

DOI: doi.org/10.21009/03.SNF2022.01.FA.07

ANALISA KERJA SPACE TIME TRELLIS CODE PADA WIFI SISTEM MIMO (2X2) OFDM

Wisnu Broto^{a)}, Noor Suryaningsih^{b)}, Adhi Mahendra^{c)}

Fakultas Teknik Elektro Universitas Pancasila, Srengseng Sawah, Jagakarsa, Jakarta Selatan, Indonesia

Email: ^{a)}wisnubroto@univpancasila.ac.id, ^{b)}noor.suryaningsih@univpancasila.ac.id,
^{c)}adhi_mahendra@univpancasila.ac.id

Abstrak

Komunikasi *Wireless* saat ini menuntut adanya penyediaan sistem dengan performansi yang handal, penggunaan bandwidth yang efisien, power yang efisien serta *coverage* yang lebih baik karena seiring dengan kebutuhan manusia akan aplikasi-aplikasi yang membutuhkan data rate yang tinggi dan cepat. Salah satu konsep dan metoda untuk memenuhi kebutuhan tersebut yaitu menggunakan teknik antena dengan banyak pengirim dan penerima atau sering disebut dengan *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) dengan menambahkan strategi pada saat pengiriman yaitu teknik *Space Time Coding* (STC). Selain itu, pengaplikasian *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) pada MIMO-STC akan lebih mengefisienkan penggunaan *bandwidth*. Metoda *Space Time Trellis Code* (STTC) sebagai salah satu teknik diversitas pengiriman data dengan pengkodean yang kompleks sehingga tercapainya penguatan pengkodean dan diterapkan pada sistem MIMO OFDM sehingga diharapkan pencapaian akan sistem dengan performansi yang handal dapat dicapai. Simulasi yang dilakukan ini menyajikan skema STTC dan OFDM pada multi antenna (2 pemancar x 2 penerima) dengan *Combiner* dan algoritma pendeteksi *Maximum Likelihood Sequence Estimator* (MLSE) pada *receiver* untuk mendapatkan kualitas sinyal pengiriman dalam analisa performansi *Bit Error Rate* (BER) dengan *Signal to Noise Ratio* (SNR). Hasil simulasi diperlihatkan dengan pemodulasian dengan *M-ary Phase Shift Keying* (MPSK) dan jumlah *symbol* yang dikirimkan dengan cara memberi nilai masukan parameter yang berbeda. Hasil menunjukkan bahwa dengan pemakaian jumlah *carrier* dan ukuran *Fast Fourier Transform* (FFT) yang besar dan jenis modulasi dengan konstelasi yang sedikit menghasilkan BER yang rendah dan *throughput* pada SNR tinggi.

Kata-kata kunci: MiMo, STC, STTC, OFDM, BER, SNR.

Abstract

Wireless communication nowadays requires the provision of a system with reliable performance, efficient use of bandwidth, efficient power and better coverage because it is in line with human needs for applications that require high and fast data rates. One of the concepts and methods to meet these needs is using an antenna technique with many transmitters and receivers or often called Multiple Input Multiple Output (MIMO) by adding a strategy at the time of delivery, namely the Space Time Coding (STC) technique. In addition, the application of Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) on MIMO-STC will more efficiently use bandwidth. The Space Time Trellis Code (STTC) method is one of the techniques of diversity in sending data with complex coding so that coding reinforcement is achieved and is applied to the OFDM MIMO system so that it is hoped that the achievement of a system with reliable performance can be achieved. The simulation that is carried out presents the STTC and OFDM schemes on multi antennas (2 transmitters x 2 receivers) with a Combiner and Maximum Likelihood Sequence Estimator (MLSE) detection algorithm on the receiver to get the quality of the sending signal in the performance analysis of Bit Error Rate (BER) with Signal to Noise Ratio (SNR). The simulation results are shown by modulation with M-ary Phase Shift Keying (MPSK) and the

number of symbols sent by giving different input parameter values. The results show that the use of the number of carriers and the size of the Fast Fourier Transform (FFT) is large and the modulation type with a small constellation produces a low BER and throughput at high SNR.

Keywords: *MiMo, STC, STTC, OFDM, BER, SNR.*

PENDAHULUAN

Komunikasi *Wireless* saat ini menuntut adanya penyediaan sistem dengan performansi yang handal, penggunaan *bandwidth* yang efisien, *power* yang efisien serta *coverage* yang lebih baik karena seiring dengan kebutuhan manusia akan aplikasi-aplikasi yang membutuhkan data rate yang tinggi. Salah satu kendala dalam sistem komunikasi *wireless* yaitu fenomena *fading* daya terima. *Fading* terjadi karena efek sinyal *multipath* dimana sinyal menempuh jalur yang berbeda dan mengalami pantulan, hamburan, dan redaman sehingga mengalami perubahan amplitudo dan fasa pada setiap sinyal.

Salah satu teknik yang banyak digunakan untuk mengatasi efek *multipath* yaitu pengaplikasian teknik *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) pada antena karena sinyal pantulan yang terjadi pada saat transmisi menguatkan sinyal utama [1]. Seiring perkembangan teknologi, sistem ini dipadukan dengan sistem *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) dimana sistem OFDM ini dapat menghemat *bandwidth* dan menangani efek kanal *selective fading* yang terjadi pada suatu sistem pengiriman data berkecepatan tinggi. Kombinasi kedua sistem ini sering disebut sistem MIMO-OFDM yang saat ini menjadi fokus penelitian untuk perkembangan telekomunikasi di masa yang akan datang.

MIMO merupakan penggunaan multi antena baik pada pengirim maupun pada penerima pada frekuensi yang sama dan waktu yang sama [1]. Multi antena pada pengirim dapat dilakukan dengan dua cara yaitu menggunakan *Spatial Multiplexing* ataupun *Space Time Coding* (STC) [2]. Pada STC informasi dikodekan pada antena transmit melalui dimensi *space* (antena) dan *time* (simbol) sedangkan pada *spatial multiplexing*, informasi tidak dikodekan sehingga teknik STC dipandang lebih baik dalam hal kualitas dan keamanan [2].

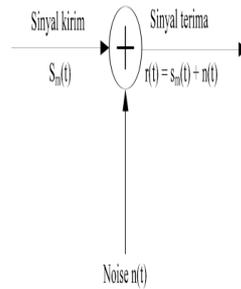
Space Time Coding dapat dikategorikan menjadi dua macam yaitu *Space Time Block Codes* (STBC) dan *Space Time Trellis Coding* (STTC). STBC mentransmisikan *simbol* menggunakan struktur blok yang saling orthogonal sehingga proses *decoding* menjadi lebih sederhana, namun hanya memberikan *gain diversity*. Sedangkan STTC memanfaatkan prinsip *convolutional*. STTC tidak hanya memberikan *gain diversity* saja tetapi juga *coding gain* karena kode yang dikirimkan lebih kompleks dan terjadi proses algoritma *maximum likelihood* yang diimplementasikan melalui *viterbi detection algorithm* sehingga prosesnya menjadi lebih kompleks pada sisi pengirim dan penerima. Proses yang kompleks tersebut membuktikan bahwa performansi STTC lebih baik daripada STBC yang berbasis teknik alamouti [3, 8]. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan analisa unjuk kerja *Space Time Trellis Code* (STTC) pada kanal MIMO OFDM terhadap kualitas sinyal terima, dalam hal ini parameter yang digunakan adalah *Bit Error Rate* (BER) vs SNR dan *Throughput*.

