada kolom keempat yang memaparkan jumlah bit yang dapat dikoreksi.

Bentuk polinomial dari *zero-padded primitive BCH code* dituliskan dalam bentuk polinomial dengan derajat $N_{bch} - 1$ atau 0. Sehingga hanya $\alpha^{2n(N_{bch}-1)}$ hingga α^{2n-0} yang dituliskan dalam *error* polinomial untuk membuktikan bahwa α adalah akar dari $\sigma(x)$ sehingga akar dari $\sigma(x)$ mulai dari $\alpha^{2n(N_{bch})}$ hingga α^0 tidak perlu diperiksa [7]. Sementara itu proses *decoding* akan dijelaskan pada subbab berikutnya.

Proses *encoding* pada BCH code diawali dengan mengubah *frame* ke dalam bentuk *message* bit $M = (m_{K_{bch}-1}, m_{K_{bch}-2}, \dots, m_1, m_0)$ dengan $m_{K_{bch}-1}$ adalah bit pertama dari *header frame* dan m_0 adalah bit terakhir dari *frame*. Kemudian *message* bit M diubah ke dalam bentuk polinomial dengan notasi $m(x)$ dengan $m(x) = m_{K_{bch}-1}x^{K_{bch}-1}, m_{K_{bch}-2}x^{K_{bch}-2}, \dots, m_1x, m_0$. *Message* dalam bentuk polinomial $m(x)$ kemudian dikalikan dengan $x^{N_{bch}-K_{bch}}$. Lalu, hasil perkalian tersebut dibagi dengan generator polinomial $g(x)$ sehingga didapatkan sisa pembagian yaitu $d(x)$ dengan $d(x) = d_{N_{bch}-K_{bch}-1}x^{N_{bch}-K_{bch}-1} + \dots + d_1x + d_0$. *Codeword* keluaran dari BCH *encoding* adalah *information word* I yang didapat dari polinomial *message* $m(x)$ dan polinomial sisa $d(x)$ dengan $I = (i_0, i_1, \dots, i_{N_{bch}-1}) = (m_{K_{bch}-1}, \dots, m_0, d_{N_{bch}-K_{bch}-1}, \dots, d_0)$. Selain itu, I juga dapat dituliskan dalam bentuk polinomial yaitu $c(x) = x^{N_{bch}-K_{bch}}m(x) + d(x)$ [6].

3. Perancangan Sistem Transmitter DVB-T2

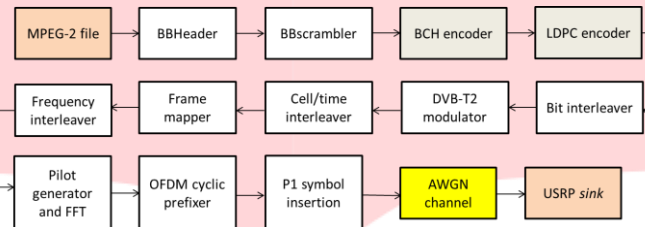
Perancangan sistem dimulai dengan studi literatur dan penentuan blok sistem, kemudian dilakukan penentuan batasan masalah yakni perubahan *code rate* dengan jumlah *subcarrier* 6817, *guard interval* 1/8 dan *mapper* 64-QAM pada sistem *transmitter* DVB-T2 dengan metode penelitian berupa implementasi blok sistem hasil studi literatur pada *software* GNURadio dan *software* simulasi BER. Setelah itu proposal tugas akhir dibuat dilanjutkan dengan perancangan dan implementasi blok sistem pada *software* GNURadio.

