

Analisa Simulasi Performansi Penggunaan Orthogonal Frequency Division Multiplexing Pada Sistem Digital Video Broadcasting-Terrestrial

Dian Widi Astuti
Teknik Elektro, Universitas Mercu Buana
dian_widia1@yahoo.com

Abstrak—*Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) merupakan suatu teknik transmisi yang menggunakan beberapa buah frekuensi pembawa (*multicarrier*) dalam satu saluran dimana setiap frekuensi pembawa tersebut saling *orthogonal* (tegak lurus). OFDM banyak dipakai untuk sistem komunikasi *wireless* mengingat kemampuan dari OFDM mengatasi *multipath fading* yang menyebabkan terjadinya *intersymbol interference* (ISI). Dampak dari ISI tersebut adalah penerima tidak dapat membaca sandi informasi dengan benar sehingga mengurangi performansi sistem komunikasi digital. Cara OFDM mengatasi ISI adalah dengan menggandakan simbol dan menambah simbol secara periodik yang digunakan sebagai *guard interval*. Penambahan dari *guard band* yang terlalu lebar bisa mengurangi *throughput* data yang dikirimkan. *Fading* juga menyebabkan amplitudo dan fasa berfluktuatif sehingga cara untuk mengatasinya adalah estimasi kanal (*Channel Estimation*) dengan menyisipkan simbol pilot pada pengiriman frame OFDM sehingga penerima dapat memperkirakan karakteristik kanal dan dapat mengembalikan data yang terkirim. CE terdiri atas *comb-type pilot channel estimation* dan *block-type pilot channel estimation*. DVB-T sebagai penyiaran televisi digital terrestrial juga memakai OFDM dengan skema modulasi OFDM tambahan yaitu berupa pilot simbol atau yang lebih dikenal dengan estimasi kanal (*Channel Estimation*). Mengingat jumlah *subcarrier* dari DVB-T cukup besar jika dibandingkan dengan aplikasi lain yang menggunakan OFDM maka perlu dilakukan sebuah penelitian tentang analisa performansi penggunaan OFDM untuk sistem DVB-T terhadap perubahan *guard interval*, modulasi dan penggunaan kanal pada estimasi kanal tersebut.

Kata kunci : OFDM, DVB-T, CE, LS

I. PENDAHULUAN

OFDM merupakan sebuah teknik transmisi yang menggunakan beberapa buah frekuensi pembawa (*multicarrier*) dalam satu saluran dimana setiap frekuensi pembawa tersebut saling *orthogonal* (tegak lurus). Prinsip dari OFDM yaitu merubah pengiriman informasi yang tadinya berbentuk serial menjadi bentuk paralel. Sebagai contoh pengiriman informasi yang terdiri atas data empat bit yang dikirimkan dengan waktu empat detik. Pada pengiriman data serial maka tiap bit hanya mempunyai durasi satu detik. Sedangkan jika pengiriman data dengan menggunakan OFDM, data tersebut akan dibagi menjadi paralel dan dikirim secara bersamaan sehingga waktu yang diperlukan oleh tiap bit adalah empat detik. Durasi yang lebih lama tersebut akan mengurangi masalah ISI. Selain itu OFDM juga mengurangi kompleksitas seperti penggunaan *equalizer* pada pengimplementasian sistem data kecepatan tinggi jika dibandingkan dengan teknik *single carrier*.

Aplikasi dari OFDM banyak dipakai untuk komunikasi *wireless* mengingat ketahanannya terhadap *multipath fading*. Beberapa contoh aplikasi yang menggunakan

OFDM termasuk GSTN (*General Switched Telephone Network*), komunikasi radio seluler 4G, modem DSL & ADSL, *Digital Audio Broadcasting* (DAB), penyiaran TV digital terrestrial atau yang lebih dikenal dengan *Digital Video Broadcasting-Terrestrial* (DVB-T), *Broadband Wireless Access* (BWA) khususnya IEEE 802.16d (WiMAX), *mobile-Broadband Wireless Access* yaitu IEEE 802.20, *Mobile Multimedia Access Communications* (MMAC), *High Definition Television broadcasting* (HDTV), HYPERLAN/2 (*High Performance Local Area Network Standard*) dan sistem *Wireless Local Area Network* (WLAN) untuk IEEE 802.11.

Pembagian pita frekuensi pada OFDM hampir sama dengan *Frequency Division Multiplexing* (FDM) yaitu membagi pita lebar yang ada ke dalam berbagai frekuensi pembawa hanya saja pada OFDM membaginya lebih efisien. Dikarenakan pada setiap frekuensi pembawa tersebut sudah saling *orthogonal* maka akan terjadi tumpang tindih pada setiap frekuensi pembawa yang bersebelahan dimana pada setiap frekuensi pembawa tersebut dipisahkan *guard interval* atau yang lebih dikenal dengan *cyclic prefix*.

Pada pengiriman informasi dengan kecepatan tinggi akan membuat jarak antar simbol yang dikirimkan semakin rapat atau bisa dibayangkan semakin tipis. Dengan semakin rapatnya simbol tersebut maka akan muncul *inter-symbol interference* (ISI) yaitu berupa interferensi antar simbol yang diterima dikarenakan *multipath* selama perjalanan untuk informasi tersebut sampai di penerima. Akibat yang muncul dari *inter-symbol interference* (ISI) adalah penerima tidak dapat membaca sandi informasi dengan benar sehingga tentu saja mengurangi performansi sistem komunikasi digital. Oleh karena itu diperlukan suatu teknik modulasi yang lebih tahan terhadap *inter-symbol interference* (ISI).

Salah satu cara untuk menghilangkan ISI adalah dengan menggandakan simbol dan menambah simbol secara periodik yang digunakan sebagai *guard interval*. Penggunaan *guard interval* tersebut juga dapat mengurangi *inter-carrier interference* (ICI) dan menjaga keortogonalitasan dari *subcarrier*. Ketika *guard interval* lebih besar dari kanal impuls respons atau *multipath delay* maka dampak dari ISI dapat dihilangkan. Perbandingan dari *guard interval* terhadap penggunaan durasi simbol tergantung pada aplikasinya karena penambahan dari *guard interval* akan mengurangi *throughput* data.

Fading juga menyebabkan amplitudo dan fasa berfluktuatif sehingga cara untuk mengatasinya adalah estimasi kanal (*Channel Estimation*) dengan menyisipkan simbol pilot pada pengiriman frame OFDM sehingga penerima dapat memperkirakan karakteristik kanal dan dapat mengembalikan data yang terkirim.

2. OFDM DAN DVB-T

2.1 Modulasi dan Demodulasi OFDM

Pengiriman dengan modulasi OFDM memetakan bit-bit menjadi simbol PSK atau QAM yang mana dirubah menjadi aliran N paralel. Setiap perubahan N buah simbol dari serial ke paralel membawa *subcarrier* yang berbeda.

Kemudian *passband* dan *baseband* sinyal OFDM dalam *time domain* dapat dinyatakan sebagai berikut: [11]

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

dan

$$x_l(t) = \sum_{l=0}^{\infty} \sum_{k=0}^{N-1} X_l[k] e^{j2\pi f_k(t-lT_{\text{sym}})}$$

Baseband sinyal OFDM dalam *time-domain* pada persamaan 1 dapat disampelkan pada $t = lT_{sym} + nT_s$ dimana $T_s = T_{sym}/N$ dan $f_k = k/T_{sym}$ untuk menghasilkan simbol OFDM dalam diskrit waktu

