

Pemodelan Transmisi Citra dengan OFDM untuk Sistem DVB-T

Prihantono¹, I Gede Puja Astawa², dan Tri Budi Santoso³
Laboratorium Mobile Communication, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya^{1,2}
Laboratorium Multimedia Communication, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya³
tribudi@pens.ac.id³

Abstrak

Pada makalah ini disajikan sebuah kajian tentang model transmisi citra dengan teknik OFDM, yang mana merupakan satu hal kunci di dalam implementasi DVB-T dan DVB-T2. Kajian telah dilakukan untuk mengevaluasi kehandalan sistem transmisi pada suatu kondisi kanal terburuk yang melibatkan proses lintasan jamak, dan mengujikan berbagai metode ekualisasi untuk mengetahui kehandalan sistem dalam mengatasi pengaruh kanal. Dari hasil pengujian melalui simulasi diperoleh gambaran bahwa untuk mendapatkan kinerja yang aman, dengan maksimum nilai *error probability* 0,001 ketiga sistem baik BPSK, QPSK dan 16QAM masih layak dimanfaatkan dengan sistem OFDM untuk implementasinya, walaupun ada sedikit perbedaan nilai SNR untuk BPSK $\pm 6,7$ dB, QPSK perlu ± 7 dB, dan 16QAM perlu ± 9 dB. Pada pengujian teknik ekualisasi dengan LS dan MMSE juga menunjukkan kinerja yang bagus pada sistem OFDM. Dan pada bagian akhir menunjukkan proses transmisi citra memberikan luaran sesuai yang diharapkan.

Kata Kunci - transmisi citra, DVB-T, OFDM.

Abstract

This paper presents a study of image transmission models using the OFDM technique, which is a key aspect in the implementation of DVB-T and DVB-T2. Studies have been carried out to evaluate the reliability of the transmission system in the worst channel conditions which involving multipath fading processes, and to test various equalization methods to determine the system's reliability in overcoming channel effects. From the simulation results, to obtain a good performance, with a maximum error probability value of 0.001, the three systems, including BPSK, QPSK and 16QAM, are still suitable to combined with an OFDM system for implementation, although there is a slight difference in the SNR value for BPSK ± 6.7 dB, QPSK needs ± 7 dB, and 16QAM needs ± 9 dB. In testing the equalization technique with LS and MMSE it also shows a good performance on the OFDM system. And the final part shows that the image transmission process provides the expected output.

Keywords - image transmission, DVB-T, OFDM.

I. PENDAHULUAN

Digital Video Broadcasting – Terrestrial (DVB-T) merupakan satu sistem standar yang telah ditetapkan oleh sebuah konsorsium penyiaran di Eropa untuk suatu model TV digital. Sistem ini telah diperkenalkan di Eropa sejak 1997, dan dengan cepat diadopsi oleh banyak negara. Implementasi sistem ini di Indonesia relatif terlambat dibandingkan negara negara maju, dan baru dimulai pada tahun 2009. Pada awalnya, televisi terestrial digital di Indonesia menggunakan sistem DVB-T, tetapi dengan terbitnya Permenkominfo Republik Indonesia No. 5 Tahun 2012 telah berganti menjadi *2nd Generation Terrestrial Digital Video Broadcasting* (DVB-T2). Walaupun terdapat perbedaan di antara kedua sistem, tetapi secara mendasar kedua sistem ini memiliki banyak persamaan.

Sebuah hasil kajian tentang bagaimana kinerja sistem penyiaran tersebut, yang dalam hal ini adalah *Quality of Service* (QoS) pada waktu melintasi saluran *optical wireless channel* (OWC) telah dipaparkan. Sebagai bentuk pembuktian telah disajikan suatu pengujian transmisi citra melalui jaringan OWC dalam kondisi turbulensi channel, dan hasilnya menunjukkan bahwa adanya peningkatan QoS.[1]

Kinerja sistem televisi digital generasi kedua, yang dikenal sebagai DVB-T2 juga telah dianalisa pada suatu kondisi laju data tinggi, yaitu dengan system *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) dengan mengacu pada algoritma *Space-Time Block Code* (STBC). Kinerja *bit error rate* (BER) telah diujikan pada suatu kondisi noise *Additive White Gaussian Noise* (AWGN) dengan skema modulasi *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK). Kajian telah menunjukkan peningkatan efisiensi pada kombinasi OFDM-MIMO dibandingkan sistem OFDM biasa [2].

