

Peningkatkan *QoS* Layanan *Video Call* dengan Metode DASTFBC Sistem MIMO2x2 pada Jaringan LTE

Irmayani dan Aurora Nur Anggraini

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Institut Sains dan Teknologi Nasional Jakarta
e_mail: ir.irmayani@gmail.com

ABSTRAK

Metode DASTFBC (*Diagonal Algebraic Space Time Frequency Block Code*) merupakan suatu skema pengkodean yang memanfaatkan sumber diversitas yang berbeda yaitu space, waktu, dan frekuensi. Metode ini merupakan salah satu metode yang dapat di gunakan untuk meningkatkan layanan video call. Metode DASTFBC menggunakan matriks rotasi pada kode DAST yang dibentuk menggunakan teori number field aljabar. Struktur matriks kode terdiri dari simbol informasi yang telah dirotasi, diperluas menggunakan matriks kode diagonal persegi. Metode ini digunakan untuk mengatasi fluktuasi daya sinyal di penerima yang menyebabkan kualitas layanan turun/tidak sesuai standar BER video call. Metode DASTFBC diterapkan pada sistem MIMO jaringan LTE dengan modulasi 64 QAM. Metode ini akan disimulasikan pada program Matlab agar didapat hasil untuk meningkatkan layanan video call. Simulasi metode DASTFBC terhadap BER dilakukan untuk 4 skenario kecepatan pengguna yaitu 5km/jam, 40km/jam, 100km/jam, 120km/jam. Hasil signifikan metode DASTFBC sudah dapat terlihat saat pengguna bergerak dengan kecepatan 40km/jam. Dengan metode ini didapatkan nilai BER yang lebih kecil yaitu sebesar 2×10^{-4} hal ini menunjukkan bahwa dengan metode DASTFBC standar BER *video call* (10^{-3}) dapat dipenuhi. Nilai BER yang didapat ketika pengguna bergerak dengan kecepatan 120km/jam adalah $8,5 \times 10^{-3}$. Nilai ini masih belum memenuhi standar BER *video call*. Sehingga kecepatan maksimum pengguna ketika menggunakan metode DASTFBC adalah sebesar 120 km/jam diatas kecepatan tersebut nilai standar BER video call tidak dapat terpenuhi.

Kata kunci : *video call*, jaringan LTE, MIMO, DASTFBC

ABSTRACT

The DASTFBC (Diagonal Algebraic Space Time Frequency Block Code) method is a coding scheme that utilizes different diversity sources, namely space, time and frequency. This method is one method that can be used to improve video call services. The DASTFBC method uses a rotation matrix in the DAST code which is formed using algebraic number field theory. The code matrix structure consists of rotated information symbols, expanded using a square diagonal code matrix. This method is used to overcome signal power fluctuations at the receiver which cause the service quality to decrease (not comply with) BER video call standards. The DASTFBC method is applied to the LTE network MIMO system with 64 QAM modulation. This method will be simulated in the Matlab program to obtain results to improve video call services. The DASTFBC method simulation of BER was carried out for 4 user speed scenarios, namely 5km/hour, 40km/hour, 100km/hour, 120km/hour. Significant results of the DASTFBC method can already be seen when the user moves at 40km/hour. With this method, a smaller BER value is obtained, namely 2×10^{-4} , this shows that with the DASTFBC method the video call BER standard (10^{-3}) can be met. The value of BER obtained when using DASTFBC with a speed of 120km/h is 8.5×10^{-3} this value almost exceeds the standard BER video call. So that the maximum speed of the user when using the DASTFBC method is 120km/h above that speed the standard value of the BER video call cannot be fulfilled.

Keywords: *video call*, LTE network, MIMO, DASTFBC

1. PENDAHULUAN

Layanan video call merupakan teknologi pengiriman data berupa audio dan video

secara real time menggunakan resource secara bersamaan. Layanan video call membutuhkan suatu jaringan yang handal.

Salah satu kelemahan yang paling utama dari teknologi ini adalah sinyal data yang dikirimkan *transmitter* akan mengalami fluktuasi saat diterima *receiver*. Fluktuasi juga dapat terjadi akibat pergerakan user/pengguna saat bergerak dengan kecepatan tertentu.

Ketika pengguna bergerak maka pada proses pengiriman data akan terganggu karena terjadinya efek Doppler atau perpindahan frekuensi yang disebabkan oleh salah satu dari pengirim atau penerima ada yang bergerak. Hal ini menyebabkan fluktuasi daya sinyal di penerima yang disebut Small Scale Fading. Dari seluruh parameter QoS yang diamati, parameter yang paling berpengaruh adalah kecepatan pengguna. Dari hasil pengamatan sebelumnya, semakin tinggi kecepatan pengguna, semakin tinggi dan banyak fluktuasi yang terjadi sehingga kualitas sinyal akan semakin buruk [Putra, A. R., 2016].

Pada penelitian ini akan digunakan metode *Diagonal Algebraic Space Time Frequency Block Code* (DASTFBC) sebagai pengkode kanal pada sistem MIMO, modulasi 64 QAM dan simulasi dengan Matlab, pada saat pengguna melakukan komunikasi dengan variasi kecepatan 5-120 km/jam.

2. TINJAUAN TEORITIS

2.1. Video Call

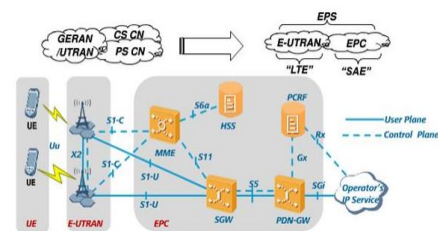
Komponen utama pada *video call* secara garis besar ada dua bagian, yaitu koneksi yang terdiri dari *Integrated Service Digital Network* (ISDN), *IP Adress*, serta *Public Switched Telephone Network* (PSTN). Bagian kedua adalah *bandwidth* yaitu banyaknya ukuran data yang dapat dikirim dari satu tempat ke tempat yang lain dalam suatu jaringan pada waktu tertentu. Ini biasa dikenal dengan sebutan kecepatan transmisi data. Pada ilmu telekomunikasi, *bandwidth* mengacu pada kapasitas. Semakin rendah kapasitasnya, maka semakin rendah pula kecepatan *transfer* data dari kecepatan standarnya. [Melala, OA., dkk 2020]

2.2. Long Ter Evolution (LTE) [Cox, 2014].

LTE adalah sebuah standarisasi jaringan akses radio evolusi jangka panjang yang dikeluarkan oleh *Third Generation Partnership Project* (3GPP) dengan tujuan membangun sistem dengan kecepatan data yang sangat tinggi dengan *latency* yang rendah. Secara umum, LTE didesain untuk mencapai kecepatan data maksimum 100 Mbps untuk arah *downlink* dan 50 Mbps untuk arah *uplink*.

2.2.1. Arsitektur Jaringan LTE

Arsitektur LTE dikenal dengan istilah SAE yang menggambarkan suatu evolusi arsitektur dibandingkan dengan teknologi sebelumnya. Arsitektur LTE memiliki 4 komponen utama, yaitu *User Equipment* (UE), E-UTRAN, EPC, dan *operator's IP service* berbentuk *cloud*. Gambar 1 menunjukkan arsitektur jaringan LTE.



Gambar 1. Arsitektur Jaringan LTE

- E-UTRAN
U-TRANS adalah sistem arsitektur LTE yang memiliki fungsi menangani sisi radio akses dari UE ke jaringan *core*. Berbeda dengan teknologi sebelumnya yang memisahkan NodeB dan RNC menjadi elemen tersendiri, pada sistem LTE E-UTRAN hanya terdapat satu komponen yakni *Evolved Node B* (eNodeB) yang telah menggabungkan fungsi keduanya. eNodeB secara fisik adalah suatu base station yang terletak di permukaan bumi (BTS *Greenfield*) atau ditempatkan di atas gedung-gedung (BTS *Rooftop*).
- EPC
EPC adalah sebuah sistem yang baru dalam evolusi arsitektur komunikasi seluler, sebuah system dimana pada bagian *core network* menggunakan all-IP, sebuah kerangka konvergensi yang berbasis *packet realtime* dan layanan non-*realtime* yang dibentuk oleh 3GPP Release 8. Dengan adanya

EPC yang memiliki *high-performance* dan mempunyai kapasitas yang besar pada all-IP di *core network* membuat LTE memberikan layanan *realtime* yang lebih baik dan menyajikan berbagai layanan media yang kaya dengan meningkatkan *Quality of Experience* (QoE). EPC meningkatkan kinerja jaringan dengan pemisahan kontrol dan data dan melalui arsitektur IP yang ramping dimana akan mengurangi hierarki antara elemen data seluler (misalnya, koneksi data dari eNodeB hanya melintasi melalui *gateway* EPC)

2.2.2. OFDM

OFDM adalah sebuah teknik transmisi yang menggunakan beberapa buah frekuensi (*multicarrier*) yang saling tegak lurus (*orthogonal*). Teknik tersebut merupakan kombinasi dari teknik modulasi dan teknik *multiplexing*, dimana modulasi adalah proses perubahan suatu gelombang periodik sehingga menjadikan suatu sinyal mampu membawa suatu informasi. Terdapat tiga parameter kunci pada OFDM, yaitu amplitudo, fasa dan frekuensi, sedangkan *multiplexing* adalah suatu teknik mengirimkan lebih dari satu informasi melalui satu saluran.