$$x_l[n] = \sum_{k=0}^{N-1} X_l[k] e^{j2\pi kn/N} \tag{2}$$

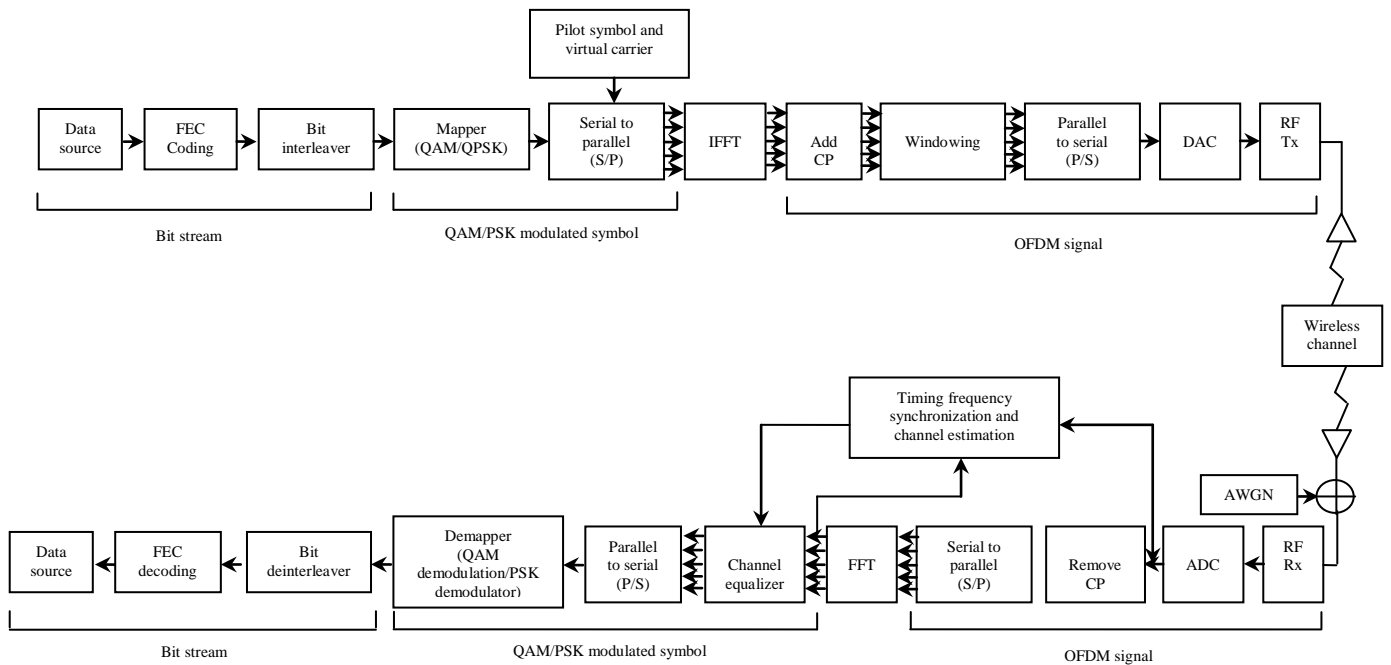
dimana $n = 0, 1, \dots, N - 1$

Persamaan 2 diubah menjadi *N*-point IDFT (*Inverse Discrete Fourier Transform*) dari PSK atau QAM data simbol $\{X_l[k]\}_{k=0}^{N-1}$ dan dapat dihitung secara efisien dengan menggunakan algoritma IFFT (*Inverse Fast Fourier Transform*).

Baseband simbol OFDM yang diterima $y_l(t) = \sum_{k=0}^{N-1} X_l[k] e^{j2\pi f_k(t-lT_{sym})}$, $lT_{sym} < t \leq lT_{sym} + nT_s$, dari mana simbol yang ditransmisikan $X_l[k]$ dapat direkonstruksi *orthogonalitas* antara *subcarrier* menjadi

$$\begin{aligned} Y_l[k] &= \frac{1}{T_{sym}} \int_{-\infty}^{\infty} y_l(t) e^{-j2\pi f_k(t-lT_{sym})} dt \\ &= \frac{1}{T_{sym}} \int_{-\infty}^{\infty} \left\{ \sum_{i=0}^{N-1} X_l[i] e^{j2\pi f_i(t-lT_{sym})} \right\} e^{-j2\pi f_k(t-lT_{sym})} dt \\ &= \sum_{i=0}^{N-1} X_l[i] \left\{ \frac{1}{T_{sym}} \int_0^{T_{sym}} e^{j2\pi(f_i-f_k)(t-lT_{sym})} dt \right\} = X_l[k] \end{aligned} \tag{3}$$

dimana pengaruh dari kanal dan noise tidak dihitung. Katakanlah $\{y_l[n]\}_{n=0}^{N-1}$ adalah nilai sampel yang diterima simbol OFDM $y_l(t)$ pada $t = lT_{sym} + nT_s$. Maka, integral dari proses modulasi pada persamaan 3 dapat diwakilkan dalam diskrit waktu sebagai berikut: [11]



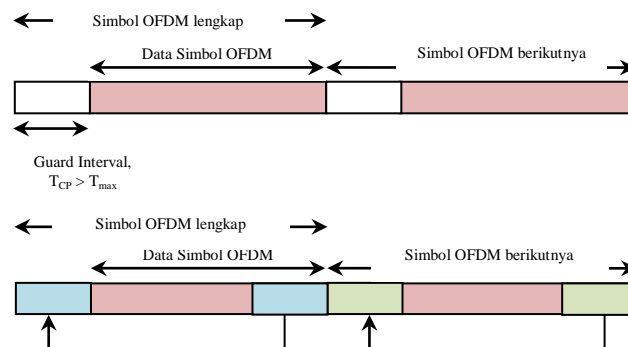
Gambar 1: Blok diagram pengirim dan penerima dalam sistem OFDM. [11]

$$\begin{aligned}
 Y_l[k] &= \sum_{n=0}^{N-1} y_l[n] e^{-j2\pi kn/N} \\
 &= \sum_{n=0}^{N-1} \left\{ \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} X_l[i] e^{j2\pi in/N} \right\} e^{-j2\pi kn/N} \\
 &= \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{i=0}^{N-1} X_l[i] e^{j2\pi(i-k)n/N} = X_l[k]
 \end{aligned} \tag{4}$$

Kenyataannya, persamaan 4 adalah N -point DFT (*Discrete Fourier Transform*) dari $\{y_l[n]\}_{n=0}^{N-1}$ dan dapat dihitung secara efisien dengan menggunakan algoritma FFT (*Fast Fourier Transform*). Gambar 1 menggambarkan blok diagram lengkap dari pengirim dan penerima yang menggunakan modulasi OFDM, terlihat pada gambar tersebut terdapat blok diagram operasi IFFT dan FFT.

2.2 Guard Interval pada OFDM

Ketika saluran melewati saluran dispertif waktu, *orthogonalitas* dari OFDM dapat berubah. *Cyclic prefix* (CP) dapat membantu menjaga ke-*orthogonalitas*-an dari sinyal OFDM tersebut. Pada mulanya sebelum ada *cyclic prefix* (CP) jarak antara *subcarrier* di isi dengan *guard interval*. Dalam prakteknya ternyata antara *subcarrier* tersebut yang berisikan *guard interval* menimbulkan *intercarrier interference* (ICI) karena adanya *crosstalk* antara *subcarrier* yang berbeda sehingga hal tersebut akan menimbulkan hilangnya *orthogonalitas* dari sinyal OFDM. *Cyclic prefix* merupakan salinan dari bagian akhir simbol OFDM yang ditaruh di depan pada saat pengiriman sinyal OFDM. Ketika sampai di penerima maka *cyclic* tersebut akan dibuang. Gambar 2 memperlihatkan definisi *cyclic prefix* yang digunakan sebagai *guard interval* pada sistem OFDM. [9]



Gambar 2: Definisi *cyclic prefix* sebagai *guard interval* pada OFDM. [9]

Cyclic prefix atau yang disingkat dengan CP berfungsi sebagai *guard interval* yang memastikan semua simbol OFDM terkirim secara lengkap dalam interval FFT dengan waktu tunda yang sama. Hal ini akan menjaga ke-*orthogonalitas*-an dari sinyal OFDM. Pada modulasi OFDM, IFFT diambil sebagai perioda simbol sehingga secara teknisnya akan dihasilkan waktu yang sama. Pada transformasi *fourier* akan dihasilkan komponen dari semua sinyal yang saling *orthogonal*.

Pada bagian penerima *cyclic prefix* tersebut dibuang sebelum proses demodulasi dengan FFT. Selama interval dari CP tersebut tidak melebihi *delay spread* maksimum τ_{max} , semua pantulan dari simbol sebelumnya dibuang dan ke-*orthogonalitas*-an sinyal dipulihkan. Jika interval *cyclic prefix* melebihi dari *delay spread* maksimum τ_{max} maka ke-*orthogonalitas*-an

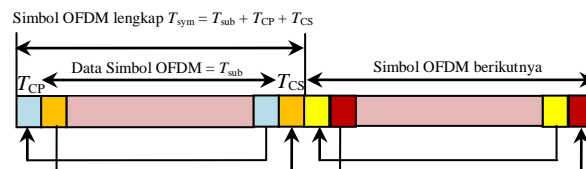
dari sinyal tersebut akan hilang. Besarnya kehilangan energi dari menyisipkan CP (hal ini dikarenakan *cyclic prefix* tidak membawa informasi) ke dalam sinyal OFDM dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut: [9]

$$SNR_{hilang(CP)} = -10 \log_{10} \left(1 - \frac{T_{CP}}{T_{sym}} \right) \quad (5)$$

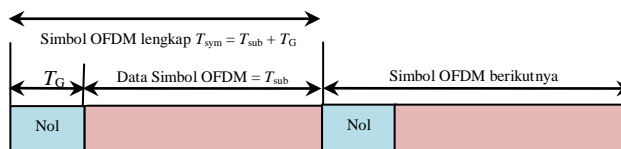
dimana T_{CP} adalah panjang interval dari *cyclic prefix* dan T_{sym} adalah durasi simbol OFDM. Meskipun dalam pengiriman sinyal OFDM yang memakai CP tersebut akan kehilangan sebagian energinya tetapi hal tersebut dapat menghilangkan *intercarrier interference* (ICI) dan *intersymbol interference* (ISI) serta menjaga ke-*orthogonalitas*-an dari simbol OFDM itu sendiri.

Selain CP ada juga *cyclic suffix* (CS) dan *zero padding*. Pada *cyclic suffix* terdapat penggandaan simbol yang kemudian diletakkan pada bagian akhir dari simbol tersebut. CP dan CS dapat digunakan secara bersamaan seperti yang terlihat pada Gambar 3. Pada *zero padding* (ZP) dilakukan dengan menyisipkan bit nol pada *guard interval*. Gambar 4 memperlihatkan penyisipan *zero padding* pada OFDM.

