

ANALISIS VARIASI JUMLAH ANTENA TERHADAP UNJUK KERJA SISTEM ORTHOGONAL FREQUENCY DIVISION MULTIPLEXING (OFDM) MULTIPLE INPUT MULTIPLE OUTPUT (MIMO)

Muhammad Iman Nur Hakim¹, Ni Made Ary Esta Dewi Wirastuti², Nyoman Pramaita³
 Politeknik Keselamatan Transportasi Jalan, Tegal, Indonesia¹
 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Bali, Indonesia^{2,3}
 *korespondensi: m.iman@pktj.ac.id

Abstract

OFDM is a transmission technique using orthogonal multi-carrier which can save bandwidth. While MIMO is a technique of using more than one antenna for transmitting and receiving. This can increase data transmission capacity without increasing bandwidth. In this study, an analysis of variations MIMO antennas 2x2, 2x4, 4x2, and 4x4 was carried out to determine the effect of antenna variations on OFDM MIMO performance. The modulation are BPSK and QPSK with frequency selective fading and AWGN channels. Performance parameters are Bit error rate (BER) versus Energy Bit per Noise (Eb/No), Power to Average Peak Ratio (PAPR), and eye diagram. The model simulated using a simulink with a number of input 100,000 bits. The results showed that BER performance compared to Eb/No, in MIMO 2x4 and 4x4 produced better performance than MIMO 2x2 and 4x2. With many receiving antennas, it gets a better signal which can reduce the occurrence of errors. Meanwhile, in PAPR parameter, 4x2 and 4x4 MIMO produce higher PAPR values than 2x2 and 2x4 MIMO. With the number of antennas, the PAPR value is distributed over all antennas and increase the PAPR value in the system. In the eye diagram parameters, the greater the Eb/No value, make a better eye diagram.

Keywords: Bit error rate, Eye diagram, MIMO, OFDM, PAPR.

Abstrak

OFDM merupakan teknik transmisi menggunakan beberapa frekuensi (*multi-carrier*) saling *orthogonal* yang dapat menghemat *bandwidth*. Sedangkan MIMO merupakan teknik penggunaan antena pemancar dan penerima berjumlah lebih dari satu antena. Hal ini dapat meningkatkan kapasitas pengiriman data tanpa menambah *bandwidth*. Pada penelitian ini, dilakukan analisis variasi jumlah antena MIMO 2x2, 2x4, 4x2, dan 4x4 untuk mengetahui pengaruh variasi antena terhadap unjuk kerja OFDM MIMO. Modulasi yang digunakan adalah BPSK dan QPSK dengan kanal *frequency selective fading* dan AWGN. Parameter unjuk kerja adalah *Bit error rate* (BER) berbanding *Energy Bit per Noise* (Eb/No), *Power to Average Peak Ratio* (PAPR), dan *eye diagram*. Model yang dibuat kemudian disimulasikan menggunakan simulink dengan jumlah inputan bit sebanyak 100.000 bit. Hasil penelitian menunjukkan unjuk kerja BER berbanding Eb/No, pada MIMO 2x4 dan 4x4 menghasilkan unjuk kerja yang lebih baik dibandingkan MIMO 2x2 dan 4x2. Dengan banyak antena penerima, maka mendapatkan sinyal yang lebih baik yang dapat mengurangi terjadinya error. Sedangkan dalam parameter PAPR, MIMO 4x2 dan 4x4 menghasilkan nilai PAPR yang lebih tinggi dibandingkan MIMO 2x2 dan 2x4. Dengan banyaknya antena yang digunakan, maka nilai PAPR tersebut terdistribusi pada semua antena dan mengakibatkan peningkatan nilai PAPR dalam sistem. Pada parameter *eye diagram*, semakin besar nilai Eb/No, maka semakin baik pula *eye diagram* yang dihasilkan.

Kata Kunci: Bit error rate, Eye diagram, MIMO, OFDM, PAPR.

I. PENDAHULUAN

Dengan masuknya internet dalam perangkat seluler, maka layanan komunikasi data dan multimedia dapat dilayani oleh perangkat seluler *bandwidth* merupakan sumber daya yang terbatas, maka diperlukan teknologi yang dapat meningkatkan kecepatan internet tanpa menambah dan memperbesar nilai *bandwidth*. Secara umum, ada beberapa

metode yang dapat digunakan untuk meningkatkan kecepatan internet pada telekomunikasi seluler tanpa memperbesar nilai *bandwidth*. Metode tersebut diantaranya adalah pemilihan teknik modulasi, peningkatan kualitas sinyal dan kuat sinyal, juga pemilihan model antenna. Pada perkembangan teknologi seluler saat ini, metode yang diimplementasikan guna meningkatkan kecepatan internet dan unjuk kerja di telekomunikasi seluler adalah penggunaan antena *Multiple Input Multiple Output* (MIMO). Selain itu, digunakan pula *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM)

MIMO pertama kali diperkenalkan oleh Jack Winters dari Bell Laboratories pada tahun 1984 dengan maksud untuk mengatasi *multipath fading* [1]. Lalu diperkenalkan adanya

sistem RX diversity yakni dua antena pada penerima yang menangkap dua sinyal dari jalur yang berbeda kemudian membandingkan kedua runtut bit agar dapat diperkuat dan saat ini digunakan teknologi multi antena yang terdapat baik pada pengirim (Tx) maupun penerima (Rx) [2]. Performansi MIMO sendiri dipengaruhi oleh kombinasi jumlah antena pada pengirim dan penerima dan juga metode/algoritma deteksi MIMO-nya. [3].

