

**ANALISIS DAN SIMULASI PENGARUH *GOLDEN SPACE TIME BLOCK CODE* (STBC)
PADA *MULTIPLE ANTENNA* UNTUK SISTEM TELEVISI DIGITAL TERESTRIAL
GENERASI KEDUA (DVB-T2)**

*Analysis and Simulation of the Effect Space Time Block Code on Multiple Antenna for
Digital Video Broadcasting Terrestrial Second Generation (DVB-T2)*

Sandria Abhiseka¹, Rina Pudji Astuti², Linda Meylani³

^{1,2,3}Fakultas Teknik Elektro Universitas Telkom, Bandung

¹sandria.abhiseka@gmail.com, ²rpa@ittelkom.ac.id, ³lim@ittelkom.ac.id

ABSTRAK

DVB (*Digital Video Broadcasting*) adalah salah satu sistem *broadcasting* yang digunakan untuk mentransmisikan siaran televisi atau video digital hingga ke pengguna akhir (*end-user*). Salah satu dari standar DVB adalah *Digital Video Broadcasting Terrestrial Second Generation* (DVB-T2). Pada DVB-T2 juga telah diimplementasikan pengiriman *High Definition Television* (HDTV) walau masih sangat terbatas. Ketahanan video HDTV terhadap *noise* tidak terlalu tinggi sehingga akan terjadi penurunan kualitas sinyal yang diterima *user* jika kondisi kanal memburuk. Hal ini disebabkan karena perubahan kanal yang dilewati, antara lain dapat disebabkan oleh kanal *multipath*, pergerakan benda disekitar *user*, pergerakan *user* itu sendiri dan *noise*.

Untuk mengatasi masalah di atas dapat digunakan teknik *multiple* antena tipe *Space Time Block Code* (STBC) untuk meningkatkan ketahanan sinyal terhadap *noise*. Penggunaan *multiple* antena STBC Alamouti pada DVB-T2 dapat meningkatkan ketahanan sinyal terhadap *noise* di sisi penerima dengan jumlah antena yang sama. Di sisi lain, ada tipe STBC lain yaitu *golden code* yang juga dapat meningkatkan ketahanan sinyal terhadap *noise* jumlah antena yang sama. Dalam penelitian tugas akhir ini telah dibandingkan BER terhadap Eb/No yang direpresentasikan dengan grafik dari kedua jenis STBC tersebut

Hasil penelitian menunjukkan bahwa STBC *golden code* memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan STBC *Alamouti* dengan jumlah antena yang sama. Pada STBC *golden code* 2x1 untuk mencapai target BER 10^{-5} membutuhkan Eb/No sebesar 17,67 dB, untuk STBC *golden code* 2x2 membutuhkan 15,68 dB. Sedangkan Pada STBC *Alamouti* 2x1 membutuhkan 19,68 dB, untuk STBC *Alamouti* 2x2 membutuhkan 18,71 dB. Didapatkan hasil penelitian bahwa STBC *golden code* 2x1 dan STBC *Alamouti* 2x1 memiliki *coding gain* sebesar 2,01 dB. Sedangkan untuk STBC *golden code* 2x2 dan STBC *Alamouti* 2x2 memiliki *coding gain* sebesar 3,03 dB.

Kata Kunci : DVB-T2, HDTV, STBC, *multiple* antena, *Alamouti*, *golden code*, BER, Eb/No

ABSTRACT

DVB (*Digital Video Broadcasting*) is one of the broadcasting system that is used to transmit digital television broadcast or video to the end user . One of the standard DVB is *Digital Video Broadcasting Terrestrial Second Generation* (DVB-T2). In DVB-T2 also has implemented the delivery of *High Definition Television* (HDTV) although still very limited. HDTV video's robustness against noise is not too high so that there will be a decrease in the quality of the signal receive at the user if bad channel conditions. This is because the channel changes, can be caused by *multipath* channel, movement objects around the user, the user's own movement and noise.

To solve the problems mentioned above, can be used *multiple* antenna technique *Space Time Block Code* (STBC) to increase signal robustness against noise. The use of *multiple* antennas *Alamouti* STBC in the DVB-T2 signal can increase resistance to noise ratio at the receiver side. On the other hand, there are other types of STBC which can also increase the resistance of the signal to noise using same number of antennas. The STBC is *golden code* In this research has compared the BER against Eb / No is represented by a graph of the two types of STBC. STBC *Alamouti* and STBC *golden code*.

The results show that the STBC *golden code* has better performance than the STBC *Alamouti* with the same number of antennas. In the STBC *golden code* 2x1 to achieve the BER target 10^{-5} requires Eb/No 17.67 dB, for the STBC *golden code* 2x2 requires 15.68 dB. While the STBC 2x1 *Alamouti* requires 19.68 dB, for STBC 2x2 *Alamouti* requires 18.71 dB. Research showed that the STBC *golden code* 2x1 and STBC 2x1 *Alamouti* has *coding gain* 2.01 dB. As for the STBC *golden code* 2x2 and STBC *Alamouti* 2x2 has *coding gain* 3.03 dB.

Keyword : DVB-T2, HDTV, STBC, *Alamouti*, *golden code*, BER, Eb/No

I. PENDAHULUAN

DVB (*Digital Video Broadcasting*) adalah salah satu sistem *broadcasting* yang digunakan untuk mentransmisikan siaran televisi atau video digital hingga ke pengguna akhir (*end-user*). DVB dikembangkan berdasarkan latar belakang pentingnya sistem *broadcasting* yang bersifat terbuka, yang ditunjang oleh kemampuan fleksibilitas dan aspek komersial.

