

ESTIMASI KANAL OFDM RANAH FREKUENSI PADA SISTEM DVB-T MODE-2K

Hasbi Nur Prasetyo W
Dosen Universitas Bina Darma¹
Jalan Jenderal Ahmad Yani No.3 Palembang
Sur-el : hasbi@binadarma.ac.id

Abstract : DVB - T SFN is a terrestrial digital TV system standard that will replace the current analog one. Knowledge on the performance of the system is indispensable before towards the implementation phase. One important thing to note that is channel estimation. The signal sent can be distorted because of transmission channel. Therefore, channel estimation by using the pilot symbol as a reference is needed. This study aims to determine how the OFDM frequency domain channel estimation by utilizing the Wiener - Hopf algorithm is applied. This method is named LMMSE. There are 2048 subcarrier in 2k-mode system. SFN network is modeled as hexagon. The results are then used as a basis for designing of the processor on the receiver.

Keywords: DVB-T, SFN, Channel Estimation, OFDM, LMMSE

Abstrak : DVB-T SFN merupakan standar sistem TV digital terestrial yang akan menggantikan standar TV analog saat ini. Pengetahuan terhadap kinerja sistem ini sangat diperlukan sebelum menuju tahap implementasi. Salah satu hal penting yang perlu diketahui yakni estimasi kanal. Isyarat yang dikirimkan dapat mengalami gangguan karena pengaruh kanal transmisi sehingga diperlukan estimasi kanal dengan menggunakan simbol pilot sebagai referensi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui cara kerja estimasi kanal OFDM ranah frekuensi dengan memanfaatkan algoritma Wiener-Hopf yang diaplikasikan pada sebuah metode estimasi kanal yaitu LMMSE. Jumlah subpembawa sebanyak 2048 subpembawa (mode-2k). Model jaringan SFN (Single Frequency Network) berbentuk heksagonal. Hasil kinerja algoritma estimasi kanal selanjutnya dapat digunakan sebagai dasar dalam perancangan prosesor pada sisi penerima.

Kata kunci: DVB-T, SFN, Estimasi Kanal, OFDM, LMMSE

1. PENDAHULUAN

Salah satu contoh penerapan sistem penyiaran TV digital yaitu dengan menerapkan sistem *Digital Video Broadcasting Terrestrial* (DVB-T). Pemanfaatan teknik modulasi *Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (COFDM) pada sistem ini mampu menopang ketegarannya terhadap lintasan jamak. Kanal frekuensi selebar 8 MHz yang dengan sistem analog menampung hanya satu stasiun TV, dengan sistem digital dapat menampung hingga enam stasiun (Iman, 2007).

Pada DVB-T dapat dibentuk sistem Jaringan Frekuensi Tunggal (*Single Frequency Network*,

SFN), yakni beberapa pemancar menggunakan satu frekuensi yang menempati lebar-bidang selebar 8 MHz. Selain itu, antar pemancar memancarkan data yang sama dan dalam waktu yang bersamaan sehingga perlu sinkronisasi antar pemancar (Milet, 2011).

Estimasi kanal pada COFDM sangat berperan penting dalam pemulihan sinyal berdasarkan watak kanal. Metode estimasi kanal yang digunakan adalah *Linear Minimum Mean Square Error* (LMMSE). Parameter yang diukur adalah

pesat galat bit (BER), pesat galat simbol (SER), dan rerata kuadrat galat (*Mean Square Error*, MSE) Kanal dan Simbol.

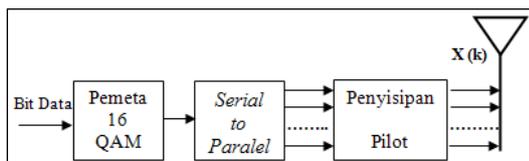
2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan membuat model sistem DVB-T OFDM yang terdiri dari blok pengirim, kanal, dan penerima dengan batasan masalah dan asumsi sebagai berikut

1. Simulasi dilakukan pada model ranah frekuensi (*frequency domain*) dengan modulasi 16-QAM.
2. Simbol OFDM terdiri atas 2048 subpembawa yang terdiri atas 1562 subpembawa data, 143 subpembawa pilot, 343 subpembawa diisi dengan 0 (*zeropadding*) (ETSI, 2008).
3. Pilot disisipkan dalam konfigurasi sisir (*comb*) dan disisipkan setiap 12 subpembawa.
4. Kanal memiliki watak pudaran lintasan jamak dengan sebaran Rayleigh.
5. Parameter sebaran tunda rms dan sebaran tunda maksimal kanal diketahui.