OFDM merupakan sebuah teknik transmisi menggunakan beberapa frekuensi (*multi-carrier*) yang saling *orthogonal* atau tegak lurus [4]. Dengan sifat *orthogonal* yang dimiliki OFDM, maka berpengaruh terhadap efisiensi *bandwidth* yang digunakan karena sinyal-sinyal saling berhimpitan antara satu dengan yang lainnya dan membuat space dari *bandwidth* tidak banyak terpakai. Pada pengiriman data serial maka tiap bit mempunyai durasi satu detik. Pengiriman informasi yang terdiri atas data empat bit yang dikirimkan dengan waktu empat detik. Sedangkan jika pengiriman data dengan menggunakan OFDM, data tersebut akan dibagi menjadi paralel dan dikirim secara bersamaan [5]. Data hasil konversi *serial to parallel* berbentuk matriks

bit-bit dengan jumlah baris menyatakan jumlah *subcarrier* yang akan digunakan dan jumlah kolom menyatakan jumlah simbol data yang dikirimkan pada tiap *subcarrier* [6]. Namun, dalam teknik OFDM itu sendiri terdapat beberapa kelemahan, salah satunya adalah *nilai Peak Average Power Ratio (PAPR)* yang tinggi. Pengiriman data dalam teknologi seluler dapat dilakukan dengan menggunakan teknik modulasi BPSK dan QPSK.

Modulasi BPSK adalah modulasi PSK yang menggunakan 2 macam perubahan fasa, yaitu 0° dan 180° [7]. Sedangkan dalam modulasi QPSK menggunakan teknik pengkodean M-ary dimana $M = 4$ (Quaternary) [8]. Terdapat empat level sinyal yang merepresentasikan empat kode biner dengan perbedaan fasa 90° [9]. Dalam pengiriman data tersebut akan dilalui pada kanal *frequency selective fading* dan AWGN serta akan dilihat bit data hasil pengiriman dengan parameter *bit error rate (BER)* dan E_b/N_0 , CCDF dan PAPR serta *eye diagram*. BER secara umum merupakan jumlah kesalahan bit dibagi dengan jumlah total bit yang dikirim selama *interval* waktu tertentu [10]. Parameter CCDF dan PAPR akan ditampilkan dalam Grafik CCDF yang menunjukkan seberapa sering sinyal mencapai atau bahkan melewati nilai *threshold* tertentu serta *eye diagram* yang merupakan sebuah diagram untuk mengetahui kualitas sinyal digital setelah transmisi melalui *non-ideal path transmission*.

II. PENELITIAN TERKAIT

Pada tahun 2015 dilakukan Analisis Unjuk Kerja Teknik MIMO STBC dan V-BLAST pada Sistem *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* [8]. Metode yang digunakan dalam penelitian tersebut adalah simulasi menggunakan *software MatLab* dengan antenna MIMO 2x2. Penelitian tersebut bertujuan untuk mengetahui unjuk kerja dari sistem OFDM pada kanal *Additive White Gaussian Noise (AWGN)* dan *Rayleigh fading*, untuk mengetahui unjuk kerja sistem OFDM-MIMO dengan teknik *MIMO Space Time Block Code (STBC)* dan untuk mengetahui unjuk kerja sistem OFDM-MIMO teknik *MIMO Vertical-Bell Layered Space Time (V-BLAST)* dengan deteksi *Zero Forcing (ZF)* dan *Minimum Mean Square Error (MMSE)*. Parameter unjuk kerja hasil penelitian adalah perbandingan nilai *Bit Error Rate (BER)* terhadap *Energy Bit per Noise (Eb/No)*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa unjuk kerja pada teknik MIMO STBC lebih baik dibandingkan dengan teknik MIMO ZF V-BLAST dan MIMO MMSE V-BLAST.

Dilakukan pula penelitian Analisis Kapasitas Kanal Terhadap Jumlah Antena Pada Sistem *Multiple Input Multiple Output (MIMO)* [3]. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah simulasi dan penelitian ini menggunakan antenna SISO 1x1, MISO 4x1, SIMO 1x4 dan MIMO 4x4. Didapatkan bahwa semakin banyak antena maka kapasitas sistem akan semakin besar.

Pada tahun 2016 dilakukan penelitian Analisis Perbandingan Performansi Sistem MC-SS MIMO dengan OFDM-MIMO pada Kanal *Fading* [11]. Metode dalam penelitian tersebut adalah metode simulasi dengan menggunakan *software MatLab*. Penelitian tersebut bertujuan untuk mengetahui perbandingan unjuk kerja sistem OFDM-MIMO dengan *Multicarrier Spread Spectrum (MC-SS)* MIMO pada kanal *Additive White Gaussian Noise (AWGN)*, *flat fading*, dan *frequency selective fading* yang ditinjau dari

nilai dan grafik *Bit Error Rate (BER)* berbanding *Energy Bit per Noise (Eb/No)*. Penelitian tersebut juga dilakukan untuk mengetahui pengaruh *Spreading Factor (SF)* pada sistem MCSS MIMO ditinjau dari nilai dan grafik. BER berbanding E_b/N_0 . Jumlah antena MIMO yang digunakan adalah antenna 2x2. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa unjuk kerja MC-SS MIMO lebih baik dibandingkan OFDM-MIMO.