METODOLOGI

Kanal Additive White Gaussian Noise (AWGN)

Kanal AWGN adalah kanal ideal yang hanya memiliki *noise Additive White Gaussian Noise* (AWGN) didalamnya. Kanal ideal berarti kanal ini tidak mengalami distorsi (perubahan sinyal) pada sinyal yang akan dikirim, artinya kanal ideal memiliki *bandwidth* tidak terbatas dan respon frekuensinya tetap untuk segala frekuensi [4].

Pemodelan dari kanal AWGN diperlihatkan pada GAMBAR 1[4]:



GAMBAR 1. Pemodelan kanal AWGN

Dimana :

$s_m(t)$ = sinyal informasi yang dikirim

$n(t)$ = noise

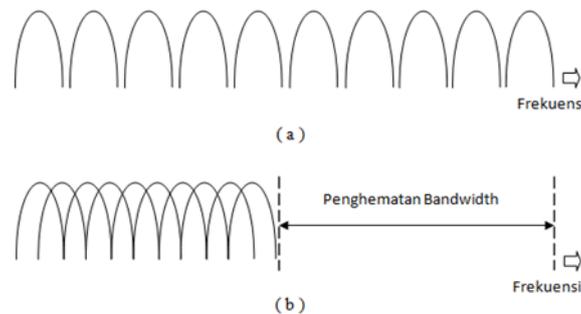
$r(t)$ = sinyal yang diterima

Didefinisikan sinyal informasi $s_m(t)$ ditransmisikan pada interval $0 \leq t \leq T$, maka sinyal terima setelah terdistorsi noise adalah :

$$r(t) = s_m(t) + n(t), 0 \leq t \leq T \tag{1}$$

Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)

OFDM adalah teknologi yang dipatenkan pada tahun 1970 [6] dengan membagi data serial berkecepatan tinggi menjadi serangkaian *bit-bit* paralel dengan *bit rate* yang lebih rendah. *Bit-bit* tersebut akan dibawa oleh *subcarrier-subcarrier* yang bersifat *orthogonal* dimana antara *subcarrier* satu dengan *subcarrier* yang lainnya saling *overlapping* namun tidak menimbulkan efek interferensi. Setiap *subcarrier* mempunyai *bit rate* yang rendah, hal ini akan mengurangi efek *Inter Symbol Interference* (ISI). Berikut ini adalah perbandingan spektrum frekuensi (*bandwidth utilization*) *multicarrier* FDM konvensional dan OFDM [7].



GAMBAR 2. Teknik Modulasi FDM konvensional (a), Teknik Modulasi OFDM (b)

Sistem OFDM ini menggunakan teknik *Digital Signal Processing* (DSP) modern yaitu *Discrete Fourier Transform* (DFT). Teknik ini akan mengurangi kekompleksitasan sistem modulator pada sistem transmitter maupun *demodulator* pada *receiver* yang umumnya dibentuk dari *osilator*, *mixer*, dan *filter*. Untuk modulasinya menggunakan *Inverse Fast Fourier Transform* (IFFT), sedangkan untuk demodulasinya menggunakan *Fast Fourier Transform* (FFT).

Space Time Coding (STC)

Kapasitas sinyal informasi pada sistem komunikasi *wireless* dapat ditingkatkan secara dramatis dengan memanfaatkan sejumlah antenna (MIMO), namun permasalahan dasar pada sistem MIMO yaitu pada saat operasi pemetaan di transmitter dan penyesuaian inversi di *receiver*. Untuk mengoptimalkan performansi sistem, maka diharapkan MIMO dapat mengatasi masalah *multipath*

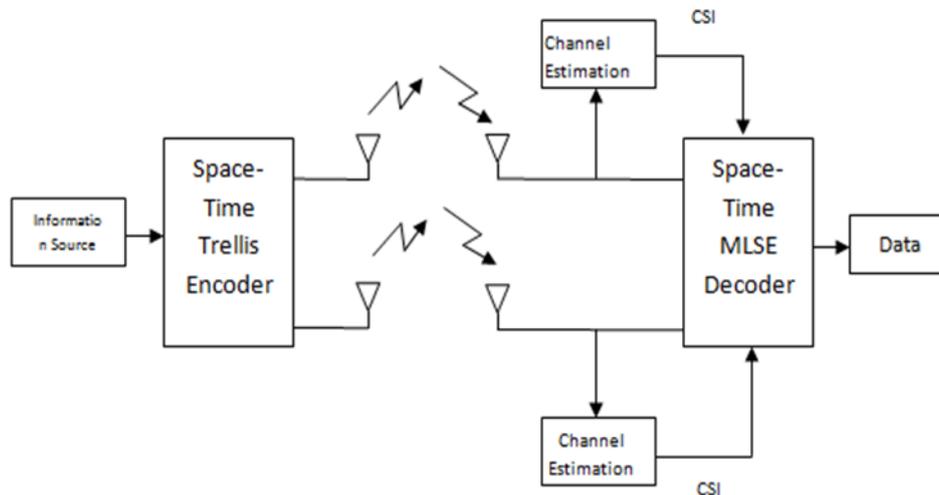
dengan menggunakan beberapa metode pentransmisian. Salah satu pendekatan yang efektif adalah dengan menggunakan teknik pengkodean pada sejumlah antena pengirim yang dapat menggambarkan dan mengoreksi terhadap sinyal yang akan dikirimkan. Hal ini ditujukan agar sinyal awal yang dikirimkan dapat tetap terjaga pada saat diterima. Inilah yang disebut sebagai *Space Time Coding* [9], karena mendefinisikan suatu pengkodean yang beroperasi melewati *space* (antena) dan *time* (simbol). Pengkodean secara terpisah dengan menggunakan multi antena pada periode waktu tertentu dengan banyaknya *simbol* secara berkala. Karena pada umumnya pengkodean hanya beroperasi melewati domain waktu dengan menggunakan banyak simbol [9].

Space Time Coding merupakan penggabungan antara teknik pemodulasian, teknik pengkodean kanal dan diversitas antena [9]. Dalam *Space Time Coding* pemrosesan sinyal pada *transmitter* tidak dilakukan hanya pada domain waktu tetapi juga pada domain ruang sehingga sinyal yang telah diproses dan dikodekan tersebut dikirim melewati antena pengirim dan selanjutnya untuk diperkenalkan korelasinya antara sinyal-sinyal lain yang dikirimkan dari antena lainnya pada periode waktu yang berbeda. Hal ini dilakukan karena antara tingkat data dan unjuk kerja secara signifikan dapat diperbaiki tanpa mengorbankan lebar pita (*bandwidth*) [9].