Prinsip kerja OFDM antara lain deretan data informasi yang akan dikirim dikonversikan ke dalam bentuk paralel, sehingga bila bit rate semula adalah R , maka bit rate di tiap – tiap jalur paralel adalah R/M dimana M adalah jumlah jalur paralel (sama dengan jumlah *sub-carrier*). Setelah itu, modulasi dilakukan pada tiap – tiap *sub-carrier*. Modulasi yang digunakan untuk OFDM ini adalah QPSK, 16 QAM, 64 QAM. Dua hal yang menjadi prinsip utama pada OFDM adalah sebagai berikut:

- *Inverse Discrete Fourier Transform* (IDFT) dan *Discrete Fourier Transform* (DFT). IDFT dan DFT ini berguna untuk memodulasi dan mendemodulasi konstelasi data pada *subcarrier* yang *ortogonal*. Algoritma *signal-processing* ini dapat mengganti fungsi dari sejumlah I/Q-modulator dan

demodulator yang seharusnya digunakan pada sistem.

- *Cyclic Prefix* (CP)
CP berfungsi sebagai *Guard Interval* (GI), yang panjangnya harus melebihi *excess delay* maksimum dari kanal propagasi *multipath*. CP membuat sinyal yang ditransmisikan menjadi periodik, dan efek dari *time-dispersive multipath channel* menjadi ekuivalen dengan konvolusi sirkular, membuang GI pada *receiver* [Larashati, 2015].

2.3 Mobility Management

Konsep pergerakan user (*Mobility Management*) pada LTE merupakan salah satu fungsi utama dari arsitektur jaringan LTE pada bagian EPC dibagian *Mobility Management Entity* (MME). *Mobility management* pada LTE bisa dibilang berbeda dengan konsep yang ada pada layanan jaringan 3G. MME terhubung dengan sejumlah eNodeB (*cell*) yang tergabung dalam satu *Tracking Area* (TA), dan sejumlah TA digabung menjadi sebuah *TA Lists* (TAL). Ketika UE bergerak keluar wilayah TAL, maka MME menerima laporan lokasi baru. Jika layanan LTE ingin menghubungkan UE maka MME meminta sel pada TAL untuk menandai UE tersebut. Jadi pada layanan LTE, fungsi manajemen pergerakan *user* dilaksanakan di EPC di bagian MME

2.4 Jenis fading

2.4.1. Large Scale Fading

Large-scale fading disebabkan adanya obyek-obyek pemantul serta penghalang pada kanal propagasi serta pengaruh kontur bumi, menghasilkan perubahan sinyal dalam hal energi, fasa serta *delay* waktu yang bersifat *random*. *Large scale fading* memberikan representasi rata-rata daya sinyal terima dalam suatu daerah yang luas. Statistik dari *large scale fading* memberikan cara perhitungan untuk estimasi *path loss* sebagai fungsi jarak. Estimasi *path loss* sebagai fungsi dari jarak hanya menghasilkan nilai rata-rata dan hal tersebut tidak cukup untuk menggambarkan sinyal propagasi karena perbedaan kondisi lingkungan antara pengirim dan penerima. Untuk mendapatkan hasil yang akurat,

perhitungan *path loss* harus ditambahkan dengan konstanta variasi sinyal yang terdistribusi lognormal.

2.4.2. Small Scale Fading

Small Scale Fading adalah fluktuasi daya sinyal diterima yang disebabkan oleh pergerakan *user*. *Multipath* pada kanal radio membuat efek *pada small scale fading*. Ada 3 efek terpenting antara lain:

- Perubahan kekuatan daya sinyal yang cepat dalam perpindahan jarak yang singkat atau dalam perubahan waktu tertentu.
- Nilai frekuensi modulasi yang berbeda karena pergeseran *doppler* (*doppler shift*) pada sinyal *multipath* yang berbeda.
- *Time Dispersion* yang disebabkan oleh *delay* propagasi *multipath*.

2.4.3. Kanal Multipath Rayleigh

Pada kanal komunikasi bergerak, distribusi *Rayleigh* biasa digunakan untuk menjelaskan perubahan waktu dari selubung sinyal *fading* yang diterima, atau selubung dari satu komponen *multipath* [Liou, 2011]. Telah diketahui bahwa selubung dari jumlah antara dua sinyal derau Gaussian membentuk distribusi *Rayleigh*.

2.5 AWGN

Noise AWGN merupakan *noise* alami yang selalu ada pada setiap perangkat. Sehingga dalam setiap penghitungan komunikasi yang melalui kanal, harus ditambahkan *noise* AWGN. Seperti kepanjangannya, *noise* AWGN merupakan *noise* yang bersifat:

- *Additive*, yang berarti *noise* ini ditambahkan pada sinyal. Adapun *noise-noise* lain yang tidak bersifat *additive*, seperti *multiplicative noise* pada *image processing*.
- *White*, yang berarti *noise* ini memiliki semua komponen frekuensi dalam spektralnya sebagai cahaya putih dengan distribusi yang sama dan dengan rapat spektral daya yang konstan. Ada pula *noise* yang tidak bersifat *white*, misalnya *pink noise* pada pendesainan semikonduktor.

- *Gaussian*, yang berarti *noise* ini berdistribusi *gaussian* atau kadang juga disebut dengan distribusi normal. Ada pula *noise* yang tidak bersifat *gaussian*, misalnya *log normal noise*, dsb.

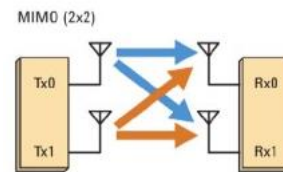
2.6 MIMO

MIMO merupakan sistem penggunaan banyak antena pada sisi *transmitter* (M-antena) dan sisi *receiver* (N-antena). Pada sistem MIMO ini terdapat dua buah kategori *gain*, yaitu *diversity gain* (respon sistem terhadap *fading*) dan *multiplexing gain* (kapasitas sistem).

Diversity gain dapat dicapai dengan menerapkan teknik diversitas pada sistem komunikasi nirkabel. Prinsipnya, diversitas mengirimkan beberapa replika sinyal informasi pada kanal *independent fading*, sehingga di *receiver* minimal ada satu sinyal yang tidak mengalami *fading* terburuk. Teknik diversitas yang biasanya digunakan yaitu diversitas waktu, diversitas frekuensi, dan diversitas antena.

2.6.1. Model Kanal MIMO

Model MIMO yang digunakan adalah MIMO 2x2 yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Simulasi MIMO 2x2

Secara matematis matriks kanal pada sistem MIMO (N-antena *transmitter* dan N-antena *receiver*) secara umum dapat dituliskan sebagai berikut:

$$H = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix}$$

2.6.2. Teknik Pengkodean MIMO

Teknik Pengkodean MIMO dibagi dalam beberapa metode antara lain Space Time Block Code (STBC), space time frequency block code (STFBC) dan diagonal algebrain space time block code (DAST).

2.6.2.1. STBC

STBC merupakan salah satu teknik dalam MIMO yang menggunakan diversitas ruang dan waktu. Prinsipnya

sebuah simbol memiliki replika yang akan ditamsmisikan ortogonal satu sama lainnya dengan cara menggeser ke-kompleksitasan-nya.

2.6.2.2. STFBC

STFBC merupakan suatu skema *coding* yang memanfaatkan sumber diversitas yang berbeda: waktu, dan frekuensi, dan antena. Proses utama STFBC adalah melakukan enkoding STBC, kemudian masing-masing keluaran enkoding STBC tersebut dilakukan frequency mapping pada lengan OFDM.

2.6.2.3. DASTBC

DAST adalah salah satu keluarga dari *linear space-time codes* yang dibentuk dengan menggunakan *rotated constellations* dan *hadamard transform*. Kata '*algebraic*' pada kode DAST berasal dari fakta bahwa matriks rotasi yang digunakan pada kode DAST dibentuk menggunakan teori *number field* aljabar. Kata '*diagonal*' mengacu pada struktur matriks kode, yang mana simbol informasi yang telah dirotasi diperluas menggunakan matriks kode diagonal persegi.