III. METODE

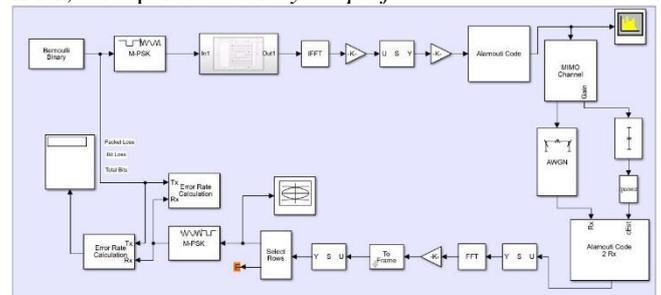
Secara umum dalam penelitian ini digunakan simulasi dengan membangun permodelan Simulink OFDM MIMO dengan variasi antena pada kanal *frequency selective fading* dan AWGN. Model simulink yang nantinya akan dibuat mencakup pembangkitan bit secara *random*, perubahan sinyal atau modulasi BPSK dan QPSK, menjalankan proses sistem OFDM dan MIMO dengan variasi antena yang dilewatkan melalui kanal *frequency selective fading* dan AWGN serta melakukan demodulasi dan menghitung nilai BER, PAPR, dan *eye diagram*. Variasi antena yang akan digunakan yaitu antena 2x2, 2x4, 4x2, dan 4x4.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian diawali dengan pembuatan pemodelan Simulink system OFDM MIMO dan dilanjutkan dengan membandingkan unjuk kerja yang didapat.

A. Pemodelan OFDM MIMO

Input awal yang diberikan pada sistem merupakan input-an biner yang dibangkitkan oleh *bernoulli generator* yang kemudian masuk dalam modulator. Modulasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah modulasi BPSK dan QPSK. Setelah melewati modulator, selanjutnya akan masuk kedalam berbagai tahapan OFDM yang diantaranya adalah *serial to parallel conversion*, penambahan *zero padding*, IFFT, serta penambahan *cyclic prefix*.



Gbr 1. Blok Diagram Sistem OFDM MIMO

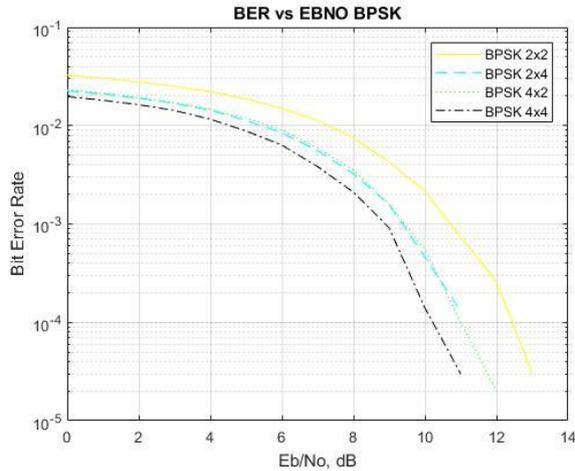
Analisis jumlah antena terhadap unjuk kerja system OFDM MIMO digunakan empat variasi antenna, antenna 2x2, 2x4, 4x2, dan 4x4 dengan modulasi BPSK dan QPSK. Sedangkan pada blok kanal transmisi, digunakan *frequency selective fading* dan AWGN. Setelah melewati kanal transmisi, maka akan masuk kedalam proses di sisi penerima yang merupakan proses kebalikan dari sisi pengirim yang diantaranya adalah proses *decoder*, OFDM *demodulator*, dan demodulasi sinyal.

Parameter – parameter yang digunakan untuk mengetahui unjuk kerja sistem adalah BER vs E_b/N_0 , CCDF vs PAPR, dan *eye diagram*. Untuk parameter BER vs E_b/N_0 , digunakan blok *error rate calculation* guna mendapatkan nilai *error* yang dihasilkan oleh sistem. Untuk parameter CCDF vs PAPR, digunakan *spectrum analyzer* untuk

melihat nilai yang dihasilkan oleh sistem. Sedangkan untuk melihat *eye diagram*, digunakan blok *eye diagram* itu sendiri dalam menampilkan *eye diagram* yang dihasilkan oleh sistem.