2.1 Model Pengirim

Pada bagian pengirim, data tidak dimasukkan dalam blok FEC tetapi dipetakan secara langsung dengan pemeta 16-QAM. Simbol hasil pemetaan tersebut kemudian diubah dari serial ke paralel dan disisipi pilot. Data dipancarkan secara paralel dengan asumsi bahwa antar subpembawa saling orthogonal. Diagram blok pengirim ditunjukkan oleh Gambar 1.



Gambar 1 Diagram blok pengirim

Data dibangkitkan secara acak dengan menggunakan sintaks pada MATLAB yaitu

randsrc (Liu, 2007). Penggunaannya sintaks pada Matlab yaitu

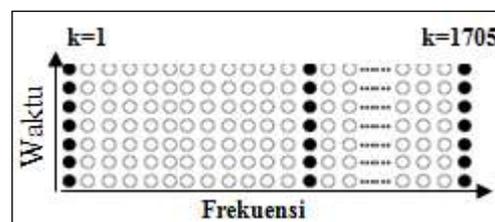
$$out = randsrc(m,n,[alphabet;prob]).....(1)$$

dengan m menyatakan jumlah baris, sedangkan n menyatakan jumlah kolom dari sebuah matriks yang isinya secara acak sesuai dengan probabilitas yang ditentukan untuk membangkitkan nilai-nilai dalam vektor *alphabet* tersebut. Dari 2048 kanal DVB-T 2k, digunakan sebanyak 1705 kanal yang terdiri atas 1562 subpembawa untuk data dan 143 subpembawa digunakan untuk pilot. Dikarenakan tipe modulasi yang digunakan yaitu 16-QAM, maka sebanyak 1562 subpembawa data tersebut dikalikan empat sehingga menjadi 6248 bit. Data biner acak 0 dan 1 sebanyak 6248 tersebut dapat dibangkitkan dengan prosentase yang sama menggunakan sintaks di atas yaitu

$$serialdata=randsrc(bit_data*N_ofdm,1,[0,1;0.5,0.5]);.....(2)$$

Program tersebut menghasilkan matriks data berukuran 6248 x 1.

Penyisipan pilot dilakukan pada tiap 12 subpembawa k , dengan $k=1,2,\dots,1705$. Daya yang diberikan untuk pilot lebih tinggi daripada daya simbol. Ilustrasi penyisipan simbol Pilot ditunjukkan Gambar 2 (Wang, 2011)



Gambar 2. Mekanisme penyisipan pilot

Penyisipan pilot dilakukan sesuai dengan aturan persamaan (ETSI, 2008)

$$\begin{aligned} \operatorname{Re}\{c_{m,l,k}\} &= 4/3x2(1/2 - w_k) \\ \operatorname{Im}\{c_{m,l,k}\} &= 0 \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(3)$$

Penerapan dalam program dilakukan dengan

```

output=zeros(Kmax+1,N_ofdm);
i=1;
while i<=Kmax+1
    output(i,:)=pilot;
    i=i+12;
end
count=0;
k=1;
kk=1;
count=count+1;
while
(count<=floor(Kmax+1/12))&&(kk<=1553)
    if count*pilot_inter<=Kmax+1
        output((k+1):(count*pilot_inter),:)= ...
            data(kk:(kk+10),:);
        end
        count=count+1;
        kk=kk+11;
        k=k+pilot_inter;
    end
    outpilotinsert=output;
    pilot_symbol=pilot;
end .....(4)

```

Modulasi dengan 16-QAM dilakukan dengan sintak

```

temp=reshape(bitSource,4,bit_num/4)';
x = 2*((0.5-temp(:,1)).*(3-2*temp(:,3)));
y = 2*((0.5-temp(:,2)).*(3-2*temp(:,4)));
avAmp = (sqrt(2)+ sqrt(18)+ 2*sqrt(10))/4;
dSource = complex (x,y)/avAmp;.....(5)

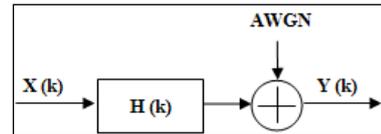
```

Temp(:,1) dan temp(:,3) dari listing program di atas merupakan bit-bit pada posisi ganjil, yang akan membentuk x sebagai komponen *inphase* (I), sedangkan temp(:,2) dan temp(:,4)

merupakan bit-bit genap, yang akan membentuk y sebagai komponen *quadrature* (Q).

2.2 Model Kanal AWGN

Isyarat X(k) dikirimkan melalui kanal transmisi H(k), disertai dengan penambahan AWGN sehingga diterima isyarat Y(k) dimodelkan oleh Gambar 3.