2.7 Modulasi 64 QAM

QAM 64 adalah teknik encoding M-er dengan M=64 dimana ada 64 keluaran yang mungkin dengan amplitudo dan fasa yang berbeda. Data masukan biner dibagi menjadi 6 bit atau disebut heksabit. Data masukan biner dibagi menjadi 6 kanal yaitu: Q, Q', Q'', I, I' dan I'' laju bit pada masing-masing kanal sebesar 1/6 dari laju masukan ($f_b/6$). Enam bit masukan secara serial sampai pembelahan bit, dan dikeluarkan secara serentak dan paralel pada kanal Q, Q', Q'', I, I' dan I''. Bit pada kanal I dan Q menyatakan polaritas dari konverter (logika 1 = +V, logika 0 = -V), sedangkan bit pada kanal Q', Q'' dan I', I'' menyatakan besar keluaran (00=0,821V; 01= 0,22V; 10 = 1,307V dan 11 = 0,541V).

3. PERANCANGAN DAN SIMULASI SISTEM

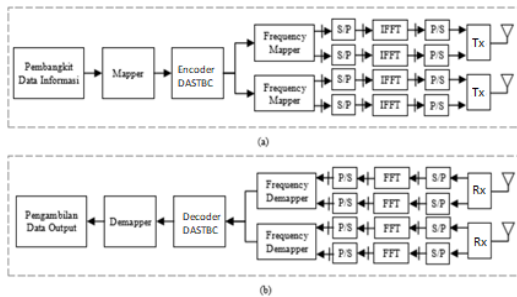
Diagram alir pembuatan simulasi ini dapat di lihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram Alir Pembuatan Simulasi

Penentuan skenario simulasi merupakan hal pertama yang dilakukan. Terdapat 4 skenario, dimana masing-masing kecepatan bergerak konstan dengan kecepatan 5km/jam, 40km/jam, 100km/jam, 120km/jam. Setelah di tentukan skenario langkah selanjutnya adalah memasukan parameter simulasi berupa *bitrate video call* sebesar 64Kbps, frekuensi LTE sebesar 1800Hz, modulasi yang digunakan yaitu 64QAM. Setelah parameter *input* dimasukkan maka proses selanjutnya adalah menghitung nilai frekuensi *Doppler* untuk masing-masing skenario. Setelah didapat nilai frekuensi *doppler* selanjutnya adalah melihat hasil fluktuasi daya berdasarkan nilai frekuensi *doppler* untuk masing-masing skenario. Proses selanjutnya adalah meningkatkan layanan *video call* dengan metode DASTFBC pada jaringan LTE dengan menggabungkan algoritma metode DAST dan frekuensi *mapper*. Hasil yang akan di tampilkan adalah parameter berupa fluktuasi, BER dan *throughput*.

Permodelan sistem DASTFBC dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Model Sistem DASTFBC MIMO-OFDM (a) bagian pengirim, (b) bagian penerima

Blok diagram model DASTFBC dibagi menjadi 2 bagian yaitu bagian pengirim dan penerima. Pada bagian pengirim terdapat blok pembangkit data informasi, *mapper*, enkoder DAST, frekuensi *mapper*, dan OFDM modulator. Sedangkan bagian penerima terdiri dari equalizer, OFDM demodulator, frekuensi *mapper*, dekoder DAST, *demapper*, dan hasil data *output*.

3.1. Bagian Pengirim

Pada bagian pengirim terdapat blok berupa pembangkit data informasi, *mapper*, enkoder MIMO sistem DASTFBC dan modulator OFDM.

3.1.1. Pembangkit Data Informasi

Datarate yang akan digunakan adalah datarate standar video call yang berjumlah 64kbps yang dibagi ke dalam 60 frame. Datarate tersebut akan di konversikan ke dalam bentuk bit-bit sehingga jumlah bit yang dihasilkan sebanyak 1067. Data yang dibangkitkan berupa *bit-bit* biner yang bernilai 0 dan 1 secara acak. Digunakan fungsi *randi* ($[0 \ 1], 1, N$). Gambar 5 merupakan bit-bit yang disimulasikan secara acak pada Matlab.

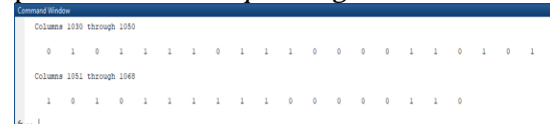


Gambar 5. Bit Acak Video Call Berjumlah 1067

3.1.2. Mapper

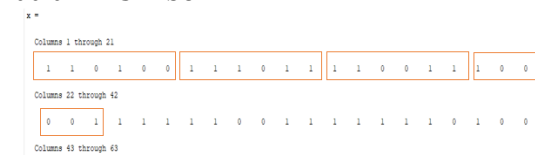
Setelah dilakukan pembangkitan data, *bit-bit* tersebut dikelompokkan sesuai dengan jumlah *bit* dalam satu simbol *mapper* atau modulasinya. Pada modulasi 64 QAM 6 bit informasi menjadi 1 simbol data. Sebelum mengelompokkan bit

menjadi simbol harus dilakukan penambahan bit 0 atau *zero padding*. Hal ini karena bit *video call* sebesar 1067 tidak bisa dibagi 6. Penambahan bit 0 menggunakan fungsi *zeros* pada Matlab. Gambar 6. menunjukkan hasil penambahan *zero padding*.



Gambar 6. Penambahan *Zero Padding*

Setelah dilakukan *zero padding* maka langkah selanjutnya yang dilakukan adalah mengelompokkan setiap 6 bit menjadi 1 simbol desimal. Sehingga dari 1068 bit dikelompokkan menjadi 78 simbol. Fungsi *bi2de* pada Matlab digunakan untuk membentuk bit ke simbol desimal. Pengelompokan 6 bit karena penggunaan modulasi 64QAM. Gambar 7 menunjukkan pengelompokan 6 bit ke dalam 1 simbol.



Gambar 7. Pengelompokan 6 Bit menjadi 1 Simbol Desimal

Setelah bit-bit dikelompokkan menjadi 1 simbol desimal maka bit tersebut akan di bentuk ke dalam diagram konstelasi 64QAM sesuai dengan nilai desimalnya. Cara membentuk simbol 64QAM dengan menggunakan fungsi "*qamod*" pada Matlab. Dari simulasi didapat keluaran simbol *mapper* pertama dan kedua adalah seperti ditunjukkan Gambar 8.



Gambar 8. Hasil Konversi Bit to Simbol 64 QAM

3.1.3. Encoder MIMO Sistem DASTFBC [Anggraini, C.D, dkk 2017]

Untuk sistem DASTFBC, pembentukan kode DASTFBC dilakukan dengan dua tahap, melibatkan dua blok sistem yaitu *enkoder* DAST dan *frekuensi mapper*

- Enkoder DAST

Kode DAST dapat diperoleh dengan persamaan:

$$E_n \triangleq H_n \text{diag}(x_1, \dots, x_n) \dots \dots \dots (3.1)$$

Matriks rotasi yang digunakan adalah matriks M berdimensi dua. Matriks rotasi menyatakan konstanta besarnya rotasi yang dilakukan pada diagram konstelasi, sebesar sudut tertentu. Matriks M merupakan matriks M dengan sudut putar paling optimal:

$$M_{d,2} = \begin{bmatrix} M1 & -M2 \\ M2 & M1 \end{bmatrix} \dots \dots \dots (3.2)$$

$$M_{d,2} = \begin{bmatrix} 0,5257 & 0,8507 \\ -0,8507 & 0,5257 \end{bmatrix}$$

Simbol keluaran *mapper* didapat [s1 s2 s3 s4 ...]. Setiap dua simbol *mapper* yang berurutan diambil dan ditranspose-kan sehingga semuanya berjumlah 178 simbol menjadi 89 simbol, kemudian setiap simbol dikalikan dengan matriks M sehingga didapat matriks x:

$$x = M_{d,2} \times [s1 \ s2]^T \dots \dots \dots (3.3)$$

$$x = \begin{bmatrix} M1 & -M2 \\ M2 & M1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} S1 \\ S2 \end{bmatrix}$$

$$x = \begin{bmatrix} M1S1 & -M2S2 \\ M2S1 & M1S2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X1 \\ X2 \end{bmatrix}$$

Langkah selanjutnya adalah matriks *hadamard* dikali matriks diagonal dari matriks x. Untuk mendapatkan matriks diagonal dari matriks x, dilakukan perluasan dengan bantuan matriks diagonal.