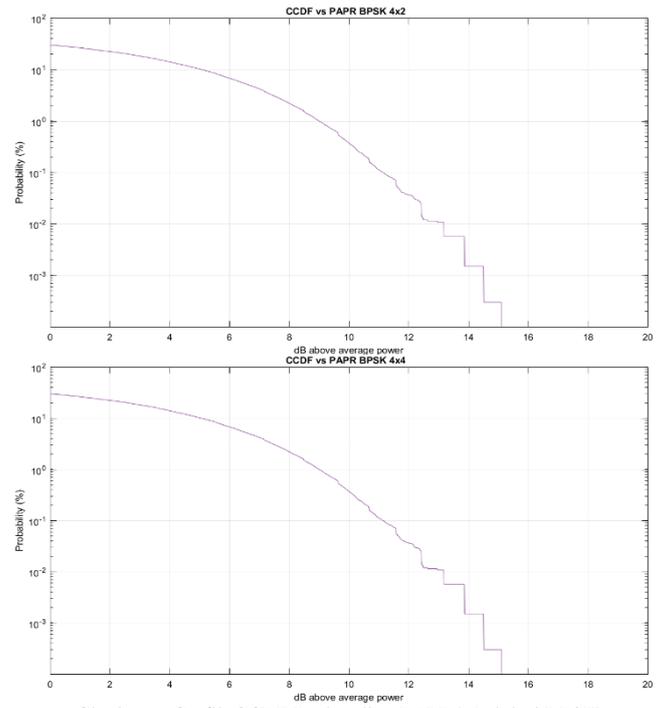
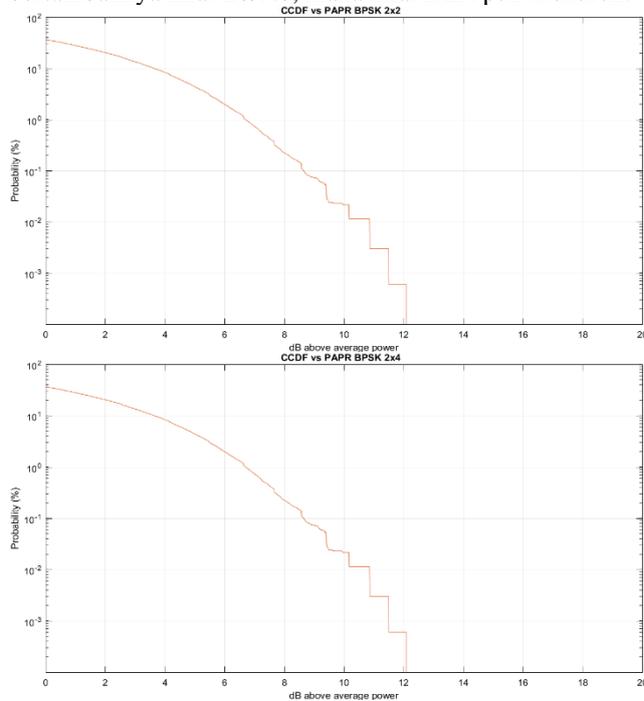
B. Unjuk kerja OFDM MIMO Modulasi BPSK

Dilakukan simulasi terhadap sistem OFDM MIMO dengan variasi antenna MIMO 2x2, 2x4, 4x2, 4x4 menggunakan modulasi BPSK. Parameter unjuk kerja terdiri atas BER vs Eb/No, CCDF vs PAPR, dan *eye diagram*.



Gbr 2. Grafik BER Berbanding Eb/No Modulasi BPSK

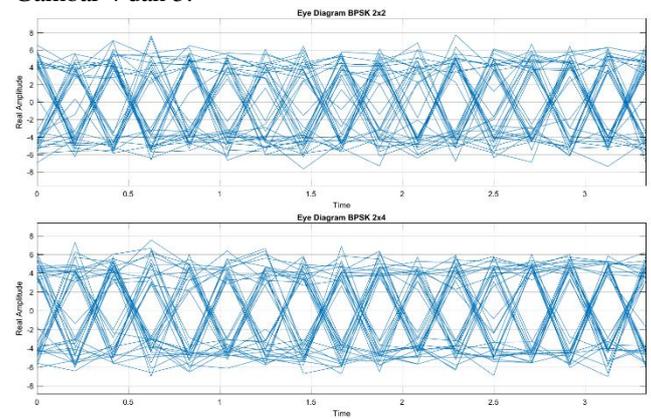
Hasil dari pengujian BER vs Eb/No dapat dilihat pada Gambar 2 yang merupakan grafik BER berbanding Eb/No dari keempat variasi antenna MIMO dengan modulasi BPSK. Pada awal pengujian dengan nilai Eb/No adalah 0, nilai BER yang dihasilkan cukup tinggi. Namun, seiring dengan bertambahnya nilai Eb/No, maka nilai BER pun menurun.

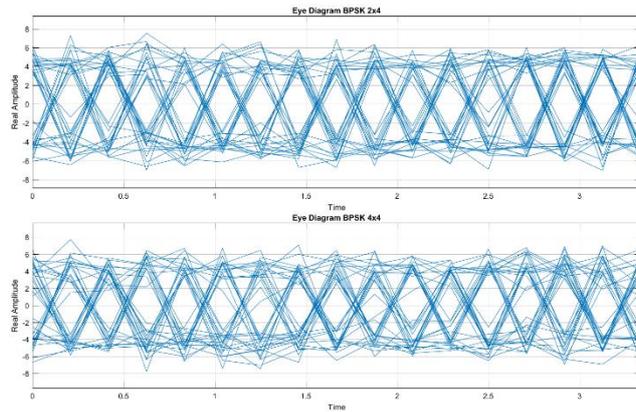


Gbr 3. Grafik CCDF Berbanding PAPR Modulasi BPSK

Grafik CCDF vs PAPR dari variasi antenna 2x2 dan 2x4 menampilkan gambar yang sama, begitu pula dengan gambar pada variasi antenna 4x2 dan 4x4. Pada Gambar 3 ditampilkan grafik nilai PAPR threshold 12,102 dB dengan jumlah antenna transmisi sebanyak 2 antenna ditampilkan grafik grafik nilai PAPR threshold 15,112 dB dengan jumlah antenna transmisi sebanyak 4 antenna.