Karena ZP menyisipkan bit nol, maka secara aktual simbol OFDM yang mempunyai ZP akan lebih pendek jika dibandingkan dengan simbol OFDM yang mempunyai CP atau CS sehingga sinyal digital untuk transmisinya lebih pendek akhirnya spektrum tipe sinkronisasinya akan lebih besar.



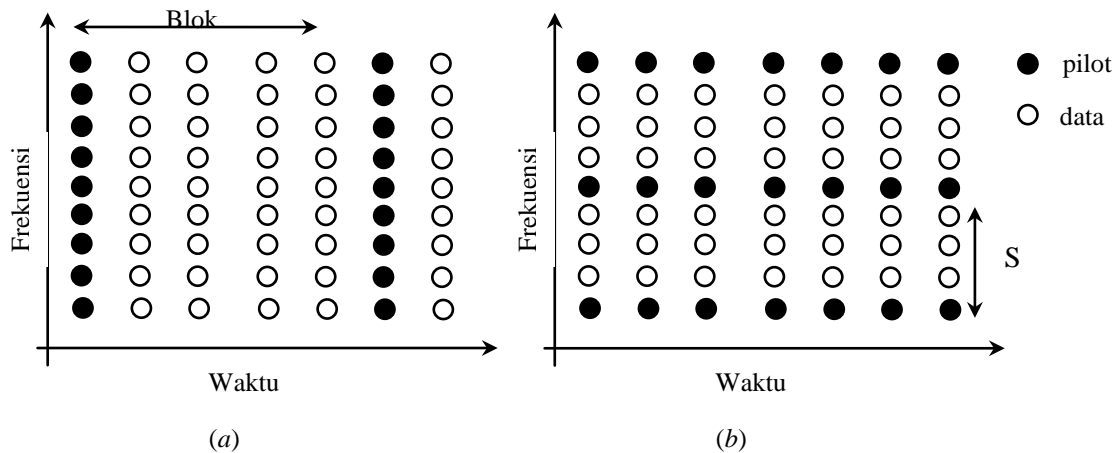
Gambar 3: Simbol OFDM dengan CP dan CS. [11]



Gambar 4: Simbol OFDM dengan ZP. [11]

2.3 Estimasi Kanal (*Channel Estimation*)

Terdapat dua masalah utama dalam mendisain estimator kanal pada sistem OFDM. Masalah pertama adalah pengaturan dari *pilot information*, dimana pilot berarti sinyal referensi yang digunakan baik itu disisi pengirim dan penerima. Masalah kedua yaitu disain dari estimator agar tidak terlalu rumit dan kemampuan pelacakan kanal yang baik. Kedua masalah tersebut saling berhubungan. Secara umum *channel fading* dari OFDM dapat dilihat dari 2D (waktu dan frekuensi) sayangnya estimator 2D terlalu kompleks untuk implementasi praktis. Kombinasi kecepatan data yang tinggi dan tingkat kesalahan rendah bit dalam sistem OFDM memerlukan penggunaan estimator yang memiliki keduanya kompleksitas rendah dan akurasi tinggi, di mana dua kendala bekerja melawan satu sama lain dan *trade-off* yang baik dibutuhkan. Estimasi saluran satu dimensi (1D) biasanya diadopsi dalam sistem OFDM untuk mencapai *trade-off* antara kompleksitas dan akurasi. Terdapat dua cara 1 D *channel estimation* yaitu *block-type* pilot dan *comb-type* pilot dimana masing-masing pilot dimasukkan dalam arah frekuensi dan dalam arah waktu yang diperlihatkan pada Gambar 5.

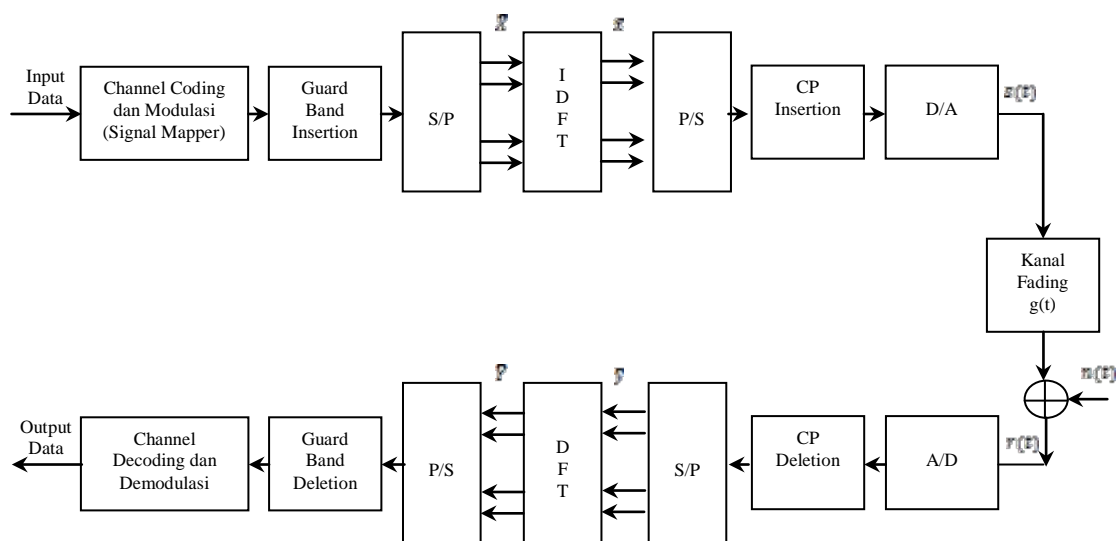


Gambar 5: Dua tipe dasar dari pengaturan pilot untuk estimasi kanal OFDM: (a) *Block-type pilot channel estimation*, (b) *Comb-type pilot channel estimation*. [12]

Estimasi pada *block-type* pengaturan pilot didasarkan pada *Least Square (LS)*, *minimum mean-square error (MMSE)* dan *modified MMSE*. Sedangkan estimasi pada *comb-type* pengaturan pilot dapat didasarkan pada estimator LS dengan interpolasi 1D, estimasi *maximum likelihood (ML)*, dan estimasi *parametric channel modeling-based (PCMB)*. [12]

2.3.1 Block-type Pilot Channel Estimation

Pada estimasi kanal pilot tipe blok seperti yang diperlihatkan pada Gambar 5, simbol estimasi kanal OFDM dikirim secara periodik dan semua *subcarrier* menggunakan pilot tersebut. Gambar 6 memperlihatkan sebuah blok diagram dari *baseband* sistem OFDM dimana *channel estimation* bertugas untuk memperkirakan kondisi kanal (ditentukan oleh \bar{H} atau \bar{g}) diberikan sinyal pilot (ditentukan oleh matrik \underline{X} atau vektor \bar{X}) dengan atau tanpa menggunakan pengetahuan tertentu tentang statistik saluran. Penerima menggunakan kondisi kanal estimasi untuk mengkodekan kembali data yang diterima di dalam blok sampai simbol pilot berikutnya tiba. Estimasi dapat berdasarkan *least square (LS)*, *minimum mean-square error (MMSE)* dan *modified MMSE*. [12]



Gambar 6: Sebuah implementasi digital dari *baseband* sistem OFDM. [12]

2. 3.2 Comb-Type Pilot Channel Estimation

Pada estimasi kanal pilot tipe *comb* seperti yang diperlihatkan pada Gambar 6 untuk setiap simbol yang ditransmisikan, sinyal pilot N_p dimasukkan ke \bar{X} secara serempak dengan *subcarrier* S yang terpisah satu sama lain, dimana $S = N/N_p$. Penerima mengetahui lokasi pilot $\bar{P} = [P_k]^T$ ($k = 0, \dots, N_p - 1$) nilai pilot $\bar{X}^p = [X_k^p]^T$ ($k = 0, \dots, N_p - 1$), dan sinyal yang diterima \bar{Y} . LS mengestimasi kondisi kanal pada pilot *subcarrier* (\bar{H}^p) yang dihitung dengan

$$\hat{H}_{LS}^p = [Y(P_0)/X_0^p, Y(P_1)/X_1^p, \dots, Y(P_{N_p-1})/X_{N_p-1}^p]^T \quad (6)$$

Comb-type pilot channel estimation bertugas untuk mengestimasi kondisi kanal pada data *subcarrier* (ditentukan oleh \bar{H} dengan panjang N) mengingat LS mengestimasi pada pilot *subcarrier* \hat{H}_{LS}^p , sinyal yang diterima \bar{Y} dan mungkin tambahan pengetahuan tentang statistik kanal. Pemecahannya termasuk LS estimator dengan interpolasi 1D, *maximum likelihood* (ML) *estimator* dan *parametric channel modeling-based* (PCMB) *estimator*. Satu dimensi (1D) digunakan untuk mengestimasi saluran pada data *subcarrier*, dimana vektor \hat{H}_{LS}^p dengan panjang N_p diinterpolasi pada vektor \hat{H} dengan panjang N . Kelima metoda ini adalah:

- 1) *Linear Interpolation* (LI): Metode LI melakukan lebih baik dari interpolasi konstan sebagian, dimana estimasi kanal pada data *subcarrier* antara dua pilot $\hat{H}_{LS}^p(k)$ dan $\hat{H}_{LS}^p(k+1)$ diberikan oleh

$$\hat{H}(kS+t) = \hat{H}_{LS}^p(k) + (\hat{H}_{LS}^p(k+1) - \hat{H}_{LS}^p(k))(t/S) \quad (0 \leq t \leq S) \quad (7)$$
- 2) *Second-Order Interpolation* (SOI): Metode SOI melakukan estimasi kanal yang lebih baik daripada metode LI, dimana estimasi saluran pada data *subcarrier* diperoleh dengan mengkombinasi linear yang berimbang dari tiga estimasi pilot yang berdekatan.
- 3) *Low-Pass Interpolation* (LPI): Metode LPI dilakukan dengan memasukkan angka nol kedalam urutan asli dan kemudian menerapkan *low-pass filter* pada respons impuls panjang terbatas, yang memungkinkan data asli dapat melewatinya tanpa berubah. Metode ini juga menginterpolasi sedemikian rupa sehingga *mean-square error* antara titik-titik point intepolasi dapat diminimalkan.
- 4) *Spline Cubic Interpolation* (SCI): Metode SCI menghasilkan polinomial halus dan kontinu yang dipasangkan ke titik data yang diberikan.
- 5) *Time Domain Interpolation* (TDI): Metode TDI merupakan interpolasi dengan resolusi tinggi yang didasarkan pada *zero-padding* dan DFT/IDFT. Pertama mengkonversi \hat{H}_{LS}^p menjadi domain waktu dengan IDFT dan kemudian menginterpolasi urutan domain waktu ke titik N dengan sepenggal metode konstan. Akhirnya DFT mengkonversi interpolasi urutan domain waktu kembali menjadi domain frekuensi. Kinerja teknik estimasi pada LS dengan 1D dari yang terbaik ke yang terburuk adalah sebagai berikut: LPI, SCI, TDI, SOI dan LI. Antara LPI dan SCI menghasilkan kinerja terbaik yang hampir sama dalam skenario SNR rendah dan menengah, sementara LPI melebihi SCI untuk skenario SNR yang tinggi. Dalam hal kompleksitas TDI, LPI dan SCI memiliki komputasi beban yang sama, sementara SOI dan LI memiliki kompleksitas yang rendah. Sehingga, LPI dan SCI biasanya direkomendasikan karena menghasilkan *trade-off* yang terbaik antara kinerja dan kompleksitas.

2.4 Standard DVB-T

Berdasarkan ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) EN 300 744 V 1.6.1 tahun 2009 bulan Januari [2], terbagi atas dua mode yaitu mode 2K dan 8K. Pada mode 2K, pangkatnya adalah 11 sehingga jumlah point IFFT adalah 2.048 point IFFT sedangkan untuk mode 8K pangkatnya adalah 13 sehingga terdapat 8.192 point IFFT. Pada kanal dari DVB-T mempunyai lebar *bandwidth* sebesar 6, 7 dan 8 MHz. [10] Pada DVB-T dengan mode 2K memiliki lama periode sebesar $224 \mu s$ yang lebih pendek jika dibandingkan dengan mode 8K yang memiliki periode sebesar $896 \mu s$. Pada mode 8K jika diaplikasikan pada penerimaan bergerak (*mobile*) maka akan lebih rentan pada penyebaran dalam frekuensi domain yang disebabkan karena efek dopler pada penerimaan bergerak dan beberapa *echoes* namun jauh lebih rentan terhadap penundaan *echo*. Akan tetapi mode 8K lebih banyak dipilih karena memungkinkan jangkauan pemancar yang lebih. Pada standar DVB-T memungkinkan untuk kontrol fleksibel dari parameter transmisi.

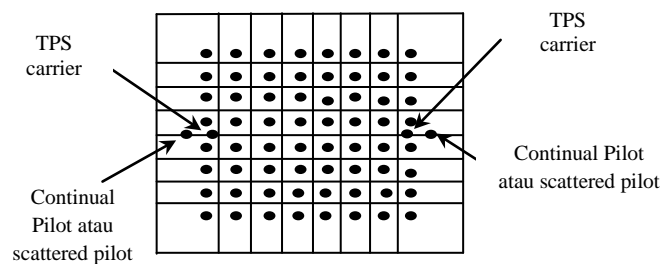
Pada DVB-T baik itu mode 2K ataupun 8K, panjang simbol terdapat *guard interval* yang disesuaikan dari $1/4$ sampai $1/32$ dari panjang simbol. Modulasinya juga dapat dipilih QPSK, 16QAM atau 64QAM, sedangkan *code rate*-nya dapat dipilih dari $1/2$ sampai $7/8$. [10]

2.5 DVB-T Carrier

DVB-T berisi jenis *carrier* sebagai berikut: [2;10]

- *Carrier* aktif dengan posisi yang tetap (set ke amplitudo nol)
- *Payload carrier* dengan posisi yang tetap
- *Continual pilot* dengan posisi yang tetap
- *Scattered pilot* dengan perubahan posisi pada spektrum
- *TPS carrier* dengan posisi yang tetap

DVB-T *carrier* dapat dilihat pada Gambar 7 berikut.



Gambar 7: DVB-T *carrier*: *Payload carrier*, *Continual* dan *Scattered pilot*, *TPS carrier*. [10]

Dimana *Transmission Parameter Signalling* (TPS) *carrier* membawa informasi tentang:

- Mode (2K, 8K)
- Panjang dari *guard interval* ($1/4$, $1/8$, $1/16$, $1/32$)
- Jenis modulasi (QPSK, 16QAM, 64QAM)
- *Code rate* ($1/2$, $2/3$, $3/4$, $5/6$, $7/8$)
- Penggunaan *hierarchical coding*

Tabel 1 Posisi *carrier* dari *continual pilot* [1]

Posisi continual pilot pembawa (indek angka k)													
Mode 2K						Mode 8K							
0	48	54	87	141	156	192	0	48	54	87	141	156	192
201	255	279	282	333	432	450	201	255	279	282	333	432	450
483	525	531	618	636	714	759	483	525	531	618	636	714	759
765	780	804	873	888	918	939	765	780	804	873	888	918	939
942	969	984	1050	1101	1107	1110	942	969	984	1050	1101	1107	1110
1137	1140	1146	1206	1269	1323	1377	1137	1140	1146	1206	1269	1323	1377
1491	1683	1704					1491	1683	1704	1752	1758	1791	1845
							1860	1896	1905	1959	1983	1986	2037
							2136	2154	2187	2229	2235	2322	2340
							2418	2463	2469	2484	2508	2577	2592
							2622	2643	2646	2673	2688	2754	2805
							2811	2814	2841	2844	2850	2910	2973
							3027	3081	3195	3387	3408	3456	3462
							3495	3549	3564	3600	3609	3663	3687
							3690	3741	3840	3858	3891	3933	3939
							4026	4044	4122	4167	4173	4188	4212
							4281	4296	4326	4347	4350	4377	4392
							4458	4509	4515	4518	4545	4548	4554
							4614	4677	4731	4785	4899	5091	5112
							5160	5166	5199	5253	5268	5304	5313
							5367	5391	5394	5445	5544	5562	5595
							5637	5643	5730	5748	5826	5871	5877
							5892	5916	5985	6000	6030	6051	6054
							6081	6096	6162	6213	6219	6222	6249
							6252	6258	6318	6381	6435	6489	6603
							6795	6816					

Tabel 2 Posisi *carrier* dari TPS *carrier* [1]

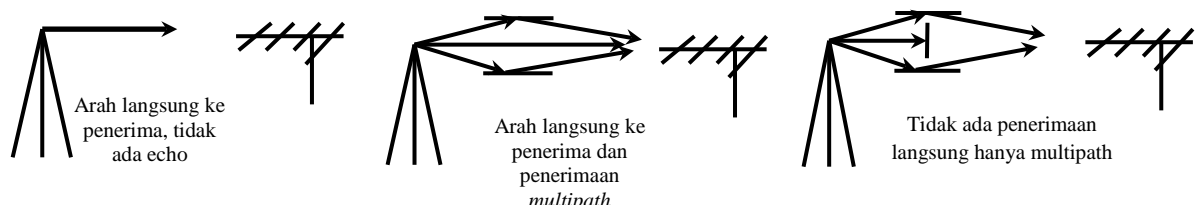
Mode 2K					Mode 8K							
34	50	209	346	413	34	50	209	346	413	569	595	688
569	595	688	790	901	790	901	1073	1219	1262	1286	1469	1594
1073	1219	1262	1286	1469	1687	1738	1754	1913	2050	2117	2273	2299
1594	1687				2392	2494	2605	2777	2923	2966	2990	3173
					3298	3391	3442	3458	3617	3754	3821	3977
					4003	4096	4198	4309	4481	4627	4670	4694
					4877	5002	5095	5146	5162	5321	5458	5525
					5681	5707	5800	5902	6013	6185	6331	6374
					6398	6581	6706	6799				

Tabel 3 Jumlah dari *carrier* pada DVB-T [10]

Mode 2K	Mode 8K	
2048	8192	Carrier
1705	6817	Carrier yang digunakan
142/131	568/524	Scattered pilot
45	177	Continual pilot
17	68	TPS carrier
1512	6048	Payload carrier

2.6 Jalur Transmisi Pada DVB-T

Idealnya satu jalur sinyal ditangkap oleh antena penerima. Sinyal tersebut kemudian hanya dilemahkan ke tingkat yang lebih besar atau lebih kecil yang biasa disebut dengan *Additive White Gaussian Noise* (AWGN). Kanal ini dengan pandangan langsung dari pemancar disebut kanal Gaussian (*Gaussian Channel*) dan menyediakan kondisi penerimaan terbaik untuk penerima yang diperlihatkan pada Gambar 8 kiri.



