Lampiran 1. *Listing Program* Matlab Menghitung BER *(Bit Error Rate)* Sistem

```
%Data
CP=0.0651                                   %panjang cyclic prefix
Rtot1=3.734*10^8                            %laju transmisi 64-QAM dalam bps
M1=log(64)                                  %jumlah simbol sesuai modulasi 64-QAM
Mod1=64                                     %jumlah sinyal sesuai modulasi 64-QAM
N=5120                                      %jumlah subcarrier
d=[500:500:3000]                            %jarak antara eNB dan UE dalam meter
phi=3.14                                    %konstanta phi
f=23.5*10^8                                 %frekuensi kerja dalam Hz
f_MHz=2350                                  %frekuensi kerja dalam MHz
c=3*10^8                                    %cepat rambat gelombang di udara m/s
Pt=49                                       %daya pada transmitter dalam dBm
Gt=17                                       %antena gain pada transmitter dalam dBi
Gr=0                                        %antena gain pada receiver dalam dBi
Lt=3                                        %cable loaa dalam dB
Lr=1                                        %body loss dalam dB
hb=30                                       %tinggi antena pada eNb dalam meter
h=1.5                                       %tinggi antena pada UE dalam meter
k=0.00000000000000000000000138              %konstanta Boltzman
T=300                                       %suhu ruang
NF=7                                        %noise figure
FM=8.1                                      %fading margin
v=60                                        %kecepatan dalam km/jam

 %Persamaan Bandwidth Sistem
Rsub1=Rtot1./N                              %laju subcarrier 64-QAM
Tsub1=M1./Rsub1                             %durasi simbol subcarrier 64-QAM
Tcp1=CP.*Tsub1                              %durasi cyclic prefix subcarrier 64-QAM
Ts1=Tsub1-Tcp1                              %durasi simbol OFDMA 64-QAM
Bsistem1=(2./Ts1)+((N-1)./((1-CP).*Ts1))    %bandwidth sistem 64-QAM
%Persamaan Redaman Propagasi kondisi LOS
PL_L=20*(log10(4*phi*d*f/c))                %pathloss kondisi LOS dalam dB
Pr_L=Pt+Gt+Gr-PL_L-FM                       %daya pada receiver LOS dalam dB
%Persamaan Redaman Propagasi kondisi NLOS
PL_N=40*(1-(0.004*hb))*log10(d/1000)-18*log10(hb)+21*log10(f_MHz)+80
                                            %pathloss kondisi NLOS dalam dB
Pr_N=Pt+Gt+Gr-PL_N-(10*log10(N))           %daya pada receiver NLOS dalam dB
%Persamaan Daya Noise
No1=10.*log10(k*T)+10*log10(Bsistem1)+NF    %daya noise sistem AWGN
fm=(v*1000/3600)*f/c                        %pergeseran efek doppler
No2=No1+(10*log10((fm/((No1/2).^2))*exp(-((fm.^2)/(2*(No1/2)^2)))))
                                            %daya noise sistem Rayleigh

%Persamaan SNR
SNR_L1=Pr_L-No1                             %SNR
SNR_N1=Pr_N-No2
