

Analisis Estimasi Kanal Dengan Menggunakan Metode Invers Matrik Pada Sistem MIMO-OFDM

Kukuh Nugroho¹, Riski Utami²

^{1,2}Sekolah Tinggi Teknologi Telematika Telkom Purwokerto

^{1,2}Jl. D.I Panjaitan No.128 Purwokerto

¹kukuh@st3telkom.ac.id, ²utamirizki59@gmail.com

Abstrak - Kanal merupakan media transmisi antar pengirim dan penerima. Pada sistem komunikasi berbasis nirkabel, kanal memegang peranan penting dalam menentukan kualitas dari proses pengiriman sinyal dari pengirim ke penerima. Terdapat beberapa faktor yang menentukan kualitas komunikasi nirkabel akibat pengaruh kanal, diantara komponen yang mempengaruhi kanal antara lain; kanal terdapat banyak *noise* (derau), atenuasi (redaman), juga dengan banyaknya jalur yang digunakan, sehingga terjadi redaman yang dikenal dengan istilah *multipath fading* yang dapat merusak sinyal, sehingga sinyal berubah dari bentuk aslinya. Multipath fading merupakan gejala pelemahan sinyal akibat sinyal dari pengirim melewati berbagai macam jalan, bisa sinyal langsung, terpantul, maupun sinyal yang sudah teredam oleh bahan tertentu, misalnya kaca atau kayu. Penggunaan teknik OFDM dapat meminimilasi pengaruh gejala multipath fading. OFDM merupakan teknik penransmisi data berkecepatan tinggi dengan menggunakan beberapa sinyal pembawa (carrier) secara paralel. Sedangkan MIMO merupakan teknik dalam proses penransmisi sinyal dengan menggunakan beberapa antena, baik pada sisi pengirim maupun penerima. Tujuan dari penggunaan teknik multi-antena adalah untuk memaksimalkan proses transmisi data (sinyal) ke penerima. Sehingga penggabungan teknik MIMO-OFDM merupakan suatu teknik transmisi yang mampu menyediakan layanan dengan kecepatan transfer data tinggi serta dapat meminimalisasi akibat pengaruh multipath fading. Dalam proses pendeteksian data pada sisi penerima diperlukan peran dari proses estimasi kanal. Perubahan kondisi kanal yang setiap saat berubah mengakibatkan perlunya proses estimasi kanal disisi perangkat penerima. Salah satu metode yang digunakan pada penelitian ini adalah menggunakan teknik invers matrik. Pola penggunaan antena banyak (*multi-antena*) pada sisi pengirim dan penerima dapat dipolakan dalam bentuk matrik. Sehingga estimasi kanal dengan menggunakan salah satu teknik dalam matrik yaitu invers matrik dapat dimungkinkan. Hasil keluaran dari penelitian adalah membandingkan pengaruh penambahan teknik OFDM dalam proses estimasi kanal menggunakan metode invers matrik pada sistem MIMO. Dari hasil simulasi menunjukkan sistem estimasi kanal menggunakan metode invers matrik MIMO tanpa OFDM, sistem dapat menghasilkan BER 0 (tanpa *error*) disaat sistem diberikan *noise* sebesar 12 dB. Artinya sistem MIMO tanpa OFDM hanya tahan sampai adanya *noise* sebesar 12 dB. Sedangkan untuk sistem MIMO dengan penambahan teknik OFDM menghasilkan nilai BER 0 (tanpa *error*) disaat diberikan nilai *noise* sebesar 15 dB.

Kata kunci - Estimasi Kanal, MIMO-OFDM, invers matrik

Abstract - The channel is a transmission medium between sender and receiver. In wireless communication system, channel is the important one that determine the quality of sending process between sender and receiver. There are several factors that determine the quality of wireless communication due to channel influence, among of them are the amount of noise in the channel, attenuation, also the amount of multipath that are used by the user, so that there is attenuation as known with multipath fading. This phenomena can destroy the signal, so that the signal shape can be change from the original signal. The multipath fading is the phenomena of signal degradation due to the signal from the sender across multipath channel. The path is could be direct path, reflected path, or the signal that has been attunuated by spesific material, such as glass or wood. The use of OFDM technique can be minimize the influence of multipah fading phenomena. OFDM is a higher data transmission technique using several carrier signal. Meanwhile the MIMO is a technique in processing signal use several antennas, both in the sender and receiver. The purpose of using multi-antenna technique is to maximize the data transmission process to the receiver, so that the incorporation of MIMO-OFDM technique can be provide a high bit rate transmission service, also minimize the influence of multipath fading. In the process of data detection in the receiver side needs the role of the channel estimation process. The change of channel condition every time resulted in the need of estimation channel process in the receiver interface side. One of the method that can be used in this research is using invers matrix technique. Many antenna usage pattern in the sender and receiver side can be patterned in the form of a matrix. So that, the channel estimation using one of the technique in matrix that is invers matrix can be used. The output of this research is to compare the influence of adding OFDM technique in the estimation channel process using invers matrix method in the MIMO system.