Salah satu dari standar DVB adalah *Digital Video Broadcasting Terrestrial Second Generation* (DVB-T2). Penggunaan DVB-T2 sendiri telah banyak diadopsi oleh berbagai negara di dunia. Di Indonesia telah mulai diimplementasikan penggunaan DVB-T2 sejak tahun 2012^[10] menggantikan standar sebelumnya yaitu DVB-T. Sampai tahun 2018 Indonesia akan melakukan migrasi secara bertahap dari televisi analog ke DVB-T2^[11]. Hal ini tentu akan menambah jumlah pengguna setiap tahunnya. Pada DVB-T2 juga telah diimplementasikan pengiriman *High Definition Television* (HDTV)^[1] walau masih sangat terbatas. Hal ini dikarenakan HDTV membutuhkan bandwidth yang lebar dan infrastruktur perangkat di Indonesia sampai tahun ini belum memadai. Ketahanan video HDTV terhadap *noise* tidak terlalu tinggi sehingga akan terjadi penurunan kualitas sinyal yang diterima di *user* jika kondisi kanal memburuk. Hal ini disebabkan karena adanya perubahan kanal propagansi antara lain dapat disebabkan oleh kanal *multipath*, pergerakan benda disekitar *user*, pergerakan *user* itu sendiri dan *noise*.

Penurunan kualitas sinyal di penerima diindikasikan dengan *Bit Error Rate* (BER) yang meningkat. Untuk mengatasi masalah di atas dapat digunakan teknik *multiple antenna* tipe *Space Time Block Code* (STBC) untuk meningkatkan ketahanan sinyal terhadap *noise*. Pada penelitian yang dilakukan oleh Joerg Robert^[8], penggunaan *multiple antenna* tipe *alamouti* pada DVB-T2 dapat meningkatkan ketahanan sinyal terhadap *noise* di sisi penerima dengan jumlah antenna yang sama. Di sisi lain, pada penelitian yang dilakukan oleh Shobhit Saxena, Manav R. Bhatnagar, dan Binod K. Kanaujia^[9] menjelaskan bahwa ada tipe STBC lain yaitu *golden code* yang kinerjanya lebih bagus daripada STBC *alamouti* dengan jumlah antenna yang sama.

Dari pemaparan di atas, pada penelitian ini dibuat kombinasi antara sistem komunikasi DVB-T2 dengan *multiple antenna* menggunakan STBC tipe *golden code* untuk mendapatkan ketahanan sinyal di penerima terhadap *noise* di sistem DVB-T2 yang paling optimal. Berdasarkan masalah di atas, dalam tugas akhir ini dilakukan simulasi dan analisis kinerja dari penggunaan *multiple antenna* STBC *golden code* pada sistem DVB-T2 dan perbandingannya jika menggunakan STBC *alamouti* dan *single antenna*. Hasil analisis dari tugas akhir ini adalah grafik perbandingan BER terhadap Eb/No yang dihasilkan sistem

II. DASAR TEORI

A. DVB-T2

Digital Video Broadcasting Terrestrial 2nd Generation (DVB-T2) merupakan salah satu standar yang digunakan untuk sistem televisi digital yang menggunakan media

terrestrial sebagai media propagasinya. Standar ini sudah banyak digunakan di berbagai macam negara, khususnya di negara-negara eropa. Standar ini dikembangkan dari standar pendahulunya yaitu *Digital Video Broadcasting Terrestrial Generasi Pertama* (DVB-T).

Perbedaan yang mendasar dari DVB-T dengan DVB-T2 adalah seperti berikut

- Menggunakan teknik *Forward Error Control* (FEC) yang baru serta ukuran konstelasi yang lebih tinggi (256 QAM), *rotated constellation*, dan *multiple antenna* yang dapat meningkatkan kapasitas gain 25-30 %.
- OFDM *carrier* bertambah dari 8k sampai 32k.
- Penambahan teknik *interleaving* yaitu *bit*, *cell*, *time* dan *frequency interleaving*.

B. STBC Alamouti

Sistem *alamouti* adalah salah satu skema *space time coding* pertama yang ditemukan untuk sistem MIMO untuk meningkatkan *diversity gain*. Dengan meningkatkan *diversity gain* maka dapat mendapatkan BER yang lebih kecil. Di sisi *transmitter* simbol yang akan dikirimkan didapat dari blok modulator. Pada kasus *alamouti* MIMO 2x2 dan MIMO 2x1 dua simbol termodulasi yaitu x_1 dan x_2 membentuk matriks X dimana simbol x_1 dan x_2 ditempatkan ke dua sinyal transmisi melewati dua *antenna* di dalam dua *transmit timeslot*.

C. Alamouti MIMO 2x1

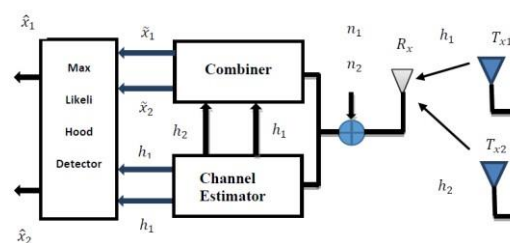
Pada skema *alamouti* MIMO 2x1 pada *antenna* penerima, sinyal yang diterima dimisalkan r_1 dan r_2 , dapat dituliskan sebagai berikut^[19]:

$$r_1 = r(t) = h_1 x_1 + h_2 x_2 + n_1$$

$$r_2 = r(t+T) = -h_1 x_2^* + h_2 x_1^* + n_2$$

dengan h_1 adalah respon kanal antenna 1, h_2 adalah respon kanal antenna 2, x_1 dan x_2 simbol yang dikirimkan. n_1 dan n_2 adalah noise.

Untuk meng-estimasi simbol yang dikirimkan (dalam kasus ini ada dua) *decoder* perlu memperoleh informasi *channel state information* (CSI)^[19]. Di tugas akhir ini diasumsikan CSI nya sempurna. Selain itu digunakan pula *combiner* sinyal yang dapat dilihat pada gambar 2.5



Gambar 2.1 Decoder STBC Alamouti MIMO 2x1^[19]

Channel estimator bersama dengan keluaran dari *combiner* akan melewati *detector Maximum Likelihood* (ML). untuk memperoleh perkiraan simbol yang ditransmisikan.