Kajian tentang bagaimana kualitas siaran TV digital di beberapa kota Indonesia juga telah dipaparkan. Evaluasi kinerja difokuskan pada kualitas gambar pada penerima. Proses evaluasi dilakukan pada berbagai kondisi lokasi, pada daerah padat pemukiman, dan berbagai daerah yang tidak padat pemukiman dan cenderung jauh dari pemancar. Hasilnya menunjukkan bahwa secara umum siaran digital telah dapat berlangsung dengan baik [3] – [5].

Sistem penyiaran di Jepang, *Japan Broadcasting Corporation* atau *Nippon Hikouki Kukusai* (NHK) telah menyajikan hasil penelitian tentang *next generation* untuk sistem penyiaran terrestrial digital yang memiliki kemampuan dalam memberikan layanan *Ultra High Definition Television* (UHD TV). Selanjutnya system 2x2 MIMO juga telah diadopsi untuk system ATSC3.0. Ini merupakan pengembangan dari DTV system yang sebelumnya telah digunakan di Jepang [6].

Sebuah kajian dengan tujuan untuk peningkatan kualitas dan memperluas fungsi layanan penyiaran televisi *terrestrial* digital telah dilakukan. Kajian ditujukan untuk pengembangan sistem transmisi canggih yang mewarisi fitur-fitur utama sistem ISDB-T, yaitu menjalankan *hierarchical transmission* yang didasarkan pada suatu *segment structure* [7] – [10].

Pada makalah ini disajikan suatu model transmisi citra dengan memanfaatkan Teknik OFDM yang digunakan pada sistem DVB-T generasi pertama. Kajian dilakukan untuk mengetahui perilaku sistem dalam berbagi kondisi saluran transmisi dan pengaruh noise yang terjadi pada hasil transmisi.

II. GAMBARAN SISTEM DVB-T

DVB adalah skema transmisi berdasarkan standar MPEG-2 yang menghasilkan audio dan video digital terkompresi berkualitas tinggi. DVB-T dikeluarkan oleh konsorsium DVB, yang digunakan untuk transmisi siaran televisi terrestrial digital.

Sistem ini mentransmisi audio digital terkompresi, video dan data lainnya dalam suatu *physical layer pipe* (PLP) menggunakan sistem modulasi OFDM, dilengkapi *channel coding* yang digabungkan dengan *interleaving*. *Bit rate* yang ditawarkan lebih tinggi dibandingkan pendahulunya, DVB-T. Hal ini memungkinkan bagi sistem standar ini untuk membawa sinyal HDTV melalui saluran TV *terrestrial* dengan menggunakan modulasi OFDM.

DVB-T memiliki beberapa keunggulan yaitu dapat mengirimkan sejumlah besar data pada kecepatan tinggi secara *point-to-multipoint*. Sistem DVB-T, merupakan sistem penyiaran langsung dari pemancar *terrestrial* ke pemirsa di rumah. Sistem modulasi digital yang dipakai dalam sistem DVB-T adalah teknik OFDM dengan pilihan tipe modulasi QPSK, 16QAM atau 64QAM. Dengan sistem ini, bandwidth yang digunakan antara 6 sampai 8 MHz sehingga menjadi efisien dan memungkinkan pemakaian satu kanal untuk beberapa konten, seperti pada Gambar 1.

III. MODEL TRANSMISI CITRA DENGAN OFDM

A. Gambaran Umum Sistem OFDM

Ketika sebuah sinyal digital (simbol) memodulir sebuah sinyal carrier, akan terjadi pembentangan frekuensi. Karakteristik bentangan frekuensi yang muncul ditentukan oleh laju simbol yang digunakan. Ketika sebuah sinyal digital dengan bentuk pemetaan simbol BPSK yang memiliki laju

simbol 1000 simbol per detik digunakan untuk memodulir sebuah sinyal *carrier* 10 KHz akan menimbulkan puncak yang berpusat di frekuensi 10 KHz dan harmonisa-harmonisa pada sisi kiri dan kanan.

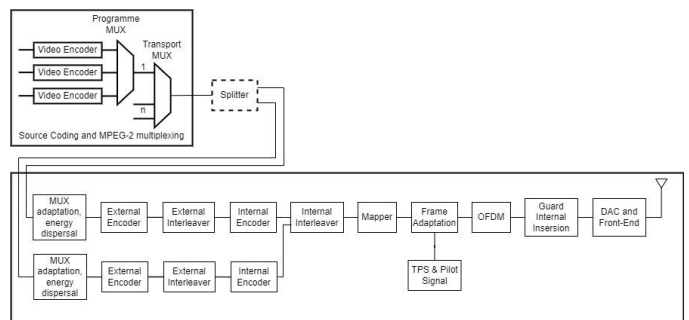
Dengan memanfaatkan nilai-nilai frekuensi yang ada di daerah lembah ini sebagai *sub carrier - sub carrier* yang bisa digunakan secara simultan dalam pengiriman sinyal, maka akan dapat dihindarkan terjadinya inter carrier interferensi atau juga dikenal dengan menjaga ortogonalitas dari muli carrier yang kita gunakan.