From the simulation results show that the estimation channel system using invers matrix method without OFDM technique, the system can be generate zero error (no error in channel estimation). This situation occurs when the noise is set to 12 dB. It means the MIMO system without OFDM can stand until the noise of 12 dB. Meanwhile in the MIMO system with adding OFDM technique can be generate the zero error when the noise is set to 15 dB.

Keywords - channel estimation, MIMO-OFDM, invers matrix.

I. PENDAHULUAN

Salah satu masalah gangguan pada kanal atau multipath fading dapat diatasi dengan sistem (*Multiple Input Multiple Output*) MIMO. Sistem ini menggunakan sejumlah antena pengirim dan sejumlah antena penerima yang bertujuan untuk meminimalisasi kesalahan saat melakukan proses pengiriman informasi dan mempercepat proses pengiriman informasi karena menggunakan dua antena pengirim dan dua antena penerima. Ada dua hal yang diberikan oleh sistem MIMO yaitu *diversity gain* dan *multipath gain*. *Diversity gain* dapat dicapai dengan menerapkan teknik diversitas pada sistem komunikasi *wireless*. Prinsipnya, diversitas mengirimkan beberapa replika sinyal informasi pada kanal *independent fading*, sehingga di penerima minimal ada satu sinyal yang tidak mengalami fading terburuk. Pada penerima akan dilakukan proses penggabungan sinyal, sehingga teknik diversitas dapat meminimalisasi efek dari *multipath fading*. Teknik diversitas yang biasa digunakan yaitu diversitas frekuensi, diversitas waktu dan diversitas antena.

Tantangan yang terjadi pada sistem komunikasi nirkabel saat ini adalah penggunaan lebar pita (*bandwidth*). Mengingat lebar pita adalah sesuatu yang berharga dalam komunikasi nirkabel, sehingga membutuhkan efisiensi dalam pemakaian lebar pita. Salah satu teknik yang digunakan untuk mengefisienkan penggunaan bandwidth kanal adalah dengan menggunakan teknik OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*). OFDM merupakan salah satu teknik transmisi data dengan menggunakan beberapa sinyal pembawa (*carrier*) dengan frekuensi yang saling tegak lurus (*orthogonal*). Teknik OFDM memungkinkan terjadinya penggunaan efisiensi *bandwidth*. Teknik OFDM menggunakan beberapa frekuensi *carrier*, dimana antar frekuensi *carrier* tersebut dapat menggunakan frekuensi yang sama. Walaupun menggunakan frekuensi yang sama akan tetapi antar frekuensi *carrier* tidak saling interferensi. Hal ini terjadi karena antar frekuensi *carrier* menggunakan frekuensi yang saling *orthogonal*.

Dalam komunikasi berbasis nirkabel (*wireless*) dimana keadaan kanal selalu berubah-ubah setiap