Gambar 8 kiri: kanal *gaussian*, tengah: kanal *ricean*, kanan: kanal *rayleigh* [10]

Jika beberapa *echo* ditambahkan ke jalur sinyal langsung, kondisi penerimaan menjadi jauh lebih sulit. Kanal ini dengan LOS langsung ditambah dengan sejumlah beberapa *echo*, yang dapat disimulasikan sebagai model kanal matematika yang disebut dengan kanal *Ricean* (*Ricean channel*) yang diperlihatkan pada Gambar 8 tengah. Jika LOS langsung ke pemancar, seperti jalur sinyal langsung tertutup atau diblokir sehingga hanya diperoleh dari *multipath* dari difraksi sinyal pengirim maka keadaan ini merupakan keadaan yang paling jelek. Gambar 8 kanan memperlihatkan *Rayleigh channel*.

3 PERANCANGAN MODEL DAN SIMULASI

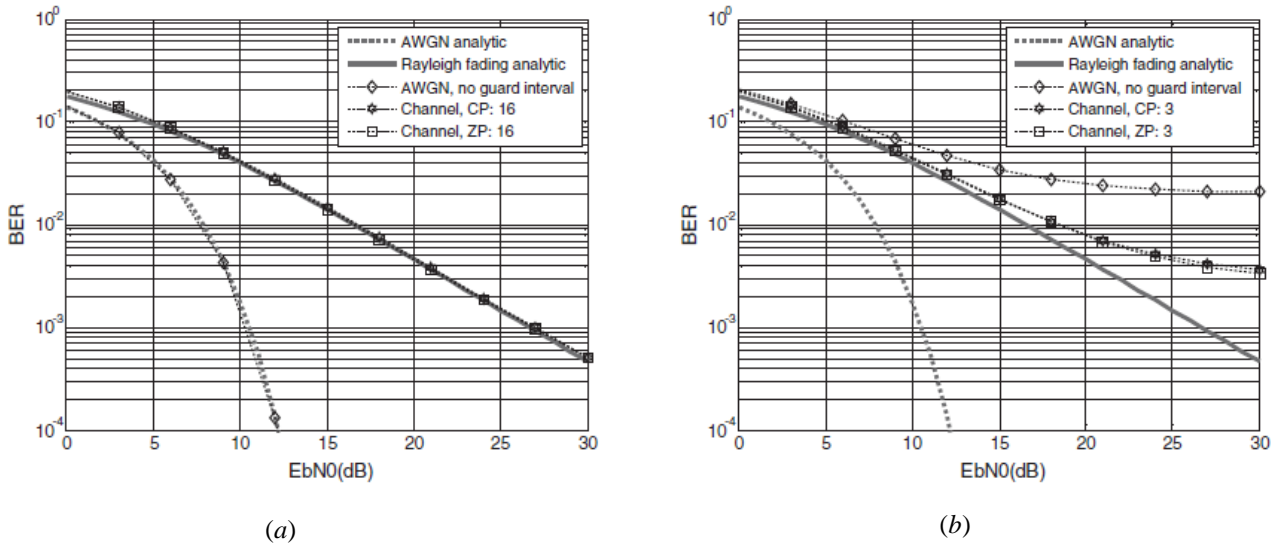
3.1 *Wireless Local Area Network*

3.1.1 *Simulasi Guard Interval yang bervariasi*

Blok diagram pengirim dan penerima dalam sistem OFDM yang ditunjukkan pada Gambar 1 dapat dipakai untuk *wireless local area network* (WLAN). Gambar 11 memperlihatkan nilai BER dari skema OFDM, dengan mensimulasikan panjang dari *guard interval* (CP, CS atau ZP) yang bervariasi terhadap dampak dari ISI. Hal ini akan menjadi pertimbangan kinerja BER dari sistem OFDM dengan mensimulasi parameter sinyal WLAN yang memiliki 64 titik FFT dan 16 *virtual carrier* ($N_{VC} = N - N_{sub} = 16$) pada modulasi 16-QAM pada kanal AWGN atau *multipath Rayleigh fading* (dengan keterlambatan maksimum 15 sampel). Pada Gambar 11(a) terlihat jelas bahwa kinerja BER dengan panjang CP atau ZP sebesar 16 sampel adalah konsisten dengan hasil analitis di kanal *Rayleigh fading*. Hal ini menyiratkan bahwa sistem OFDM hanya berkerja pada saluran *flat fading* sepanjang CP atau ZP cukup besar. Hal ini juga jelas terlihat bahwa kinerja BER pada saluran AWGN konsisten dengan hasil analisis. Hal ini berlaku terlepas dari seberapa panjang GI, karena seperti diketahui bahwa pada kanal AWGN tidak terdapat keterlambatan *multipath*. Pada Gambar 11(b) memperlihatkan dampak dari ISI pada kinerja BER menjadi signifikan dalam saluran *multipath Rayleigh fading* sebagaimana menurunnya panjang GI yang akhirnya mengarah ke *error floor*. [11]

3.1.2 *Simulasi dengan kanal estimasi*

Pada simulasi WLAN dengan menggunakan estimasi kanal pilot tipe *comb* (*comb-type pilot channel estimation*) untuk kanal *rayleigh fading* disimpulkan bahwa estimasi *least square* (LS) memberikan nilai yang lebih baik pada nilai SNR yang besar dibandingkan dengan *least means square* (LMS) yang memiliki kompleksitas komputasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan LS. Namun begitu estimasi LMS memiliki BER yang baik dibandingkan LS untuk skema modulasi BPSK, QPSK dan pada kanal *ricean*. Estimasi LS dengan LPI memberikan nilai BER yang lebih baik dibandingkan dengan SCI, TDI, SOI dan LI. LPI juga memberikan nilai yang baik untuk kanal *Rayleigh fading* dan *Ricean* apalagi untuk modulasi yang lebih tinggi seperti 16-QAM. [13]



Gambar 11: (a) Panjang GI: $N_g = N/4 = 16$, (b) Panjang GI: $N_g = 3$. [11]

3.2 Digital Video Broadcasting-Terrestrial

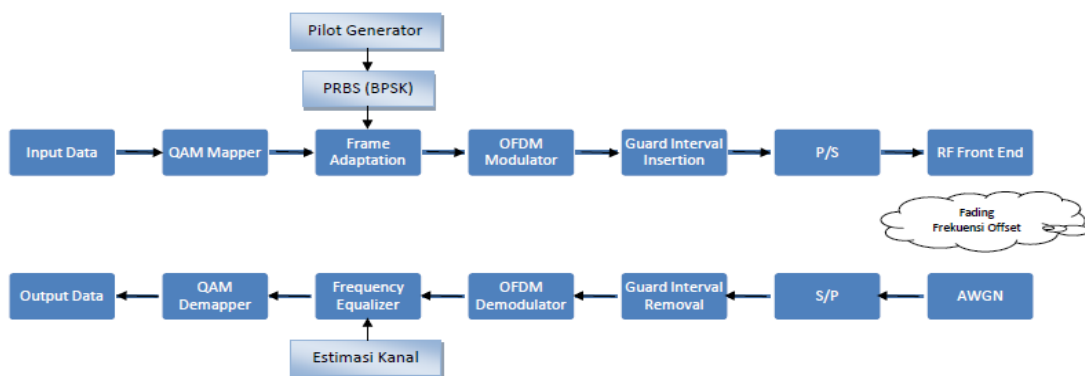
Penelitian performansi atau kinerja OFDM pada DVB-T dilakukan dengan menggunakan interpolasi linear pada estimator *least square* untuk estimasi kanal pilot tipe *comb* (*comb-type pilot channel estimation*). Adapun blok diagram dari sistem yang akan direncanakan diperlihatkan pada Gambar 12.

Sebagai langkah untuk melihat kelakuan sistem ke dalam bentuk yang sederhana sesuai blok diagram yang akan disimulasikan seperti pada Gambar 12.

3.2.1 Bagian Pengirim

Pada Gambar 12 ditunjukkan blok diagram sistem DVB-T yang akan digunakan pada simulasi. Berikut ini penjelasan untuk setiap sub-bloknya:

1. Input Data: Data yang dikirim dibangkitkan secara acak menggunakan fungsi *randsrc* pada MATLAB yang akan menghasilkan nilai 0-1 yang tidak memiliki pola tertentu atau acak.



Gambar 12: Blok diagram perancangan OFDM pada DVB-T.

2. Signal Mapper: Signal mapper yang digunakan pada metode yang akan disimulasikan adalah *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM). Pemetaan konstelasi sesuai dengan *natural mapping*. Data yang masuk ke modulator akan dikelompokkan menjadi simbol-simbol.