Secara umum sistem OFDM bisa dilihat pada Gambar 2. Pada bagian pemancar melakukan pemetaan bit-bit informasi menjadi sekuen simbol-simbol BPSK, QPSK atau QAM sesuai dengan tipe modulasi yang digunakan. Sekuen simbol hasil pemetaan ini selanjutnya dikonversi menjadi aliran data *N-paralel*.

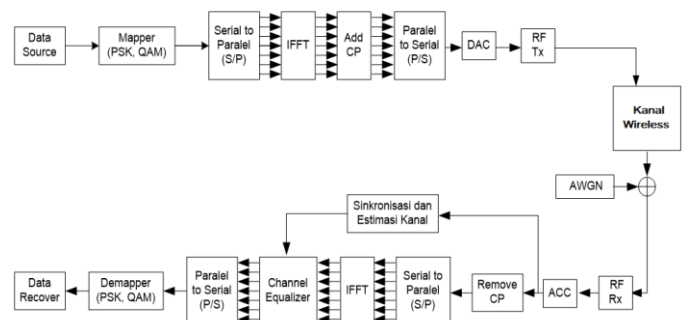
Setiap simbol yang keluar dari proses *serial to paralel* (S/P) akan ditumpangkan pada *sub-carrier* dengan nilai frekuensi berbeda-beda. Misalnya $X_l[k]$ sebagai simbol ke- l yang dikirimkan pada *sub-carrier* ke- k , maka dalam hal ini $l = 0,1,2,\dots$, dan $k = 0,1,2,3,\dots N-1$. Durasi satu simbol menjadi sebesar $T_{\text{symb}} = N T_s$.

Jika sinyal OFDM ke- l pada frekuensi ke- k dinyatakan sebagai:

$$\Psi_{l,k}(t) = \begin{cases} e^{j2\pi(t-tT_{\text{symb}})}, & 0 < t \leq T_{\text{symb}} \\ 0, & t \text{ lain} \end{cases} \quad (1)$$



Gbr. 1 Gambaran sederhana sistem DVB-T.



Gbr. 2. Diagram blok sistem OFDM

Untuk selanjutnya sinyal OFDM passband di dalam domain waktu kontinyu bisa dituliskan sebagai:

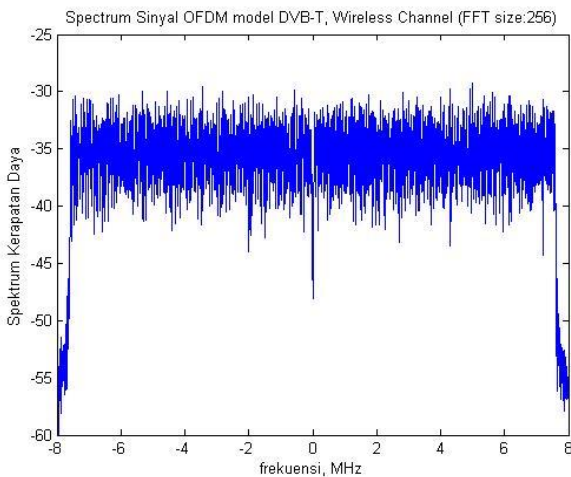
$$x_i(t) = Re \left\{ \frac{1}{T_{\text{sympb}}} \sum_{l=0}^{\infty} \left\{ \sum_{k=0}^{N-1} X_l[k] \Psi_{l,k}(t) \right\} \right\} \quad (2)$$

B. Sistem OFDM untuk Kanal Wireless

Pada OFDM jumlah *sub-carrier* diusahakan sebanyak mungkin untuk mendapatkan durasi satu simbol secepat mungkin dengan tujuan menghindari efek interferensi antar simbol-simbol berdekatan (*inter symbol interference*, ISI) yang bisa muncul karena pengaruh kanal lintasan jamak yang mungkin terjadi di dalam lintasan propagasi. Dengan memanfaatkan sebanyak $N=256$ *sub-carrier*, dan bandwidth transmisi sebesar $B = 6$ MHz, masing-masing *sub-carrier* memiliki *bandwidth* sebesar $\Delta f = B/N = 6000/256 = \sim 23$ kHz. Dalam hal ini durasi satu simbol sebesar $T = 1/\Delta f = 1/23000 = 43,47$ ns. Dari 256 *sub-carrier*, yang benar-benar digunakan untuk payload adalah sebanyak 242 *sub-carrier*, dan 14 kanal digunakan untuk virtual. Penggunaan *virtual carrier* atau *zero padding* ditujukan untuk menghindari interferensi antar kanal (*inter channel interference*, ICI) berdekatan.