Gambar 3. Model Kanal AWGN

Tanggapan kanal dalam ranah frekuensi, dapat dimodelkan dengan persamaan (Liu, 2007).

$$H(f) = \sum_{k=0}^{k-1} \alpha_k e^{-j2\pi f \tau_k} \quad \dots\dots\dots(6)$$

dengan α_k adalah amplitude pada tiap lintasan, τ_k adalah tunda dalam lintasan jamak, $f_n = f_c + n\Delta f$ dan $n = 0, 1, 2, \dots, N-1$. N merupakan jumlah cacah frekuensi subpembawa dengan jarak frekuensi antar subpembawa sebesar Δf . Pada mode 2k, Δf yaitu sebesar 4,464 kHz (ETSI, 2008). Pemodelan derau diwujudkan dalam bentuk simbol kompleks dengan daya derau *npow*. Penambahan ke dalam isyarat dengan daya *spow* dalam bentuk level tegangan, *attn*, dan dilakukan di kawasan frekuensi sehingga diperlukan FFT. Untuk mencari *spow* dilakukan dengan mengalikan data-data kompleks dengan konjugatnya. Apabila diwujudkan dalam program yaitu

```

attn=sqrt(npow);
N_derau1=fft(attn,FC);
out=N_derau1+input;.....(7)

```

Pada simulasi ini, daya derau ($npow$) dibuat sama untuk semua kasus penerimaan isyarat pada model jaringan DVB-T.

Kondisi kanal di berbeda – beda antara di A, B dan C. Sebagai contoh kanal di A jika dimodelkan dalam program sebagai berikut

```

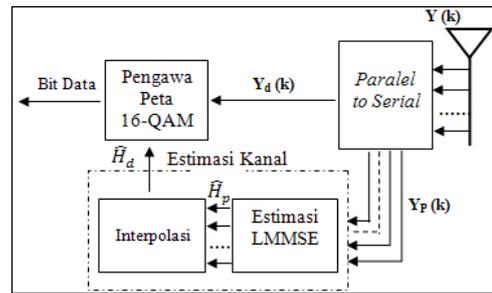
impuls1=alfak_1.*(randn(size(tc))+1i*r
andn(size(tc)));
mag1=abs(impuls1);a1=sqrt(mag1);
alfak_2=sqrt(alfak_kuadrat2);
impuls2=alfak_2.*(randn(size(tc))+1i*r
andn(size(tc)));
mag2=abs(impuls2);a2=sqrt(mag2);
alfak_3=sqrt(alfak_kuadrat3);
impuls3=alfak_3.*(randn(size(tc))+1i*r
andn(size(tc)));
mag3=abs(impuls3);a3=sqrt(mag3);
% Kanal H(f)
kh(1,lent)=0;
for oo=-1024:1023
fs(1,oo+1025)=5.7525*10^8-4.464*(-
oo)*10^3;
% fs=575.25 MHz, f-delta = 4,464
kHz
end
kh=fs+kh;
Hpath2(1:lent)=0;
for s=0:17
for q=1:lent;
H(1,q) =hs_18tap(s+1)*...
exp(-
1i*2*pi*kh(q)*delay_urut(s+1)*10^(-6));
end
Hpath2 = Hpath2+H;.....(8)

```

2.3 Model Penerima

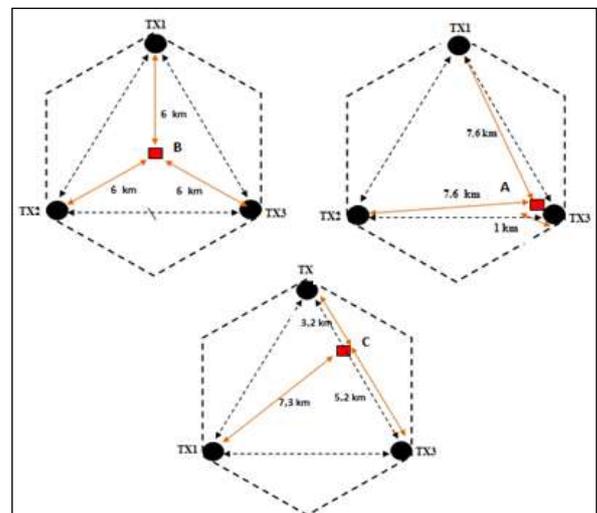
Penerima menerima isyarat yang berasal dari tiga pemancar yang memancarkan data yang

sama. Penerima memiliki karakteristik berpindah– pindah (*mobile*).