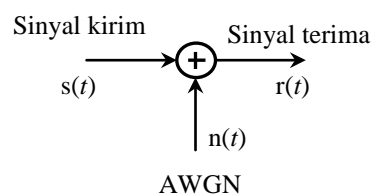
3. *Frame Adaptation*: Sinyal yang telah dimodulasi dengan QAM *mapper* akan dialirkan sesuai bentuk frame menurut standar ETSI EN 300 744 V1.6.1. Blok ini berfungsi untuk memasukkan data dan pilot data pada frame tertentu. Sinyal pilot diperlukan pada teknik estimasi kanal. Sinyal pilot yang disisipkan merupakan sinyal *tone* yang memiliki konstelasi BPSK menggunakan *pseudorandom binary sequence* (PRBS) dan posisi sinyal sudah diketahui oleh penerima. Pada blok ini juga dilakukan perubahan data serial menjadi data paralel.
4. IFFT (OFDM Modulator): IFFT berfungsi sebagai OFDM *baseband* modulator, di mana setiap simbol akan memodulasi frekuensi *subcarrier* yang dibangkitkan oleh blok IFFT. Jumlah titik IFFT yang digunakan pada sistem DVB-T sebanyak 2048 titik untuk mode 2K dan 8192 titik untuk mode 8K. Penggunaan IFFT akan menjamin ortogonalitas antara *subcarrier*. Blok IFFT ini juga merubah sinyal dari domain frekuensi \bar{X} menjadi domain waktu \bar{x} .
5. Penambahan *Guard Interval (Zero Padding)*: Tujuan utama penambahan *Guard interval* pada data adalah untuk mempertahankan properties ortogonalitas sinyal selama durasi waktu tertentu. Selain itu, *Intersymbol interference* (ISI) dan *interchannel interference* (ICI) dapat dicegah dengan menambahkan *guard interval* pada awal frame. *Guard time* yang disisipkan dapat berupa deretan pulsa bernilai nol (*zero stream*) ataupun berupa *cyclic prefix*.
6. *Parallel-to-Serial Converter (P/S)*: Pada blok ini berfungsi untuk merubah input data yang berupa data paralel menjadi data serial sebelum kemudian dipancarkan.

3.2.2 Pemodelan Kanal

Kanal yang akan digunakan pada simulasi ini adalah kanal radio. Untuk pemodelan kanal tersebut, dua variabel utamanya adalah adanya *noise* dan terjadinya *multipath fading*.

a) Kanal *Additive White Gaussian Noise* (AWGN)

Noise putih merupakan suatu proses stokastik yang terjadi pada kanal dengan karakteristik memiliki rapat spektral daya *noise* merata di sepanjang *range* frekuensi. Pemodelan kanal AWGN dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 13: Pemodelan kanal AWGN

Seperti terlihat pada Gambar 13, sinyal kirim $s(t)$ yang ditransmisikan dari bagian pemancar akan diterima pada bagian penerima $r(t)$ dengan persamaan:

$$r(t) = s(t) + n(t) \quad (8)$$

Di mana $n(t)$ merupakan fungsi sampel dari proses AWGN dengan fungsi kerapatan probabilitas (*probability density function*) dan kerapatan spektral daya (*power spectral density*) sebagai berikut: [3]

$$\Phi_{nn}(f) = \frac{1}{2} N_0 [W/Hz]$$

Pada Matlab 7, fungsi pembangkitan *noise* dapat dilakukan melalui fungsi:

`signal_received=awgn(signal_transmit_from_tx,snr,'measured');`

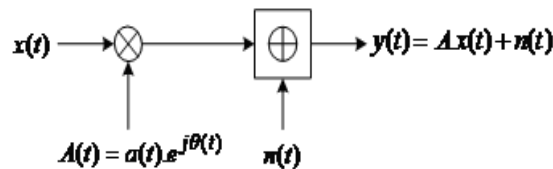
Dengan fungsi tersebut bisa memberikan level AWGN kepada sinyal terkirim. Variabel SNR adalah nilai SNR yang akan dimasukkan. Kata 'measured' menunjukkan fungsi tersebut

mengukur daya `signal_transmit_from_tx` terlebih dahulu kemudian menambahkan level *noise*-nya sesuai dengan nilai SNR yang dimasukkan.

b) Kanal *Multipath Rayleigh Fading*

Suatu model statistikal untuk selubung sinyal *fading* yang diterima pada kanal komunikasi bergerak sangat berguna dalam memprediksi kinerja sistem komunikasi. Pemodelan kanal *Rayleigh fading* merupakan model yang paling sering digunakan untuk menggambarkan kanal dalam lingkungan sistem komunikasi bergerak. Kanal ini menggambarkan penerimaan sinyal yang berfluktuasi akibat diterimanya beberapa sinyal dengan selubung atau fasa yang berbeda. Bila jalur-jalur sinyal yang diterima begitu banyak, maka dapat digunakan Teorema Limit sentral di mana sinyal yang diterima bisa dimodelkan sebagai proses acak *Gaussian*.

Jika dianggap proses acak *Gaussian* dengan *mean* nol, maka selubung sinyal yang diterima pada waktu tertentu akan terdistribusi secara *Rayleigh*. Pemodelan kanal ini disebut kanal *Rayleigh*. Model kanal ini ditunjukkan pada Gambar 14.



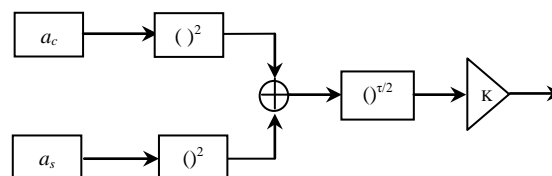
Gambar 14: Pemodelan kanal *rayleigh*

Model kanal pada Gambar 14 diasumsikan menggunakan modulasi *M-ary Phase Shift Keying* (M-PSK) dengan deteksi koheren dan implikasi bahwa $\theta(t)$ diketahui pada penerima. Maka model sistem tersebut dapat direpresentasikan sebagai:

$$y_k = a_k \cdot x_k + n_k \quad (9)$$

di mana x_k adalah amplitudo simbol M-PSK dengan nilai $\pm \sqrt{E_s}$, sedangkan E_s merupakan energi per simbol.

Derau $n(t)$ adalah derau aditif yang terdistribusi secara *Gaussian* dengan *mean* nol dan variansi σ^2 . Sedangkan $a(t)$ merupakan variabel *Rayleigh* (*channel gain*) yang dibangkitkan dari dua variabel acak *Gaussian* (a_c dan a_s) dengan *mean* nol dan variansi σ^2 . Generator yang digunakan untuk proses pembangkitan sinyal *fading* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 15 di bawah ini.



Gambar 15: Generator pembangkit *rayleigh fading*.

Pembangkitan sinyal *fading* dilakukan dengan menggunakan model Jakes. Pada model kanal ini, a_c dan a_s yang merupakan variabel acak *Gaussian* dengan *mean* nol dan variansi σ^2 , ditentukan sebagai berikut:

$$a_c = \frac{2}{N_0} \left(\sum_{n=1}^{N_0} \cos \beta_n \cos \omega_n t + \sqrt{2} \cos \alpha \cos \omega_n t \right) \quad (10)$$

$$a_s = \frac{2}{N_0 + 1} \left(\sum_{n=1}^{N_0} \sin \beta_n \cos \omega_n t + \sqrt{2} \sin \alpha \cos \omega_n t \right) \quad (11)$$

$$a = \sqrt{\frac{(a_c)^2 + (a_s)^2}{2}} \quad (12)$$

N_0 adalah osilator frekuensi rendah yang frekuensinya sama dengan ω_n .

$$\omega_n = \omega_d \left(\cos \frac{2\pi n}{N_1} \right), \quad n = 1, 2, \dots, N_0 \quad (13)$$

di mana:

$$N_1 = 2(2.N_0 + 1) \quad (14)$$

$$N_0 = \frac{1}{2} \left(\frac{N_1}{2} - 1 \right) \quad (15)$$

$$\beta_n = \frac{\pi.n}{N_0} \quad (16)$$

$$\alpha = \frac{\pi}{4} \quad (17)$$

Sedangkan

$$\omega_d = 2\pi.f_d \quad (18)$$

ω_d merupakan pergeseran Doppler.

Efek Doppler merupakan suatu gejala di mana frekuensi yang diterima penerima tidak sama dengan frekuensi yang dikirim oleh pemancar yang disebabkan pergeseran relatif antara pengirim dan penerima. Frekuensi yang diterima akan meningkat jika penerima bergerak mendekati pengirim dan menurun jika penerima bergerak menjauhi pengirim. Frekuensi Doppler maksimum adalah:

$$f_d = \frac{v.f_c}{c} \quad (19)$$

di mana v adalah kecepatan penerima, f_c adalah besarnya frekuensi pembawa dan c adalah kecepatan cahaya.