Hasil perancangan pada GNURadio kemudian dijalankan dan hasil keluaran didapatkan dari USRP *sink* dan File *sink* pada *software* GNURadio. Keluaran sistem tersebut menghasilkan nilai SNR yang didapatkan setelah sinyal dari *transmitter* melewati kanal sebagai bukti bahwa sistem pemanas telah bekerja. Setelah itu, dilakukan perhitungan nilai E_b/N_0 . Dikarenakan pada *software* GNURadio tidak terdapat blok penerima, BER

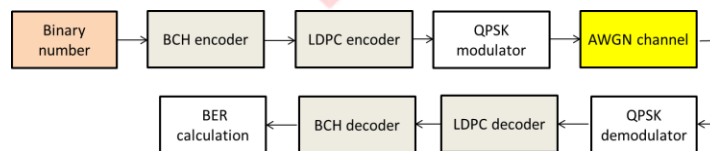
didapatkan dari implementasi sistem DVB-T2 pada *software* simulasi BER adalah termasuk hasil penggabungan LDPC dan BCH *code*. Hasil implementasi dan analisis yang didapatkan lalu disimpulkan.

A. Blok Implementasi GNURadio

GNURadio adalah *software open-source* yang menyediakan blok *signal processing* untuk implementasi berbagai jenis sistem komunikasi *wireless*. *Software* tersebut dapat digunakan untuk membuat aplikasi pengiriman dan penerimaan data dengan *hardware* radio maupun aplikasi simulasi. GNURadio memiliki tampilan *Graphical User Interface* (GUI) sehingga pengguna hanya perlu memasang blok yang diperlukan untuk sistem komunikasi yang digunakan sehingga memudahkan implementasi sistem komunikasi yang kompleks seperti sistem DVB-T2.



Gambar 5 Blok implementasi sistem transmitter DVB-T2 pada *software* GNURadio.



Gambar 6 Blok implementasi sistem DVB-T2 pada *software* Simulink.

Pada penelitian ini, dibuat blok diagram seperti pada Gambar 5 pada aplikasi *software* GNURadio sebagai blok *transmitter*. Keluaran dari blok tersebut merupakan SNR yang diperoleh dari File *sink*. Gambar 6 menjelaskan implementasi sistem DVB-T2 pada *software* Simulink. *Binary number* merupakan sumber MPEG-2 dalam bentuk biner. Keluaran *binary number* kemudian dikodekan dengan BCH dan LDPC *code*. Hasil *encoding* kemudian dimodulasi oleh QPSK dan OFDM lalu dilewatkan pada kanal AWGN. Setelah itu, dilakukan demodulasi OFDM dan QPSK. Hasil demodulasi mengalami *decoding* pada LDPC dan BCH *decoder* lalu didapatkan nilai BER.

B. Parameter Pengujian

Pengujian sistem merupakan langkah-langkah yang dilakukan untuk mengetahui kelayakan sistem yang telah dirancang. Data utama yang diperlukan dalam pengujian adalah parameter SNR, E_b/N_0 yang didapatkan dari *code rate* 1/2, 3/5, 3/4, 4/5, dan 5/6 serta BER yang didapatkan dari implementasi sistem DVB-T2 pada Simulink dengan *code rate* 1/2. Parameter pengujian yang digunakan pada implementasi sistem, yaitu:

1. File masukan pada *software* GNURadio adalah file MPEG-2
2. File masukan pada *software* simulasi BER adalah *binary number* yang dianggap sebagai file MPEG-2
3. *Code* yang digunakan dalam sistem adalah BCH *code* dan LDPC *code*
4. *Code rate* yang digunakan pada implementasi di GNURadio adalah 1/2, 3/5, 3/4, 4/5, dan 5/6 dan *software* simulasi BER adalah *code rate* 1/2 dan 3/5 untuk mengetahui pengaruh *code rate* terhadap nilai SNR dan E_b/N_0
5. Model kanal yang digunakan adalah AWGN dikarenakan merupakan jenis kanal paling sederhana
6. *Guard interval* yang digunakan adalah 1/8 dikarenakan merupakan *guard interval* paling sederhana dalam implementasi
7. FEC *frame* yang digunakan adalah *normal FEC frame*
8. Pada proses BCH *coding*, generator polinomial yang digunakan adalah $g_1(x)$ pada Tabel 2.3 dengan panjang data masukan $m(x)$ yang merupakan *baseband frame* DVB-T2. Sementara itu, panjang bit keluaran dari proses *encoding* BCH *code* bervariasi tergantung pada *code rate* LDPC yang dipakai dan dipaparkan dalam Tabel 2.2
9. Pada GNURadio, modulasi yang digunakan adalah 64-QAM dengan kanal AWGN, jumlah *subcarrier* 6817, dan *coding* BCH dan LDPC *code* sementara itu pada *software* simulasi BER modulasi yang digunakan adalah QPSK dan parameter lainnya sama dengan pada *software* GNURadio.