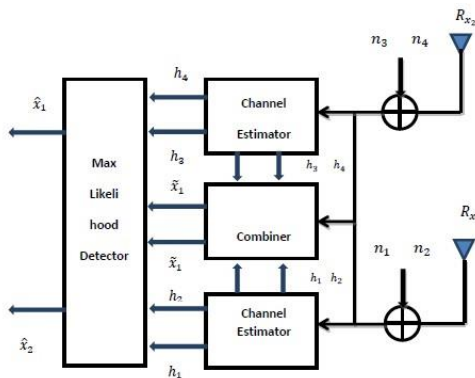
Menimbang bahwa semua titik konstelasi bersifat *equiprobable* yang berarti peluang munculnya sama, *decoder*

akan memilih semua pasangan dari sinyal (\hat{x}_1, \hat{x}_2) yang memiliki jarak terpendek.

D. Alamouti MIMO 2x2

Pada skema *alamouti* MIMO 2x2 pada dua *antenna* penerima, sinyal yang diterima r_1, r_2, r_3 dan r_4 yang dapat dilihat pada gambar 2.6. Dua *antenna receiver* yang dijelaskan pada [20] akan meningkatkan *diversity gain* dibandingkan jika menggunakan satu *antenna receiver*. Sinyal yang diterima adalah [19]:

$$\begin{aligned} r_1 &= h_1x_1 + h_2x_2 + n_1 \\ r_2 &= -h_1x_2^* + h_2x_1^* + n_2 \\ r_3 &= h_3x_1 + h_4x_2 + n_3 \\ r_4 &= -h_3x_2^* + h_4x_1^* + n_4 \end{aligned}$$



Gambar 2.2 Decoder STBC Alamouti MIMO 2x2 [19]

E. STBC Golden Code

STBC Golden Code merupakan *perfect cyclic division algebra* STBC untuk MIMO 2x2 dan MIMO 2x1. *Perfect* STBC dapat diperoleh ketika memenuhi tiga kriteria yaitu *non-vanishing determinant*, dan *full rate and full diversity* [21].

- *Non-vanishing determinant* = kode dikatakan *non-vanishing determinant* jika tanpa *power normalization* ada batas bawah (*lower bound*) dari minimum *determinant* yang tidak tergantung oleh konstelasi modulasi. Dengan kata lain, nilai dari *minimum determinant* diusahakan selalu bernilai konstan (Δ_{min}) untuk efisiensi spektral yang tinggi. Untuk efisiensi spektral yang rendah nilai *minimum determinant* nya dibatasi oleh Δ_{min} . Nilai dari *minimum determinant* untuk kode yang tak berhingga (*infinite code*) dari *perfect* STBC bernilai *non-zero*. Kode tak berhingga disini berarti simbol informasi diperbolehkan mengambil nilai dari konstelasi yang tak berhingga [21].
- *Full diversity and full rate* [21] = Kode dikatakan *full diversity* jika memiliki sifat matriks *singular*. Kode

dikatakan *full rate* bila ada empat sumber simbol menghasilkan empat simbol kode.

Dari definisi kriteria untuk *perfect* STBC di atas menunjukkan bahwa *golden code* merupakan salah satu dari *perfect* STBC untuk MIMO 2x2 dan MIMO 2x1. Untuk pembuktiannya dapat dilihat pada

pada penjelasan di bawah ini :

Untuk *codeword* X, simbol-simbol yang akan ditransmisikan mengikuti matriks dibawah ini [2] [3]

$$X = \frac{1}{\sqrt{5}} \begin{bmatrix} \alpha(s_1 + s_2\theta) & \alpha(s_3 + s_4\theta) \\ j\sigma(\alpha)(s_3 + s_4\sigma(\theta)) & \sigma(\alpha)(s_1 + s_2\sigma(\theta)) \end{bmatrix}$$

s_1, s_2, s_3, s_4 adalah simbol yang dihasilkan oleh mapper M-QAM dimana :

- $j = \sqrt{-1}$
- $\theta = \frac{1+\sqrt{5}}{2} = 1.618...$
- $\sigma(\theta) = \frac{1-\sqrt{5}}{2} = 1-\theta$
- $\alpha = 1 + j - j\theta = 1+j\sigma(\theta)$
- $\sigma(\alpha) = 1 + j - j\sigma(\theta) = 1 + j\theta$

F. Golden Code 2x1

Pada skema *golden code* matriks simbol yang dikirimkan sesuai dengan persamaan 2.21. Selanjutnya matriks tersebut dapat dibentuk menjadi matriks kolom 4x1 yang akan menjadi sebagai berikut [2] [3] [22] : ($a=s_1, b=s_2, c=s_3, d=s_4$)

$$X = \frac{1}{\sqrt{5}} \begin{bmatrix} [1 + j\sigma(\theta)]a + [\theta - j]b \\ [j - \theta]c + [1 + j\sigma(\theta)]d \\ [1 + j\sigma(\theta)]c + [\theta - j]d \\ [j + \theta]a + [1 + j\sigma(\theta) - j]b \end{bmatrix}$$

Pada matriks diatas bagian real dan imajiner dipisahkan untuk mendapatkan matriks 8x1 seperti pada matriks di bawah ini [2] [3] [22]

$$X = \frac{1}{\sqrt{5}} \begin{bmatrix} \sigma(\theta)Re(a) + Im(a) - Re(b) + \theta Im(b) \\ -\theta Re(c) - \sigma(\theta)Im(c) + Re(d) + Im(d) \\ Re(c) - \theta Im(c) + \sigma(\theta)Re(d) + Im(d) \\ Re(c) - \sigma(\theta)Im(c) + \theta Re(d) + Im(d) \\ \sigma(\theta)Re(c) + Im(c) - Re(d) + \theta Im(d) \\ Re(a) - \theta Im(a) + \sigma(\theta)Re(b) + Im(b) \\ \theta Re(a) + Im(a) - Re(b) + \sigma(\theta)Im(b) \end{bmatrix}$$