3.2.3 Bagian Penerima

Pada bagian penerima, sinyal yang ditransmisikan selanjutnya diterima oleh antena untuk kemudian diproses dengan urutan sebagai berikut:

1. *Serial to Parallel Converter (S/P)*
Pada blok ini berfungsi untuk merubah inputan data yang berupa data serial menjadi data paralel.
2. *Guard Interval Removal*
Blok ini bertujuan untuk menghilangkan *guard interval* pada sinyal OFDM yang diterima. Ketika *guard interval* yang diberikan tidak lebih dari *channel impulse respons* atau *multipath delay* maka dampak dari ISI dapat dihilangkan.
3. *OFDM Demodulator (FFT)*
FFT berfungsi sebagai OFDM *baseband* demodulator, di mana setiap simbol akan didemodulasi frekuensi *subcarrier* yang dibangkitkan oleh blok FFT. Penggunaan FFT

akan menjamin ortogonalitas antara *subcarrier*. Blok FFT pada penerima ini juga merubah sinyal dari domain waktu \bar{x} menjadi domain frekuensi \bar{X} .

4. *Equalizer (Least Square Estimation)*

Equalizer berfungsi untuk mengoreksi kesalahan akibat *fading*, frekuensi *offset*, dan proses FFT. *Equalizer* yang digunakan dalam simulasi ini menggunakan metode kanal estimasi *Least Square (LS)*. LS yang digunakan adalah dengan menggunakan interpolasi linear adapun persamaan yang dipakai adalah persamaan 7.

5. *QAM Demapper*

Mengembalikan data yang sudah terkonstalisasi menjadi bit data seperti sebelum proses *QAM mapper*. Proses *QAM demapper* dilakukan sesuai dengan konstelasi yang terdekat.

6. Output Data

Merupakan data yang dikirim oleh transmitter, berupa bit 0 atau 1.

3.2.4 *Parameter Simulasi*

Pada simulasi ini parameter yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Jumlah IFFT : 2048, 8192 *subcarrier*
- Jumlah GI : 1/4, 1/8, 1/16 dan 1/32
- *Mapping* : QPSK, 16QAM dan 64QAM
- Kanal *bandwidth* : 8 MHz
- Frekuensi *sampling* IFFT : 9,1428 MHz
- Durasi simbol : 224 μ s dan 896 μ s
- Periode dasar : 7/64 μ s

3.3 Simulasi yang Dilakukan

1. Simulasi *Guard Interval*

Pada simulasi ini dilakukan dengan merubah-ubah panjang *guard interval* dari *subcarrier* yang dikirimkan. Sehingga dari hasil simulasi dapat disimpulkan nilai *guard interval* yang sesuai dengan DVB-T.

2. Simulasi *QAM mapper*

Pada simulasi ini dilakukan dengan merubah-ubah nilai *QAM mapper* pada blok diagram pengirim. Dari hasil simulasi dapat disimpulkan *QAM mapper* yang sesuai dengan DVB-T.

3. Simulasi Kanal

Pada simulasi ini dilakukan dengan menggunakan kanal AWGN dan *Multipath Rayleigh Fading*. Dari hasil simulasi dapat disimpulkan nilai BER pada kanal AWGN dan *Rayleigh Fading*.

3.4 Parameter Performansi

Untuk mengukur performansi atau unjuk kerja dari sistem yang direncanakan parameter yang dijadikan acuan adalah *bit error ratio* atau *bit error rate (BER)*. *Bit Error Rate* atau *Bit Error Ratio (BER)* merupakan pengukuran kualitas dari sinyal yang terima untuk sistem komunikasi digital. Sedangkan untuk sistem komunikasi digital dinyatakan sebagai perbandingan kerapatan daya spektral energi per bit dengan noise (E_b/N_0). BER merupakan suatu parameter QoS (*Quality of Service*) yang mendasari sirkuit data. Hasil pengukuran BER tersebut tidak subjektif sehingga pengguna data sangat menuntut BER yang kecil. Semakin kecil nilai BER berarti menunjukkan performansi yang semakin bagus, karena menunjukkan

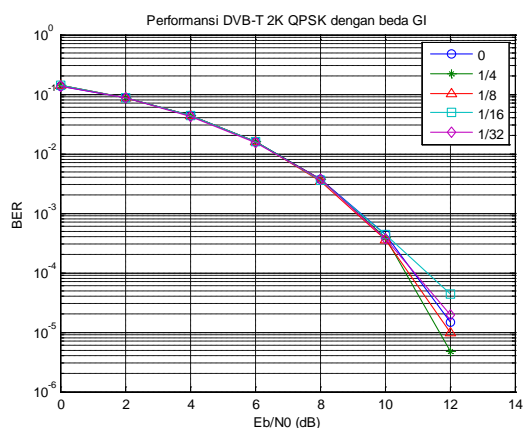
semakin kecilnya kesalahan bit data yang diterima. Nilai BER diperoleh dengan membandingkan jumlah bit yang salah dengan banyaknya bit yang dikirimkan.

4 HASIL SIMULASI

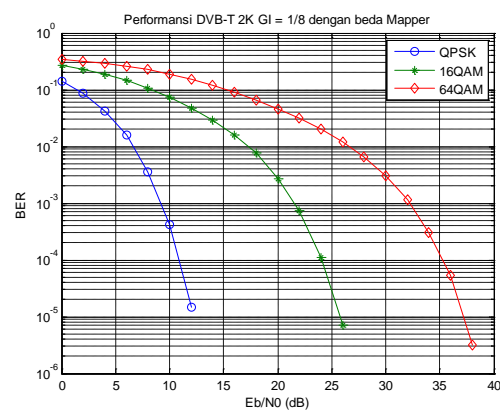
Hasil simulasi berupa gambar keluaran sistem OFDM pada DVB-T yang diukur dalam BER. Hasil simulasi ini dapat dikelompokkan menurut data masukan jenis modulasi (QAM mapper), *guard interval* dan model kanal yang digunakan. Simulasi ini menggunakan interpolasi linear pada estimator *least square* untuk estimasi kanal pilot tipe *comb* (*comb-type pilot channel estimation*).

4.1 Mode 2K pada Kanal AWGN

4.1.1 Perbandingan dengan *guard interval* berbeda



Gambar 16: Mode 2K kanal AWGN dengan beda *guard interval*



Gambar 17: Mode 2K kanal AWGN dengan beda modulasi.

Dari Gambar 16 terlihat bahwa untuk *guard interval* dengan 1/4 dan 1/8 memiliki nilai BER yang lebih baik jika dibandingkan dengan *guard interval* 0, 1/32 dan 1/16 untuk nilai E_b/N_0 diatas 10 dB. Pada nilai E_b/N_0 dari 0 sampai 10 dB, BER tidak terpengaruh oleh nilai *guard interval* begitu juga untuk nilai E_b/N_0 di atas 12 dB diperoleh nilai BER sebesar 0.

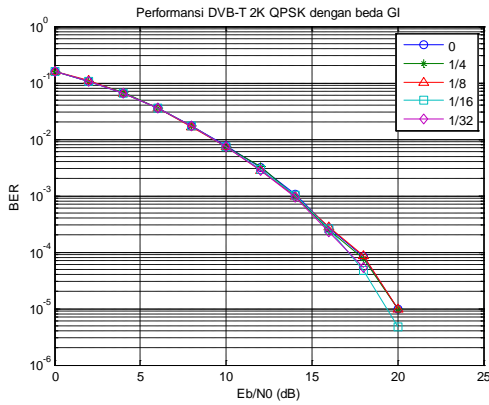
4.1.2 Perbandingan dengan modulasi berbeda

Pada Gambar 17 terlihat bahwa pada DVB-T mode 2K akan memiliki performansi ataupun kinerja yang lebih baik untuk modulasi QPSK dibandingkan dengan modulasi 16QAM dan 64QAM.

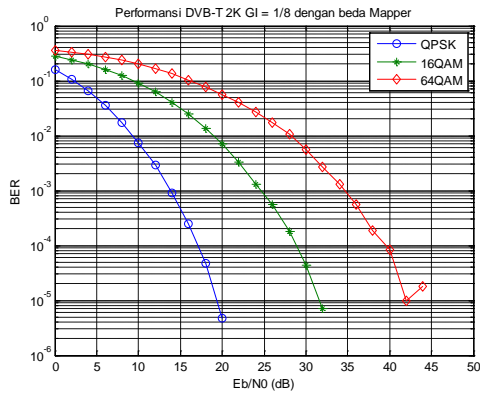
4.2 Mode 2K pada Kanal *Rayleigh Fading*

4.2.1 Perbandingan dengan *guard interval* berbeda

Pada Gambar 18 terlihat bahwa untuk DVB-T mode 2K untuk *guard interval* dari 0 – 1/32 memiliki nilai yang sama sampai dengan SNR 10 dB. Sedangkan untuk SNR diatas 10 dB *guard interval* 1/16, 1/4 dan 1/32 memiliki BER yang lebih baik jika dibandingkan dengan *guard interval* sebesar 0 dan 1/8. Sedangkan untuk *guard interval* dengan nilai 1/8 memiliki BER yang baik sampai batas 18 dB.



Gambar 18: Mode 2K kanal *rayleigh fading* dengan beda *guard interval*.