SNR_OFDMAL1=10.*log10((1-CP)*(10.^(SNR_L1/10)))    %SNR OFDMA
```

```
SNR_OFDMAN1=10.*log10((1-CP)*(10.^(SNR_N1/10)))
SNR_22L=2/2*SNR_OFDMAL1                    %SNR sistem multi antena
SNR_24L=2/4*SNR_OFDMAL1
SNR_42L=4/2*SNR_OFDMAL1
SNR_44L=4/4*SNR_OFDMAL1
SNR_22N=2/2*SNR_OFDMAN1
SNR_24N=2/4*SNR_OFDMAN1
SNR_42N=4/2*SNR_OFDMAN1
SNR_44N=4/4*SNR_OFDMAN1
%Persamaan Eb/No
EbNo_22L=SNR_22L-10*log10(Bsistem1/Rtot1)    %Eb/No sistem multi antena
EbNo_24L=SNR_24L-10*log10(Bsistem1/Rtot1)
EbNo_42L=SNR_42L-10*log10(Bsistem1/Rtot1)
EbNo_44L=SNR_44L-10*log10(Bsistem1/Rtot1)
EbNo_22N=SNR_22N-10*log10(Bsistem1/Rtot1)
EbNo_24N=SNR_24N-10*log10(Bsistem1/Rtot1)
EbNo_42N=SNR_42N-10*log10(Bsistem1/Rtot1)
EbNo_44N=SNR_44N-10*log10(Bsistem1/Rtot1)
%Persamaan BER
x_22L=sqrt(3*M1./(Mod1-1)*EbNo_22L)
x_24L=sqrt(3*M1./(Mod1-1)*EbNo_24L)
x_42L=sqrt(3*M1./(Mod1-1)*EbNo_42L)
x_44L=sqrt(3*M1./(Mod1-1)*EbNo_44L)
x_22N=sqrt(3*M1./(Mod1-1)*EbNo_22N)
x_24N=sqrt(3*M1./(Mod1-1)*EbNo_24N)
x_42N=sqrt(3*M1./(Mod1-1)*EbNo_42N)
x_44N=sqrt(3*M1./(Mod1-1)*EbNo_44N)
aa1L=exp(-((x_22L).^2))
aa2L=exp(-((x_24L).^2))
aa3L=exp(-((x_42L).^2))
aa4L=exp(-((x_44L).^2))
aa1N=exp(-((x_22N).^2))
aa2N=exp(-((x_24N).^2))
aa3N=exp(-((x_42N).^2))
aa4N=exp(-((x_44N).^2))
bb1L=sqrt(phi*x_22L)
bb2L=sqrt(phi*x_24L)
bb3L=sqrt(phi*x_42L)
bb4L=sqrt(phi*x_44L)
bb1N=sqrt(phi*x_22N)
bb2N=sqrt(phi*x_24N)
bb3N=sqrt(phi*x_42N)
bb4N=sqrt(phi*x_44N)
erfc_22L=aa1L./bb1L
erfc_24L=aa2L./bb2L
erfc_42L=aa3L./bb3L
erfc_44L=aa4L./bb4L
erfc_22N=aa1N./bb1N
```

```
erfc_24N=aa2N./bb2N
erfc_42N=aa3N./bb3N
erfc_44N=aa4N./bb4N
Pbe_22L=4*(sqrt(Mod1)-1)/sqrt(Mod1)/M1*erfc_22L %BER sistem multi antena
Pbe_24L=4*(sqrt(Mod1)-1)/sqrt(Mod1)/M1*erfc_24L
Pbe_42L=4*(sqrt(Mod1)-1)/sqrt(Mod1)/M1*erfc_42L
Pbe_44L=4*(sqrt(Mod1)-1)/sqrt(Mod1)/M1*erfc_44L
Pbe_22N=4*(sqrt(Mod1)-1)/sqrt(Mod1)/M1*erfc_22N
Pbe_24N=4*(sqrt(Mod1)-1)/sqrt(Mod1)/M1*erfc_24N
Pbe_42N=4*(sqrt(Mod1)-1)/sqrt(Mod1)/M1*erfc_42N
Pbe_44N=4*(sqrt(Mod1)-1)/sqrt(Mod1)/M1*erfc_44N

%Grafik Pengaruh Jarak Terhadap BER
figure (1)
plot (d,Pbe_22L,'-^blue');
hold on
grid on
legend('MIMO2x2')
title('Pengaruh Jarak Terhadap BER Sistem Pada Kondisi LOS');
xlabel('Jarak antara eNB dan UE (m)');
ylabel('BER sistem');
figure (2)
plot (d,Pbe_24L,'-^red');
hold on
grid on
legend('MIMO2x4')
title('Pengaruh Jarak Terhadap BER Sistem Pada Kondisi LOS');
xlabel('Jarak antara eNB dan UE (m)');
ylabel('BER sistem');
figure (3)
plot (d,Pbe_42L,'-^black');
hold on
grid on
legend('MIMO4x2')
title('Pengaruh Jarak Terhadap BER Sistem Pada Kondisi LOS');
xlabel('Jarak antara eNB dan UE (m)');
ylabel('BER sistem');
figure (4)
plot (d,Pbe_44L,'-^green');
hold on
grid on
legend('MIMO 4x4')
title('Pengaruh Jarak Terhadap BER Sistem Pada Kondisi LOS');
xlabel('Jarak antara eNB dan UE (m)');
ylabel('BER sistem');
figure (5)
plot (d,Pbe_22N,'-^blue');
hold on
```

```
grid on
legend('MIMO 2x2')
title('Pengaruh Jarak Terhadap BER Sistem Pada Kondisi NLOS');