Gagasan dari *Space Time Coding* pertama kali dipelopori oleh Tarokh, Seshadri dan Calderbank [13]. Mereka membuktikan bahwa antara diversitas dan teknik pengkodean dapat diperoleh secara bersamaan dengan memanfaatkan *Space Time Coding*, karena merupakan suatu metode yang menyediakan diversitas pada kanal *multipath* yang menggunakan multi antena untuk memperoleh diversitas yang maksimum pada kanal tersebut. Sedangkan *multipath fading* pada sistem multi antena umumnya dipengaruhi oleh diversitas waktu, diversitas frekuensi, dan diversitas ruang.

MIMO-Space Time Trellis Coding (STTC)

Space Time Trellis Code (STTC) pertama kali diperkenalkan oleh Tarokh, Seshadri dan Calderbank [13]. STTC adalah teknik MIMO yang menyediakan *full diversity* dan *coding gain* [13]. Berikut adalah blok diagram STTC dengan M *transmit antenna* dan N *receive antenna*.

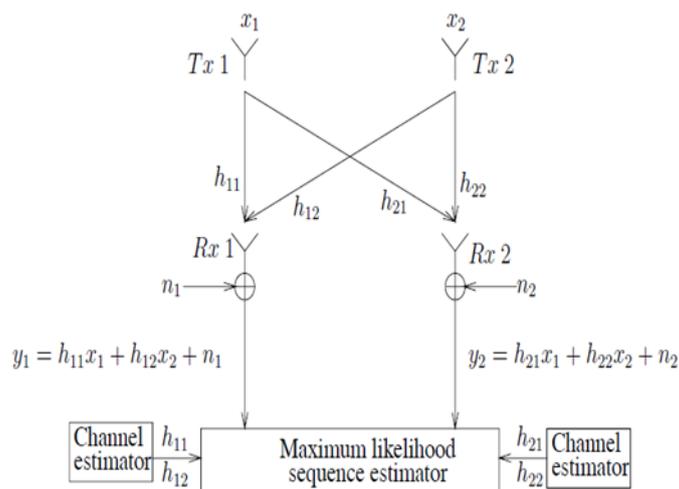


GAMBAR 3. Blok Diagram STTC [14]

PERANCANGAN STTC PADA SISTEM MIMO

Skema STTC pada Sistem MIMO

GAMBAR 4 menunjukkan skema STTC 2 X 2, dimana pada skema tersebut terdiri dari 2-antena pemancar dan 2-antena penerima (MIMO).



GAMBAR 4. Skema STTC 2 X 2 [8, 16]

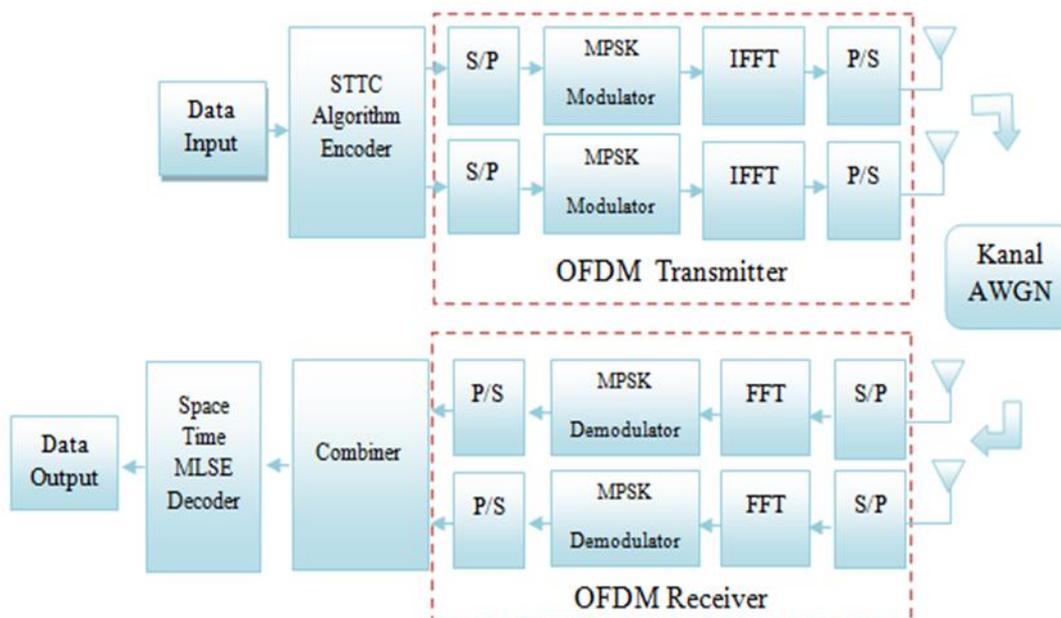
Pada GAMBAR 4, terdapat x_1 dan x_2 yang merupakan simbol yang ditransmisikan oleh antena Tx1 dan Tx2. Pada bagian penerima Rx1 dan Rx2 didapat persamaan [16]:

$$y_1 = h_{11}x_1 + h_{12}x_2 + n_1 \tag{2}$$

$$y_2 = h_{21}x_1 + h_{22}x_2 + n_2 \tag{3}$$

Dimana h_{11} , h_{12} , h_{21} , dan h_{22} merupakan koefisien kanal hasil estimasi pada blok *channel estimator* dan n_1 , n_2 adalah variabel acak kompleks yang mewakili interferensi dan *noise* termal. Decoder STTC menggunakan algoritma viterbi berbasis *Maximum Likelihood Sequence Estimator* (MLSE) untuk penelusuran kode trellisnya [18].

Blok Diagram STTC pada Sistem MIMO



GAMBAR 5. Blok Diagram STTC

Data Input

Data *input* berupa sinyal yang berupa *bit-bit* biner yang acak. Pada sinyal input ini terjadi proses A/D (Analog to Digital) Converter di mana tiap-tiap *bit* yang terbentuk akan dikirimkan ke masing-masing *Transmitter* (Tx) dan selanjutnya ditransmisikan ke *Receiver* (Rx), dengan alur transmisi pada blok diagram di atas.

STTC Algorithm Encoder

Pada blok ini dilakukan pengkodean *bit-bit* biner dari data *input* menjadi kode *trellis*. Untuk pengkodean *bit*, diperlukan diagram *trellis* yang berfungsi memetakan data random '0' dan '1' menjadi *codeword*. Keluaran diagram *trellis* ini terdiri dari dua *simbol* yang kemudian akan dilewatkan ke blok *serial to parallel*.