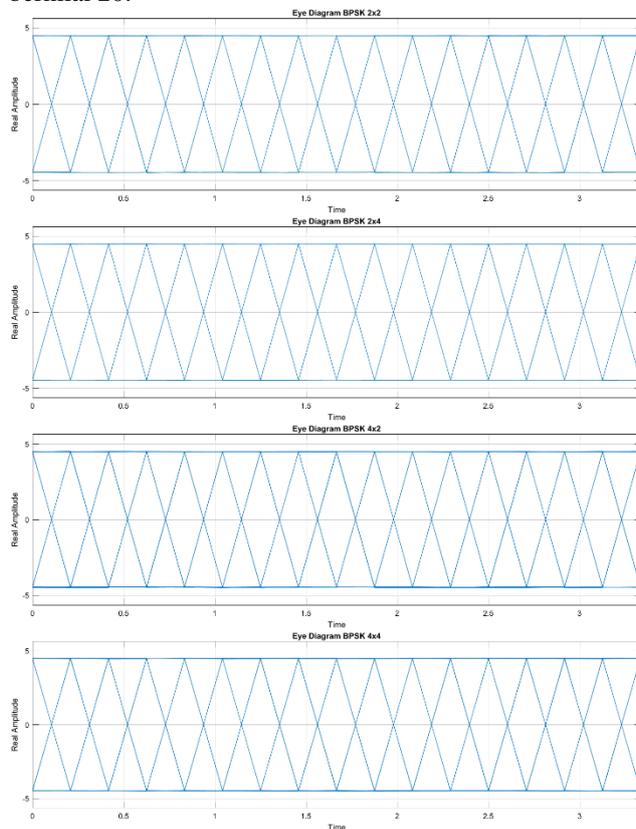
Parameter unjuk kerja ketiga adalah *eye diagram*. *Eye diagram* akan menampilkan kualitas sinyal dengan melihat kecenderungan bentuk mata pada diagram yang ditampilkan. Apabila terjadi degradasi kualitas sinyal, maka mata akan cenderung menutup dan sebaliknya, mata akan cenderung terbuka apabila kualitas sinyal yang dihasilkan cukup baik. Pada modulasi BPSK, digunakan dua sample nilai Eb/No, 10 dan 20, untuk mendapatkan gambar dari *eye diagram* pada masing – masing variasi antenna. Digram mata yang dihasilkan dari masing-masing nilai Eb/No dapat dilihat pada Gambar 4 dan 5.





Gbr 4. Eye diagram Eb/No=10 Modulasi BPSK

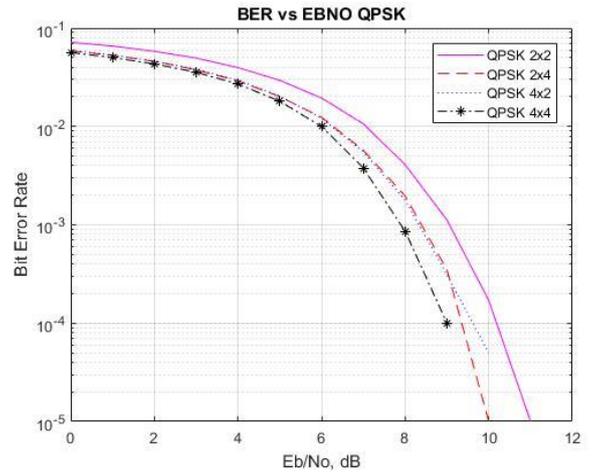
Pada Gambar 4 terlihat *eye diagram* yang dihasilkan saat Eb/No bernilai 10. Terlihat bentuk *eye diagram* yang sudah terbuka, walaupun memang belum sepenuhnya sempurna. Pada Gambar 5, *eye diagram* yang dihasilkan sudah sangat baik. Gambar tersebut didapat saat Eb/No bernilai 20.