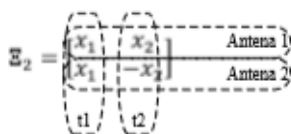
$$E_2 = H_2 \times \text{matriks diagonal} \times \text{matriks } x \dots (3.4)$$

$$E_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} X1 \\ X2 \end{bmatrix}$$

$$E_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} X1 & 0 \\ 0 & X2 \end{bmatrix}$$

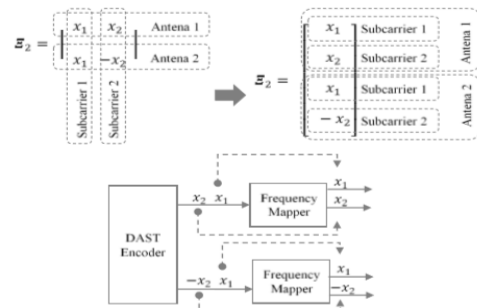
$$E_2 = \begin{bmatrix} X1 & X2 \\ X1 & -X2 \end{bmatrix}$$

Kode DAST berdimensi dua, ditransmisikan baris pertama ke antena pertama, baris kedua ke antena kedua. Pengiriman simbol DASTBC dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Pengiriman Simbol DASTBC

Setelah didapat kode DAST selanjutnya dilewatkan pada *frequency mapper*. Kode DAST dipetakan pada dua *subcarrier* untuk dapat memenuhi diversitas frekuensi, dengan pemetaan seperti pada Gambar 10.



Gambar 10. Pemetaan Kode DAST pada *Frequency Mapper*

Setelah didapat kode DAST dari Persamaan 3.4. Kode DAST tersebut masuk ke frekuensi *mapper*. X1 dan X2 di antena pertama masuk ke frekuensi *mapper* pertama. X1 dipetakan ke *subcarrier* pertama dan x2 dipetakan *subcarrier* kedua tetapi masih dalam 1 frekuensi *mapper* yang sama karena akan di *transmit* di antena 1. Sedangkan x1 dan -x2 juga dipetakan dan akan di *transmit* di antena 2. Gambar 11 menunjukkan keluaran simulasi DASTFBC.

```
x_dastfbc =

Columns 1 through 3

 8.5834 + 0.3250i   3.4792 + 4.7792i   2.8292 - 8.5834i =X1
-0.5736 + 1.3764i  -3.7278 + 1.7778i  -6.4806 + 0.5736i =X2
 8.5834 + 0.3250i   3.4792 + 4.7792i   2.8292 - 8.5834i =X1
 0.5736 - 1.3764i   3.7278 - 1.7778i   6.4806 - 0.5736i =X2
```

Gambar 11. Hasil DASTFBC Encoder Berupa Sinyal Paralel yang Dikirim pada Matlab

3.1.4. OFDM Modulator

Proses selanjutnya adalah melewati simbol MIMO pada blok OFDM. Blok IFFT menghasilkan simbol saling tegak lurus dan memungkinkan *overlapping* tanpa saling menginterferensi. Sinyal yang saling orthogonal pada OFDM akan menyebabkan terjadinya ISI sehingga diperlukan adanya *cyclic prefix* pada setiap sinyal *subcarrier*. Jumlah *cyclic prefix* yang digunakan adalah 1/4 dari jumlah simbol OFDM pada setiap *subcarrier*. Sehingga jumlah *cyclic prefix*

adalah sebesar 300. Setelah diketahui jumlah *cyclic prefix* yang akan digunakan maka akan dilakukan penyalinan pada simbol OFDM setiap subcarrier. Gambar 12 menunjukkan keluaran OFDM modulator di Matlab.

```
Command Window
x_ofdm =
Columns 1 through 6
0.0595 - 0.0093i  0.0579 + 0.0054i  0.0539 + 0.0194i  0.0467 + 0.0326i  0.0367 + 0.0436i  0.0243 + 0.0521i  = X1
0.0528 + 0.0579i  0.0393 + 0.0679i  0.0216 + 0.0735i  0.0038 + 0.0742i  -0.0134 + 0.0696i  -0.0294 + 0.0601i  = X2
0.0595 - 0.0093i  0.0579 + 0.0054i  0.0539 + 0.0194i  0.0467 + 0.0326i  0.0367 + 0.0436i  0.0243 + 0.0521i  = X1
-0.0528 - 0.0579i  -0.0393 - 0.0679i  -0.0216 - 0.0735i  -0.0038 - 0.0742i  0.0134 - 0.0696i  0.0294 - 0.0601i  = -X2
```

Gambar 12. Hasil Sinyal kirim (Paralel) Setelah ditambah Cyclic Prefix

Setelah proses penambahan *cyclic prefix* pada sinyal paralel maka tersebut akan dikirim oleh *transmitter*. Namun sinyal yang akan dikirim tersebut harus berbentuk sinyal seri sehingga pada system OFDM yang terdiri dari deretan sinyal paralel akan dilakukan konversi paralel ke serial. Pada simulasi ini proses perubahan paralel ke serial dapat dilakukan dengan menggunakan fungsi *reshape* pada Matlab. Nilai X1 dan X2 yang sudah di dapat pada baris ke 1 dan 2 akan di transmit melalui antenna pertama, sedangkan X1 dan -X2 pada baris ke 3 dan 4 akan di transmit melalui antenna 2. Gambar 13 merupakan hasil keluaran simbol seri untuk antenna 1. Dan Gambar 14 merupakan hasil keluaran simbol seri untuk antenna 2.

```
Command Window
x1 =
Columns 1 through 6
0.0595 - 0.0093i  0.0528 + 0.0579i  0.0579 + 0.0054i  0.0393 + 0.0679i  0.0539 + 0.0194i  0.0216 + 0.0735i
Columns 7 through 12
0.0467 + 0.0326i  0.0038 + 0.0742i  0.0367 + 0.0436i  0.0134 - 0.0696i  0.0243 + 0.0521i  0.0294 + 0.0601i
```

Gambar 13. Sinyal Kirim (Seri) untuk Antena 1

```
Command Window
x2 =
Columns 1 through 6
0.0595 - 0.0093i  -0.0528 - 0.0579i  0.0579 + 0.0054i  -0.0393 - 0.0679i  0.0539 + 0.0194i  -0.0216 - 0.0735i
Columns 7 through 12
0.0467 + 0.0326i  -0.0038 - 0.0742i  0.0367 + 0.0436i  0.0134 - 0.0696i  0.0243 + 0.0521i  0.0294 - 0.0601i
```

Gambar 14. Sinyal Kirim (Seri) untuk Antena 2

Selanjutnya simbol-simbol ditransmisikan melalui kanal sesuai dengan skenario simulasi yang dilakukan. Kanal yang digunakan merupakan kanal *rayleigh* ditambah dengan *noise* AWGN.

Respon kanal dibangkitkan mengikuti model kanal yang merujuk pada rekomendasi ITU-R M.1225. Model kanal MIMO 2x2 mempunyai empat respon kanal yaitu $h_{11}, h_{21}, h_{12}, h_{22}$. Masing-masing merepresentasi kan respon kanal sebagai berikut:

- h_{11} = respon kanal antara antenna pengirim 1 dengan antenna penerima 1
- h_{21} = respon kanal antara antenna pengirim 1 dengan antenna penerima 2
- h_{12} = respon kanal antara antenna pengirim 2 dengan antenna penerima 1
- h_{22} = respon kanal antara antenna pengirim 2 dengan antenna penerima 2

Masing-masing respon kanal disimulasikan dalam Matlab menggunakan fungsi *reyleigh*. Sehingga nilai simulasi untuk masing-masing repon kanal seperti ditunjukkan Gambar 15.

```
Command Window
h11 =
Columns 1 through 6
-0.0211 - 0.5294i  -0.0192 - 0.8302i  -0.0170 - 0.9480i  -0.0130 - 0.8876i  -0.0131 - 0.8673i  -0.0111 - 0.9770i
Columns 7 through 12
-0.0093 - 0.8045i  -0.0078 - 0.8961i  -0.0057 - 0.6084i  -0.0040 - 0.4150i  -0.0023 - 0.4244i  -0.0007 - 0.6337i
```

Gambar 15. (a) Respon Kanal h_{11}

```
Command Window
h12 =
Columns 1 through 6
0.0470 - 0.6029i  0.0467 - 0.4077i  0.0460 - 0.4126i  0.0453 - 0.4174i  0.0447 - 0.4222i  0.0440 - 0.4270i
Columns 7 through 12
0.0434 - 0.4320i  0.0429 - 0.4369i  0.0423 - 0.4418i  0.0417 - 0.4468i  0.0411 - 0.4517i  0.0406 - 0.4567i
```