Matrik 8x1 diatas dapat difaktorisasi menjadi matriks 8x8 seperti di bawah ini [22]

$$X = \frac{1}{\sqrt{5}} \begin{bmatrix} 1 & -\sigma(\theta) & \theta & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \sigma(\theta) & 1 & -1 & \theta & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -\theta & -1 & 1 & -\sigma(\theta) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -\theta & \sigma(\theta) & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -\sigma(\theta) & \theta & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma(\theta) & 1 & -1 & \theta \\ 1 & -\theta & \sigma(\theta) & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \theta & 1 & -1 & \sigma(\theta) & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Re(a) \\ Im(a) \\ Re(b) \\ Im(b) \\ Re(c) \\ Im(c) \\ Re(d) \\ Im(d) \end{bmatrix}$$

Dimana $X=GZ$, jadi dapat dipisahkan G adalah matriks generator dari *golden code* dan Z adalah bagian dari *real* dan *imaginer* simbol yang dihasilkan oleh modulator [22].

$$G = \frac{1}{\sqrt{5}} \begin{bmatrix} 1 & -\sigma(\theta) & \theta & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \sigma(\theta) & 1 & -1 & \theta & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -\theta & -1 & 1 & -\sigma(\theta) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -\theta & \sigma(\theta) & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -\sigma(\theta) & \theta & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma(\theta) & 1 & -1 & \theta \\ 1 & -\theta & \sigma(\theta) & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \theta & 1 & -1 & \sigma(\theta) & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \text{ and } Z = \begin{bmatrix} \text{Re}(a) \\ \text{Im}(a) \\ \text{Re}(b) \\ \text{Im}(b) \\ \text{Re}(c) \\ \text{Im}(c) \\ \text{Re}(d) \\ \text{Im}(d) \end{bmatrix}$$

Pada kasus MIMO 2x1, terdapat dua respon kanal yaitu h_{11} dan h_{12} . Sinyal yang diterima diasumsikan $Y=HX + n$. H adalah matriks kanal 2x2 dengan *fading* bilangan kompleks. X adalah simbol keluaran modulator dan n adalah *noise* AWGN berbentuk matriks bilangan kompleks ukuran 2x2. Matriks kanal dapat dibentangkan menjadi matriks 4x8 bernilai *real* dari matriks H [2] [3] [22]

$$H = \begin{bmatrix} \text{Re}(h_{11}) & -\text{Im}(h_{11}) & \text{Re}(h_{12}) & -\text{Im}(h_{12}) & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \text{Im}(h_{11}) & \text{Re}(h_{11}) & \text{Im}(h_{12}) & \text{Re}(h_{12}) & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \text{Re}(h_{11}) & -\text{Im}(h_{11}) & \text{Re}(h_{12}) & -\text{Im}(h_{12}) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \text{Im}(h_{11}) & \text{Re}(h_{11}) & \text{Im}(h_{12}) & \text{Re}(h_{12}) \end{bmatrix}$$

Vektor yang diterima berubah menjadi $Y=HGZ + n$, dimana Y adalah sinyal yang diterima, n adalah *noise* AWGN, G adalah generator matriks *golden code*, dan Z adalah matriks simbol yang dikirimkan.

Untuk mendapatkan sinyal yang dikirimkan kembali, digunakan detektor ML pada penerima. ML dekoder akan mendeteksi sinyal yang dikirim dengan mencoba menghitung jarak terpendek dari $Y - HX$, Persamaannya dapat dilihat di bawah ini [22].

$$\hat{X} = \arg_{\min} \| Y - HX \|^2$$

G. Golden Code 2x2

Matriks generator dari skema *golden code* 2x2 sama dengan 2x1. Hal yang membedakan dengan MIMO 2x1 adalah MIMO 2x2 terdapat empat respon kanal yaitu $h_{11}, h_{12}, h_{21}, h_{22}$. Selain itu pada *golden code* 2x2 matriks kanal nya berukuran 8x8, berbeda dengan *golden code* 2x1 yang berukuran 4x8. Matriks kanalnya dapat dilihat di bawah ini [2] [3] [22]

$$H = \begin{bmatrix} \text{Re}(h_{11}) & -\text{Im}(h_{11}) & \text{Re}(h_{12}) & -\text{Im}(h_{12}) & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \text{Im}(h_{11}) & \text{Re}(h_{11}) & \text{Im}(h_{12}) & \text{Re}(h_{12}) & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \text{Re}(h_{21}) & -\text{Im}(h_{21}) & \text{Re}(h_{22}) & -\text{Im}(h_{22}) & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \text{Im}(h_{21}) & \text{Re}(h_{21}) & \text{Im}(h_{22}) & \text{Re}(h_{22}) & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \text{Re}(h_{11}) & -\text{Im}(h_{11}) & \text{Re}(h_{12}) & -\text{Im}(h_{12}) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \text{Im}(h_{11}) & \text{Re}(h_{11}) & \text{Im}(h_{12}) & \text{Re}(h_{12}) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \text{Re}(h_{21}) & -\text{Im}(h_{21}) & \text{Re}(h_{22}) & -\text{Im}(h_{22}) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \text{Im}(h_{21}) & \text{Re}(h_{21}) & \text{Im}(h_{22}) & \text{Re}(h_{22}) \end{bmatrix}$$

Untuk dekodernya menggunakan ML juga. Prinsipnya sama seperti skema MIMO *golden code* 2x1 dengan menggunakan persamaan MIMO *golden code* 2x1

III. PERANCANGAN DAN SIMULASI SISTEM

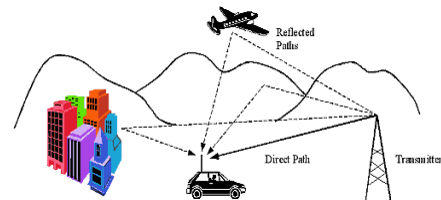
Pemodelan sistem DVB-T2 pada tugas akhir ini adalah pemodelan sistem menurut [1] dengan menggunakan *single antenna*, *multiple antenna* tipe STBC *alamouti* dan *golden code*. STBC ini digunakan untuk meningkatkan ketahanan sinyal terhadap *noise* sampai level paling optimal di sisi *user*. Hal ini berguna untuk menekan BER sekecil mungkin ketika kondisi kanal baik dan mempertahankan sistem tetap berjalan optimal dengan menjaga level BER untuk E_b/N_0 yang telah ditentukan ketika kondisi kanal memburuk.