Jika dalam sistem OFDM ditetapkan besarnya frekuensi sampling adalah 16000 kHz, maka durasi antar sampel pada OFDM adalah sebesar $T_s = 1/B = 1/(16 \times 10^6) = 0,06 \mu s = 60$ ns. Sedangkan satu simbol T akan memiliki sampel sebanyak $T/T_s = 43,47 \mu s / 0,06 \mu s = 696$ sampel.

Penggunaan simbol berdurasi lebar, yang melebihi lebar bentangan penundaan kanal (*channel delay spread*, τ_{max}) masih belum mampu menjamin bahwa sistem OFDM terbebas dari pengaruh kanal lintasan jamak, dan masih mungkin terjadinya gangguan pada ortogonalitas antar kanal pada OFDM. Untuk mengatasi permasalahan ini sistem OFDM menggunakan sebuah guard interval antar symbol bisa dengan menggunakan teknik *cyclic prefix* atau *zero padding*. Pada pembahasan disini dipilih teknik *cyclic prefix* sebagai guard interval



Gbr. 3. Spektrum sinyal OFDM untuk DVB-T dengan informasi acak

Cyclic prefix dilakukan dengan cara mengkopikan beberapa sampel terakhir pada satu simbol OFDM dan menempatkannya pada bagian terdepan dari simbol tersebut. Hal ini menyebabkan terjadinya bentuk perulangan nilai sampel, sehingga memperpanjang durasi sebuah symbol OFDM. Dalam menentukan besarnya sampel untuk *cyclic prefix* harus memperhatikan bentangan penundaan kanal (t_{max}) yang ada. Misalnya dalam hal kanal UHF diketahui nilai $t_{\text{max}} = 10$ ns [10], maka bisa ditetapkan nilai *cyclic prefix* relatif kecil misal $T_g = 0,3 * T_s = 18$ ns, sebab hal ini sudah memenuhi $T_g > t_{\text{max}}$. Maka banyaknya sampel yang digunakan untuk *cyclic prefix* adalah sebesar $T/T_s \times T_g/T_s = 18/60 \times 696 = 209$ sampel. Penambahan *cyclic prefix* ini akan memperpanjang durasi satu simbol OFDM menjadi sebesar: $T_{\text{sympb}} = T + T_g = 60 + 18 = 78$ ns. Untuk selanjutnya secara lebih mendetail spesifikasi OFDM yang digunakan pada simulasi disini bisa dilihat pada Tabel 1.

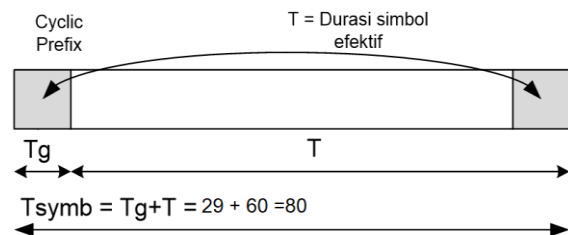
TABEL 1.
 SPESIFIKASI SISTEM OFDM

Parameter OFDM	Nilai
Bandwidth, B	6 MHz ~8 MHz
Frekuensi sampling, f_s	16 MHz
Modulasi	BPSK, QPSK, 16QAM
Coding	Tanpa pengkodean
Symbol per Frame, N_d	8192
Jml Carrier	256 dan 512
Carrier Spacing, Δf	23 kHz
Block Duration, $T=1/\Delta f$	60 ndt
Block Per Frame, $N = N_d/K$	32 dan 16
Guard Time, T_g	20 ns

C. Estimasi pada Kanal OFDM

Estimasi kanal bisa dilakukan dengan memanfaatkan *training symbol* yang dalam hal ini bisa memanfaatkan *pilot tone* yang ditransmisi berurutan dengan simbol-simbol data. *Training symbol* untuk N *sub-carrier* bisa direpresentasikan sebagai matrik diagonal.

$$X = \begin{bmatrix} X[0] & 0 & \dots & 0 \\ 0 & X[1] & & \vdots \\ \vdots & & \dots & 0 \\ 0 & & 0 & X[N-1] \end{bmatrix} \quad (3)$$



Gbr. 4. Penggambaran cyclic prefix secara sederhana

Di mana $X[k]$ menandai suatu *pilot tone* pada *sub carrier* ke- k . Dengan nilai ekspektasi $E\{X[k]\} = 0$, sedangkan $Var\{X[k]\} = \sigma_x^2$, dan nilai $k = 0, 1, 2, \dots, N-1$. Dalam hal ini X dalam sebuah matrik diagonal, dan disumsikan bahwa semua subcarrier adalah saling ortogonal satu dengan yang lain.