Gambar 15. (b) Respon Kanal h_{12}

```
Command Window
h21 =
Columns 1 through 6
0.1489 + 0.7289i  0.1505 + 0.7271i  0.1522 + 0.7254i  0.1538 + 0.7237i  0.1555 + 0.7220i  0.1572 + 0.7203i
Columns 7 through 12
0.1587 + 0.7196i  0.1603 + 0.7169i  0.1618 + 0.7152i  0.1634 + 0.7135i  0.1650 + 0.7119i  0.1665 + 0.7102i
```

Gambar 15. (c) Respon Kanal h_{21}

```
Command Window
h22 =
Columns 1 through 6
-0.3378 + 0.4481i  -0.3400 + 0.4454i  -0.3423 + 0.4428i  -0.3445 + 0.4402i  -0.3467 + 0.4376i  -0.3489 + 0.4350i
Columns 7 through 12
-0.3509 + 0.4321i  -0.3529 + 0.4292i  -0.3549 + 0.4263i  -0.3568 + 0.4234i  -0.3589 + 0.4205i  -0.3610 + 0.4176i
```

Gambar 15. (d) Respon Kanal h_{22}

Sinyal dikirim melewati kanal *rayleigh* kemudian setelah tiba di sisi penerima, ditambahkan *noise* AWGN, sehingga persamaan sinyal terima menjadi seperti berikut:

$$y_1 = h_{11}x_1 + h_{12}x_2 + n_1 \dots \dots \dots (3.5)$$

$$y_2 = h_{21}x_1 + h_{22}x_2 + n_2 \dots \dots \dots (3.6)$$

$$y_3 = h_{11}x_2 - h_{21}x_2 + n_3 \dots \dots \dots (3.7)$$

$$y_4 = h_{21}x_2 - h_{22}x_2 + n_4 \dots \dots \dots (3.8)$$

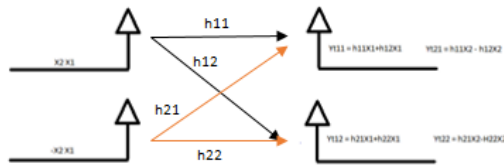
3.2. Bagian Penerima

Pada bagian pengirim terdapat blok berupa equalizer, OFDM demodulator, dekoder MIMO system DASTFBC, demmaper dan output.

3.2.1. Equalizer

Pada blok sistem ini, sinyal dimurnikan dari berbagai pengaruh kanal. Pada sistem ini, tidak digunakan ML *detector*. Pada sinyal terima dilakukan metode eliminasi untuk mendapatkan sinyal yang diinginkan.

Setelah dilakukan pemurnian dari berbagai pengaruh kanal dengan *equalizer*. Maka sinyal yang akan di terima merupakan hasil dari *matrix* frekuensi *mapper* untuk masing-masing antenna. Gambar 16 memperlihatkan ilustrasi penerimaan sinyal.



Gambar 16. Ilustrasi Penerimaan Sinyal

Hasil masing-masing sinyal akan di transmitkan ke masing-masing antenna penerima. Sehingga didapat persamaan:

$$y_1 = h_{11}x_1 + h_{12}x_2 \dots \dots \dots (3.9)$$

$$y_2 = h_{21}x_1 + h_{22}x_2 \dots \dots \dots (3.10)$$

$$y_3 = h_{11}x_2 - h_{12}x_2 \dots \dots \dots (3.11)$$

$$y_4 = h_{21}x_2 - h_{22}x_2 \dots \dots \dots (3.12)$$

Gambar 17. menunjukkan sinyal terima setelah dihilangkan respon kanalnya.

```
Command Window
y =
Columns 1 through 6
0.0484 - 0.0121i 0.0623 + 0.0080i 0.0529 + 0.0303i 0.0396 + 0.0341i 0.0300 + 0.0393i 0.0214 + 0.0586i
0.0509 + 0.0603i 0.0454 + 0.0487i 0.0340 + 0.0767i 0.0171 + 0.0790i -0.0159 + 0.0684i -0.0296 + 0.0731i
0.0591 + 0.0009i 0.0549 + 0.0007i 0.0510 + 0.0146i 0.0269 + 0.0452i 0.0382 + 0.0323i -0.0030 + 0.0497i
-0.0515 - 0.0778i -0.0218 - 0.0465i -0.0289 - 0.0779i -0.0076 - 0.0751i 0.0035 - 0.0753i 0.0358 - 0.0627i
```

Gambar 17. Hasil Sinyal Terima (Paralel) Setelah Equaliser

Setelah didapat nilai y, maka akan cari nilai x1 dan x2 dari y1, y2, y3, y4. Berikut

ini cara untuk mencari nilai x1 dan x2. Karena tidak menggunakan ML *detector*, maka pengaruh *noise* AWGN akan tetap ada. Pada perhitungan ini, *noise* AWGN tidak diikutsertakan dalam penghitungan,

Untuk mencari x1, maka x2 harus dihilangkan atau dieliminasi, dengan cara mengalikan Persamaan (3.9) dengan h22 dan Persamaan (3.10) dengan h12, sebagai berikut:

$$x_1 = \frac{conj(h_{22}h_{11}-h_{12}h_{21})x(h_{22}y_1-h_{12}y_2)}{conj(h_{22}h_{11}-h_{12}h_{21})x(h_{22}h_{11}-h_{12}h_{21})} \dots \dots \dots (3.13)$$

Kemudian untuk mencari x2, maka x1 harus dihilangkan atau dieliminasi, dengan cara mengalikan Persamaan (3.11) dengan h21 dan Persamaan (3.12) dengan h11, sebagai berikut.:

$$x_2 = \frac{conj(h_{21}h_{12}-h_{11}h_{22})x(h_{21}y_1-h_{11}y_2)}{conj(h_{21}h_{12}-h_{11}h_{22})x(h_{21}h_{12}-h_{11}h_{22})} \dots \dots \dots (3.14)$$

3.2.2. OFDM Demodulator

Pada proses ini dilakukan proses FFT. Proses pengembalian sinyal yang paralel dan saling tegak lurus, kembali ke keadaan seperti semula, seperti sinyal yang baru keluar dari blok *enkoder* MIMO. Dibuat tidak saling tegak lurus kembali. Langkah pertama yang dilakukan adalah melepaskan *cyclic prefix* ke sinyal semula yaitu sebesar 1200.

```
Command Window
get_dastfbc =
Columns 1 through 6
3.4455 - 5.9401i 7.7489 + 2.3923i 5.4911 + 4.2465i 5.9755 + 4.8518i -0.1480 + 0.8447i 2.3091 - 3.0321i
-4.2436 + 2.6793i 0.3380 - 3.9472i -4.4791 - 0.3041i -0.4315 - 3.4343i -6.1519 + 4.2533i -3.0401 + 6.4456i
0.3883 - 4.2401i 7.9371 + 4.5229i 2.5411 + 5.9381i 5.3932 + 6.5098i -2.9510 - 0.8834i 2.1733 - 0.7619i
5.3487 - 2.7388i -0.6056 + 3.6121i 5.2815 + 0.1347i 2.1747 + 3.4270i 6.7028 - 6.0148i 3.2676 - 7.5893i
```

Gambar 18. Hasil Pelepasan Cyclic pada OFDM Demodulator

3.2.3. Dekoder MIMO Sistem DASTFBC

Frequency demapper untuk DASTFBC didapatkan dari blok OFDM demodulator. Pada blok *frequency demapper*, simbol DAST dipetakan kembali ke *subcarrier* asalnya. Sehingga sinyal yang tadinya berupa paralel akan diubah menjadi sinyal seri. Perubahan sinyal menggunakan fungsi *reshape* yang sudah tersedia pada Matlab agar simbol paralel pada OFDM demodulator kembali ke simbol seri.