Gambar 4. Diagram blok penerima

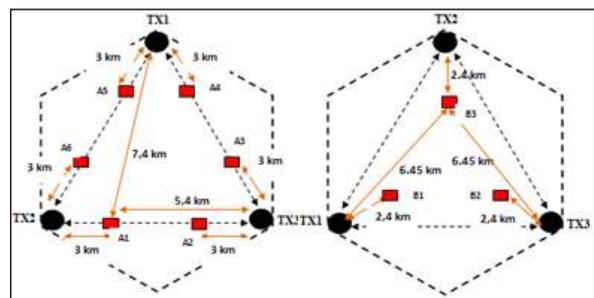
Tiga posisi penerima pada jaringan SFN yaitu di A, B, dan C ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Tiga Posisi Penerima di A, B, dan C

Asumsi jaringan yang dibangun berada di kawasan perkotaan (*urban*) sehingga perhitungan daya menggunakan persamaan *Distance Power Law*, yakni (Iman, 2007)

$$P_r(\text{dBm}) = 26,3 - 24,2\log(d).....(9)$$



Gambar 6. Penerima di A1-A6 dan B1-B3

Posisi penerima berada pada jarak tertentu dari tiga pemancar TX1, TX2 dan TX3. Posisi penerima dengan jumlah lebih dari satu ditunjukkan oleh Gambar 6.

3. HASIL DAN ANALISIS

Metode LMMSE (*Linier Minimum Mean Square Error*) menggunakan algoritma Wiener Hopf untuk mengestimasi kanal dengan memanfaatkan keberadaan pilot yang telah diketahui baik oleh pengirim dan penerima sehingga karakteristik kanal pilot dapat diketahui. Persamaan Wiener-Hopf, yaitu (Liu, 2007)

$$H_{LMMSE} = R_{HHLS} R_{HLSHLS}^{-1} H_{LS} \dots\dots(10)$$

dengan H_{LS} kanal hasil estimasi LS (*Least Square*), R_{HHLS} adalah matriks korelasi silang antara kanal sesungguhnya dengan kanal estimasi LS dan R_{HLSHLS} adalah matriks korelasi diri kanal estimasi LS. H_{LS} diperoleh dengan membagi pilot terima dengan pilot kirim, yakni

$$H_{LS} = Y_{\text{pilot terima}} / X_{\text{pilot kirim}} \dots\dots\dots(11)$$

Secara matematis, R_{HHLS} dan R_{HLSHLS} dinyatakan sebagai

$$H_{LMMSE} = R_{HH} (R_{HH} + \sigma^2 (XX^H)^{-1})^{-1} H_{LS} \dots\dots(12)$$

dengan $E\{XX^H\} = E\left[\frac{1}{x_k}\right]^2 \mathbf{I}$, sehingga estimasi kanal LMMSE dapat disederhanakan menjadi

$$H_{LMMSE} = R_{HH} \left(R_{HH} + \frac{\beta}{SNR} \mathbf{I} \right)^{-1} H_{LS} \dots\dots(13)$$

dengan \mathbf{I} adalah matriks identitas, dan β adalah konstanta yang nilainya bergantung pada konstelasi modulasi digital. Nilai β untuk 16-QAM adalah 17/9 (Liu, 2007).

Berdasarkan persamaan yang telah dipaparkan maka dapat dibuat algoritma estimasi

kanal LMMSE dalam bentuk sintaks Matlab yaitu

```

beta=17/9;
N=143;
Rhh=zeros(N,N);
for k=1:N
    for l=1:N
        Rhh(k,l)=(1-exp((-
1)*t_max*((1/trms)+Ii*2*pi*...
(k-l)/N)))/(trms*(1-
exp((1)*t_max/trms))*...
((1/trms)+Ii*2*pi*(k-l)/N));
    end
end
Hi=hanya_pilot.';
Hitung_beta=(beta/snr)*eye(N);
Hitung=Rhh/(Rhh+Hitung_beta);
Hlmmse=Hitung*Hi;
Hlmmse_out=Hlmmse';.....(14)

```

Keluaran H_{lmmse_out} pada program di atas hanya menghasilkan tanggapan kanal pilot (\widehat{H}_p). Adapun untuk mencari tanggapan kanal data dapat dicari dengan cara interpolasi menggunakan salah satu fungsi interpolasi dalam Matlab yaitu *polyfit*.

Nilai R_{HH} dapat dicari dengan (Yuan, 2007)

$$r_{m,n} = \frac{1 - e^{-\tau_{\max}((1/\tau_{rms})+2\pi j(m-n)/N)}}{\tau_{rms}(1 - e^{-(\tau_{\max}/\tau_{rms})}) \left(\frac{1}{\tau_{rms}} + j2\pi \frac{m-n}{N} \right)} \dots\dots(15)$$

Sintaks perhitungan τ_{rms} dengan menggunakan Matlab yaitu

```

tau_max=12;
t_max=floor(tau_max/ts);
atas=sum(abs(hs_18tap).*delay_urut)/
sum(abs(hs_18tap))
bawah=sum(abs(hs_18tap).*(delay_urut.^2)
)/sum(abs(hs_18tap));
tau_rms=sqrt(bawah-(atas^2));
trms_1=floor(tau_rms/ts);.....(16)