- 1. Penggunaan *multiple antenna* STBC *golden code* dibandingkan STBC *alamouti* dan *single antenna* pada DVB-T2 dengan kondisi *user* diam
- 2. Pengaruh penggunaan *multiple antenna* STBC *golden code* pada DVB-T2 dengan kondisi *user* diam pada kondisi lingkungan yang berbeda

A. Skenario Pemodelan Sistem

$$(2.27)$$

Skenario pemodelan sistem DVB-T2 untuk tugas akhir ini pada daerah urban dengan mode transmisi mobile pada DVB-T2. Pemodelan kanalnya menggunakan ITU Pedestrian A untuk kecepatan 0-10 km/jam dan ITU Vehicular A untuk kecepatan 11-120 km/jam.



Gambar 3.1 Kondisi user bergerak

D. Skenario Penggunaan Multiple Antenna

Penggunaan *multiple antenna* dengan teknik STBC dapat membantu mendapatkan ketahanan dan kualitas sinyal dalam kondisi kanal yang buruk dibandingkan menggunakan *single antenna*. Hal ini dikarenakan video HDTV memiliki ukuran yang besar dan rentan terhadap gangguan *noise*. *Noise* yang ditimbulkan berupa *multipath fading*. Solusi dari masalah di atas adalah dengan menggunakan teknik MIMO-STBC. Pada tugas akhir ini menggunakan STBC *alamouti* dan *golden code* dengan antenna MIMO 2x2 dan 2x1. Tahap selanjutnya akan dianalisis pengaruh STBC *golden code* terhadap STBC *alamouti* dan *single antenna* dengan melihat perbandingan BER dan E_b/N_0 dengan kondisi *user* diam dan saat kondisi lingkungan yang berbeda.

Pemodelan sistem DVB-T2 untuk mode transmisi *mobile* dalam tugas akhir ini dibuat dengan menggunakan MIMO 2x2 dan MIMO 2x1 serta blok-blok standar pada DVB-T2 beserta parameternya. Pada subbab berikut akan dijelaskan mengenai bagian pengirim, kanal, dan bagian penerima.

Parameter yang digunakan untuk simulasi sistem **DVB-T2 mode transmisi mobile** pada tugas akhir ini merujuk pada [1] adalah :

Deskripsi Parameter	Nilai
Jenis Modulasi	16 QAM, 64 QAM
Channel Coding	BCH dan LDPC
Laju Pengkodean (Coderate) LDPC	1/2, 2/3, 3/4
Kanal Fading	Rayleigh dan AWGN
Pemodelan Kanal	ITU Pedestrian A untuk kecepatan 0-10km/jam
	ITU Vehicular A untuk kecepatan 11-100km/jam (khusus Video)
Target BER	10^{-5}
Frekuensi carrier	474 MHz
Bandwidth	1,7 MHz
Cyclic Prefix	1/8
Panjang Codeword	Short Frame 16200 bit
Jumlah subcarrier	4096
Antenna MIMO	2x2 dan 2x1
Teknik MIMO	Space Time Block Code (STBC)
Jenis STBC	Alamouti Code dan Golden Code

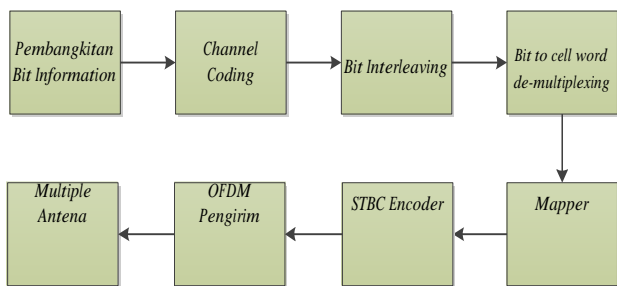
C. Perancangan Model Pengirim DVB-T2

Pada tugas Akhir ini perancangan dan pemodelan sistem transmitter DVB-T2 menggunakan software Matlab R.2012b. Pada gambar di bawah ini dapat dimodelkan sistem

transmitter DVB-T2 pada umumnya yang mengacu pada standar dari [1]. Pada pemodelan sistem transmitter tugas akhir ini mengacu pada tugas akhir yang telah dibuat Fajar

Shiddiq [7]. Pemodelan sistem yang akan disimulasikan pada

tugas akhir ini dapat dilihat pada gambar 3.3 di bawah ini.

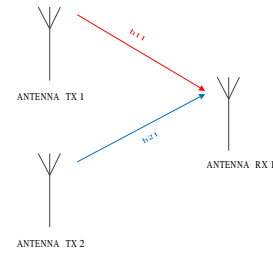


Gambar 3.2 Blok diagram pengirim

Dalam Tugas Akhir ini akan diberikan penjelasan dan deskripsi tiap blok pada diagram blok diatas. Hal ini bertujuan agar mengetahui parameter per blok yang akan dianalisis sehingga memudahkan simulasi dan analisis untuk blok selanjutnya.

E. Pemodelan Kanal MIMO 2x1

Pemodelan kanal MIMO 2x1 ini memiliki dua respon kanal yaitu h_{11} , h_{21} dimana tiap antenna pengirim memiliki satu respon kanal ketika menuju antenna penerima 1 dan 2 pada masing – masing pengguna. Tiap respon kanal ini terdistribusi rayleigh dan terkena noise AWGN.

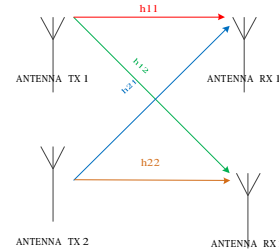


Gambar 3.3 Kanal MIMO 2x1

h_{11} = Respon kanal pada jalur antenna Tx 1 ke Rx 1
 h_{21} = Respon kanal pada jalur antenna Tx 2 ke Rx 1

F. Pemodelan Kanal MIMO 2x2

Pemodelan kanal MIMO 2x2 ini memiliki empat respon kanal yaitu $h_{11}, h_{12}, h_{21}, h_{22}$ dimana tiap antenna pengirim memiliki dua respon kanal ketika menuju antenna penerima 1 dan 2 pada masing – masing pengguna. Tiap respon kanal ini terdistribusi rayleigh dan terkena noise AWGN.