Setelah didapat kode DAST, selanjutnya diinginkan untuk menemukan simbol 64QAM. Pada blok *Dekoder* DAST dilakukan sistem balik terhadap proses DAST. Jika pada pengkodean mulai dari pengalihan dengan matriks rotasi, kemudian dikali dengan matriks diagonal, kemudian dikali dengan matriks *hadamard*, maka untuk proses decode, dilakukan dari mencari diagonal matriks dengan mengalikan *output frequency demapper* dengan matriks *hadamard*, setelah itu dapat diperoleh matriks x dengan cara mengambil nilai pada diagonal matriksnya. Setelah mengambil nilai x, simbol 64 QAM dapat dicari dengan menghilangkan pengaruh matriks rotasi dari kode DAST dengan cara melakukan metode eliminasi dengan cara mengalikannya kembali dengan matriks rotasi. Persamaannya menjadi sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} x1 \\ x2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M1-M2 \\ M2 M1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S1 \\ S2 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (3.15)$$

Akan di dihilangkan matrix rotasinya dengan mengkalikan kembali dengan masing-masing matrix rotasi.

$$S2 = \frac{M2X1-M1X2}{-(M2)^2-(M1)^2} \dots\dots\dots (3.16)$$

Akan dicari pula nilai S1 dengan cara yang sama.

$$S1 = \frac{M1X1-M2X2}{(M2)^2+(M1)^2} \dots\dots\dots (3.17)$$

Gambar 19. menunjukkan nilai hasil keluaran DASTFBC decoder.

```
>> get_mapper
get_mapper =
Columns 1 through 6
5.0159 - 1.2704i 7.6725 + 1.6901i 5.4908 + 2.2158i 1.6392 + 5.8652i 6.3319 - 4.6622i -0.2826 - 6.0672i
```

Gambar 19. Hasil Sinyal Terima Seri Sesudah DASTFBC Encoder

3.2.4. Demapper

Pada proses ini, sinyal terima pada Gambar 17 dicocokkan angka desimalnya pada diagram konstelasi. Proses ini menggunakan fungsi *de2bi* pada Matlab. Setelah itu dari nilai desimal tersebut di bentuk dalam bentuk 6 bit sesuai modulasi

yang dipakai yaitu 64 QAM. Gambar 20 hasil pengembalian data desimal ke bit simbol 64QAM.

```
>> data_out
data_out =
Columns 1 through 21
1 1 0 1 0 0 1 1 1 0 1 1 1 1 0 0 1 0 0 1 0 0
Columns 22 through 42
0 0 0 1 1 1 1 1 1 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 0 0
```

Gambar 20. Hasil Desimal to Bit

3.2.5. Pengambilan Data Output

Setelah didapatkan bit-bit biner dari proses demapper, maka efek *zero padding* harus di hilangkan dengan menggunakan fungsi *rempad* pada matlab. Penghilangan efek *zero padding* diperlukan untuk mengembalikan *bitrate videocall* yang semula ketika di bagian pengirim ditambah *zero padding* menjadi 1068 bit, dibagian penerima dihilangkan kembali sehingga *bitrate video call* yang dipakai dalam simulasi terpenuhi. Gambar 21 menunjukkan penghilangan *zero padding*.

```
Command Window
Columns 1030 through 1050
1 0 1 0 1 0 0 0 1 1 0 1 1 0 1 0 0 1 1 0 0
Columns 1051 through 1067
1 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 0 0 1 1 0 1 0
```

Gambar 21. Hasil Penghilangan Zero Padding

Selanjutnya bit output dibandingkan dengan bit input, untuk dihitung berapa banyak error yang terjadi. BER didapat dari menghitung banyaknya error dibagi dengan jumlah bit yang dibangkitkan. Pada bagian ini hasil data berupa BER dan *throughput* akan menunjukkan hasil peningkatan kualitas layanan video call pada jaringan LTE saat menggunakan metode DASTFBC.

3.3. Penentuan nilai parameter rancangan.

Simulasi ini dilakukan untuk pengguna yang berada dalam 1 sel, bergerak secara *random*, dengan sudut kedatangan antara *transmitter* dan *receiver* ditentukan sebesar 50°. Pengguna bergerak dengan kecepatan yang bervariasi, yaitu 5 km/jam, 40 km/jam, 100 km/jam, dan 120 km/jam.

Simulasi dilakukan dengan 4 skenario yaitu :

- Pada skenario 1 akan diamati pengguna bergerak dengan kecepatan konstan 5 km/jam, nilai frekuensi

doppler yang didapat adalah sebesar 5.356 Hz.

$$fd(5km) = \frac{1,8 \cdot 10^9 \cdot \frac{5 \cdot 1000}{3600}}{3 \cdot 10^8} \cdot \cos 50^\circ = 5.356 \text{ Hz}$$

- Dengan cara yang sama, pada skenario 2, 3 dan 4 pengguna bergerak dengan kecepatan konstan 40 km/jam, 100 km/jam, 120 km/jam, nilai frekuensi doppler berturut-turut adalah 42,852 Hz, 107,131 Hz, 128,557 Hz

Selain menghitung frekuensi *doppler* akan dihitung pula jarak maksimum perpindahan pengguna dalam satu sel, dilakukan dengan model propagasi COST-231. Sebelum menghitung jarak maksimum terlebih dahulu akan dilakukan perhitungan nilai level sinyal terima. Variasi jarak ditentukan sebesar 1-8 km. Tabel 3.1 menunjukkan nilai RSL dan jarak maksimum coverage pergerakan pengguna.

Tabel 3.1 Pencarian Jarak Maksimum Coverage Penggunaan dalam 1 sel

Kecepatan (km/jam)	Jarak (km)	Pathloss (dB)	RSL (dBm)	Keterangan
5, 40, 100, 120	1	142,13	-80,13	Baik
5, 40, 100, 120	2	153,57	-91,56	Baik
5, 40, 100, 120	3	160,26	-98,26	Baik
5, 40, 100, 120	4	165,09	-103,09	Baik
5, 40, 100, 120	5	168,69	-106,69	Baik
5, 40, 100, 120	6	171,7	-109,7	Baik
5, 40, 100, 120	7	174,24	-112,24	Buruk
5, 40, 100, 120	8	176,44	-114,45	Buruk

Tabel 3.2 Nilai Parameter Dasar Simulasi

Frekuensi Carrier	1800 Mhz
Modulasi	64 QAM
Bandwidth Kanal	20 Mhz
Jumlah Subcarrier Data	1200
FFT Size (NFFT)	2048
Jumlah Simbol per Subcarrier	12
Subcarrier Spacing	15KHz
Periode symbol OFDM	0,5ms
Jumlah Bit Video Call	64Mbps
Jumlah Antena MIMO pengirim	2 antena
Jumlah Antena MIMO penerima	2 antena
Kecepatan	5, 40, 100, 120 km
Sudut Kedatangan Antena	50

Dari Tabel 3.1 menunjukkan bahwa nilai RSL maksimum dapat dipenuhi sampai jarak 6 km. Sehingga pengguna dapat bergerak sejauh 6 km dengan kecepatan

berapapun agar mendapat nilai maksimum RSL yang dapat di penuhi.

Nilai *throughput* maksimum pada layanan LTE dengan jumlah RB = 100 (*bandwidth* 20 MHz), 84 jumlah *resource element* pada 1 RB, dan faktor modulasi 6 (modulasi 64 QAM), sehingga didapat *throughput* sebesar 100,8 Mbps.

Tabel 3.3 Tabel Parameter Kanal

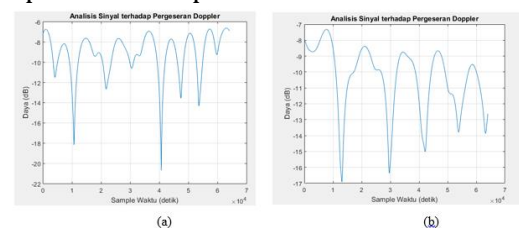
	Tap 1	Tap 2	Tap 3	Tap 4	Tap 5	Tap 6
Pedestrian						
Delay (us)	0	0,110	0,190	0,410	-	-
Relative path power (dB)	0	-9,7	-19,2	-22,8	-	-
Relative path (numeric)	0	0,107	0,012	0,005	-	-
Vehicular						
Delay (us)	0	0,310	0,710	1,090	1,730	2,510
Relative path power (dB)	0	-1	-9	-10	-15	-20
Relative path (numeric)	0	0,794	0,126	0,1	0,316	0,01

Tabel 3.4 Parameter Downlink LTE

Downlink	LTE
<i>Transmitter</i> (eNodeB)	
Tx Power (dBm)	46
Tx antenna gain (dBi)	18
Cable Loss (dB)	2
EIRP (dBm)	62
<i>Receiver</i> (UE)	
UE noise figure (dB)	7
Thermal Noise (dB)	-104,5
Receiver noise floor (dB)	-97,5
Receiver Sensitivity (dB)	-106,5
Receiver Antena gain (dB)	0
Body Loss (dB)	0
Maximum path loss	163,5

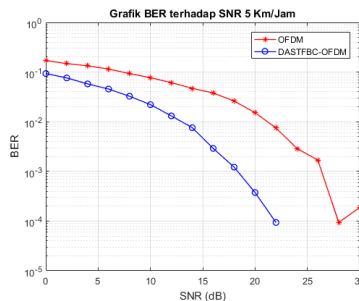
4. HASIL SIMULASI DAN ANALISA

Untuk menganalisa parameter *output* yang berpengaruh terhadap kualitas *video call* pada jaringan LTE berdasarkan variasi kecepatan pengguna dilakukan 4 skenario. Skenario 1 : pengguna bergerak konstan dengan kecepatan 5km/jam, diperoleh nilai frekuensi doppler sebesar 5,356 Hz, dilakukan analisis fluktuasi daya akibat kecepatan 5 km/jam yang digunakan sehingga menghasilkan fluktuasi daya seperti terlihat pada Gambar 22.