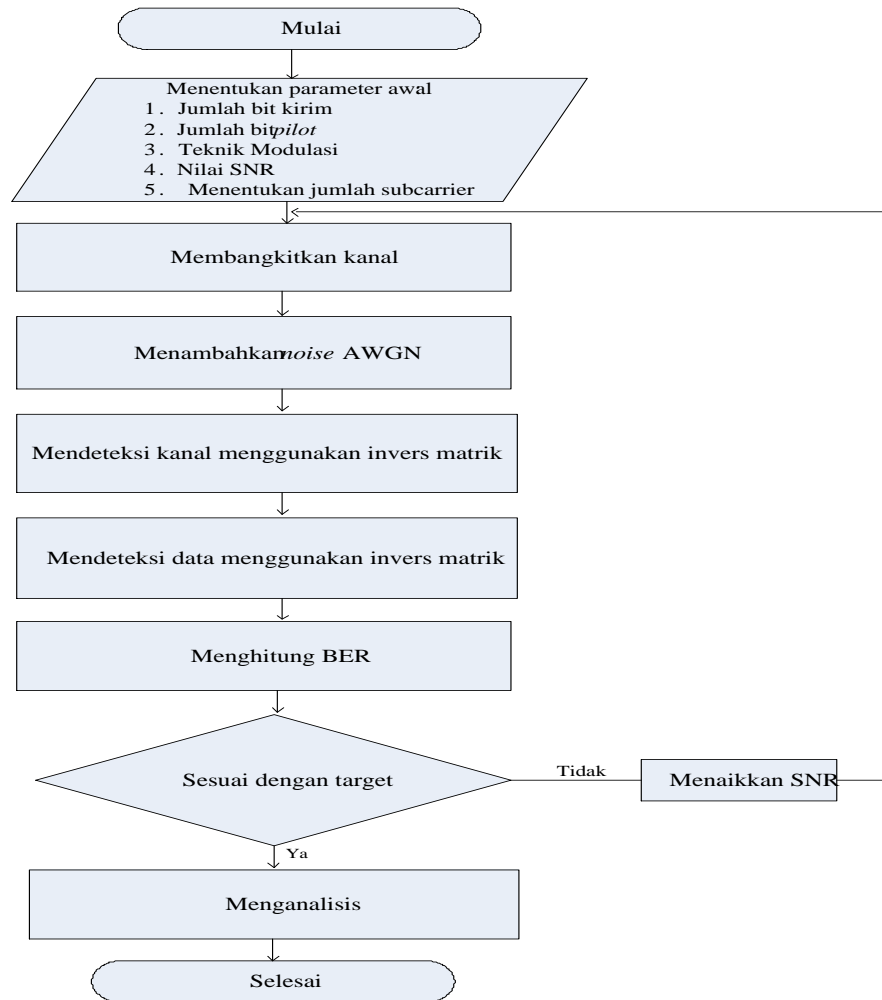
waktu. Diperlukan adanya metode untuk melakukan estimasi kondisi kanal. Proses estimasi kanal yang baik, dapat berkorelasi dengan tingkat keberhasilan dalam mendeteksi data yang dikirimkan oleh perangkat pengirim. Sehingga pemilihan akan metode estimasi kanal sangat mempengaruhi terhadap performansi jaringan nirkabel. Pada penelitian ini digunakan salah satu teknik dalam proses estimasi kanal yaitu menggunakan teknik invers matrik. Dimana sistem yang digunakan adalah MIMO (*Multiple Input Multiple Output*). Sistem MIMO menggunakan karakteristik adanya penggunaan banyak antena baik disisi pengirim maupun penerima. Pada sistem yang dibuat, digunakan dua antena disisi pengirim dan penerima. Hasil dari proses estimasi kanal menggunakan teknik invers matrik pada sistem MIMO juga akan dibandingkan ketika sistem tersebut dengan dan tanpa menggunakan tambahan teknik modulasi OFDM didalamnya.

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Metode Kajian

Metodologi yang digunakan untuk penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Metodologi Penelitian
Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen. Pada penelitian ini akan dilakukan simulasi untuk mengetahui estimasi kanal dengan menggunakan metode invers matrik pada sistem MIMO-OFDM.
2. Parameter Penelitian
Parameter penelitian ini mengacu pada parameter-parameter yang akan diamati yaitu BER, Eb/No, pilot, modulasi, dan kanal.
3. Metode Pengumpulan Data
Metode pengumpulan data yang digunakan adalah metode observasi, yaitu dengan melakukan pengamatan terhadap hasil simulasi yang berupa grafik menggunakan tool Matlab.
4. Metode Analisa
Metode analisa yang digunakan adalah metode analisis, yaitu melakukan analisa dari hasil simulasi yang berupa grafik.



Gambar 1. Langkah pelaksanaan penelitian

B. Menentukan Parameter

Adapun parameter yang digunakan untuk analisis estimasi kanal yaitu menggunakan jumlah bit kirim 30000 bit, menggunakan 2 simbol pilot. Pada QPSK dalam satu fasa dapat mengkodekan 2 bit dan nilai BER lebih rendah daripada ASK dan FSK. Nilai SNR 0 sampai 20 dB, dari rentang tersebut nantinya akan diamati dalam penggunaan SNR yang beberapa yang bagus dalam sistem komunikasi MIMO-OFDM. Dengan menggunakan 4 *subcarrier*.

C. Membangkitkan kanal dengan menambahkan noise AWGN

Dalam sistem komunikasi, sinyal yang diterima kemungkinan berbeda dengan sinyal yang dikirim karena adanya gangguan yang terjadi selama proses transmisi. Pada sinyal analog gangguan dapat mempengaruhi kualitas sinyal, sedangkan pada sinyal digital gangguan dapat mengakibatkan terjadinya kesalahan pada bit yang diterima. Gangguan yang biasa terjadi yaitu derau, kerusakan, redaman, dan tunda.

Kanal yang digunakan adalah *Additive White Gaussian Noise* (AWGN) merupakan gangguan pada sistem komunikasi *wireless* yang sering muncul serta

distribusi normal sehingga sering digunakan untuk simulasi.