Gbr 5. Eye diagram Eb/No=20 Modulasi BPSK

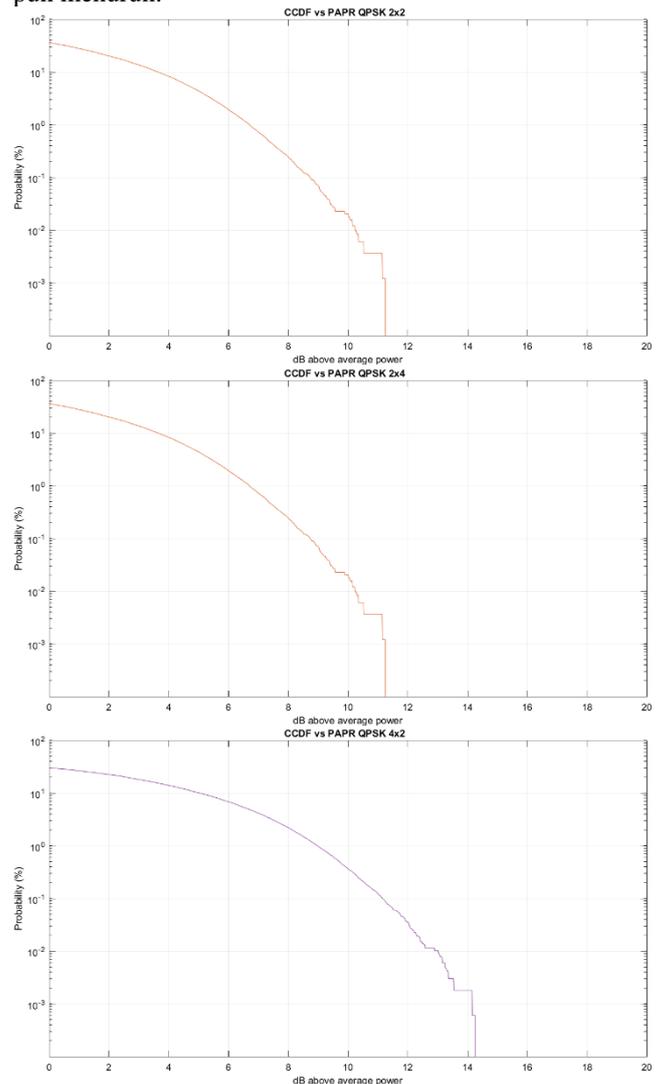
C. Unjuk kerja OFDM MIMO Modulasi QPSK

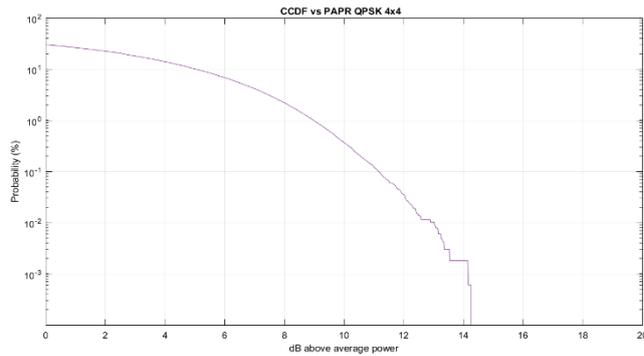
Selanjutnya Dilakukan simulasi terhadap system OFDM MIMO dengan variasi antenna MIMO 2x2, 2x4, 4x2, 4x4 menggunakan modulasi QPSK. Parameter unjuk kerja terdiri atas BER vs Eb/No, CCDF vs PAPR, dan *eye diagram*.



Gbr 6. Grafik BER Berbanding Eb/No Modulasi QPSK.

Sama seperti hasil dari pengujian sebelumnya, dapat dilihat pada Gambar 6 yang merupakan grafik BER berbanding Eb/No dari keempat variasi antenna MIMO dengan modulasi QPSK. Pada awal pengujian dengan nilai Eb/No adalah 0, nilai BER yang dihasilkan cukup tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa kinerja sistem tidak baik. Namun, seiring dengan bertambahnya nilai Eb/No, maka nilai BER pun menurun.

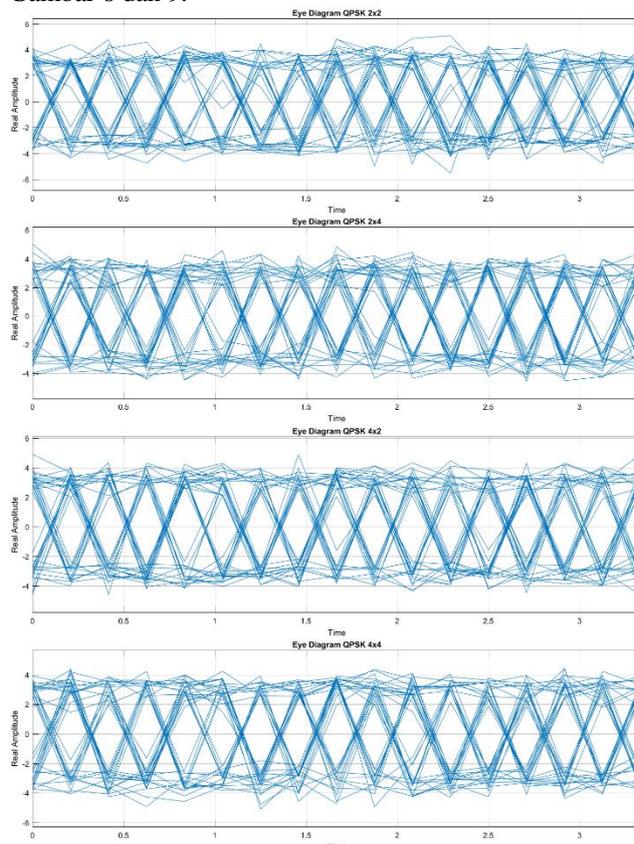




Gbr 7. Grafik CCDF Berbanding PAPR Modulasi QPSK.