Serial to Parallel (S/P)

Berfungsi untuk mengubah data yang sifatnya *serial* menjadi *paralel*. Dimana banyaknya *N-paralel* adalah banyaknya *input* data, dan selanjutnya akan di modulasikan dengan *modulator* QPSK menjadi *subcarrier-subcarrier* OFDM. Pada program simulasi proses perubahan data *serial* menjadi *paralel*.

Modulator MPSK

Setelah hasil S/P, maka masing-masing *bit* data akan dimodulasikan dengan teknik modulasi MPSK. Pada blok ini, *input*-nya dimodulasikan menjadi *simbol-simbol* MPSK dimana 1 *simbol* membawa $2n$ *bit* data.

Invers Fast Fourier Transform (IFFT)

Blok *Inverse Fast Fourier Transform* (IFFT) pada sistem OFDM berfungsi untuk membangkitkan frekuensi *carrier* yang saling ortogonal satu dengan yang lain. Jumlah titik IFFT pada implementasi bernilai $2n$, dengan n adalah bilangan bulat positif. Titik IFFT bisa diatur sesuai dengan jumlah *subcarrier* yang digunakan atau lebih besar dari jumlah *subcarrier*.

Paralel To Serial (P/S)

Blok ini mengubah data *paralel* dari keluaran *Invers Fast Fourier Transform* IFFT menjadi bentuk serial. Agar dapat ditransmisikan data tersebut diubah dalam bentuk deretan *serial* untuk dapat ditransmisikan melalui kanal AWGN. Hal ini disebabkan karena penghematan biaya. Jika tidak mengubah kedalam bentuk serial, diperlukan banyak kanal sesuai dengan jumlah *carriernya*. Dengan menyusun secara seri, hanya diperlukan satu buah kanal untuk mengirimkan data tersebut. Proses perubahan data *paralel* menjadi *serial*

Additive White Gaussian Noise (AWGN)

Pada blok ini sinyal akan melewati kanal *noise* yang berupa AWGN dan akan mengalami perubahan *polarisasi* sinyal yang akan di terima di *receiver*, dapat dikategorikan juga *noise* adalah gangguan tapi dalam konsep ini *noise* ini adalah berupa suara yang dimodulasikan yang menjadi suatu sinyal informasi.

Serial to Paralel (S/P)

Blok ini bertujuan untuk mengubah data yang diterima dari *transmitter* yang telah melalui kanal AWGN maka deretan sinyal *discrete serial* tersebut akan diparalelkan untuk proses FFT agar dapat di demodulasikan menjadi sinyal awal saat dikirimkan.

Fast Fourier Transform (FFT)

Blok FFT berfungsi sebagai osilator lokal pada penerima yang memisahkan frekuensi carrier dengan *simbol-simbol* OFDM yang berbeda pada frekuensi tersebut. Jumlah titik FFT sama seperti jumlah titik IFFT.

Demodulator MPSK

Simbol OFDM yang masih dalam format modulasi MPSK kemudian diubah menjadi data biner.

Paralel to Serial (P/S)

Data biner yang masih dalam bentuk aliran data *parallel* kemudian dikonversi menjadi aliran data *serial*. Proses perubahan data *parallel* menjadi *serial*.

Combiner

Blok ini dimaksudkan dimana sinyal-sinyal yang diterima pada masing-masing antenna *receiver* akan digabungkan kembali. Pada blok ini dilaksanakan operasi linier dasar seperti penambahan perkalian, dan *transformasi conjugate* terhadap sinyal yang diterima agar dapat mengurangi *noise*.

Space Time MLSE Decoder

Space Time MLSE Decoder pada umumnya berfungsi untuk mengubah *simbol-simbol space time trellis code* menjadi urutan *bit-bit* data. *Bit-bit* data diperoleh dengan menggunakan Algoritma *Maximum Likelihood*. Algoritma *Maximum Likelihood* merupakan deteksi sinyal yang kompleks. Algoritma ML ini diimplementasikan melalui *Viterbi Detection Algorithm*. Prinsip ML yaitu memilih jarak kode *hamming* terkecil (*hard decoding*) atau berdasarkan jarak *Euclidian distance* d_{min}^2 (*soft decoding*) dari dua pasang *codeword* (2L).

Data Output

Data *Output* berupa data yang sudah di pengaruhi *noise AWGN* yang sudah menjadi sinyal-sinyal digital, data-data yang merupakan keluaran dari *Space Time MLSE decoder* berupa *bit-bit* biner yang akan dibandingkan dengan data pada saat masuk kedalam sistem untuk dilihat tingkat probabilitasnya atau *bit error-nya*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Parameter Simulasi

Tujuan utama dari simulasi ini adalah untuk mengetahui unjuk kerja MIMO-OFDM dengan teknik *Space Time Trellis Code* (STTC) yang didasarkan pada *Bit Error Rate* (BER) dan *Throughput*. Sistem pada simulasi memiliki parameter-parameter seperti diperlihatkan pada TABEL 1.

TABEL 1. Parameter Sistem MIMO-OFDM dengan STTC

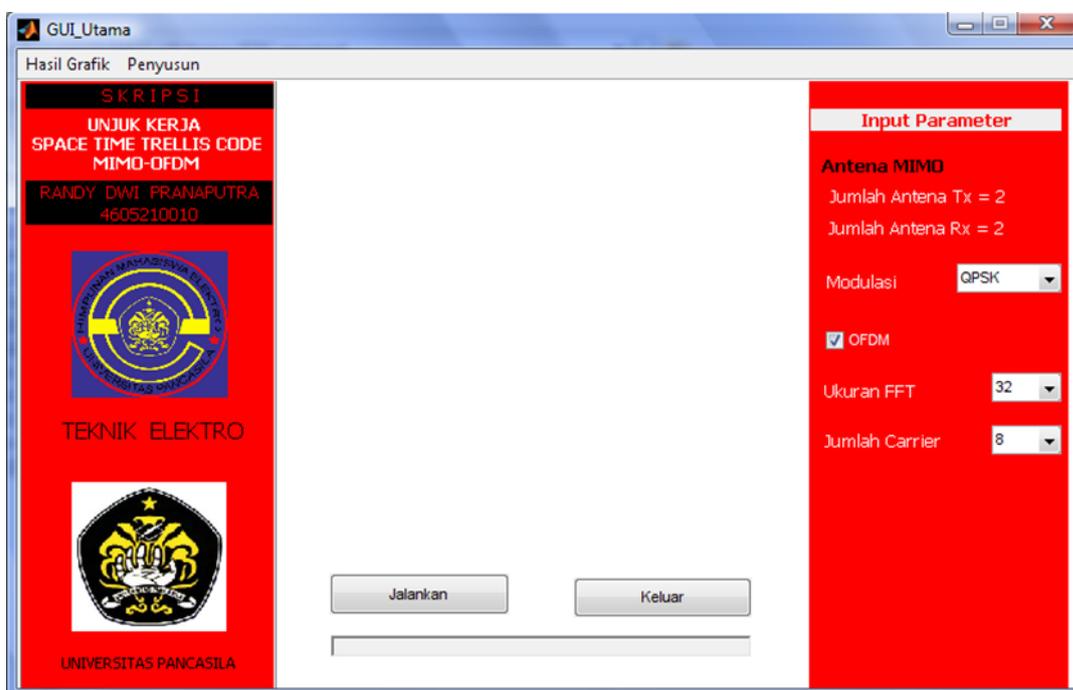
Sistem parameter	Nilai Parameter
Jumlah Bit	76800
SNR	1 - 25
Troughput	0 – 500 kbps
Teknik Modulasi	QPSK, 8PSK, dan 16PSK
Jumlah Antena Tx	2
Jumalh Antena Rx	2
Error Control Coding	Convolutional coderate 1/2
Jumlah carrier	8 dan 16