D. Mendeteksi kanal dengan menggunakan invers matrik [4]

Setelah menentukan jumlah simbol pilot yang akan digunakan serta penerima telah mengetahui jumlah simbol pilot yang digunakan oleh pengirim, sehingga dengan simbol tersebut penerima dapat melakukan proses estimasi kanal dengan cara mengalikan matrik sinyal terima dengan invers matrik pilot dengan persamaan berikut.

$$T = H \cdot F \quad (1)$$

Dimana :

T = matrik sinyal yang dikirim

H = matrik kanal

F = matrik frame (terdiri dari simbol pilot dan data)

E. Mendeteksi data menggunakan invers matrik [4]

Dengan menggunakan simbol pilot tersebut, penerima hanya melakukan proses pengambilan *header* dari *frame*, bagian hanya terdiri dari perkalian kanal dengan simbol pilot yang dikirimkan oleh pengirim dengan persamaan:

$$R = H \cdot P + N \quad (2)$$

Dimana :

R= matrik sinyal yang diterima

H= matrik kanal

P= matrik pilot

N= noise

Selanjutnya dengan mengalikan matrik sinyal terima dengan invers matrik pilot dengan persamaan:

$$H=R.P^{-1} \quad (3)$$

Proses selanjutnya yaitu setelah mengetahui nilai rata-rata yang akan digunakan dalam proses deteksi data dengan mengalikan nilai rata-rata invers matrik kanal hasil proses estimasi dengan matrik sinyal yang dikirim. Kemudian melakukan proses demodulasi untuk menghasilkan data hasil proses deteksi.

F. Demodulasi

Dimana demodulasi adalah proses suatu sinyal yang telah termodulasi kembali seperti aslinya dari suatu gelombang pembawa *carrier*.

G. Menghitung BER

Dari grafik hasil simulasi dengan Matlab tersebut kita dapat melihat nilai *error* estimasi kanal.

H. Kesesuaian dengan target

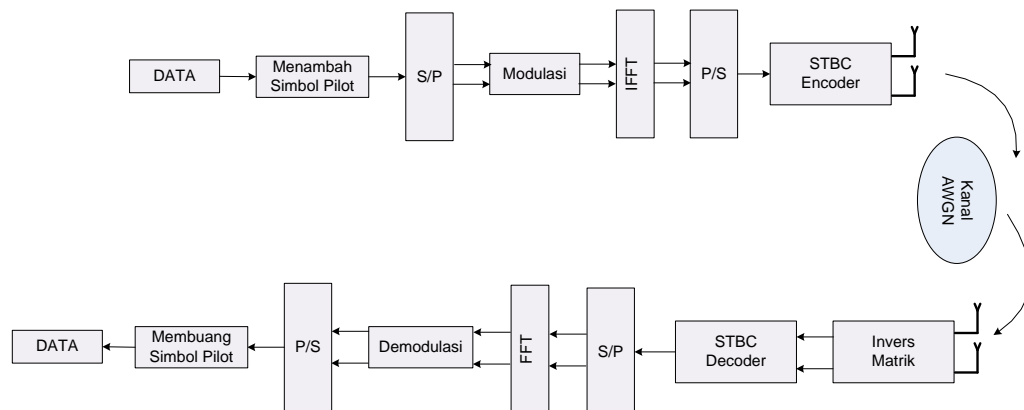
Simulasi ini dilakukan dengan menggunakan Matlab. Ada dua kemungkinan yang terjadi yang pertama sesuai dengan target, dimana nilai BER=0. Yang kedua yaitu dimana nilai BER belum sesuai dengan target maka yang dilakukan adalah menaikkan nilai SNR.

I. Menganalisis Hasil dan Kesimpulan

Setelah melakukan perhitungan dan melakukan pengujian simulasi dan memperoleh hasil maka selanjutnya adalah mengamati hasil serta memperoleh kesimpulan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemodelan yang digunakan untuk menggambarkan keadaan kondisi pengirim dan penerima beserta kanal dapat dilihat pada keterangan gambar berikut.



Gambar 2. Blok Diagram Proses Kinerja MIMO-OFDM [1],[3]

Blok sistem dimulai dari proses pembangkitan data dari sisi pengirim. Data generator atau data masukan dalam blok diagram MIMO-OFDM merupakan suatu pembangkit yang berfungsi untuk membangkitkan data informasi yang akan dikirimkan sehingga menghasilkan bit-bit 0 dan 1 dengan pola acak dan memiliki peluang kemunculan yang sama. Banyaknya data yang dikirimkan yaitu 30000 bit data. Menggunakan *multiple carrier system* secara parallel ditransmisikan maka, 4 *carrier* ditransmisikan ke antenna satu per-satu.