xlabel('Jarak antara eNB dan UE (m)');
ylabel('BER sistem');
figure (6)
plot (d,Pbe_24N,'-^red');
hold on
grid on
legend('MIMO2x4')
title('Pengaruh Jarak Terhadap BER Sistem Pada Kondisi NLOS');
xlabel('Jarak antara eNB dan UE (m)');
ylabel('BER sistem');
figure (7)
plot (d,Pbe_42N,'-^black');
hold on
grid on
legend('MIMO4x2')
title('Pengaruh Jarak Terhadap BER Sistem Pada Kondisi NLOS');
xlabel('Jarak antara eNB dan UE (m)');
ylabel('BER sistem');
figure (8)
plot (d,Pbe_44N,'-^green');
hold on
grid on
legend('MIMO 4x4')
title('Pengaruh Jarak Terhadap BER Sistem Pada Kondisi NLOS');
xlabel('Jarak antara eNB dan UE (m)');
ylabel('BER sistem');
```

Lampiran 2. *Listing Program* Matlab Menghitung Kapasitas Kanal Sistem

```
CP=0.0651                                   %panjang cyclic prefix
Rtot1=3.734*10^8                            %laju transmisi 64-QAM dalam bps
M1=log(64)                                  %jumlah simbol sesuai modulasi 64-QAM
Mod1=64                                     %jumlah sinyal sesuai modulasi 64-QAM
N=5120                                      %jumlah subcarrier
d=[500:500:3000]                            %jarak antara eNB dan UE dalam meter
phi=3.14                                    %konstanta phi
f=23.5*10^8                                 %frekuensi kerja dalam Hz
f_MHz=2350                                  %frekuensi kerja dalam MHz
c=3*10^8                                    %cepat rambat gelombang di udara m/s
Pt=49                                       %daya pada transmitter dalam dBm
Gt=17                                       %antena gain pada transmitter dalam dBi
Gr=0                                        %antena gain pada receiver dalam dBi
Lt=3                                        %cable loaa dalam dB
Lr=1                                        %body loss dalam dB
hb=30                                       %tinggi antena pada eNb dalam meter
h=1.5                                       %tinggi antena pada UE dalam meter
k=0.00000000000000000000000138              %konstanta Boltzman
T=300                                       %suhu ruang
NF=7                                        %noise figure
FM=8.1                                      %fading margin
v=60                                        %kecepatan dalam km/jam

%Data
CP=0.0651                                   %panjang cyclic prefix
Rtot1=3.734*10^8                            %laju transmisi 64-QAM dalam bps
M1=log(64)                                  %jumlah simbol sesuai modulasi 64-QAM
Mod1=64                                     %jumlah sinyal sesuai modulasi 64-QAM
N=5120                                      %jumlah subcarrier
d=[500:500:3000]                            %jarak antara eNB dan UE dalam meter
phi=3.14                                    %konstanta phi
f=23.5*10^8                                 %frekuensi kerja dalam Hz