Sistem parameter	Nilai Parameter
Ukuran FFT	32, 64, dan 128

TABLE 1 menunjukkan bahwa teknik modulasi yang digunakan dalam sistem MIMO-OFDM adalah QPSK, 8PSK dan 16PSK. Jumlah antena *transmitter* adalah 2 yang menyatakan bahwa antena menggunakan *multiple input*. Jumlah antena *receiver* adalah 2 yang menunjukkan penggunaan antena *multiple output*. *Error control coding* menggunakan *convolutional encoding* dengan *coderate* $\frac{1}{2}$ yang menyatakan perbandingan jumlah *bit input* dengan jumlah *bit output* pada proses *encoding*. Jumlah *carrier* sistem MIMO-OFDM adalah 8 dan 16. Jumlah FFT adalah 32, 64, dan 128.

Skenario Simulasi Space Time Trellis Code (STTC) pada Sistem MIMO

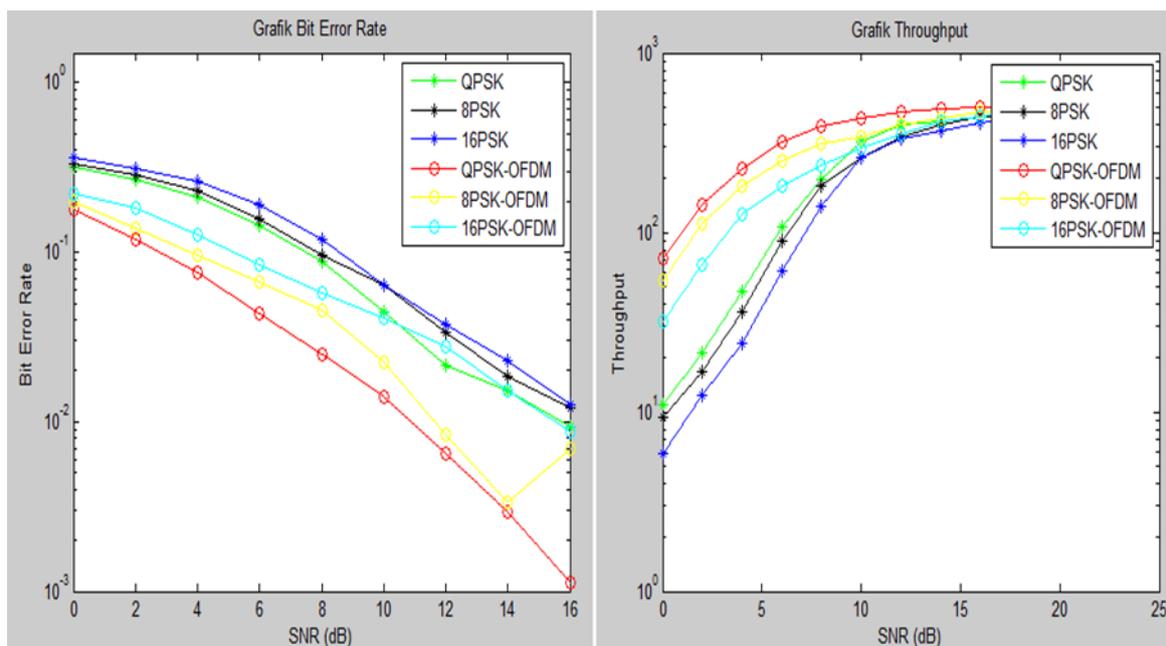
Pada program akan ditampilkan hasil simulasi *Space Time Trellis Code* (STTC) pada sistem MIMO OFDM menggunakan MATLAB R2008a dengan OS Windows Vista Ultimate dengan kapasitas RAM 8Gb. Dimana tampilan dari *Grafik User Interface* (GUI) utamanya adalah pada GAMBAR 6 sebagai berikut :



GAMBAR 6. GUI Simulasi

Hasil Simulasi Perbandingan BER vs SNR dan Troughput sistem pada pengaruh penggunaan OFDM terhadap kinerja sistem dengan modulasi QPSK, 8PSK dan 16PSK.

Untuk BER dan *Troughput* pada sistem tanpa menggunakan OFDM dibandingkan dengan sistem yang telah menggunakan OFDM terhadap kinerja sistem dengan modulasi QPSK, 8PSK, dan 16PSK



GAMBAR 7. Grafik BER vs SNR dan *Throughput* pada pengaruh penggunaan OFDM terhadap kinerja sistem dengan modulasi QPSK, 8PSK dan 16PSK.

Pada GAMBAR 7 terlihat pengaruh dari OFDM dan modulasi yang digunakan pada sistem sangat besar terbukti dengan perbedaan yang terjadi antara nilai BER dan *throughput* pada sistem tanpa menggunakan OFDM dengan sistem yang menggunakan OFDM dengan modulasi yang berbeda-beda, yaitu QPSK, 8PSK dan 16PSK. Dari hasil grafik dapat diketahui bahwa sistem dengan modulasi QPSK dan menggunakan OFDM performansinya lebih baik diantara yang lainnya karena QPSK mengalami distorsi paling kecil diantara modulasi 8PSK dan 16PSK, ditambah lagi dengan OFDM yang memungkinkan penggunaan bandwidth yang efisien sehingga jumlah *bit* yang *error* dapat diminimalkan. Perbandingan nilai BER dan *throughput* pada pada pengaruh penggunaan OFDM terhadap kinerja sistem dengan modulasi QPSK, 8PSK dan 16PSK dapat dilihat pada TABEL 2 dan 3.

TABEL 2. Perbandingan nilai BER pada pada pengaruh penggunaan OFDM terhadap kinerja sistem dengan modulasi QPSK, 8PSK dan 16PSK.