```

DVB-T SFN mode 2k menggunakan subpembawa pilot sebanyak 143 subpembawa yang berjarak 12. Interpolasi yang dikerjakan yaitu interpolasi *polyfit* berderajat satu. Karena yang dicari terlebih dahulu adalah polynomial dari suatu fungsi maka dapat dimodelkan menjadi sebuah persamaan linier $y = ax+b$. Variabel a dan b merupakan pilot yang berdekatan dan x adalah kanal informasi yang akan dicari. Dengan demikian, interpolasi dengan pemenggalan subpembawa dilakukan misalnya subpembawa 1 sampai subpembawa 13, subpembawa 13 sampai subpembawa 25 dan seterusnya hingga subpembawa 1705. Banyaknya data tiap subpembawa tersebut berjumlah 11 sehingga total keseluruhan data sebanyak 1562 sesuai yang dibangkitkan di awal.

Adapun sintaks interpolasi adalah sebagai berikut

```

a=1:13;
elemenfungsi=polyfit(p(:,1:2),HLMMS
E(:,1:2),1);
a2=elemenfungsi(:,1);a3=elemenfungsi(:,2);
fa=a2*a+a3;
.....
.....
k2=1693:1705;
elemenfungsi=polyfit(p(:,142:143),HL
MMSE(:,142:143),1)
k22=elemenfungsi(:,1);k23=elemenfun
gsi(:,2);
fk2=k22*k2+k23;

fpart6=[ff7(:,2:13);ff8(:,2:13);ff9(:,2:
13);fg1(:,2
:13);fg2(:,2:13);fg3(:,2:13);fg4(:,2:13
);fg5(:,2:1
3);fg6(:,2:13);fg7(:,2:13);fg8(:,2:13)';
fg9(:,2:13)
';fh1(:,2:13);fh2(:,2:13);fh3(:,2:13)';f
h4(:,2:13)';

```

```

fh5(:,2:13)';fh6(:,2:13)';fh7(:,2:13)';fh
8(:,2:13)';
fh9(:,2:13)';fk1(:,2:13)';fk2(:,2:13)'];%
288 x 1
fgabung=[fpart1;fpart2;fpart3;fpart4;f
part5;fpart6];
H_Data=fgabung;.....(17)

```

H_Data berisi kanal data hasil estimasi dan pilot. Untuk mendapatkan watak kanal data maka kanal pilot perlu dipisahkan yaitu dengan sintaks

```
H_Data(1:12:1705,:)=[];.....(18)
```

sehingga diperoleh tanggapan kanal data (\hat{H}_d) dengan ukuran 1562 x 1.

Estimasi data kirim dapat diperoleh dengan mengalikan data terima dengan invers tanggapan kanal data ($1/\hat{H}_d$) sehingga diperoleh \hat{X}_d . \hat{X}_d merupakan estimasi data kirim setelah melalui fenomena propagasi dan terpengaruh oleh AWGN yang menyebabkan data terima tidak seperti aslinya (Wang, 2011). Dalam bentuk program yaitu sebagai berikut

```
Out_Data=ambil_data./H_Data;....(19)
```

Pengawa-peta 16-QAM dilakukan untuk menentukan simbol mana yang sebenarnya dikirim oleh pemancar. Pengambilan keputusan diperlukan karena pengaruh kanal dan derau yang mengakibatkan terima tidak sama persis dengan symbol kirim. Hasil pengambilan keputusan yang berupa komponen *inphase* (I) dan *quadrature* (Q) kemudian dikembalikan menjadi bit-bit data. Proses pengambilan keputusannya yaitu sebagai berikut.

Misal, sinyal estimasi yang menjadi komponen bilangan real adalah y_real dan sinyal estimasi yang menjadi komponen bilangan imajiner adalah y_imag . Empat bit yang menjadi

hasil pengawapetaan adalah y_{slice} , maka listing programnya sebagai berikut

Simbol terima kemudian dikuatkan terlebih dahulu dengan sintaks

```
avAmp=(sqrt(2)+sqrt(18)+2*sqrt(10))/4;
y_real = real(rec_freq_Signal)*avAmp;
y_imag = imag(rec_freq_Signal)*avAmp;....(20)
```

Performa dari hasil simulasi sistem ini ditunjukkan dengan nilai BER (*Bit Error Rate*, *Symbol Error Rate*) dan MSE (*Mean Square Error*). Perhitungan BER dapat diperoleh melalui operasi pembagian antara total bit yang salah terhadap total bit yang dikirim. Galat bit diperoleh melalui proses penyesuaian antara bit yang dikirim dengan bit hasil pengawa-petaan.