Penambahan simbol diperlukan agar nantinya sisi pengirim dapat melakukan proses estimasi kanal. Pilot merupakan data tertentu yang dikirimkan pengirim pada saat tertentu dengan besar informasi telah diketahui. Dalam proses nyata, sisi kanal pada pilot dan kanal pada informasi yang lainnya mempunyai korelasi tertentu. Dengan adanya korelasi ini, maka diharapkan mengetahui karakter pada kanal pilot dapat digunakan untuk memperkirakan karakter kanal yang lainnya. Jika hal ini tercapai, maka sinyal informasi yang dikirim dapat dipulihkan lagi dengan baik seperti yang ada pada posisi penerima.

Setelah melakukan pemetaan bit ke dalam sinyal konstelasi pemetaan dan setelah menyisipkan simbol pilot pada data OFDM selanjutnya melakukan modulasi dengan mengalikan sinyal informasi dengan pembawa. Jenis modulasi yang digunakan yaitu modulasi QPSK. *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK) merupakan salah satu jenis modulasi digital. QPSK adalah bentuk lain dari modulasi digital. QPSK adalah teknik pengkodean *M-ary* dimana $M=4$ (dikarenakan "*Quaternary*" yang berarti 4). *M-ary* merupakan bentuk turunan dari *binary* yang mewakili banyaknya kondisi. Dalam QPSK ada 4 phase output yang berbeda, karena input digital ke modulator QPSK berupa sinyal biner menghasilkan 4 kondisi input yang berbeda.

Sistem OFDM direpresentasikan dengan menggunakan metode IFFT dan FFT pada sisi penerima. Pada sisi penerima sinyal dari deretan bit serial diubah ke dalam bentuk data parallel menggunakan teknik IFFT. Pada sistem simulasi digunakan empat sub-carrier. Masing-masing sub-carrier menggunakan teknik modulasi QPSK.

Sebelum data dikeluarkan lewat masing-masing antenna, dalam hal ini digunakan dua antenna pada sisi penerima, digunakan teknik *encoding* menggunakan teknik STBC. STBC merupakan sebuah teknik coding dengan menggunakan pola pemetaan dalam bentuk matrik. Pengambil simbol per-dua simbol. Kemudian simbol berikutnya merupakan hasil nilai konjugat dari nilai simbol awal.

Proses pengiriman sinyal ke kanal dalam simulasi digunakan penambahan noise yang bervariasi. Model *noise* yang digunakan adalah sistem AWGN (*Additive White Gaussian Noise*). AWGN merupakan *noise* yang terdistribusi *Gaussian*. Kemudian oleh perangkat penerima dilakukan proses estimasi kanal dengan menggunakan teknik *invers* matrik. Hasil dari proses estimasi kanal oleh perangkat penerima digunakan pula sebagai masukan untuk mendeteksi data yang dikirimkan. Sehingga nantinya diperoleh kesimpulan hubungan antara pengaruh pemberian BER (*noise*) terhadap proses pendeteksian data.

A. Hasil simulasi pada sistem MIMO dengan OFDM

Perhitungan hasil dari simulasi pada sistem MIMO dengan menambahkan teknik OFDM menggunakan

acuan proses estimasi kanal pertama kali yang dilakukan pada sisi perangkat penerima. Terdapat dua antenna pada sisi penerima dan dua antenna pada sisi pengirim. Korelasi antara dua antenna penerima dan dua antenna pengirim dijadikan sebagai acuan dalam menghitung prosentase kesalahan dalam proses estimasi kanal. Proses simulasi ini digunakan teknik *invers* matrik dalam mendeteksi kanal. Proses estimasi kanal diperlukan sebelum data yang dikirimkan oleh perangkat pengirim dideteksi oleh perangkat penerima. Dalam proses estimasi kanal menggunakan acuan simbol pilot yang dikirimkan bersamaan dengan data asli yang dikirimkan oleh perangkat pengirim. Pada simulasi ini hanya digunakan empat simbol pilot saja. Proses estimasi menggunakan perhitungan matematis dasar operasi matrik, dikarenakan proses estimasi kanal yang digunakan adalah menggunakan metode *invers* matrik.

Tabel 1 berikut memperlihatkan hasil dari proses simulasi sistem dengan menggunakan penambahan teknik OFDM didalamnya.