f_MHz=2350                                  %frekuensi kerja dalam MHz
c=3*10^8                                    %cepat rambat gelombang di udara m/s
Pt=49                                       %daya pada transmitter dalam dBm
Gt=17                                       %antena gain pada transmitter dalam dBi
Gr=0                                        %antena gain pada receiver dalam dBi
Lt=3                                        %cable loaa dalam dB
Lr=1                                        %body loss dalam dB
hb=30                                       %tinggi antena pada eNb dalam meter
h=1.5                                       %tinggi antena pada UE dalam meter
k=0.00000000000000000000000138              %konstanta Boltzman
T=300                                       %suhu ruang
NF=7                                        %noise figure
FM=8.1                                      %fading margin
B=50000000                                  %bandwidth kanal
```

```
%Persamaan Bandwidth Sistem
Rsub1=Rtot1./N                          %laju subcarrier 64-QAM
Tsub1=M1./Rsub1                         %durasi simbol subcarrier 64-QAM
Tcp1=CP.*Tsub1                          %durasi cyclic prefix subcarrier 64-QAM
Ts1=Tsub1-Tcp1                          %durasi simbol OFDMA 64-QAM
Bsistem1=(2./Ts1)+((N-1)./((1-CP).*Ts1))  %bandwidth sistem 64-QAM
%Persamaan Redaman Propagasi
PL=20*(log10(4*phi*d*f/c))              %pathloss dalam dB
Pr=Pt+Gt+Gr-PL-FM                       %daya pada receiver dalam dB
%Persamaan Daya Noise
No1=10.*log10(k*T)+10*log10(Bsistem1)+NF %daya noise sistem 64-QAM
%Persamaan SNR
SNR=Pr-No1                                  %SNR
SNR_OFDMA=10.*log10((1-CP)*(10.^(SNR/10)))  %SNR OFDMA
SNR_22=2/2*SNR_OFDMA                        %SNR sistem multi antena
SNR_24=2/4*SNR_OFDMA
SNR_42=4/2*SNR_OFDMA
SNR_44=4/4*SNR_OFDMA
%Persamaan Kapasitas Kanal
C_22=B*log2(1+10.^(SNR_22/10))      %Kapasitas Kanal sistem multi antena
C_24=B*log2(1+10.^(SNR_24/10))
C_42=2*B*log2(1+10.^(SNR_42/10))
C_44=2*B*log2(1+10.^(SNR_44/10))

%Grafik Pengaruh Jarak Terhadap Kapasitas Kanal Sistem Multi Antena
figure (1)
plot (d,C_22,'-^blue');
hold on
grid on
legend('MIMO2x2')
title('Pengaruh Jarak Terhadap Kapasitas Kanal');
xlabel('Jarak antara eNB dan UE (m)');
ylabel('Kapasitas kanal sistem (bps)');
figure (2)
plot (d,C_24,'-^red');
hold on
grid on
legend('MIMO2x4')
title('Pengaruh Jarak Terhadap Kapasitas Kanal');
xlabel('Jarak antara eNB dan UE (m)');
ylabel('Kapasitas kanal sistem (bps)');
figure (3)
plot (d,C_42,'-^black');
hold on
grid on
legend('MMO4x2')
```

```
title('Pengaruh Jarak Terhadap Kapasitas Kanal');
xlabel('Jarak antara eNB dan UE (m)');
ylabel('Kapasitas kanal sistem (bps)');

figure (4)
plot (d,C_44,'-^green');
hold on
grid on
legend('MIMO 4x4')
title('Pengaruh Jarak Terhadap Kapasitas Kanal');
xlabel('Jarak antara eNB dan UE (m)');
ylabel('Kapasitas kanal sistem (bps)');
```