Gambar 3.4 Kanal MIMO 2x2

h_{11} = Respon kanal antenna Tx 1 ke Rx 1

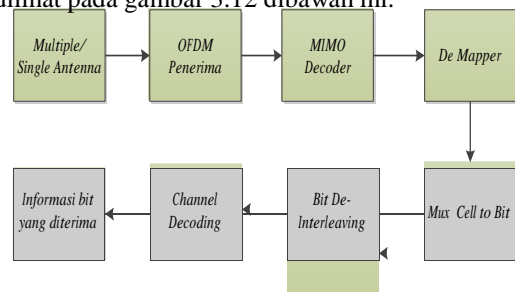
h_{21} = Respon kanal antenna Tx 2 ke Rx 1

h_{12} = Respon kanal antenna Tx 1 ke Rx 2

h_{22} = Respon kanal antenna Tx 2 ke Rx 2

G. Perancangan Model Penerima DVB-T2

Pada Tugas Akhir ini pemodelan penerima untuk DVB -T2 menggunakan standar dari [1]. Untuk pemodelannya dapat dilihat pada gambar 3.12 dibawah ini.



Gambar 3.5 Blok Diagram Penerima

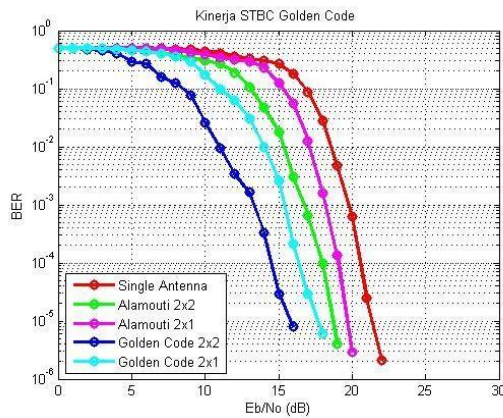
IV. ANALISIS HASIL SIMULASI SISTEM

Parameter yang akan diamati adalah kinerja dari sistem yaitu kualitas sinyal yang diperoleh di sisi penerima yang direpresentasikan dengan grafik perbandingan BER terhadap Eb/No. Adapun hal-hal yang akan dianalisis dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

- Analisis pengaruh STBC golden code terhadap kinerja sistem DVB-T2 menggunakan multiple antenna
- Analisis pengaruh STBC golden code terhadap kinerja sistem DVB-T2 pada kondisi lingkungan yang berbeda menggunakan multiple antenna

A. Analisis pengaruh STBC golden code terhadap kinerja sistem DVB-T2 menggunakan multiple antenna

Simulasi dan analisis awal yang dilakukan adalah dengan membandingkan STBC golden code dengan alamouti dan single antenna terhadap BER dan Eb/No yang hasilnya dapat dilihat pada gambar 4.4 di bawah ini



Gambar 4.1 Grafik BER vs Eb/No pengaruh penggunaan STBC golden code

Gambar 4.4 menunjukkan grafik perbandingan BER terhadap Eb/No tiap pengguna pada tiap skema penggunaan STBC golden code, alamouti dan single antenna. Tabel 4.5 menunjukkan hasil perbandingan BER dan Eb/No berdasarkan hasil simulasi di atas.

Tabel 4.1 Nilai Eb/No terhadap BER penggunaan STBC golden code dibandingkan dengan STBC alamouti dan single antenna

Antenna	BER	Eb/No (dB)
Single Antenna	10 ⁻⁵	21,37
Alamouti 2x1	10 ⁻⁵	19,68
Alamouti 2x2	10 ⁻⁵	18,71
Golden Code 2x1	10 ⁻⁵	17,67
Golden Code 2x2	10 ⁻⁵	15,82

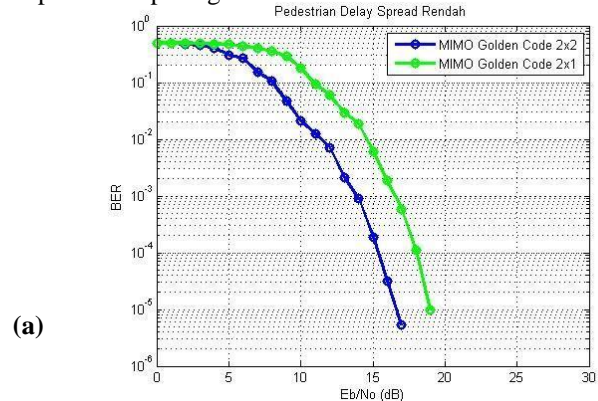
Tabel di atas memperlihatkan bahwa penggunaan STBC golden code menunjukkan kinerja yang lebih handal jika dibandingkan dengan STBC alamouti dengan jumlah antenna yang sama. Untuk mencapai target BER 10⁻⁵ pada golden code 2x2 hanya membutuhkan 15,82 dB, selisih 2,89

dB. Begitu pula dengan golden code 2x1 yang memiliki selisih Eb/No sebesar 2.01 dB. Hal ini dikarenakan STBC golden code merupakan perfect STBC untuk MIMO 2x2 dan MIMO 2x1. Pada golden code level minimum determinant dari matriks simbol di sisi pengirim dijaga untuk konstan atau mendekati konstan. Selain itu golden code juga memiliki kriteria full rate, yang berarti dari empat sumber simbol dihasilkan empat kode simbol MIMO dengan dua timeslot yang akan dikirimkan dari sisi pengirim, sedangkan alamouti tidak memiliki. Maka dari itu ketahanan sinyal terhadap noise STBC golden code lebih baik daripada STBC alamouti dengan jumlah antenna yang sama.