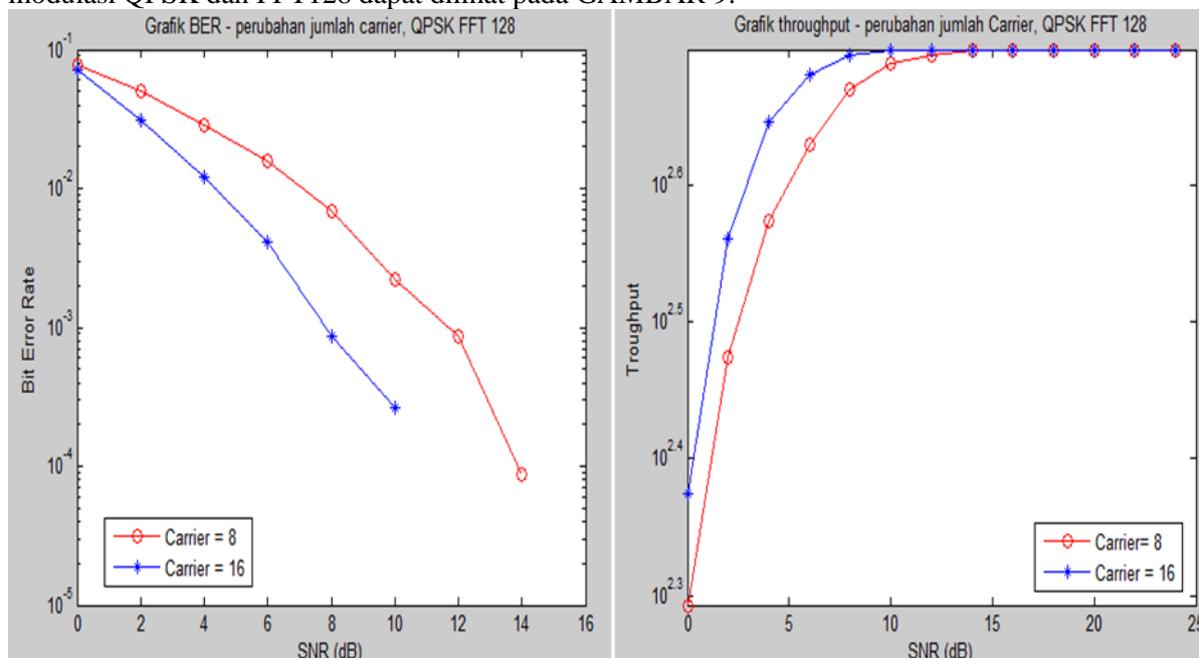
SNR (dB)	BER (tana OFDM)			BER (dengan OFDM)		
	QPSK	8PSK	16PSK	QPSK	8PSK	16PSK
0	0,317969	0,329036	0,359505	0,176823	0,199609	0,220833
4	0,211241	0,231641	0,261372	0,075998	0,096832	0,128168
8	0,088411	0,096701	0,118924	0,025043	0,045226	0,045486
12	0,021701	0,033377	0,037891	0,006467	0,008464	0,021571
16	0,009418	0,012153	0,012717	0,001128	0,006988	0,008681

TABEL 3. Perbandingan *throughput* pada pada pengaruh penggunaan OFDM terhadap kinerja sistem dengan modulasi QPSK, 8PSK dan 16PSK.

SNR (dB)	Throughput (tanpa OFDM)			Throughput (dengan OFDM)		
	QPSK	8PSK	16PSK	QPSK	8PSK	16PSK
0	10,88962	9,246114	5,80933	71,43363	53,94981	31,86286
4	46,60275	35,8603	24,16743	226,8286	180,5749	126,8516
8	198,1338	180,8354	140,9632	387,9921	314,7583	237,3782
12	396,8916	339,793	335,2223	468,5899	402,0336	356,0758
16	442,4537	439,933	405,2553	494,3862	466,1392	444,2064

Hasil Simulasi Perbandingan BER vs SNR dan Troughput pada pengaruh perubahan carrier terhadap kinerja sistem dengan modulasi QPSK dan FFT 128.

Untuk BER dan *Troughput* pada pengaruh perubahan *carrier* terhadap kinerja sistem dengan modulasi QPSK dan FFT128 dapat dilihat pada GAMBAR 9.



GAMBAR 8. Grafik BER vs SNR dan *Troughput* pada pengaruh perubahan *carrier* terhadap kinerja sistem dengan modulasi QPSK dan FFT128.

Pada GAMBAR 8, BER vs SNR terhadap perubahan jumlah *carrier* pada sistem terlihat perubahan BER yang semakin kecil ketika jumlah *carrier* ditingkatkan dua kali lipat dari jumlah *carrier* sebelumnya. Begitu pula perubahan *throughput* sistem ketika jumlah *carrier* ditingkatkan, *throughput* sistem semakin baik apabila dibandingkan dengan jumlah *carrier* yang lebih kecil dari jumlah *carrier* yang ditingkatkan walaupun pada grafik ini perbedaan *throughput* pada sistem tidak terlalu besar. Selain itu, pada saat sistem dengan modulasi QPSK dan *carrier*16 berada dititik SNR=12 dan sistem dengan *carrier*8 berada dititik SNR=16 garis pada grafik terputus dikarenakan oleh *error* yang terjadi lebih kecil dari 10^{-5} sehingga program simulasi menganggap sistem tersebut tidak terjadi *error* pada *bit* yang dikirimkan. Oleh karena itu, ketika BER=0 maka *throughput* sistem akan maksimal yaitu 500kbps. Perbandingan BER dan *Troughput* pada gambar 8 dapat dilihat pada TABEL 4 dan 5.

TABEL 4. Perbandingan BER terhadap pengaruh perubahan *carrier* terhadap kinerja sistem dengan modulasi QPSK dan FFT128.

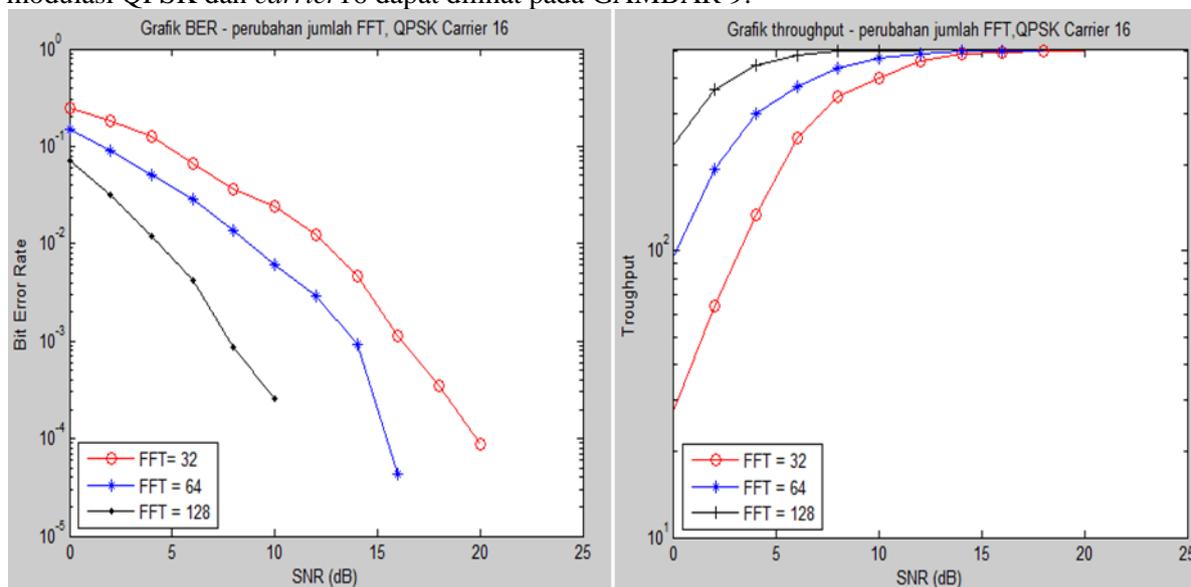
SNR (dB)	BER	
	Carrier 8	Carrier 16
0	0,077431	0,072092
4	0,028299	0,012023
8	0,006771	0,000868
12	0,000868	0
16	0	0