Tabel 1. Hasil Simulasi Sistem MIMO-OFDM

SNR (dB)	Error 11	Error 12	Error 21	Error 22	Error Rata2	Bit Error	BER	Prosentase BER
0	0,0323	1,005	0,1819	0,477	0,4241	6427	0,2142	21,42%
1	0,0836	0,1187	0,1477	0,5404	0,2226	6031	0,2010	20,10%
2	0,661	0,5581	0,1576	0,3335	0,4276	5403	0,1801	18,01%
3	0,774	0,7149	0,262	0,6629	0,6035	4272	0,1424	14,24%
4	0,0599	0,0443	0,0355	0,0147	0,0386	3093	0,1031	10,31%
5	0,0322	0,1283	0,0139	0,1829	0,0893	2786	0,0929	9,29%
6	0,1704	0,0274	0,2264	0,1747	0,1497	1841	0,0614	6,14%
7	0,4788	0,0112	0,052	0,6029	0,2862	951	0,0317	3,17%
8	0,1976	0,0606	0,275	0,2617	0,1987	764	0,0255	2,55%
9	0,0060	0,796	0,1933	0,2716	0,316	644	0,0215	2,15%
10	0,2735	0,042	0,0871	0,0569	0,1149	409	0,0136	1,36%
11	0,1717	0,7674	0,0121	0,1728	0,2810	181	0,0060	0,6%
12	0,1224	0,0801	0,0496	0,0941	0,0866	13	0,0004	0,04%
13	0,0238	0,0053	0,0296	0,1962	0,0637	10	0,0003	0,03%
14	0,1555	0,3758	0,0093	0,0026	0,1358	5	0,0002	0,02%
15	0,0558	0,0524	0,0899	0,0027	0,0502	1	0,0000	0%
16	0,0269	0,3919	0,0288	0,0751	0,1307	0	0,0000	0%
17	0,0907	0,1483	0,0176	0,2159	0,1181	0	0,0000	0%
18	0,062	0,1835	0,0193	0,0043	0,0673	0	0,0000	0%
19	0,0533	0,2322	0,002	0,1165	0,1010	0	0,0000	0%
20	0,0559	0,0411	0,0091	0,018	0,0310	0	0,0000	0%

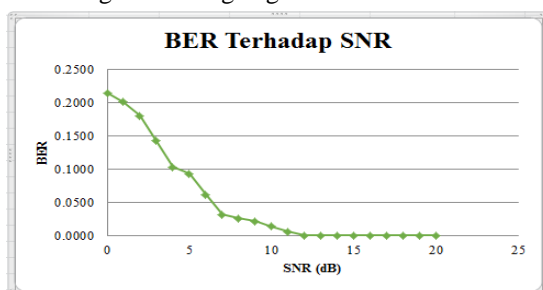
Skenario yang dilakukan sesuai dengan hasil yang diperlihatkan pada tabel 1 adalah dengan mengukur prosentase kesalahan dalam proses estimasi kanal menggunakan metode *invers* matrik. Proses estimasi

kanal pada sisi perangkat penerima akan berbeda hasilnya seiring dengan perubahan kondisi kanal. Parameter acuan yang mengukur adanya perubahan kondisi kanal dengan mengubah nilai SNR (Signal to

Noise Ratio). Dari hasil simulasi diperlihatkan bahwa dengan menaikkan nilai SNR, nilai dari prosentase kesalahan dalam proses estimasi kanal juga akan berkurang. Keadaan tersebut juga akan berkorelasi dengan nilai BER (Bit Error Rate). BER merupakan sebuah kondisi yang menyatakan jumlah kesalahan dalam proses pendeteksian bit data sesuai yang dikirimkan pada sisi pengirim.

Respon kanal pada masing-masing antenna diperlihatkan dengan kode yang berbeda. Keterangan "Error 11" itu artinya kesalahan dalam proses estimasi kanal oleh antenna satu pengirim terhadap antenna satu penerima. Begitupula dengan kode "Error 12". Artinya merupakan sebuah kode dalam mengukur pada antenna dua penerima, dimana nilai prosentase kesalahan pada antenna tersebut dipengaruhi oleh antenna satu pengirim. Karena menggunakan dua antenna pengirim dan dua antenna penerima, maka akan ada empat kode yang menyatakan tingkat kesalahan pada proses estimasi kanal menggunakan metode estimasi invers matrik pada masing-masing antenna penerima yang dipengaruhi oleh masing-masing antenna pengirim. Komponen nilai yang ada dari ke-empat respon kanal dari masing-masing antenna akan di-rata-rata-kan hasilnya. Hasil dari proses estimasi kanal tersebut yang akan dijadikan sebagai acuan untuk mendeteksi data yang dikirimkan oleh perangkat pengirim.

Tabel 1 menjelaskan bahwa dengan semakin besar nilai SNR, nilai BER juga akan semakin kecil. Terlihat bahwa pada pemberian nilai SNR 15 dB pada sistem MIMO-OFDM, sudah bisa dihasilkan tidak terdapatnya kesalahan dalam proses estimasi data. Tidak adanya kesalahan dalam proses estimasi data dinyatakan dengan nilai BER = 0. Tabel 1 juga menjelaskan bahwa sistem MIMO-OFDM dengan menggunakan metode estimasi kanal invers matrik akan bekerja dengan optimal disaat sistem tersebut minimal menerima SNR (noise) sebesar 15 dB. Pernyataan dari tabel 1 diatas juga dapat digambarkan sesuai dengan keterangan gambar 4 berikut.