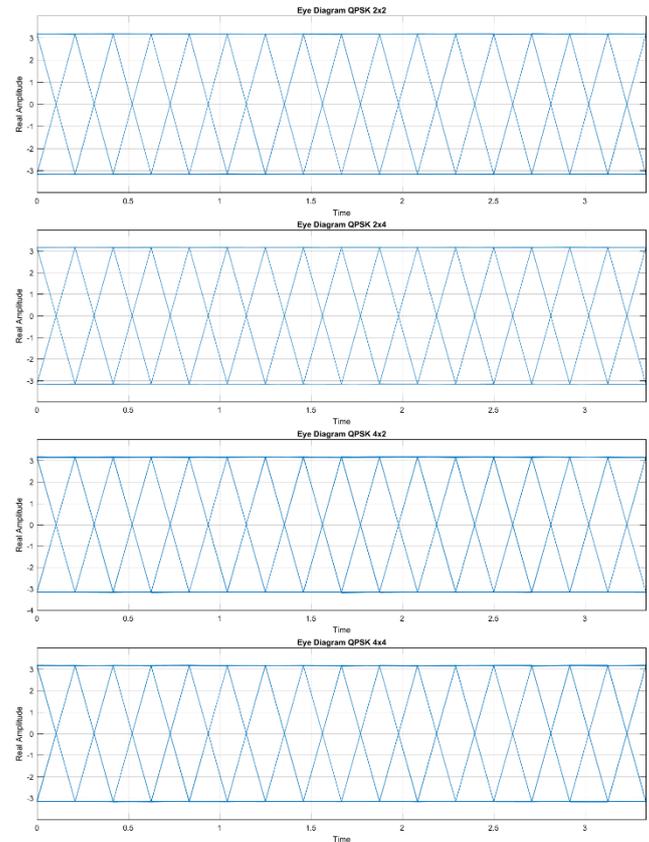
Pada Gambar 7 ditampilkan grafik CCDF vs PAPR dari variasi antenna modulasi QPSK. Grafik yang dihasilkan oleh variasi antenna 2x2 sama dengan variasi antenna 2x4 dan grafik yang dihasilkan oleh variasi antenna 4x2 sama dengan grafik yang dihasilkan oleh variasi antenna 4x4. Hal ini dikarenakan penghitungan nilai terjadi sebelum masuk kedalam transmisi, maka antenna penerima tidak mempengaruhi nilai parameter yang didapat. Dari variasi antenna 2x2 dan 2x4, didapat nilai PAPR *threshold* 11,257 dB sedangkan dari variasi antenna 4x2 dan 4x4, didapat nilai PAPR *threshold* 14,267 dB.

Dalam parameter unjuk kerja *eye diagram*, pada modulasi QPSK, digunakan pula dua sample nilai Eb/No, 10 dan 20, untuk mendapatkan gambar dari *eye diagram* pada masing – masing variasi antenna. Digram mata yang dihasilkan dari masing-masing nilai Eb/No dapat dilihat pada Gambar 8 dan 9.



Gbr 8. Eye diagram Eb/No=10 Modulasi QPSK.

Pada Gambar 8 terlihat *eye diagram* yang dihasilkan saat Eb/No bernilai 10. Terlihat bentuk *eye diagram* yang sudah terbuka, walaupun walaupun masih tidak beraturan. Berbeda dengan Gambar 9, *eye diagram* yang dihasilkan jauh lebih baik. Gambar tersebut dihasilkan saat Eb/No bernilai 20.



Gbr 9. Eye diagram Eb/No=20 Modulasi QPSK.

D. Perbandingan Variasi Antena dan Jenis Modulasi

Setelah didapat nilai unjuk kerja dari masing masing modulasi dan variasi antenna, selanjutnya hasil tersebut akan dibandingkan dan dilihat bagaimana unjuk kerja dari masing-masing modulasi dan variasi antenna dari sistem OFDM MIMO.

Pada unjuk kerja BER berbanding Eb/No, Melihat dari grafik yang dihasilkan pada Gambar 2 dan Gambar 6, banyaknya antenna penerima memberikan unjuk kerja yang lebih baik dibandingkan dengan banyaknya antenna pengirim. MIMO dengan variasi antenna 2x4 dan 4x4 menghasilkan unjuk kerja yang lebih baik dibandingkan MIMO 2x2 dan 4x2. Hal ini dikarenakan dengan banyak antenna penerima, maka semakin banyak juga peluang untuk mendapatkan sinyal yang lebih baik dan dapat mengurangi terjadinya error sedangkan penggunaan modulasi BPSK maupun QPSK didalam sistem OFDM MIMO, menghasilkan unjuk kerja yang tidak jauh berbeda.

Pada unjuk kerja CCDF berbanding PAPR, jumlah antenna pengirim mempengaruhi nilai PAPR yang dihasilkan. Nilai PAPR lebih besar dihasilkan oleh variasi antenna 4x2 dan 4x4. Dengan banyaknya antenna pengirim yang digunakan, maka nilai PAPR tersebut terdistribusi pada semua antenna dan mengakibatkan peningkatan PAPR dalam sistem. Sedangkan antenna penerima tidaklah berpengaruh. Antara modulasi BPSK dengan QPSK, dihasilkan nilai

PAPR yang lebih rendah dalam modulasi QPSK. Hal ini berkaitan dengan banyaknya jumlah bit dalam satu simbol. Modulasi QPSK mempunyai 2 bit dalam satu simbol, sedangkan modulasi BPSK 1 bit dalam 1 simbol. Walaupun demikian, nilai PAPR masih perlu direduksi dengan beberapa metode reduksi guna mendapatkan nilai PAPR yang lebih rendah lagi.

Melihat hasil dari *eye diagram* pada modulasi BPSK dan QPSK serta variasi antenna didalamnya bahwa dengan nilai Eb/No 10, pada gambar 4, dan gambar 8, ditampilkan hasil yang tidak terlalu berbeda. Dari *eye diagram* tersebut dapat dilihat bahwa masih banyaknya pola garis-garis tak beraturan yang saling tumpang tindih. Pola garis-garis tersebut terjadi akibat *jitter* dan hal ini menandakan bahwa ISI masih mempengaruhi penerimaan sinyal di dalam sistem. Sedangkan pada gambar 5 dan gambar 9, dengan nilai Eb/No 20, pola garis *eye diagram* sudah menunjukkan pola yang teratur. Hal ini menandakan bahwa pengaruh ISI sudah tidak ada. Melihat dari hal tersebut, dapat dikatakan bahwa variasi antenna tidak terlalu memberikan perbedaan yang besar terhadap hasil unjuk kerja *eye diagram*.