TABEL 5. Perbandingan *Troughput* sistem terhadap perubahan jumlah *carrier* pada MIMO OFDM dengan modulasi QPSK dan FFT 128.

SNR (dB)	<i>Troughput</i> (kbps)	
	Carrier 8	Carrier 16
0	196,3487	236,6024
4	375,2306	443,0372
8	467,1589	495,6766
12	495,6766	500
16	500	500

Hasil Simulasi Perbandingan BER vs SNR dan Troughput pada pengaruh perubahan FFT terhadap kinerja sistem dengan modulasi QPSK dan carrier16.

Untuk BER dan *Troughput* pada pengaruh perubahan FFT terhadap kinerja sistem dengan modulasi QPSK dan *carrier16* dapat dilihat pada GAMBAR 9.



GAMBAR 9. Grafik BER vs SNR dan *Troughput* pada pengaruh perubahan FFT terhadap kinerja sistem dengan modulasi QPSK dan *carrier16*.

Pada GAMBAR 9, grafik BER vs SNR terhadap perubahan ukuran FFT pada sistem dengan modulasi QPSK dan *carrier16* terlihat nilai BER pada FFT64 lebih baik dibandingkan FFT32, begitu juga FFT128 lebih baik dibandingkan FFT64 dan FFT32 dikarenakan semakin besar ukuran FFT semakin baik pemrosesan sinyal yang terjadi. Begitu pula perubahan *troughput* sistem ketika ukuran FFT128, *troughput* sistem semakin baik apabila dibandingkan dengan sistem yang menggunakan ukuran FFT64 dan FFT32. Selain itu, pada saat sistem dengan modulasi QPSK dan FFT128 berada dititik SNR=12 garis pada grafik terputus dikarenakan oleh *error* yang terjadi lebih kecil dari 10^{-5} sehingga program simulasi menganggap sistem tersebut tidak terjadi *error* pada *bit* yang dikirimkan. Oleh karena itu, ketika BER=0 maka *troughput* sistem akan maksimal yaitu 500kbps. Perbandingan BER dan *Troughput* pada GAMBAR 9 dapat dilihat pada TABEL 6 dan 7.

TABEL 6. Perbandingan BER terhadap pengaruh perubahan FFT terhadap kinerja sistem dengan modulasi QPSK dan *carrier 16*.

SNR (dB)	BER		
	FFT32	FFT64	FFT128
0	0,249783	0,151259	0,072092
4	0,124262	0,05	0,012023
8	0,036372	0,013845	0,000868
12	0,012543	0,002865	0
16	0,001128	4,34E-05	0

TABEL 7 Perbandingan *Troughput* sistem terhadap perubahan FFT pada MIMO OFDM dengan modulasi QPSK dan *carrier 16*.

SNR (dB)	<i>Troughput (kbps)</i>		
	FFT32	FFT64	FFT128
0	28,23834	96,98922	236,6024
4	132,6512	299,3685	443,0372
8	345,1964	434,9303	495,6766
12	459,2582	485,8603	500
16	494,3862	499,783	500

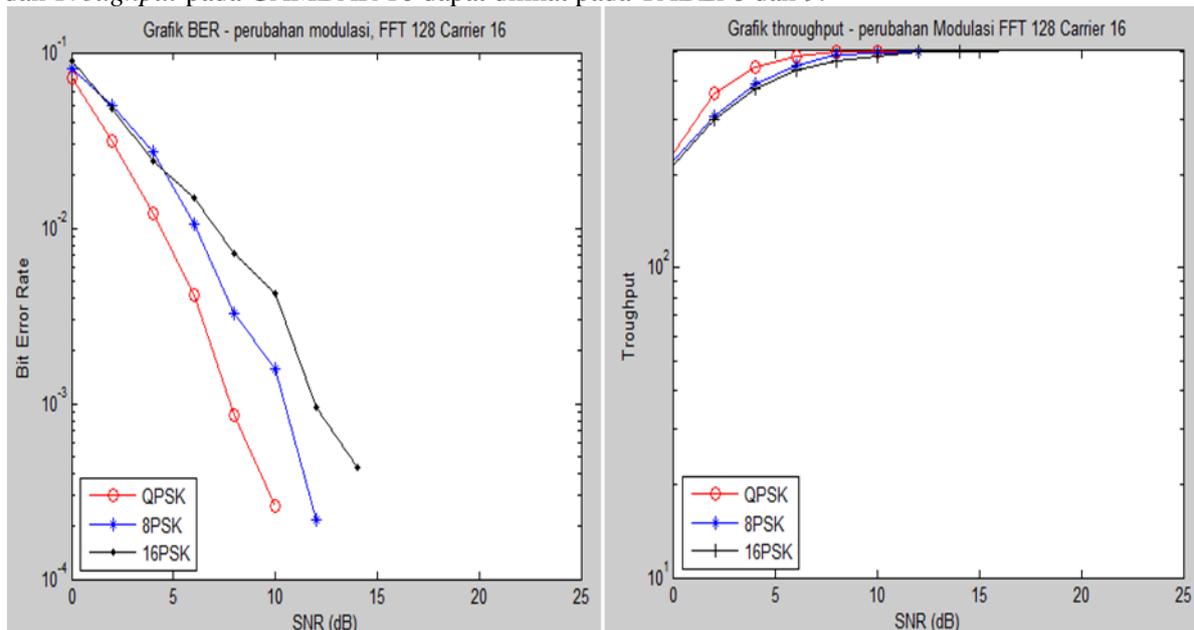
TABEL 7. Perbandingan *Troughput* sistem terhadap perubahan FFT pada MIMO OFDM dengan modulasi QPSK dan *carrier* 16.