Gambar 3. Grafik SNR Terhadap BER Pada MIMO-OFDM

Kondisi BER (*Bit Error Rate*) dipengaruhi oleh nilai SNR yang semakin besar. Hal ini bisa dilihat pada keterangan grafik pada gambar 3. Besaran nilai

BER dinyatakan dalam prosen yaitu antara bit yang rusak (*error*) dibandingkan dengan bit yang dikirimkan. Simulasi sistem menggunakan besaran bit kirim sebesar 30.000 bit. Kondisi nilai BER cenderung stabil. Sistem mencapai kondisi ideal, dalam artian tidak adanya kesalahan dalam mendeteksi bit sesuai yang dikirimkan oleh perangkat pengirim disaat sistem minimal mendapatkan nilai SNR sebesar 15 dB. Walaupun kalau dilihat dari sisi grafik, pada minimal nilai SNR 12 dB nilai BER sudah bisa dikatakan kecil sekali (mendekati nol).

Dengan menggunakan jumlah sub-carrier lebih sedikit yaitu empat buah sub-carrier, metode invers matrik yang diimplementasikan pada sistem MIMO-OFDM jauh lebih baik dibandingkan dengan sistem yang sama tanpa menggunakan metode invers matrik. Jika dibandingkan dengan sistem MIMO-OFDM dengan menggunakan teknik modulasi BSPK dengan jumlah sub-carrier sebesar 64, sistem mencapai kondisi ideal (BER mendekati nol) disaat diberikan minimal nilai SNR sebesar 30 dB [2]. Berbeda sesuai dengan hasil dari keterangan tabel 1. Dengan adanya penambahan metode estimasi kanal invers matrik, sistem mencapai kondisi ideal disaat minimal diberikan nilai SNR sebesar 15 dB.

B. Hasil simulasi pada sistem MIMO tanpa OFDM

OFDM secara matematis digambarkan dengan melakukan proses transformasi fourier, baik pada sisi perangkat pengirim maupun penerima. Pada sisi perangkat pengirim digambarkan secara matematis bahwa dari setiap frekuensi pembawa (*carrier*) dilakukan proses transformasi invers dari mekanisme transformasi fourier (IFFT). Kemudian pada sisi perangkat penerima adalah kebalikan dari proses yang terjadi pada perangkat pengirim yaitu hanya melakukan proses transformasi fourier (FFT). Adanya proses tersebut (OFDM) menjadikan metode invers matrik tidak optimal dalam melakukan proses estimasi kanal. Hal ini dibandingkan dengan sistem MIMO tanpa menggunakan teknik modulasi OFDM. Tabel 2 memperlihatkan hasil dari sistem MIMO dengan menggunakan metode invers matrik sebagai metode untuk proses estimasi kanal, tanpa adanya penambahan teknik modulasi OFDM. Sistem MIMO berfungsi dengan baik, dalam artian tidak adanya kesalahan dalam proses deteksi data (BER = 0) disaat sistem diberikan SNR minimal 12 dB [4]. Nilai ini sedikit lebih baik dibandingkan dengan proses estimasi pada sistem MIMO dengan menambahkan teknik modulasi OFDM didalamnya. Pada keterangan tabel 1 dijelaskan bahwa sistem MIMO dengan OFDM dapat menghasilkan nilai BER mendekati nol disaat sistem diberikan nilai SNR minimal 15 dB.

Tabel 2. Hasil Simulasi Sistem MIMO Tanpa OFDM

SNR (dB)	Error 11	Error 12	Error 21	Error 22	Error Rata2	Bit Error	BER	Prosentase BER
0	0,2989	0,3863	0,1017	0,2063	0,2483	6359	0,2120	21,2%
1	0,1298	0,0746	0,0063	0,1059	0,0792	4210	0,1403	14,03%
2	0,2332	0,0105	0,0457	0,0243	0,0784	3418	0,1139	11,39%
3	0,2679	0,2979	0,0096	0,044	0,1549	2652	0,0884	8,84%
4	0,3744	0,113	0,1248	0,2154	0,2069	2353	0,0784	7,84%
5	0,0186	0,1164	0,0455	0,4217	0,1506	2058	0,0686	6,86%
6	0,1061	0,397	0,1401	0,117	0,1901	1161	0,0387	3,87%
7	0,19	0,1693	0,0672	0,3669	0,1984	735	0,0245	2,45%
8	0,0489	0,0519	0,0075	0,0897	0,0495	251	0,0084	0,84%
9	0,1402	0,3738	0,0264	0,7853	0,3314	932	0,0311	3,11%
10	0,0169	0,6661	0,0561	0,3124	0,2618	377	0,0126	1,26%
11	0,0849	0,354	0,0461	0,031	0,1290	11	0,0004	0,04%
12	0,1815	0,0136	0,0409	0,2015	0,1094	0	0,0000	0%
13	0,0055	0,4517	0,0632	0,0655	0,1465	0	0,0000	0%
14	0,0085	0,8673	0,0095	0,0809	0,2416	0	0,0000	0%
15	0,1386	0,5772	0,0277	0,0488	0,1956	0	0,0000	0%
16	0,0961	0,0413	0,0257	0,1329	0,0740	0	0,0000	0%
17	0,0308	0,1818	0,0059	0,1421	0,0902	0	0,0000	0%
18	0,0575	0,0398	0,0512	0,0075	0,0390	0	0,0000	0%
19	0,1206	0,2827	0,0544	0,1329	0,1477	0	0,0000	0%
20	0,0081	0,2657	0,0378	0,0289	0,0851	0	0,0000	0%