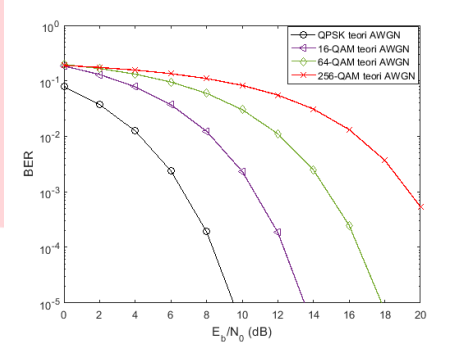
C. Tata Cara Perhitungan SNR, E_b/N_0 , dan BER pada Sinyal DVB-T2

Berdasarkan [7], setelah didapatkan E_b/N_0 maka nilai BER dapat dicari dengan persamaan di bawah ini:

$$P_b = \frac{2(\sqrt{M}-1)}{\sqrt{M} \log_2 M} Q \left(\sqrt{\frac{2 \frac{E_b}{N_0} \log_2 M}{(M-1)}} \right) \tag{9}$$

dengan P_b merupakan probabilitas *error bit* dan M merupakan jumlah simbol pada *mapper*. Persamaan probabilitas *error* tersebut berlaku untuk modulasi M-QAM, sementara itu untuk modulasi QPSK digunakan persamaan

$$P_b = Q \left(\sqrt{2 \frac{E_b}{N_0}} \right) \tag{10}$$



Gambar 7 Grafik BER berdasarkan teori.

4. Hasil Penelitian dan Analisis

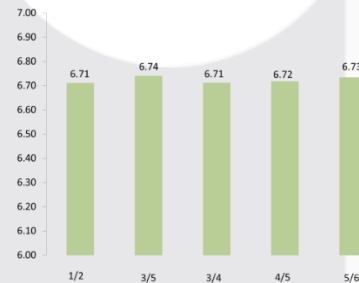
A. Nilai Kualitas Sinyal Berdasarkan Pengukuran dan Analisis

Setelah dilakukan implementasi sistem, hasil implementasi disimpan ke dalam *database* file lalu dilakukan pengukuran nilai SNR. Sistem yang diimplementasikan pada *software* GNURadio menggunakan jumlah *subcarrier* 6817 pada *mapper* 64-QAM.

Tabel 3 Besar hasil pengukuran SNR 64-QAM pada spectrum analyzer

No	Code rate	SNR	SNR (dB)
1	1/2	4.69	6.71
2	3/5	4.72	6.74
3	3/4	4.69	6.71
4	4/5	4.70	6.72
5	5/6	4.71	6.73

Berdasarkan hasil pengukuran didapatkan nilai SNR sebesar 6,71 dB pada *code rate* 1/2, nilai SNR sebesar 6,74 dB pada *code rate* 3/5, nilai SNR sebesar 6,71 dB pada *code rate* 3/4, sementara itu pada *code rate* 4/5 nilai SNR sebesar 6,72 dB, dan SNR sebesar 6,73 dB pada *code rate* 5/6. Berdasarkan hasil analisis pengaruh nilai *code rate* terhadap SNR pada *mapper* 64-QAM didapatkan bahwa *code rate* mempengaruhi nilai SNR akan tetapi pada hasil implementasi hasil yang didapatkan cenderung relatif konstan dikarenakan daya yang digunakan adalah tetap, diilustrasikan oleh Gambar 8.