V. KESIMPULAN

Variasi antenna 2x4 dan 4x4, menghasilkan nilai BER yang lebih baik dibandingkan dengan variasi antenna variasi antenna 2x2 dan 4x2. Hal ini dikarenakan dengan banyak antenna penerima, maka semakin banyak juga peluang untuk mendapatkan sinyal yang lebih baik yang dapat mengurangi terjadinya error. Sedangkan, dalam unjuk kerja yang dihasilkan berdasarkan parameter CCDF vs PAPR didapat bahwa jumlah antenna pemancar mempengaruhi nilai PAPR yang dihasilkan. Semakin banyak antenna pemancar yang digunakan, maka semakin besar pula nilai PAPR yang dihasilkan. Nilai PAPR terdistribusi pada semua antenna dan mengakibatkan peningkatan nilai PAPR dalam sistem.

Secara keseluruhan, dengan membandingkan semua variasi antenna yang ada, baik itu dalam modulasi BPSK maupun QPSK, unjuk kerja terbaik dihasilkan oleh variasi antenna 4x4. Walaupun variasi antenna 4x4 memiliki nilai PAPR yang lebih tinggi dibandingkan variasi antenna 2x2 atau 2x4, unjuk kerja BER dari variasi antenna 4x4 tetap lebih baik dibandingkan variasi antenna 2x2, 2x4, dan 4x2. Hal ini menunjukkan bahwa *error* yang terjadi pada antenna 4x4 lebih kecil dibandingkan pada antenna 2x2, 2x4, maupun 4x2.

Last but not least, dalam penelitian ini nilai PAPR yang dihasilkan masih tinggi. Penambahan teknik reduksi PAPR diharapkan dapat mereduksi nilai PAPR dan meningkatkan serta memperbaiki unjuk kerja dari sistem yang dibangun.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada rekan peneliti dua dan tiga, serta kepada rekan lain yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu, dukungan, bantuan, serta saran yang membantu dalam menyelesaikan penelitian ini.

REFERENSI

- [1] Maddanaca, A. 2012. Reduksi Peak-To-Average Power Ratio Pada Sistem STBC MIMO-OFDM dengan Metode *Selected Mapping* dan Partial Transmit Sequence. *IncomTech, Jurnal Telekomunikasi dan Komputer* Vol.3 No.1:pp.85-111.
- [2] Wardhana, Lingga., Aginsa, Bagus Facsi., dkk. 2014. 4G Handbook edisi Bahasa Indonesia. Jakarta: www.nulisbuku.com
- [3] Ahmadi, C. 2015. Analisis Kapasitas Kanal terhadap Jumlah Antena Pada Sistem MIMO (Multiple Input Multiple Output). *Jurnal Ilmiah SISFOTENIKA* vol.5 No.1: pp.37-48.
- [4] Pratiarso, A., Vernanda, D., Moegiharto, Y., Briantoro, H. 2016. Reduksi Peak-To-Average Power Ratio pada Sinyal OFDM Menggunakan Skema Hybrid Enhanced Partial Transmit Sequence-Tone Reservation. *Prosiding SENTIA* Vol.8: pp.8-14.
- [5] Astuti, D.W., 2012. Analisa Simulasi Performansi Penggunaan Orthogonal Frequency Division Multiplexing Pada Sistem Digital Video Broadcasting-Terrestrial. *IncomTech, Jurnal Telekomunikasi dan Komputer* Vol. 3 No.1:pp. 62-83
- [6] Wael, C.B.A., Desvasari, W., Adji, R.P.H. 2015. Teknik Reduksi PAPR pada Sistem OFDM dengan Partial Transmit Sequence (PTS) dan Selected Mapping (SLM). *Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi* Vol. 15 No. 2
- [7] Susilo, D. Murtianta, B., Pramono A.A.D. 2016. Perancangan Sistem Modulator Binary Phase Shift Keying. *Techne Jurnal Ilmiah Elektroteknika* Vol. 15 No.1: pp.77-89.
- [8] Purwanto, Teguh Bayu. 2015. "Analisis Unjuk Kerja Teknik MIMO STBC dan V-BLAST Pada Sistem Orthogonal Frequency Division Multiplexing" Denpasar: Universitas Udayana.
- [9] Elvia, D. & Suryani, T., 2015. Implementasi dan Evaluasi Kinerja Kode Konvolusi pada Modulasi Quadrature Phase Shift Keying (QPSK) Menggunakan WARP. *Jurnal Teknik ITS* Vol.4 No.1: pp.48-52.
- [10] Fauzia, D. 2017. "Manajemen Interferensi pada Transmisi Downlink Jaringan Seluler Two-Tier Berbasis 4G LTE-Advanced dengan Menggunakan Metode Power Control" Bandar Lampung: Universitas Lampung
- [11] Yuniari, N.P.E.A. 2016. "Analisis Perbandingan Performansi Sistem MC-SS MIMO dengan OFDM MIMO pada Kanal Fading" Bukit Jimbaran: Universitas Udayana.

BIOGRAFI PENULIS



Muhammad Iman Nur Hakim, lahir di Bogor, 04 Januari 1993, berkuliah S1 dan S2 jurusan Teknik Elektro di Universitas Udayana. Saat ini penulis bekerja sebagai pengajar di Politeknik Keselamatan Transportasi Jalan - Tegal.