Gambar 22. Grafik Fluktuasi Daya, $v=5\text{km/jam}$ (a) sebelum (b) sesudah penerapan metode DASTFBC

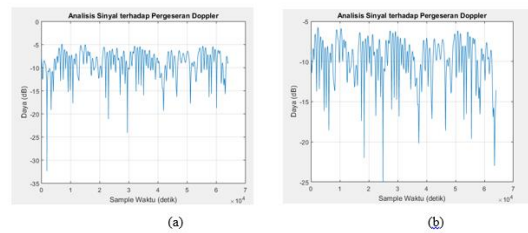
Dari Gambar 22(a) dapat dilihat untuk kecepatan 5 km/jam sebelum menggunakan metode DASTFBC didapat nilai fluktuasi maksimum sebesar -21 dB. Jika waktu pengamatan dalam 64000 detik, terjadi 8 kali fluktuasi sinyal. Sedangkan grafik yang menggunakan metode DASTFBC (gambar 22 b) didapat nilai fluktuasi maksimum sebesar -17 dB, terjadi 5 kali fluktuasi sinyal. Setelah mengamati nilai flutuasi sinyal maka akan di simulasikan nilai BER. Hasil perubahan BER dapat dilihat pada Gambar 23.



Gambar 23. Grafik hasil Simulasi BER terhadap SNR kecepatan 5km/jam

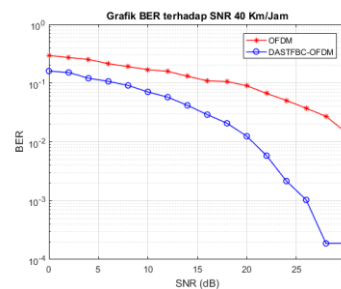
Dari Gambar 23 dapat dilihat nilai BER dengan metode DASTFBC mengalami penurunan yang sangat signifikan. Penurunan BER menandakan semakin kecil *error* yang terjadi, semakin baik kinerja sistem. Untuk mencapai nilai BER maksimum video call untuk OFDM memerlukan SNR sebesar 22 dB, nilai BER yang dihasilkan adalah sebesar 9×10^{-3} , sedangkan ketika menggunakan metode DASTFBC saat SNR sebesar 22 dB maka nilai BER yang dihasilkan adalah sebesar $9,8 \times 10^{-5}$. Terlihat bahwa nilai BER ketika menggunakan DASTFBC menjadi semakin kecil. Hal ini disebabkan karena adanya pemetaan simbol pada *subcarrier* yang berbeda oleh frekuensi *mapper*, yang menyebabkan adanya diversitas frekuensi. Selain itu dengan dilakukan rotasi pada *mapper*, simbol menjadi lebih tahan terhadap *noise*.

Untuk Skenario 2, 3 dan 4 berturut-turut, hasil pengamatan dapat dilihat pada Gambar 24, 26 dan 28. Nilai hasil simulasi dapat dilihat pada Tabel 4.1.



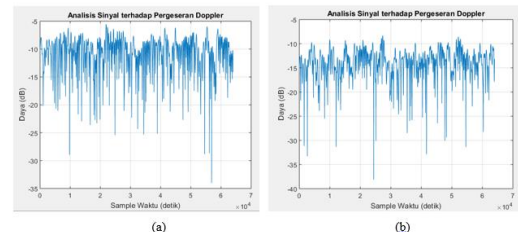
Gambar 24. Grafik Fluktuasi Daya, $v=40\text{ km/jam}$ (a) sebelum (b) sesudah metode DASTFBC

Setelah mengamati nilai flutuasi sinyal kemudian dilakukan simulasi BER. Hasil perubahan BER dapat dilihat pada Gambar 25.



Gambar 25. Grafik hasil Simulasi BER terhadap SNR kecepatan 40 km/jam

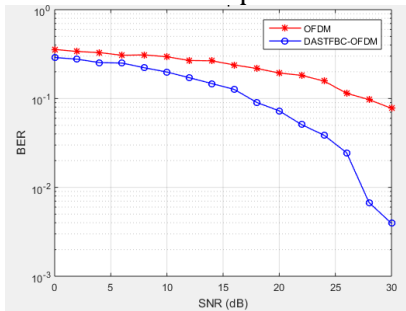
Dari Gambar 25 dapat dilihat hasil BER dengan metode DASTFBC mengalami penurunan BER. Penurunan BER menandakan semakin kecil *error* yang terjadi, semakin baik kinerja system. Untuk mencapai nilai BER maksimum video call untuk OFDM memerlukan SNR lebih dari 30 dB, dan saat SNR sebesar 30 dB nilai BER yang dihasilkan adalah sebesar $1,5 \times 10^{-2}$ hal ini menunjukkan bahwa BER standar *video call* tidak dapat terpenuhi, sedangkan ketika menggunakan metode DASTFBC BER standar *video call* dapat dipenuhi, dapat diamati saat SNR mencapai nilai 30 dB, nilai BER yang dihasilkan adalah sebesar 2×10^{-4} .



Gambar 26. Hasil Fluktuasi Daya $v=100\text{ km/jam}$ (a) sebelum (b) dengan metode DASTFBC

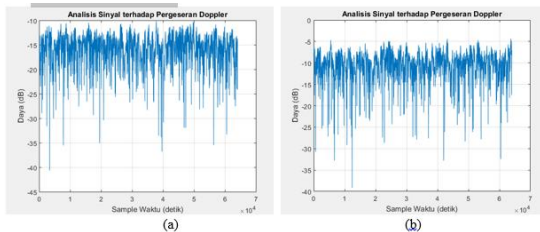
Setelah mengamati nilai flutuasi sinyal kemudian dilakukan simulasi BER. Hasil

perubahan BER dapat dilihat pada gambar 27 untuk kecepatan 100 km/jam dan Gambar 29 untuk kecepatan 120 km/jam.

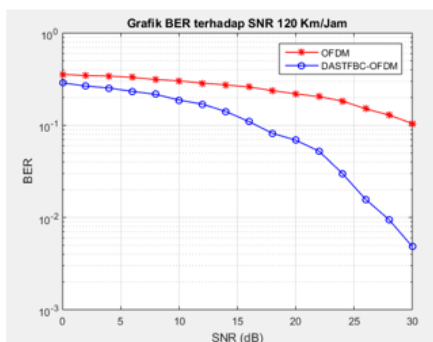


Gambar 27. Grafik BER terhadap SNR hasil simulasi kecepatan 100 km/jam

Dari Gambar 27 dapat dilihat SNR sebesar 30dB untuk BER OFDM biasa menunjukkan nilai BER sebesar 9×10^{-2} nilai yang didapatkan tidak dapat memenuhi standar minimum *videocall* dan ketika dilakukan metode DASTFBC menunjukkan nilai BER menjadi semakin kecil hingga bernilai 7×10^{-3} . Dengan metode DASTFBC dapat menurunkan nilai BER dibandingkan dengan pemakaian OFDM. Ketika memakai OFDM, saat kecepatan 100km/jam nilai BER yang didapat tidak dapat memenuhi standar maksimum BER video call namun nilai standar *videocall* dapat dipenuhi dengan metode DASTFBC.



Gambar 28. Hasil Fluktuasi Daya $v=120$ km/jam (a) sebelum (b) dengan metode DASTFBC



Gambar 29. Hasil Simulasi BER terhadap SNR kecepatan 120 km/jam

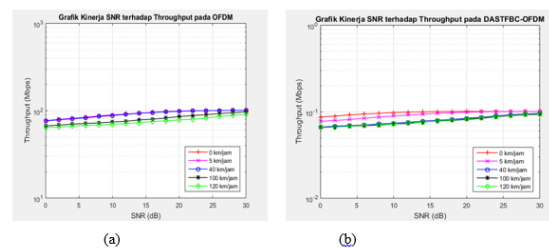
Dari Gambar 29 dapat dilihat nilai BER dengan metode DASTFBC tidak mengalami penurunan BER yang signifikan. SNR sebesar 30dB untuk OFDM menunjukkan nilai BER sebesar 1×10^{-1} dan untuk BER dengan metode DASTFBC menunjukkan nilai sebesar $8,5 \times 10^{-3}$. Dengan menggunakan metode DASTFBC nilai BER mengalami penurunan namun mendekati nilai standar BER *video call*. Hal ini menunjukkan bahwa metode DASTFBC dapat digunakan untuk kecepatan sampai 120 km/jam diatas kecepatan tersebut, nilai standar video call tidak dapat dipenuhi. Diakibatkan adanya banyak error.