Jika matrik *gain* kanal dinyatakan dalam $H[k]$ dan sinyal training yang diterima direpresentasikan di dalam matrik $Y[k]$, selanjutnya bisa dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$\begin{bmatrix} Y[0] \\ Y[1] \\ \vdots \\ Y[N-1] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X[0] & 0 & \dots & 0 \\ 0 & X[1] & & \vdots \\ \vdots & & \dots & 0 \\ 0 & & & X[N-1] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} H[0] \\ H[1] \\ \vdots \\ H[N-1] \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z[0] \\ Z[1] \\ \vdots \\ Z[N-1] \end{bmatrix} \quad (4)$$

Dalam bentuk vektor bisa dinyatakan bahwa \mathbf{H} adalah vektor kanal yang bernilai $\mathbf{H} = [H[0], H[1] \dots H[N-1]]^T$, dan \mathbf{Z} adalah vektor noise yang diberikan sebagai $\mathbf{Z} = [Z[0], Z[1] \dots Z[N-1]]^T$

Dua metode yang cukup banyak digunakan di dalam estimasi kanal dengan pilot tone akan dibahas disini, yaitu *least square* (LS) dan *minimum-mean-square-error* (MMSE).

1) *Metode Least Square*: Estimasi kanal dengan metode least square (LS) diawali dengan mendapatkan nilai estimasi kanal, \hat{H} dengan cara meminimisasi nilai *cost function* seperti berikut:

$$\begin{aligned} J(\hat{H}) &= \|Y - X\hat{H}\|^2 = (Y - X\hat{H})^H (Y - X\hat{H}) \\ &= Y^H Y - Y^H X\hat{H} - \hat{H}^H X^H Y + \hat{H}^H X^H X\hat{H} \end{aligned} \quad (5)$$

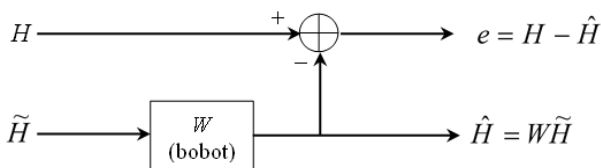
Penurunan persamaan diatas untuk mendapatkan \hat{H} menjadi nol:

$$\frac{\partial J(\hat{H})}{\partial \hat{H}} = -2(X^H Y)^* + 2(X^H X\hat{H})^* = 0 \quad (6)$$

Sehingga $X^H X\hat{H} = X^H Y$, dan akan memberikan penyelesaian persamaan pada estimasi kanal LS seperti berikut:

$$\hat{H}_{LS} = (X^H X)^{-1} X^H Y = X^{-1} Y \quad (7)$$

2) *Metode Minimum Mean Square Error*: Secara sederhana metode estimasi kanal dengan *minimum mean square error* (MMSE) bisa digambarkan dengan diagram blok berikut ini.



Gbr. 5. Estimasi kanal dengan MMSE

Berdasarkan gambar tersebut, nilai *mean square error* (MSE) pada nilai estimasi kanal \hat{H} diberikan sebagai:

$$J(\hat{H}) = E\{\|e\|^2\} = E\{\|H - \hat{H}\|^2\} \quad (8)$$

Tujuan estimasi MMSE adalah untuk mendapatkan nilai estimasi yang lebih baik, yang dalam hal ini adalah pemilihan bobot W yang tepat. Sehingga persamaan di atas perlu diminimisasi.

Dengan memanfaatkan sifat ortogonalisasi pada estimasi vektor error $e = H - \hat{H}$ yang akan ortogonal terhadap \hat{H} , sehingga:

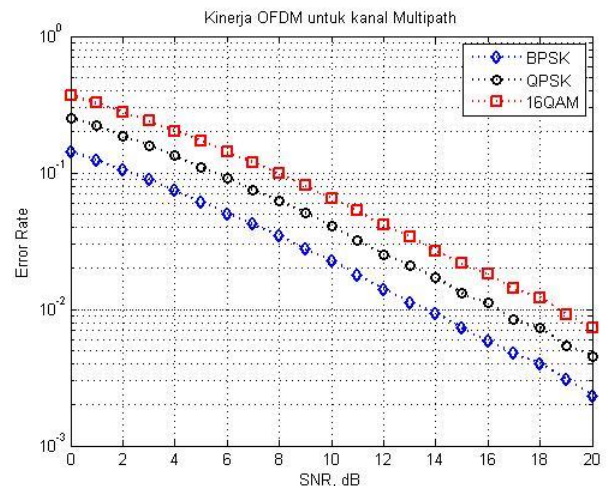
$$\begin{aligned} E\{e\hat{H}^H\} &= E\{(H - \hat{H})\hat{H}^H\} = E\{(H - W\tilde{H})\hat{H}^H\} \\ &= E\{H\hat{H}^H\} - WE\{\tilde{H}\hat{H}^H\} \\ &= R_{H\hat{H}} - WR_{\tilde{H}\hat{H}} = 0 \end{aligned} \quad (9)$$

IV. HASIL-HASIL SIMULASI

A. BER pada Kanal AWGN dan Multipath

Dari gambaran hasil simulasi ini sudah merepresentasikan kinerja sistem transmisi OFDM pada kanal AWGN dengan 3 teknik modulasi yang digunakan dalam pemetaan simbol yang digunakan. Dari trend munculnya kinerja SER sebagai E_b/N_0 sistem simulasi yang disusun sudah cukup layak untuk merepresentasikan sistem yang sebenarnya.

Gambaran perbandingan kinerja sistem OFDM untuk kanal multipath, dengan noise AWGN bisa dilihat seperti pada Gambar 6. Di sini terlihat bahwa *trend* pola kinerja SER yang ditampilkan oleh sistem OFDM dengan 3 macam simbol *mapping* (BPSK, QPSK dan 16 QAM) sudah menunjukkan *trend* yang mendekati perhitungan teori.



Gbr. 6. Kinerja sistem OFDM pada kanal Multipath

Pengaruh penggunaan *Guard Interval* akan cukup berpengaruh kuat pada kinerja OFDM pada kanal lintasan jamak. Untuk teknik modulasi 16QAM, pada nilai E_b/N_0 20 dB untuk pemakaian *Guard Interval* sebesar 16 ms atau ekuivalen dengan 80 sampel dengan *Cyclic Prefix* nilai BER yang bisa dicapai adalah 0,0068. Dengan penggunaan *Guard Interval* 1 ms (ekuivalen dengan 5 sampel CP) akan menaikkan besarnya BER sampai mencapai nilai 0,0243. Ketika *guard interval* dihilangkan, kinerja menurun sampai menimbulkan BER pada nilai 0,0577. Secara lebih jelas bisa dilihat pada Gambar 7.

B. Pengaruh Estimasi pada OFDM

Proses estimasi kanal dengan *pilot symbol* diharapkan mampu memberikan kinerja yang bagus pada penerima di dalam memprediksi karakteristik kanal propagasi. Tetapi dalam kenyataannya metode ini tidak mungkin mampu memprediksi kanal seperti kondisi yang sesungguhnya, dan hasil estimasi yang ditunjukkan memberikan gambaran *mean-square-error* (MSE) seperti pada Gambar 8.

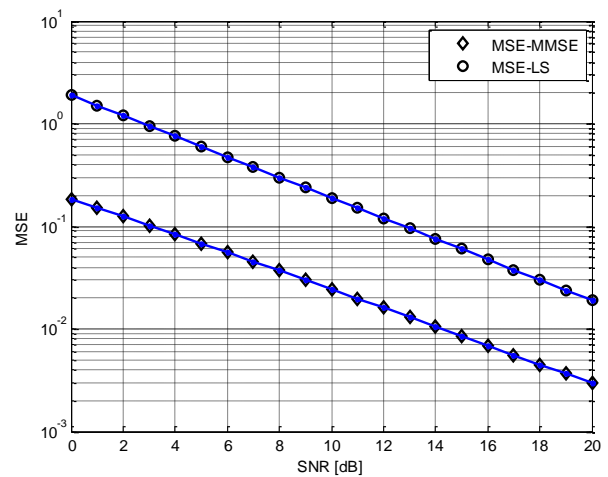
Dalam simulasi yang dihasilkan menunjukkan bahwa nilai MSE yang muncul berbanding terbalik dengan kenaikan nilai *signal-to-noise ratio* (SNR). Hal ini seperti yang sudah disampaikan di dalam persamaan 13. Dari hasil simulasi ditunjukkan bahwa metode estimasi dengan LS memiliki nilai MSE yang cenderung lebih tinggi dibanding dengan metode estimasi dengan menggunakan MMSE.