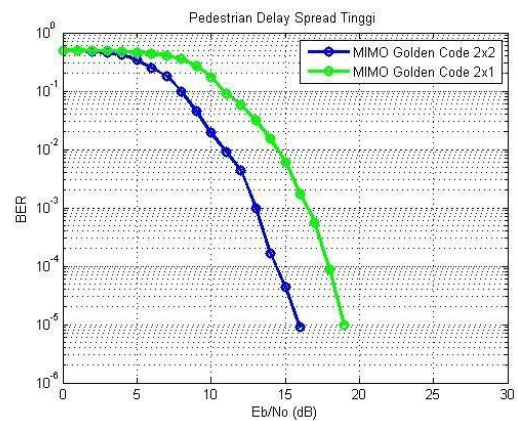
Dari simpulan di atas akan menimbulkan tradeoff antara kualitas ketahanan sinyal yang bagus dan implementasi ke perangkat keras. STBC golden code memiliki kompleksitas matriks simbol yang lebih rumit daripada alamouti sehingga perangkat keras pada STBC golden code memerlukan spesifikasi yang lebih tinggi. Hal tersebut tentu juga mempengaruhi cost dari perangkat keras jika ingin menggunakan STBC golden code..

B. Analisis pengaruh STBC Golden code terhadap kinerja sistem DVB-T2 pada kondisi lingkungan yang berbeda menggunakan multiple antenna

Simulasi dan analisis awal yang dilakukan adalah dengan membandingkan kondisi lingkungan kanal pedestrian yang memiliki delay spread yang berbeda menggunakan STBC golden code terhadap BER dan Eb/No yang hasilnya dapat dilihat pada gambar 4.5 di bawah ini



(a)



(b)

Gambar 4.5 Grafik BER vs Eb/No perbedaan skema kondisi lingkungan

(a) *delay spread* rendah dan (b) *delay spread* tinggi

Gambar 4.5 menunjukkan grafik perbandingan BER terhadap Eb/No tiap pengguna pada tiap skema kondisi lingkungan pedetsrian yang memiliki *delay spread* yang berbeda. Tabel 4.6 menunjukkan hasil perbandingan BER dan Eb/No berdasarkan hasil simulasi di atas.

Tabel 4.5 Nilai Eb/No terhadap BER penggunaan STBC *golden code* pada kondisi lingkungan yang berbeda.

Kondisi Lingkungan	STBC	BER	Eb/No (dB)
Pedestrian Delay Spread Rendah	Golden Code 2x1	10^{-5}	18,87
	Golden Code 2x2	10^{-5}	16,12
Pedestrian Delay Spread Tinggi	Golden Code 2x1	10^{-5}	18,94
	Golden Code 2x2	10^{-5}	15,76

Dari hasil yang didapat terlihat bahwa setiap kondisi lingkungan yang berbeda, tidak terjadi perbedaan Eb/No dengan target BER 10^{-5} yang signifikan antara STBC *golden code*. Untuk STBC *golden code* 2x1 pada kanal *pedestrian* dengan *delay spread* rendah membutuhkan 18,87 dB, sedangkan pada *delay spread* tinggi membutuhkan 18,94 dB. Untuk STBC *golden code* 2x2 pada kanal *pedestrian* dengan *delay spread* rendah membutuhkan 16,12 dB, sedangkan pada *delay spread* rendah membutuhkan 15,76 dB.

Hal ini disebabkan oleh proses deteksi MIMO-STBC *golden code* yang dipakai menggunakan *Maximum likelihood* sehingga kondisi lingkungan tidak terlalu berpengaruh. Proses deteksi dengan *Maximum Likelihood* dapat mengurangi pengaruh perubahan kanal dengan cara membandingkan seluruh kemungkinan simbol yang dikirim yang sudah dilewatkan kanal dibandingkan dengan simbol yang diterima. Selain itu pada MIMO-STBC juga memiliki kehandalan dalam *transmit diversity*. Sinyal yang dikirim ke penerima tidak hanya data asli tetapi juga replika data asli sehingga untuk mendaptkan BER yang kecil dalam mode MIMO-STBC *golden code* maupun *alamouti* tidaklah sulit.

V KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Beberapa kesimpulan dari hasil penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Penggunaan *multiple antenna* teknik STBC dapat meningkatkan kualitas penerimaan sinyal di penerima. Pada simulasi yang dilakukan untuk mencapai target BER 10^{-5} pada *Alamouti* 2x1, *Alamouti* 2x2, *Golden Code* 2x1 dan *Golden Code* 2x2 berturut-turut membutuhkan 19,68 dB, 18,71 dB, 17,67 dB dan 15,68 dB. Hal ini membuktikan bahwa

teknik *multiple antenna* jenis STBC dapat meningkatkan kinerja sistem. Dari hasil simulasi, STBC *golden code* menunjukkan kinerja yang handal jika dibandingkan dengan STBC *alamouti* dengan jumlah antenna yang sama. STBC *alamouti* 2x1 dengan *golden code* 2x1 memiliki selisih 2,01 dB. STBC *alamouti* 2x2 dengan *golden code* 2x2 memiliki selisih 3,03 dB. Hal tersebut disebabkan karena STBC *golden code* adalah *perfect STBC* yang memiliki kriteria *full rate*, *full diversity* dan *minimum determinant* nya konstan.

2. Kondisi lingkungan yang berbeda menyebabkan *delay spread* kanal yang berbeda pula. Pada STBC *golden code* dengan kondisi *delay spread* yang rendah dan tinggi level penerimaan sinyalnya tidak

terlalu berbeda secara signifikan. Pada *golden code* 2x1 *delay spread* rendah membutuhkan 18,87 dB sedangkan *delay spread* tinggi membutuhkan 18,94

dB. Sedangkan pada *golden code* 2x2 *delay spread* rendah dan tinggi berturut-turut membutuhkan 16,12 dB dan 15,76 dB. Hal tersebut diakibatkan karena oleh proses deteksi MIMO-STBC *golden code* yang dipakai menggunakan *Maximum likelihood* sehingga kondisi lingkungan tidak terlalu berpengaruh. Selain itu pada MIMO-STBC juga memiliki kehandalan dalam *transmit diversity*. Sinyal yang dikirim ke penerima tidak hanya data asli tetapi juga replika data asli