Perhitungan galat bit dilakukan dengan program berikut ini.

```
lmmse_err_num=hitung_error(serialdata
,lmmse_receive_bit_sig)
lmmse_error_bit=lmmse_error_bit+...
lmmse_err_num;
total_bit_num=total_bit_num+bit_data*...
N_ofdm*nloop;
lmmse_err_ber(ii)=lmmse_error_bit/...
total_bit_num;.....(21)
```

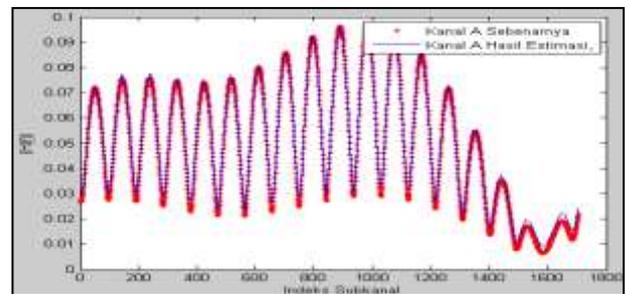
Pada program ini, galat bit dihitung menggunakan fungsi *hitung_error* yang berisi perintah

```
err_num=0;
[m,n]=size(data_terima);
for i=1:m
    for j=1:n
        if data_terima(i,j) ~=data_masuk(i,j)
            err_num=err_num+1;
        end
    end
end.....(22)
```

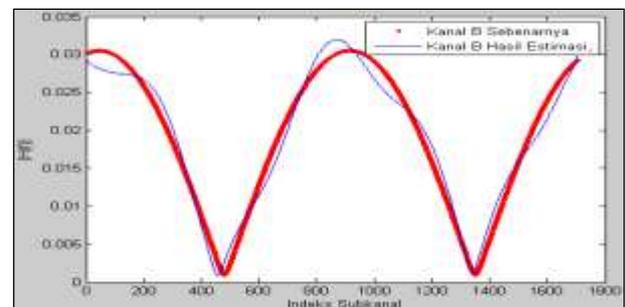
Kalkulasi SER dilakukan dengan menghitung galat antar simbol yang asli dengan simbol terima, kemudian dilakukan perhitungan jumlah total kesalahan simbol dibagi dengan jumlah total simbol yang dikirim.

A. Analisis Perbandingan Kanal

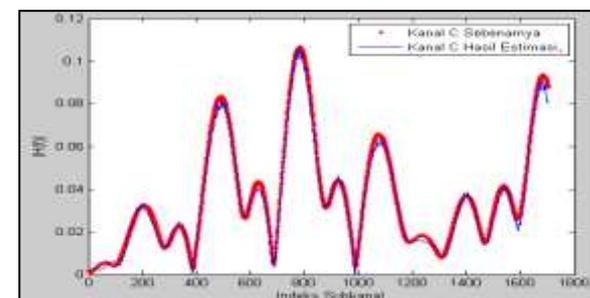
Hasil percobaan pertama merupakan perbandingan antara kanal sebenarnya dengan kanal hasil estimasi LMMSE yang ditunjukkan dengan Gambar 7, 8, dan 9.



Gambar 7. Perbandingan Kanal $|H_A(f)|$ (SNR 21,9 dB)



Gambar 8. Perbandingan Kanal $|H_B(f)|$ (SNR 15 dB)



Gambar 9. Perbandingan Kanal $|H_C(f)|$ (SNR 17,6 dB)

Berdasarkan hasil perbandingan gambar diperoleh pada SNR yang besar yaitu 21,9 dB, memberikan hasil estimasi kanal yang mirip dengan kanal sesungguhnya.

B. Perbandingan BER, SER, MSE dan NMSE Kanal dan Simbol

Unjukkerja estimasi kanal juga dianalisis berdasarkan nilai pesat galat simbol (*symbol error rate*, SER) dan pesat galat bit (*bit error rate*, BER) yang diperoleh. Pada simulasi ini, SER dihitung dengan membandingkan simbol 16-QAM yang diterima di sisi penerima yaitu setelah interpolasi dan sebelum pengawa-petaan. Sedangkan BER dihitung dengan membandingkan isyarat hasil pengawa-petaan di sisi penerima dengan isyarat hasil pembangkitan data. Unjuk kerja hasil estimasi kanal juga diukur dari parameter yang menunjukkan galat dalam estimasi kanal yaitu galat kuadrat rerata (*Mean Square Error*, MSE) kanal dan galat kuadrat rerata ternormalisasi (*Normalized Mean Square Error*, NMSE). MSE kanal dihitung dengan menggunakan persamaan (Yuan, 2007)

$$MSE_{kanal} = E \left| h_{kanalsebenarnya} - h_{kanalestimasi} \right|^2 \quad (23)$$