Setelah menganalisis perubahan BER terhadap SNR, lalu dilakukan simulasi throughput akibat perubahan BER. Akan dianalisa bagaimana peningkatan throughput saat menggunakan teknik pengkodean MIMO-DASTFBC. Perbandingan perubahan nilai *throughput* terhadap kecepatan pengguna untuk setiap scenario dapat dilihat pada Gambar 30.

Untuk nilai fluktuasi, BER hasil masing-masing skenario dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Nilai fluktuasi dan BER hasil simulasi untuk Masing-masing Skenario

v km /s	t pengama tan (detik)	Frek doppler (Hz)	SNR (dB)	Hasil sebelum DASTFBC			Hasil sesudah DASTFBC		
				flukt sinyal (kali)	flukt max (dB)	BER	fluk t siny (dB)	flukt max (dB)	BER
5	64000	5,356	22	8	-21	9×10^{-3}	5	-17	$9,8 \times 10^{-5}$
40	10000	42,852	30	11	-33	$1,5 \times 10^{-2}$	9	-25	2×10^{-4}
100	10000	107,131	30	15	-34,5	9×10^{-2}	12	-33	7×10^{-3}
120	10000	128,557	30	26	-40,5	1×10^{-1}	24	-39	$8,5 \times 10^{-3}$



Gambar 30. Grafik hasil simulasi perubahan *Throughput vs SNR* (a) sebelum (b) dengan metode DASTFBC

Dalam perhitungan sebelumnya, didapatkan *throughput* maksimum yang dapat dicapai adalah 100,8 Mbps, tetapi akibat dari AWGN dan pergerakan pengguna, maka *throughput* akan mengalami penurunan nilai dari *throughput* maksimum. Nilai *throughput* mengalami kenaikan seiring dengan perubahan kecepatan. Semakin tinggi kecepatan pengguna maka nilai *throughput* akan semakin kecil. Dengan metode DASTFBC nilai *throughput* yang dihasilkan semakin mendekati nilai *throughput* maksimum.

Dari hasil tiap skenario, dapat dilihat semakin tinggi kecepatan maka akan terjadi perubahan fluktuasi, semakin besar kecepatan maka nilai fluktuasi daya semakin besar hal ini dapat menyebabkan pemutusan hubungan (*dropcall*). Selain itu, semakin besar kecepatan juga dapat mengakibatkan nilai BER menjadi sangat besar. Perubahan BER ini terjadi karena pergeseran frekuensi yang disebabkan oleh pergerakan pengguna, hal ini akan menimbulkan *Inter Carrier Interference* (ICI) sehingga akan mempengaruhi perubahan SNR di antena penerima. Saat menggunakan metode DASTFBC hasil BER akan lebih baik hal ini disebabkan karena pada dasarnya metode DASTFBC merupakan salah satu teknik pengkodean MIMO. Dalam metode DASTFBC terdapat proses pemetaan simbol pada *subcarrier* yang berbeda oleh frekuensi *mapper*, yang menyebabkan adanya diversitas frekuensi. Selain itu dengan dilakukan rotasi pada *mapper*, simbol menjadi lebih tahan terhadap *noise*. Untuk kecepatan menengah metode DASTFBC dapat mengurangi fluktuasi dan menurunkan BER. Sedangkan untuk kecepatan yang tinggi perubahan fluktuasi tidak terlalu besar, nilai BER menurun namun masih belum bisa mencapai batas standard maksimum BER *videocall* namun masih lebih baik dibandingkan OFDM. Untuk hasil *throughput* terjadi perubahan nilai dengan menggunakan metode DASTFBC hal ini karena penggunaan *space diversity* dengan menambahkan antena pada sisi

pemancar maupun penerima yang dapat meningkatkan *throughput* dan *coverage* sehingga pada akhirnya dapat meningkatkan kapasitas sistem. Metode DASTFBC cocok digunakan untuk kecepatan rendah namun tidak menutup kemungkinan dapat digunakan untuk kecepatan tinggi namun batas kecepatan ketika menggunakan *video call* agar layanannya dapat memenuhi standar BER adalah sebesar 100km/jam. Kecepatan diatas 100km/jam metode DASTFBC tidak akan maksimal.

5. SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa dan pembahasan yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Pelemahan sinyal paling buruk terjadi pada kecepatan 120 km/jam dengan fluktuasi maksimum sebesar -39 dB dengan jumlah fluktuasi sebanyak 24 kali. Namun nilai BER yang didapat masih memenuhi standar layanan *video call*.
2. Metode DASTFBC dapat menurunkan nilai BER sehingga dapat meningkatkan layanan *video call*. Nilai standar maksimum BER ketika melakukan *video call* adalah sebesar 10^{-3} . Ketika menggunakan metode DASTFBC saat SNR 22 dB, BER yang dihasilkan lebih kecil yaitu sebesar $9,8 \times 10^{-5}$. Saat pengguna melaju dengan kecepatan 40 km/jam, pada SNR 30dB nilai BER yang dihasilkan sebesar 2×10^{-4} dengan kata lain sudah dapat memenuhi nilai standar BER *videocall*. Untuk melakukan *video call* dengan kualitas yang baik metode DASTFBC dapat diterapkan hingga kecepatan hingga 120km/jam. Diatas kecepatan itu, nilai BER yang dihasilkan tidak memenuhi standar BER *video call*.
3. Kenaikan nilai *throughput* disebabkan oleh penggunaan *space diversity* dengan menambahkan antena pada sisi pemancar maupun penerima yang dapat meningkatkan *throughput* dan *coverage* sehingga memungkinkan peningkatan BER yang pada akhirnya dapat meningkatkan kapasitas system.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmadi, Sassan, 2011.** "Mobile Wimax A System Approach to Understanding IEEE 802.16m Radio Access Technology. Burlington: British Library Cataloguing in Public Data
- Anggraini, C. D., Astuti R. P., Saputri, D.M., 2017.** "Analisis Penerapan Teknik Diagonal Algebraic Space-Time-Frequency Block Code 13 pada MIMO-OFDM", e_Proceeding of Engineering, vol 4 No 3 Desember hal 3633 Bandung: Telkom University.
- Budiman, Gelar, 2013.** "Aplikasi Pengolahan Sinyal Digital Dengan MATLAB: Komunikasi dan Transmisi", Bandung.
- Cox, Christopher, 2014.** "Introduction of LTE 2nd Edition", UK: Wiley.Kusmaryanto, Sigit. "Quadrature Amplitudo Modulation - 64", Malang : Universitas Brawijaya
- Larashati, Giashinta, 2015** "Analisis Kinerja MIMO-OFDM Berbasis Quasi Orthogonal Block Code dengan N=64 pada Kanal Fading", Bandung : Telkom University.
- Liou, Ren-Huang, Lin, Yi-Bing, 2011.** An Investigation on LTE Mobility Management. National Chiao Tung University.
- Meutia, Rizka Sari, 2012.** "Analisis Pengaruh Pergerakan User Terhadap Kualitas Sinyal Terima Mobile Station pada Teknologi LTE", Bandung : Telkom University
- Putra, Afiq Riyanda., 2016.** "Analisis Pengaruh Pergerakan User Terhadap Kualitas Layanan Video Call pada Jaringan LTE.", Bandung : Telkom University
- Rappaport, Theodore. S., 1996** "Wireless Communications Principles and Practice 2nd Edition", New York.
- Sari, Nitra, 2006.** "Analisa Pengaruh Kecepatan User Terhadap Kualitas dan Throughput Layanan Data pada Sistem CDMA 2000 1x." Bandung: Telkom University.
- Sukma Widjaja, Gilang, 2011** "Analisis Pengaruh Kecepatan User Terhadap Kualitas Layanan Video Call pada Jaringan 3G". Bandung: Telkom University.
- Wardhana, Lingga, 2014** "4G Handbook 2nd Edition"
- Melala, O. A., Munadi, Rizal., & Walidainy, Hubbud. (2020).** Analisis Kualitas Layanan Video Call Menggunakan Aplikasi Skype Pada Jaringan Long Term Evolution (LTE). Jurnal Komputer, Informasi Teknologi, Dan Elektro, 5(1), 38-44
- Thalhah, M., Arif, T. Y., & Away, Y. (2021).** Komparasi QoS Video Call dan Video Conference Pada Google Hangouts Dan Google Duo Di Jaringan 3G Dan 4G LTE. Jurnal Komputer, Informasi 6 (1), 38-43.