B. Saran

Adapun saran untuk penelitian tugas akhir ini adalah

1. Penelitian selanjutnya dapat ditambahkan blok standar DVB-T2 yang lain seperti *rotated constellation*, *cell interleaver* dan *frequency interleaver*
2. Penelitian selanjutnya dalam pengiriman informasi dalam simulasi dapat berupa video atau gambar.
3. Penelitian selanjutnya dapat menggunakan teknik decoder MIMO yang lain seperti *Sphere Algorithm*
4. Penelitian selanjutnya dapat digunakan estimasi kanal.
5. Penelitian selanjutnya dapat digunakan pemodelan kanal yang berbeda dengan kondisi lingkungan *rural*, *suburban* dan *urban*

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ETSI, "Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2)", *ETSI EN 302 755 V1.3.1 (2012-04)*, Juni 2012,
- [2] P. Dayal, M.K. Varanasi: "An Optimal Two Transmit Antenna Space-Time Code and its Stacked Extensions," *Proceedings of Asilomar Conf. on Signals, Systems and Computers*, Monterey, CA, November 2003.

- [3] J.-C. Belfiore, G. Rekaya, E. Viterbo: "The Golden Code: A 2 x 2 Full-Rate Space-Time Code with Non-Vanishing Determinants," *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 51, n. 4, pp. 1432-1436, Apr. 2005.
- [4] M. O. Sinnokrot and J. R. Barry, "Modified Golden Codes for Fast Decoding on Time-Varying Channels," *The 11th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC)*, Lapland, Finland, September 8-11, 2008.
- [5] B. Hassibi and H. Vikalo, "On sphere decoding algorithm I. Expected complexity," *IEEE Trans. Signal Proc.*, vol. 53, pp. 2806_2818", Aug 2005.
- [6] Dottorato di Ricerca, "Advanced Coding and Modulation for Digital Video Broadcasting and Cellular System." Universitas di Padova, 2011.
- [7] Shiddiq, Fajar. 2013. "Analisis Reduksi PAPR Menggunakan Kombinasi Tone Reservation (TR) dan Active Constellation Extension (ACE) Pada COFDM untuk Sistem Televisi Digital Generasi Kedua (DVB-T2)". Universitas Telkom.
- [8] Robert, Joerg, "On the Application of MIMO in DVB ATSC Symposium on Next Generation Broadcast Television", *Palm Springs*, , Institut Fur Nachrichtentechnik, 02/15/2011
- [9] Saxena, Shobit. Bhatnagar, Manav. Kanaujia, Binod, "Golden STBC-OFDM for MIMO Communications", *IEEE Transactions on Information Theory*. 2010
- [10] Peraturan Menteri Komunikasi dan Informatika no 5.(2012) *STANDAR PENYIARAN TELEVISI DIGITAL TERESTRIAL PENERIMAAN TETAP TIDAK BERBAYAR (FREE-TO-AIR)*. [Online], Tersedia : www.kemenag.go.id/file/file/ProdukHukum/dtvp1367279680.pdf. [5 Mei 2014]
- [11] BPPT,(2012) *Dukungan penuh BPPT wujudkan migrasi tv analog ke TV Digital* [Online], Tersedia : <http://www.bppt.go.id/index.php/e-newsletter13/2000-dukkungan-penuh-bppt-wujudkan-migrasi-tv-analog-ke-tv-digital> [20 Juni 2014]
- [12] Lin, Shu. Costello, Daniel Jr. "Error Control Coding: Fundamentals and Applications". New Jersey: *Prentice-Hall Inc.*1983
- [13] Mohammad Sutarto, Dr. Ir. Suwadi, MT, Ir. Titiek Suryani, MT "Implementasi Encoder dan Decoder BCH Menggunakan DSK TMS320C6416T", Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), 2014
- [14] Hamka, Yoedi Moegiharto, "Analisa Kinerja Penggunaan Kode (LDPC) Low Density Parity Check Code Pada Kanal Multipath Fading", Jurusan Teknik Telekomunikasi, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya (PENS), 2011
- [15] Budiman, Gelar..2011."Pelatihan Matlab Advanced, Technology 4G". Bandung: Institut Teknologi Telkom.
- [16] .Nurrelari, Edmond. "LDPC Coded OFDM And It's Application To DVB-T2, DVB-S2 And IEEE 802.16e", Electrical and Electronic Engineering, Eastern Mediterranean University, Mei 2012
- [17] Amazine, 2013, *Apa itu HDTV ? Fakta Informasi Mengenai HDTV*. [Online] Tersedia <http://www.amazine.co/13761/apa-itu-hdtv-fakta-informasi-perihal-hdtv/> [14 Juli 2014]
- [18] V. Tarokh, H. Jafarkhani and A. Calderbank, "Space-Time Block Coding for Wireless Communications: Performance Results," *IEEE Journal on selected Areas Communications*, Vol. 17, No. 3, pp. 451-459, March 1999.
- [19] Mohamed, M Emad, "Performance Analysis of Transmit Diversity STBC-OFDM and Differential STBC-OFDM Over Fading Channels", Electrical and Electronic Engineering, Eastern Mediterranean University, Mei 2013
- [20] S.M. Alamouti, "A Simple Transmit Diversity Technique for Wireless CCommunications," *IEEE J.Sel. Areas Commun.*, vol. 16, no.8, pp. 1451-1458, Oct. 1998. On Information Theory, vol. 51, pp.529-551, April 2005
- [21] F. Oggier, G. Rekaya, J.-C. Belfiore, E. Viterbo: "Perfect Space Time Block Codes," submitted to *IEEE Transactions on Information Theory*, Sep. 2004.
- [22] Aragorn,(2011), *Golden Code*, [Online] Tersedia : <http://spacetimecodes.blogspot.com/p/golden-code.html>. [6 April 2014]
- [23] Jain, Raj, "Channel model A Tutorial" V1.0 February 21, 2007
- [24] ITU-R Recommendation M.1225, "Guidelines for evaluation of radio transmission technologies for IMT-2000," 1997