Gambar 8 Grafik code rate terhadap SNR pada mapper 64-QAM.

Grafik nilai SNR pada Gambar 8 ditujukan sebagai bukti bahwa sistem DVB-T2 telah berhasil diuji secara fungsional pada *software* GNURadio.

B. Nilai Energy bit per Noise Berdasarkan Perhitungan

Pada bab sebelumnya, telah dijelaskan tata cara perhitungan nilai E_b/N_0 yang didapat dari nilai SNR. Adapun hasil perhitungan E_b/N_0 pada *mapper* 64-QAM dipaparkan pada tabel di bawah.

Tabel 4 Hasil perhitungan E_b/N_0 pada *mapper* 64-QAM.

No	Code rate	E_b/N_0 (dB)
1	1/2	6.71
2	3/5	5.95
3	3/4	4.95
4	4/5	4.68
5	5/6	4.52

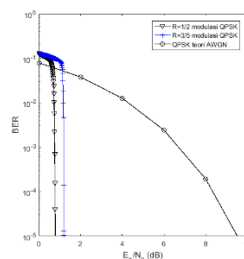
Pada *mapper* 64-QAM didapatkan nilai E_b/N_0 sebesar 6,71 dB pada *code rate* 1/2, nilai E_b/N_0 sebesar 5,95 dB pada *code rate* 3/5, nilai E_b/N_0 sebesar 4,95 dB pada *code rate* 3/4, nilai E_b/N_0 sebesar 4,68 dB *code rate* 4/5, dan nilai E_b/N_0 sebesar 4,52 dB *code rate* 5/6.

Hasil perhitungan pada Tabel 4 memperlihatkan nilai E_b/N_0 yang relatif tidak banyak berubah karena daya sinyal yang dikirim relatif tetap. Sesuai teori *code rate*: $R_c = \frac{R_{b_i}}{R_{b_c}}$ dengan R_{b_i} adalah *information bit rate* dan R_{b_c} adalah *coded bit rate*. Pada daya tetap dan R_{b_c} tetap maka jika *code rate* R_c naik *information bit rate* R_{b_i} juga naik. Efisiensi akan naik namun nilai BER juga akan naik.

C. Implementasi Sistem pada Simulink dan Analisis

Pengujian blok diagram sistem *transmitter* DVB-T2 pada *software* simulasi BER dilakukan berdasarkan parameter yang telah ditentukan pada Subbab 3.4. Dalam pengujian sistem akan diukur BER berdasarkan hasil pemodelan kanal AWGN pada *software* simulasi.

Pada penelitian yang dilakukan, masukan yang digunakan adalah Bernoulli *binary* dengan panjang 1504 bit yang merupakan representasi dari panjang *frame* DVB-T2 yaitu 188 *byte*. Bit keluaran kemudian melalui BBFRAME *buffering* yaitu proses pembentukan *frame* BCH *message*. Setelah itu bit melalui BCH *encoder* hingga dilewatkan ke dalam kanal. Setelah sampai penerima dilakukan proses demodulasi dan *decoding*. Keluaran dari proses tersebut pun digunakan untuk menghitung *Bit Error Rate* (BER) yang merupakan hasil penggabungan BCH dan LDPC *code*.



Gambar 9 Grafik BER hasil simulasi.

Tabel 5 Nilai E_b/N_0 pada BER 10^{-5} .