Dengan memanfaatkan kanal lintasan jamak yang sama selanjutnya dilakukan pengujian pengaruh estimasi LS dan MMSE pada sistem OFDM dengan teknik modulasi 16QAM. Hasil simulasi bisa digambarkan seperti pada Gambar 11. Dari gambar tersebut didapatkan bahwa kesalahan estimasi menimbulkan penurunan kinerja pada sistem OFDM untuk kanal bawah air dengan asumsi kondisi lintasan jamak.

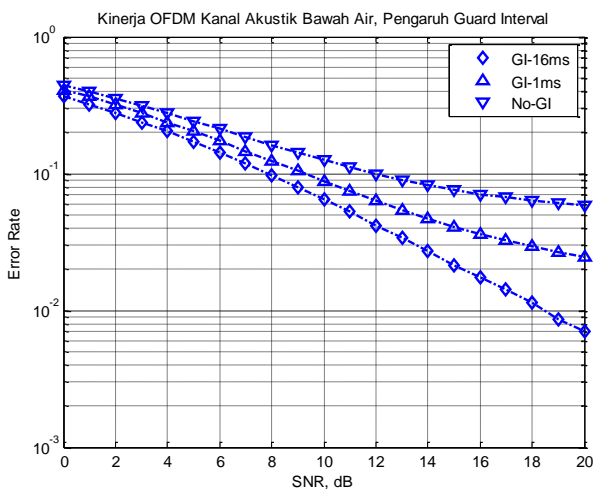
Untuk nilai-nilai SNR rendah, besarnya *error rate* bisa mencapai angka 0,5 baik untuk estimasi LS maupun untuk MMSE. Hal ini ditunjukkan dengan kinerja *error rate* yang cenderung turun secara linear sesuai dengan kenaikan nilai SNR. Nilai *error rate* 0.04 pada estimasi ideal bisa dicapai dengan nilai SNR sebesar 12 dB, sedangkan pada estimasi dengan LS memerlukan nilai SNR sebesar 20 dB dan pada estimasi dengan MMSE memerlukan nilai SNR sebesar 19 dB.

C. Kinerja pada Transmisi Citra

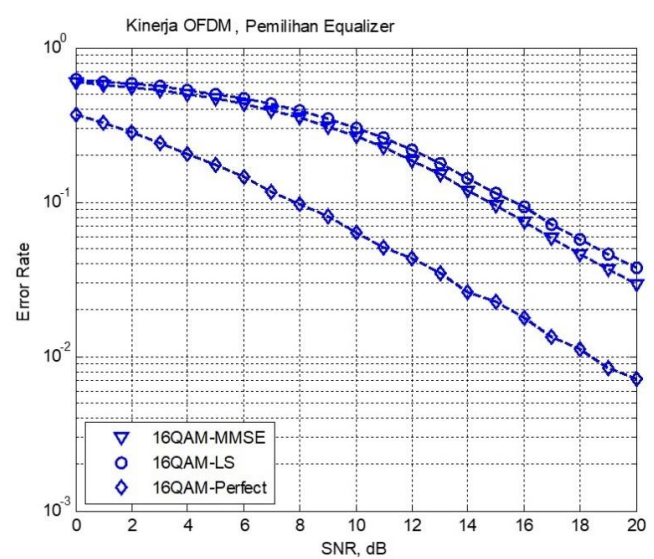
Dalam suatu pengembangan dan pelaksanaan rekonstruksi gambar diperlukan perbandingan antara gambar hasil rekonstruksi dengan gambar asli. Ukuran umum yang digunakan untuk tujuan ini adalah *Peak Signal to Noise Ratio* (PSNR).