Namun hasil dari MSE kanal belum dapat dijadikan sebagai acuan kecermatan. Hal ini karena nilai yang ditampilkan pada MSE masih bersifat relatif karena tergantung pada nilai pembandingnya sehingga perlu adanya parameter lain yang menormalisasi hasil MSE kanal yaitu parameter NMSE kanal. Perhitungan NMSE menggunakan persamaan (Yuan, 2007)

$$NMSE_{kanal} = E \left\{ \frac{\left| h_{kanalsebenarnya} - h_{kanalestimasi} \right|^2}{\left| h_{kanalsebenarnya} \right|^2} \right\} \quad \dots(24)$$

Untuk menghitung MSE dan NMSE simbol digunakan persamaan (Yucek, 2003)

$$MSE_{simbol} = E \left| S_{kirim} - S_{estimasi} \right|^2 \quad \dots\dots\dots(25)$$

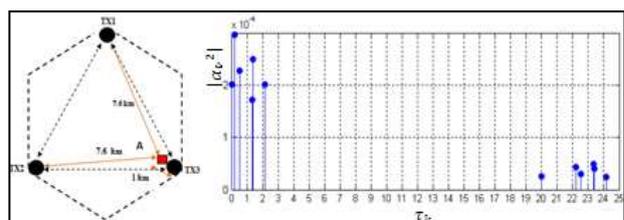
$$NMSE_{simbol} = E \left\{ \frac{\left| S_{kirim} - S_{estimasi} \right|^2}{\left| S_{kirim} \right|^2} \right\} \quad \dots\dots(26)$$

Tabel 1 menunjukkan hasil perbandingan parameter-parameter yang digunakan untuk mengetahui unjuk kerja estimasi kanal.

Tabel 1. Perbandingan BER, SER, MSE, NMSE Kanal dan Simbol

No	Posisi	P _R (dB)	BER	SER	MSE Kanal	NMSE Kanal	MSE Simbol	NMSE Simbol
1	A	-28,07	0,0038	0,0127	0,00047	0,2462	0,0207	0,0183
2	B	-34	0,119	0,2358	0,00016	0,3859	0,5992	0,5435
3	C	-32,4	0,047	0,1304	0,00018	0,3085	0,357	0,3258

Pada Tabel 1, dapat ditunjukkan bahwa, BER terkecil ditunjukkan pada saat penerima berada di A yaitu sebesar 0.0038 dengan SER sebesar 0.0127. SER lebih besar daripada BER karena tidak semua simbol yang salah dapat memunculkan bit yang salah. Nilai NMSE kanal dan simbol menunjukkan kecermatan hasil estimasi dan interpolasi linier dengan *polyfit*.

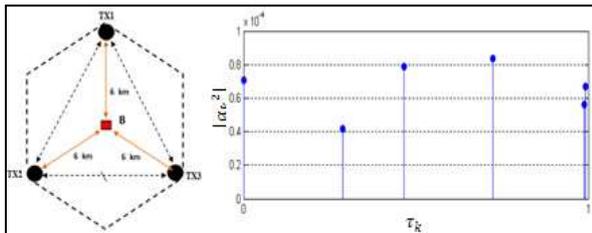


Gambar 10. Tunda dan Daya Relatif Penerima di A

Nilai NMSE terkecil ditunjukkan pada saat penerima berada di A. NMSE paling besar yaitu ketika penerima berada di B. Total daya relatif pada Gambar 10 dihitung dengan rumus

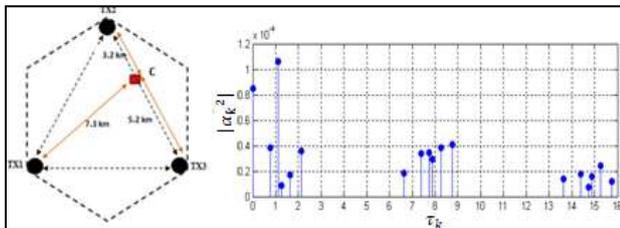
$$\text{Daya Relatif} = \sum_{k=0}^K |\alpha_k|^2 \dots\dots\dots(27)$$

sehingga diperoleh **-28,07 dB**.



Gambar 11. Tunda dan Daya Relatif Penerima di B

Total daya relatif pada Gambar 11 diperoleh **-34 dB**. Ketika penerima berada di C yaitu ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Tunda dan Daya Relatif Penerima di C

sehingga diperoleh total daya relatif di C yaitu sebesar **-32,4 dB**. Pada kasus seperti Gambar 5, hasil percobaan ketika penerima di A1, A2, A3, A4, A5, A6 dan B1, B2, dan B3 ditunjukkan perbandingan antara daya dan beberapa parameter yang menjadi unjuk kerja sistem ditunjukkan pada Tabel 2 dan 3.