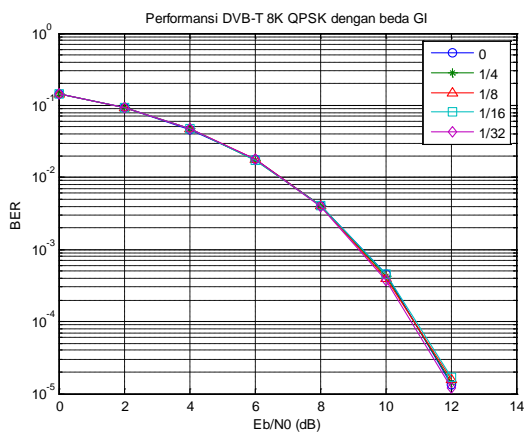
Gambar 19: Mode 2K kanal *rayleigh fading* dengan beda modulasi

4.2.2 Perbandingan dengan modulasi berbeda

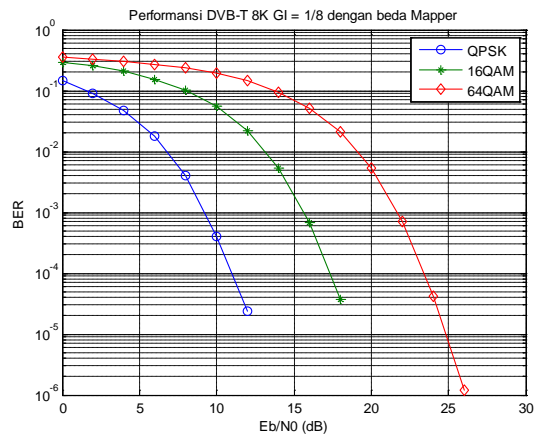
Pada Gambar 19 terlihat bahwa pada DVB-T mode 2K akan memiliki performansi ataupun kinerja yang lebih baik untuk modulasi QPSK dibandingkan dengan modulasi 16QAM dan 64QAM.

4.2 Mode 8K pada kanal AWGN

4.3.1 Perbandingan dengan *guard interval* berbeda



Gambar 20: Mode 8K kanal AWGN dengan beda *guard interval*.



Gambar 21: Mode 8K kanal AWGN dengan Beda modulasi

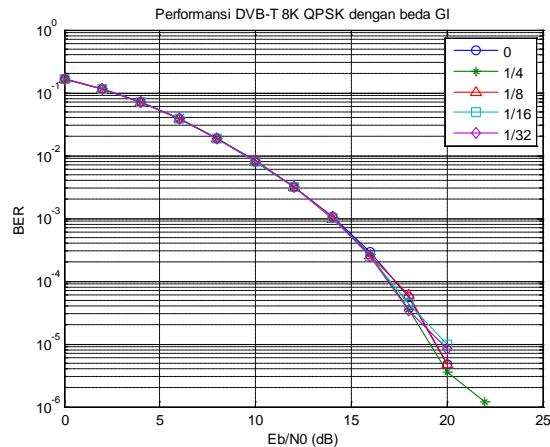
Dari Gambar 20 terlihat bahwa untuk *guard interval* tidak berpengaruh terhadap BER. Nilai BER hanya sampai E_b/N_0 sebesar 12 dB.

4.3.2 Perbandingan dengan modulasi berbeda

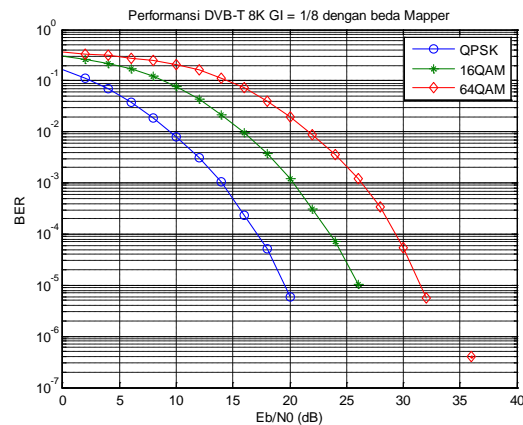
Pada Gambar 21 terlihat bahwa pada DVB-T mode 8K akan memiliki performansi ataupun kinerja yang lebih baik untuk modulasi QPSK dibandingkan dengan modulasi 16QAM dan 64QAM.

4.4 Mode 8K pada kanal *Rayleigh Fading*

4.4.1 Perbandingan dengan *guard interval* berbeda



Gambar 22: Mode 8K kanal *rayleigh fading* dengan beda *guard interval*.



Gambar 23: Mode 8K kanal *rayleigh fading* dengan beda modulasi

Pada Gambar 22 terlihat bahwa untuk DVB-T mode 8K untuk *guard interval* dari 0 – 1/32 memiliki nilai yang sama sampai dengan SNR 14 dB. Sedangkan untuk SNR diatas 14 dB *guard interval* 1/4 dan 1/16 memiliki BER yang lebih baik jika dibandingkan dengan *guard interval* 0, 1/8 dan 1/32. Sedangkan untuk *guard interval* dengan nilai 1/4 masih memiliki BER untuk SNR 22 dB.

4.4.2 Perbandingan dengan modulasi berbeda

Pada Gambar 23 terlihat bahwa pada DVB-T mode 8K akan memiliki performansi ataupun kinerja yang lebih baik untuk modulasi QPSK dibandingkan dengan modulasi 16QAM dan 64QAM.

5 KESIMPULAN

Setelah melakukan beberapa simulasi pada penelitian ini, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. *Guard interval* atau *cyclic prefix* pada OFDM yang berfungsi untuk mencegah terjadinya ISI dan ICI ternyata tidak begitu berpengaruh terhadap performansi atau kinerja dari DVB-T dikarenakan pada DVB-T menggunakan estimasi kanal walaupun dengan penggunaan estimasi kanal yang sederhana seperti *linear interpolation*.
2. Pemakaian *guard interval* 1/32 masih dimungkinkan karena masih bisa didapatkan BER yang baik. Hal ini tentu saja menguntungkan karena dengan semakin tipisnya *guard interval* maka *gross data rate* dan *net data rate*-nya juga semakin besar jika dibandingkan dengan menggunakan *guard interval* 1/4.
3. Penggunaan QAM *mapper* pada sistem pengirim dan penerima berpengaruh terhadap BER. Semakin besar modulasi yang dipakai maka semakin besar pula BER yang didapat sehingga mengurangi kualitas sinyal DVB-T yang dikirim. Hal ini juga berlaku untuk hal sebaliknya yaitu semakin rendah QAM *mapper* yang dipakai maka semakin baik BER yang diperoleh. Karena *gross data rate* dan *net data rate* dipengaruhi juga oleh jumlah bit per simbol (*mapper*) yang dipakai maka modulasi yang sering dipakai adalah modulasi tinggi seperti 64 QAM.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] DVB.ORG. (2009). ETSI EN 300 744 v1.6.1 [On-Line]. Available <http://www.dvb.org>. Di unduh tanggal 4 Juni 2011.

- [2] Elvina Hasibuan. (2009). Tesis Analisa Interferensi Penerapan DVB-H/T Terhadap TV PAL Analog Pada Masa Transisi ke Sistem Penyiaran Dijital di Jakarta. FT Pasca UI.
- [3] Harada, H & Prasad, R. (1997). *Simulations and Software Radio for Mobile Communication*. UPC.
- [4] Hary Budiarto, Bambang Heru Tjahjono, Arief Rufiyanto, A. A. N. Ananda Kusuma, Gamantyo Hendrantoro & Satriyo Dharmanto. (2007). *Sistem TV Digital dan Prospeknya di Indonesia*. PT Multikom Indo Persada-BPPT.
- [5] JJ Van de Beek, Ove Edfors, Magnus Sandell, Sarah Kate Wilson & Per Ola Borjesson. (1995). *On Channel Estimations In OFDM Systems*. IEEE Proceeding of Vehicular Technology Conference vol 2, pp 815-819.
- [6] Ming Liu, Matthieu Crussiere, Jean-Francois Helard & Oudomsack Pierre Pasquero. *Analysis and Performance Comparison of DVB-T and DTMB System for Terrestrial Digital TV*. Institut of Electronics and Telecommunications of Rennes.
- [7] Sinem Coleri, Mustafa Ergen, Anuj Puri & Ahmad Bahai. (2002). *Channel Estimation Techniques Based on Pilot Arrangement in OFDM Systems*. IEEE Transactions On Broadcasting Vol. 48 No.3 September 2002.
- [8] Tomas Kratochvil. *DVB-T Broadcasting Error Rate Measurement*. Doctoral Degree Programme, FEEC BUT.
- [9] Vahid Tarokh. (2009). *New Directions in Wireless Communications Research*. Spinger.
- [10] W. Fischer. (2010). *Digital Video and Audio Broadcasting Technology A Practical Engineering Guide*. Springer.
- [11] Yong Soo Cho, Jaekwon Kim, Won Young Yang & Chung G. Kang. (2010). *MIMO-OFDM Wireless Communications with MATLAB*. John Wiley & Sons.
- [12] Yushi Shen & Ed Martinez. (2006). *Channel Estimation in OFDM System*. Freescale Semiconductor.Inc.
- [13] Xin Yuan. (2007). *Comb-Type Pilot Aided OFDM Channel Estimation For Underground WLAN Communications Thesis*. Faculte Des Sciences Et De Genie Universite Laval Quebec.