Code rate	E_b/N_0	Coding gain
1/2	0,79 dB	8,64 dB
3/5	1,20 dB	8,24 dB

Hasil simulasi pada BER 10^{-5} disajikan dalam Tabel 5, berdasarkan hasil didapatkan nilai E_b/N_0 terkecil pada *code rate* LDPC 1/2 dengan E_b/N_0 0,79 dB dan *coding gain* sebesar 8,64 dB terhadap kurva BER teori. Sementara itu, E_b/N_0 terbesar didapatkan pada *code rate* LDPC 3/5 dengan E_b/N_0 1,2 dB dan *coding gain* sebesar 8,24 dB. Pada Tabel 4.3 terlihat bahwa semakin besar ukuran *code rate* maka nilai E_b/N_0 semakin besar sehingga membutuhkan lebih banyak daya baterai (E_b/N_0). Pada Gambar 9 terlihat bahwa semakin kecil ukuran *code rate* semakin kecil nilai BER dan E_b/N_0 yang dibutuhkan sehingga efisiensi daya semakin baik, yaitu pada *code rate* LDPC 1/2 dibutuhkan E_b/N_0 0,79 dB untuk mencapai BER 10^{-5} sementara itu pada *code rate* LDPC 3/5

membutuhkan E_b/N_0 1,2 dB untuk mencapai BER 10^{-5} yang membutuhkan lebih banyak daya. Sehingga *code rate* LDPC 1/2 memiliki efisiensi daya lebih besar daripada *code rate* LDPC 3/5 pada nilai BER yang sama.

5. Kesimpulan

Tugas akhir ini telah mengimplementasikan pemancar DVB-T2 dan menganalisis pengaruh *channel coding* DVB-T2 pada *software* GNURadio dan *software* simulasi BER. Berdasarkan hasil implementasi didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil simulasi menunjukkan didapatkan nilai E_b/N_0 terkecil pada *code rate* LDPC 1/2 dengan E_b/N_0 0,79 dB dan *coding gain* sebesar 8,64 dB terhadap kurva BER teori pada BER 10^{-5} dan E_b/N_0 terbesar didapatkan pada *code rate* LDPC 3/5 dengan E_b/N_0 1,2 dB dan *coding gain* sebesar 8,24 dB sehingga disimpulkan bahwa semakin besar ukuran *code rate* semakin besar daya yang dibutuhkan untuk nilai BER yang sama
2. Dalam implementasi sistem DVB-T2 terdapat beberapa kendala yaitu implementasi OFDM pada *software* simulasi BER. Dikarenakan terdapat beberapa parameter dalam *software* simulasi BER yang kurang akurat seperti komponen OFDM modulator menyebabkan kendala yaitu nilai BER yang dihasilkan pada simulasi terhadap BER teori tidak sama
3. Kendala lain yang ditemukan penulis dalam penelitian ini adalah belum terdapat blok *receiver* DVB-T2 pada *software* GNURadio sehingga implementasi pada *receiver* masih dilakukan menggunakan *software* simulasi BER
4. Selama penelitian, penulis menemukan bahwa ketika hanya digunakan satu jenis *code* saja baik BCH maupun LDPC didapatkan BER lebih besar sehingga penggunaan kedua *code* memperkecil nilai BER sama. Penulis juga mengetahui bahwa bahwa BCH *code* dapat membantu LDPC *code* mengatasi *burst error*.

DAFTAR REFERENSI

- [1] Edmond Nurellari, "LDPC Coded OFDM and It's Application To DVB-T2, DVB-S2 and IEEE 802.16e," Eastern Mediterranean University, Gazimagusa, North Cyprus, Master Thesis 2012.
- [2] European Telecommunications Standard Institute, Digital Video Broadcasting (DVB): Frame Structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2), 302755131st ed. Valbonne, France: ETSI, 2011.
- [3] Walter Fischer, Digital Television: A Practical Guide for Engineers. Munchen, Germany: Springer, 2003.
- [4] Tomas Kratochvil and Radim Stukavec, "DVB-T Digital Terrestrial Television Transmission over Fading Channels," in RADIOENGINEERING, Brno, 2008, pp. 96-102.
- [5] Endah Setyowati, "Analisis Performansi Low Density Parity Check (LDPC) pada Kanal WIFI Standar 802.11n," Telkom University, Bandung, Bachelor Thesis 2014.
- [6] Mingchao Yu, "A Study of DVB-T2 Standard with Physical Layer Transceiver Design and Implementation," Australian National University, Master Thesis 2011.
- [7] Andrea Goldsmith, Wireless Communication. California, United States of America: Stanford University, 2004.