SNR (dB)	<i>Troughput</i> (kbps)		
	FFT32	FFT64	FFT128
0	28,23834	96,98922	236,6024
4	132,6512	299,3685	443,0372
8	345,1964	434,9303	495,6766
12	459,2582	485,8603	500
16	494,3862	499,783	500

Hasil Simulasi Perbandingan BER vs SNR dan *Troughput* pada pengaruh perubahan Modulasi terhadap kinerja sistem dengan FFT128 dan *carrier*16.

Untuk BER dan *Troughput* pada pengaruh perubahan Modulasi terhadap kinerja sistem dengan FFT128 dan *carrier*16 dapat dilihat pada gambar 10.

Pada GAMBAR 10, grafik BER vs SNR terhadap perubahan modulasi pada sistem dengan FFT128 dan *carrier*16 terlihat nilai BER pada sistem dengan modulasi QPSK lebih kecil dibandingkan dengan sistem dengan modulasi 8PSK dan 16PSK dikarenakan jumlah konstelasi sinyal 8PSK dan 16PSK lebih banyak daripada QPSK sehingga distorsi yang terjadi pada modulasi 8PSK dan 16PSK lebih besar daripada modulasi QPSK. Begitu pula *troughput* sistem dengan modulasi QPSK lebih baik dibandingkan dengan sistem dengan modulasi 8PSK dan 16PSK. Selain itu, pada saat sistem dengan modulasi QPSK berada dititik SNR=12, 8PSK dan 16PSK berada dititik SNR=16 garis pada grafik terputus dikarenakan oleh *error* yang terjadi lebih kecil dari 10^{-5} sehingga program simulasi menganggap sistem tersebut tidak terjadi *error* pada *bit* yang dikirimkan. Oleh karena itu, ketika BER=0 maka *troughput* sistem akan maksimal yaitu 500 kbps. Perbandingan BER dan *Troughput* pada GAMBAR 10 dapat dilihat pada TABEL 8 dan 9.



GAMBAR 10. Grafik BER vs SNR dan *Troughput* pada pengaruh perubahan Modulasi terhadap kinerja sistem dengan FFT128 dan *carrier* 16.

TABEL 8. Perbandingan BER terhadap pengaruh perubahan Modulasi terhadap kinerja sistem dengan FFT128 dan *carrier*16.

SNR (dB)	BER		
	QPSK	8PSK	16PSK
0	0,072092	0,080556	0,089236
4	0,012023	0,027344	0,024306
8	0,000868	0,003255	0,007161
12	0	0,000217	0,000955
16	0	0	0

TABEL 9. Perbandingan *Troughput* sistem terhadap perubahan Modulasi terhadap kinerja sistem dengan FFT128 dan *carrier*16.

SNR (dB)	Troughput (kbps)		
	QPSK	8PSK	16PSK
0	236,6024	223,337	215,8862
4	443,0372	390,9384	378,9342
8	495,6766	483,9603	465,3249
12	500	498,916	495,2462
16	500	500	500

SIMPULAN

Dari hasil simulasi dan analisis yang telah dilakukan, maka didapat beberapa kesimpulan yang berhubungan dengan performansi *Space Time Trellis Code* (STTC) MIMO-OFDM, yaitu :

1. Penggunaan OFDM pada *Space Time Trellis Code*-MIMO dapat mengurangi BER dan meningkatkan *troughput* sistem jika dibandingkan dengan sistem tanpa menggunakan OFDM.
2. Semakin besar jumlah *carrier* yang digunakan pada sistem dengan ukuran FFT yang sama, semakin kecil BER yang dihasilkan sehingga *troughput* sistem semakin baik.
3. Semakin besar ukuran FFT yang digunakan pada sistem dengan jumlah *carrier* yang sama, semakin kecil BER yang dihasilkan sehingga *troughput* sistem semakin baik.
4. Modulasi QPSK memberikan performansi yang paling baik jika dibandingkan dengan modulasi 8PSK dan 16PSK.
5. BER terkecil dan *Troughput* terbesar didapatkan ketika penggunaan modulasi QPSK dan OFDM dengan *carrier*16 dan FFT128 yaitu BER=0,072092 dan *troughput*=236,6024 pada saat SNR=0.

REFERENSI

- [1] John Fitzpatrick, "Simulation of a Multiple Input Multiple Output (MIMO) wireless system," *School of Electronic Engineering Dublin City University*, April 2004.
- [2] Harish Ganapathy, "Multiple Input Multiple Output (MIMO) System, Basic Principles, Algorithms, and Network Application".
- [3] S. Sandhu, R. Heath, A. Paulraj, "Space Time Block Codes Versus Space Time Trellis Codes," Stanford University, Stanford, 2001.
- [4] <http://www.mathworks.com/Go&objectType=search =awgn>
- [5] <http://www.mathworks.com/matlabcentral/ search&citeria=noise>.
- [6] Matiae, Dusan, "OFDM as a possible modulation technique for multimedia application in the range of mm waves," *Introduction to OFDM II edition*, 1998.
- [7] Prasad, Ramjee, "OFDM for Wireless Communication Systems," Artech House, Boston London, 2004.
- [8] Glisic, Savo, "Advance Wireless Communications 4G Technologies," *John Willey & Sons*, Finland, 2004.
- [9] Vucetic, Brancka & Yuan, Jinhong, "Space Time Coding," *Wiley*, England, 2003.
- [10] S. Salous, "Multiple Input Multiple Output System : capacity and Channel measurement," Department Of Electrical Engineering and Electronics UMIST, UK.
- [11] THE NON-ENGINEER'S INTRODUCTION TO MIMO AND MIMO-OFDM. <http://www.mimo.ucla.edu>
- [12] A. Paulraj, "Broadband Wireless The MIMO Advantage," Stanford University, 2001.
- [13] Tarokh, Vahid & A. Robert Calderbank, "Space Time Block Coding for Wireless Communication," *IEEE Journal*, vol. 17, no. 3, March 1999.

- [14] Liang, Yibin, "Simulation of Space Time Trellis Codes," *ECE5654 Final Project Report*, 2002.
- [15] Amiri, Bahador, "Space Time Trellis Code (STTC)," Winter, 2006.
- [16] Alamouti, M. Siavash, "A Simple Transmit Diversity Technique for Wireless Communication," *IEEE Journal*, vol. 16, no. 8, October 1998.
- [17] Institute of Telecommunication, "Evolution of Mobile Communication," Technische Universität Hamburg, Harburg.
- [18] Haykin, Simon & Moher, Michael, "Modern Wireless Communication," Pearson Prentice Hall, New Jersey, 2005.
- [19] Datacom Research Company, "Using MIMO-OFDM Technology to Boost Wireless LAN Performance Today," White paper Ver. 1.0, June 1, 2005.
- [20] Alexiou, Angeliki & Martin Haardt, "Smart Antennas and Related Technologies Briefing," *Wireless World Research Forum*.
- [21] Jafarkhani, Hamid, "Space-Time Coding Theory and Practice," Cambridge University Press, New York, 2005.