Tanpa adanya penambahan teknik OFDM, maka proses estimasi kanal menggunakan metode invers matrik tidak perlu melewati proses transformasi fourier. Hal ini menjadikan proses estimasi kanal jauh lebih stabil dibandingkan dengan adanya penambahan teknik OFDM. Hasil dari proses estimasi kanal juga bisa dibandingkan dengan metode yang lain. Terdapat beberapa metode yang bisa digunakan untuk melakukan proses estimasi kanal, salah satunya adalah metode RLS (*Recursive Least Square*). Dengan menggunakan metode RLS pada sistem MIMO 2x2, sistem akan memberikan nilai BER nol disaat minimal diberikan nilai SNR 30 dB [5]. Sehingga penggunaan metode invers matrik memberikan lebih baik dibandingkan dengan metode RLS.

IV. PENUTUP

A. Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian proses estimasi kanal MIMO-OFDM dengan menggunakan metode *invers* matrik adalah sebagai berikut.

1. Sistem estimasi kanal menggunakan metode *invers* matrik tanpa OFDM diperoleh hasil yang optimal dengan minimal memberikan nilai SNR (*Signal to Noise Ratio*) sebesar 12 dB. Sedangkan dengan penambahan teknik modulasi OFDM, sistem

MIMO dengan menggunakan metode invers matrik untuk proses estimasi kanal akan optimal jika diberikan nilai SNR minimal 15 dB.

2. Proses matematis IFFT (Invers Fast Fourier Transform) pada sisi perangkat pengirim dan FFT (Fast Fourier Transform) pada simulasi perangkat penerima, menjadikan metode invers matrik tidak stabil. Hal ini dikarenakan ada dua kali proses invers secara matematis, yaitu pada perkalian matrik juga pada transformasi untuk masing-masing frekuensi carrier (pembawa). Hal ini dibuktikan dari hasil minimal SNR yang harus diberikan ke sistem pada saat sistem diberikan tambahan teknik modulasi OFDM.
3. Dibandingkan dengan metode estimasi kanal yang lain, misalnya RLS (*Recursive Least Square*), metode invers matrik memberikan nilai yang lebih baik sebesar 50%.
4. Adanya penambahan teknik estimasi kanal disisi perangkat penerima memberikan perbaikan performansi sistem MIMO-OFDM dilihat dari sisi BER (*Bit Error Rate*).

B. Saran

Penelitian dengan menggunakan tema “Analisis Estimasi Kanal Dengan Menggunakan Metode Invers Matrik Pada Sistem MIMO-OFDM” masih dikatakan jauh dari sempurna, oleh karena perlu adanya

perbaikan. Berikut adalah beberapa saran untuk proses penelitian selanjutnya:

1. Perlu membandingkan dengan menambah jumlah simbol pilot dan jumlah sub-carrier.
2. Perlu membandingkan dengan menambah jumlah antena baik pada sisi pengirim dan penerima. Hal ini untuk melihat prosentase pengaruh sistem dengan adanya penambahan antena baik disisi pengirim maupun penerima.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ramjee Prasad, *OFDM for Wireless Communications System*, Artech House, PP.
- [2] Abdillah, K., *Analisa Kinerja Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) Berbasis Perangkat Lunak*, Institut Teknologi Sepuluh November (ITS).
- [3] Andrew, J.G., Ghosh, A., Muhammed, R., *Fundamentals Of Wimax*, Pearson education, Inc., New Jersey 2007.
- [4] Nugroho, Kuku. 2008. *Analisa Kinerja Estimasi Kanal Dengan Invers Matrik Pada Sistem MIMO*. Institut Teknologi Telkom Bandung.
- [5] Suryawan, Wayan, I. 2007. *ESTIMASI KANAL SISTEM MIMO-OFDM 2X2 DAN 2X4 DENGAN METODE RECURSIVE LEAST SQUARES (RLS)*. Institut Teknologi Telkom Bandung.