Gbr.8. Perbandingan nilai MSE metode estimasi LS dengan MMSE



Gbr. 7. Pengaruh Guard Interval



Gbr. 9. Pengaruh ketidak sempurnaan estimasi LS dan MMSEs

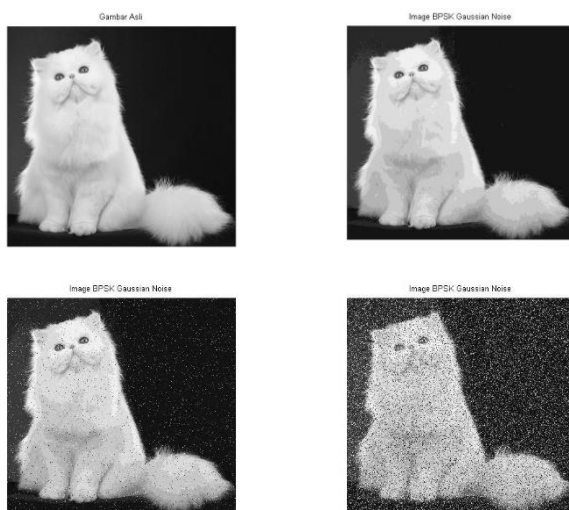
Dari proses transmisi citra dengan menggunakan Teknik OFDM, modulasi BPSK dalam berbagai nilai kanal bernoise seperti pada Gambar 10. Dalam hal ini terlihat bahwa berbagai perubahan nilai varians noise menimbulkan perubahan nilai SNR dan kualitas hasil rekonstruksi citra yang berbeda juga. Semakin besar nilai PSNR menunjukkan kualitas hasil transmisi yang lebih bagus.

V. KESIMPULAN

Kajian awal ini telah menunjukkan hasil yang mampu merepresentasikan kondisi sistem OFDM telah mampu memberikan gambaran kinerja yang baik pada proses transmisi citra untuk system DVB-T.

- Bahwa model transmisi OFDM yang telah disusun dengan berbagai jenis sistem modulasi digital (BPSK, QPSK dan 16 QAM) mampu menunjukkan kinerja baik, yang dalam hal ini mampu mendekati model teoritis untuk kondisi kanal AWGN dan model kanal multipath.
- Model OFDM untuk model ekualisasi dengan memanfaatkan metode MMSE dan LS telah disajikan, dan telah mampu merepresentasikan perilaku sistem yang handal.
- Model OFDM untuk transmisi citra menunjukkan bahwa sistem yang disusun telah memberikan representasi bagus dan cukup mewakili untuk pemodelan.

Untuk langkah selanjutnya kajian akan dilanjutkan dengan melakukan pengkajian metode estimasi kanal dan pengkajian karakterisasi kanal UHF untuk keperluan *broadcast* digital.



Gbr 10. Perbandingan Transmisi Citra pada berbagai nilai PSNR

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami sampaikan terima kasih kepada pihak Kemdikbudristek yang telah mendukung penelitian ini melalui skema dana Penelitian Thesis Magister Tahun Anggaran 2024, dan kepada Manajemen PENS yang telah menyediakan fasilitas laboratorium sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

REFERENSI

- [1] Harpuneet Singh Gill, and Maninder Lal Singh, "Performance evaluation of DVB-t image transmission over a MIMO OWC channel at 650 nm under varying turbulence regimes", *Wireless Networks* (2021) 27:1965–1979
- [2] Tawsif Hossain, Sabbir Ebna, and Ajmery Sultan, "Performance Analysis of DVB- T2 using MIMO-OFDM Technique", *International Journal of Computer Applications* (0975 – 8887) Volume 69– No.20, May 2013.
- [3] Lila Julianawati, Qurrota A'yun, Martianda, and Faradisa "Performance Evaluation of DVB-T2 TV Broadcast for Fixed Reception", 2019 International Electronics Symposium (IES), 2019.
- [4] Burhanudin Abu Sujak, Citra Devi Murdaningtyas, Martianda, and Sukaridhoto, "Comparison of Video IPTV and Digital TV DVBT2 Quality for Indonesia TV Broadcast", 2019 International Electronics Symposium (IES).
- [5] Sukamto, dan R. Gaguk Pratama Yudha, "Analysis of Digital Video Broadcasting - Terrestrial Second Generation (DVB-T2) Based on OFDM System on Transmission Aspect", *International Research Journal of Advanced Engineering and Science*, Volume 3, Issue 3, pp. 135-139, 2018.
- [6] Susumu Saito, Takuya Shitomi, Shingo Asakura, et all, "8K Terrestrial Transmission Field Tests Using Dual-Polarized MIMO and Higher-Order Modulation OFDM", *IEEE TRANSACTIONS ON BROADCASTING*, VOL. 62, NO. 1, MARCH 2016
- [7] _____, "Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television", ETSI EN 300 744 V1.6.1 (2009-01).
- [8] Yong Soo Cho, Jaekwon Kim, Won Young Yang, Chung-Gu Khong, "MIMO-OFDM Wireless Communication with Matlab", John Wiley & Sons (Asia) Pte Ltd, IEEE Press, 2010.
- [9] Dharavathu Krishna and M.S. Anuradha, "Image Transmission through OFDM System under the Influence of AWGN Channel", *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2017.
- [10] Liang Chen and Elena Simona, "Delay Estimation for DVB-T Signals in Adverse Multipath Scenarios", *International Conference on Localization and GNSS 2014 (ICL-GNSS 2014)*.