Tabel 2. Perbandingan BER, SER, MSE, dan NMSE Kanal dan Simbol untuk Posisi Penerima A1 Sampai A6

No Posisi	P _R (dB)	BER	SER	MSE Kanal	NMSE Kanal	MSE Simbol	NMSE Simbol
1 A1	-33,26	0,0	0,13	0,00	0,3195	1,0234	0,918
		757	33	0127			
2 A2	-32,29	0,0	0,1	0,00	0,1126	5,2752	4,710
		668	704	0223			
3 A3	-32,44	0,0	0,0	0,00	0,422	1,0545	0,950
		676	986	0106			
4 A4	-32,7	0,0	0,1	0,00	0,4765	0,6542	0,5804
		737	304	0374			
5 A5	-32,08	0,05	0,1	0,00	0,438	0,6126	0,5418
			89	0485			
6 A6	-33,2	0,07	0,0	0,00	0,5717	1,1631	1,0183
		3	918	0254			

Tabel 3. Perbandingan BER, SER, MSE, dan NMSE Kanal dan Simbol untuk Posisi Penerima B1 sampai B6

No Posisi	P _R (dB)	BER	SER	MSE Kanal	NMSE Kanal	MSE Simbol	NMSE Simbol
1 B1	-31,36	0,0	0,14	0,00	0,4886	0,5275	0,4703
		561	21	036			
2 B2	-31,38	0,05	0,14	0,00	0,5656	0,8515	0,7542
		72	16	043			
3 B3	-32,28	0,06	0,14	0,00	0,5583	2,4887	2,2224
		43	45	036			

Kinerja algoritma estimasi kanal dengan metode LMMSE dapat digunakan sebagai dasar dalam perancangan prosesor penerima DVB-T. Nilai BER dan SER sangat berhubungan dengan daya yang diterima. Mekanisme lain untuk memperoleh kinerja BER yang baik yakni dengan sistem reduksi PAPR (*Peak Average Power Ratio*) yang baik (T. Jiang, 2007). Selain itu, berbagai performa filter dalam sistem penerima DVB-T menjadi bahan pertimbangan dalam peningkatan kinerja BER atau SER (AKM, 2013).

4. SIMPULAN

Berdasarkan analisis hasil simulasi maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Unjuk kerja estimasi kanal dengan metode LMMSE diukur dengan parameter NMSE Kanal dan Simbol. Sebagai contoh yaitu ketika penerima berada di A (SNR 21,9 dB), B (SNR 15 dB), dan C (SNR 17,6 dB) memberikan NMSE Kanal dan Simbol berturut-turut yaitu 0,2462; 0,3859; 0,3085 dan 0,0183; 0,5435; 0,3258.
2. Besarnya daya relatif yang diterima pada sistem DVB-T SFN mode 2k berpengaruh pada kualitas isyarat yang diterima. Hal ini ditunjukkan dengan BER dan SER. Daya sebesar -28,07 dB di A, -34 dB di B, dan -32,4 dB di C memberikan BER berturut-turut 0,0038; 0,1190; 0,047 dan SER berturut-turut yaitu 0,0127; 0,2358; 0,1304.

DAFTAR RUJUKAN

- AKM Arifuzzaman, Rumana Islam, Mohammed Tarique dan Mussab Saleh Hassan. 2013. *Effects Of Filters On The Performance DVB-T Receiver*. International Journal of Wireless & Mobile Networks (IJWMN) Vol. 5. No. 3
- ETSI EN 300 744 V1.1.2 (1997-08). *Digital Video Broadcasting (DVB) Framing Structure, Channel Coding and Modulation for Digital Terrestrial Television*. France.
- Iman, M. 2007. *Analisis dan Perbandingan Hasil Pengukuran Propagasi Radio DVB-T dan DVB-H di Wilayah Jakarta Pusat*. Makalah, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri ITS.
- Milet, Olivier. 2011. *Technical Overview of Single Frequency Network*. Enensys Technology. website www.enensys.com.
- Liu, M. 2007. *Channel Estimation Techniques for OFDM Systems*. McGraw-Hill. Japan.
- T. Jiang, W. D. Xiang, P. C. Richardson, D. M. Qu, and G. X. Zhu. 2007. *On the nonlinear companding transform for reduction in PAPR of MCM signals*. IEEE Trans. Wireless communications. vol. 6. no. 6. pp. 2017–2021.
- Yuan, Xin. 2007. *Comb-Type Pilot- Aided OFDM Channel Estimation For Underground WLAN Communications*. Thesis. Faculte Des Sciences Et De Genie Universite Laval. Quebec.
- Yucek, T. 2003. *Self Interference Handling in OFDM Based Wireless Communication System*. Thesis. Department of Electrical Engineering College of Engineering University of South Florida.
- Wang, F. 2011. *Pilot-Based Channel Estimation in OFDM System*. Thesis. University of Toledo.