

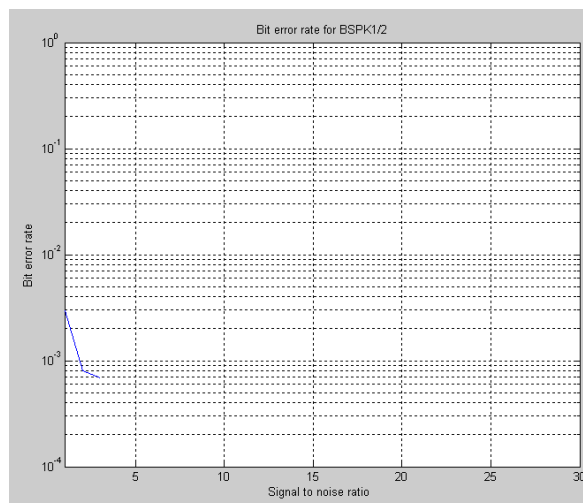
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

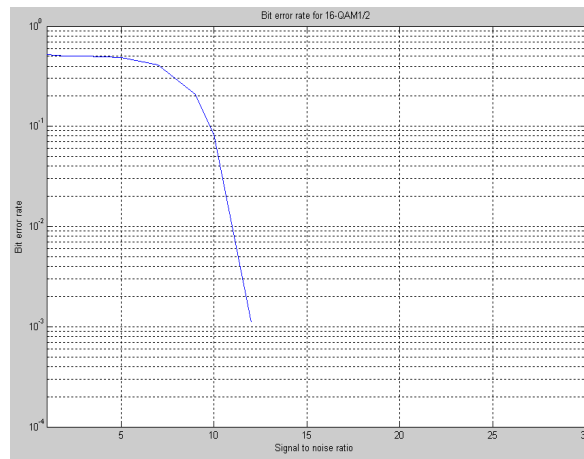
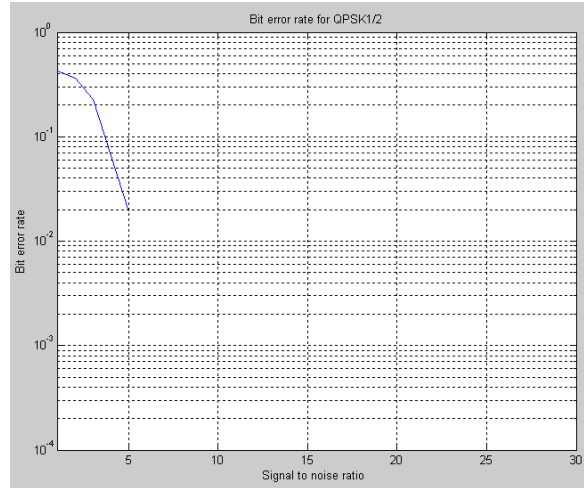
A. Simulasi dengan Menggunakan *Guard Interval 1/4*

1. Hasil BER untuk Simulasi WiMAX dengan *Code Rate 1/2*

Tabel. 4 Perbandingan *Bit Error Rate* dengan menggunakan *code rate 1/2* dan *guard interval 1/4*

SNR	<i>Bit Error Rate</i>		
	BPSK	QPSK	16-QAM
1	0.0030	0.4234	0.5231
2	0.0008	0.3662	0.5025
3	0.0007	0.2276	0.5012
5	0	0.0191	0.4838
7	0	0	0.4088
9	0	0	0.2075
10	0	0	0.0836
12	0	0	0.0011





Gambar 10. Perbandingan *Bit Error Rate* dengan menggunakan *code rate* 1/2 dan *guard interval* 1/4

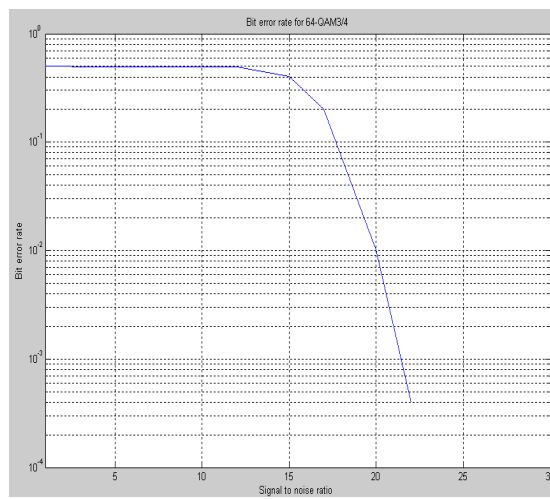
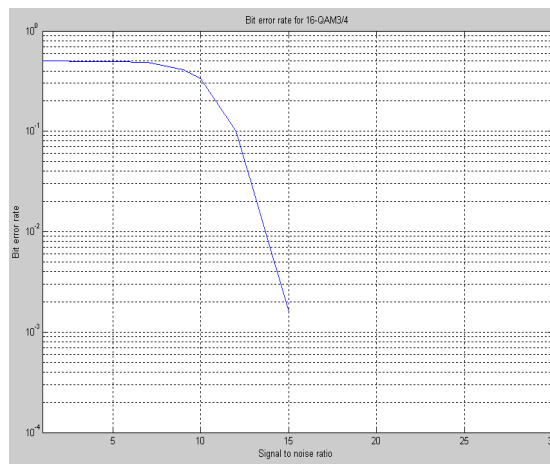
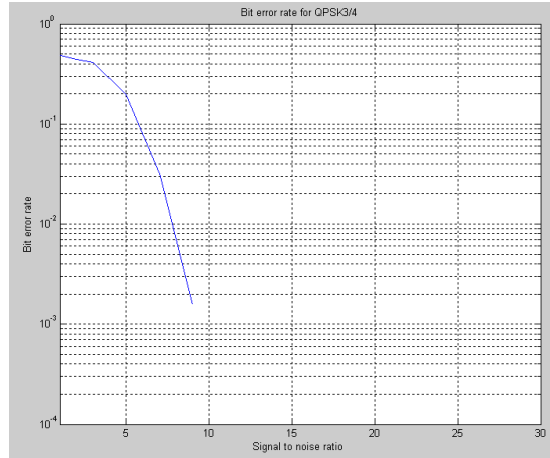
Gambar 10 adalah perbandingan *Bit Error Rate* yang dihasilkan dari simulasi pengiriman data pada jaringan telekomunikasi WiMAX memakai program matlab 7.0, menggunakan tiga jenis modulasi yang berbeda dengan *code rate* 1/2 dan *guard interval* 1/4. Pada grafik *Bit Error Rate* dengan menggunakan modulasi BPSK, terlihat nilai *Bit Error Rate* yang dihasilkan akan semakin menurun seiring dengan bertambahnya nilai SNR pada saluran. *Bit Error Rate* maksimum yang dihasilkan dengan menggunakan modulasi BPSK adalah 0.0030. Modulasi ini cocok dipakai saat nilai SNR lebih dari 2dB.

Pada grafik *Bit Error Rate* dengan menggunakan modulasi QPSK terlihat bahwa *Bit Error Rate* yang dihasilkan akan semakin kecil seiring dengan bertambahnya nilai SNR saluran. Akan tetapi nilai *Bit Error Rate* yang dihasilkan lebih besar dari 10^{-3} sehingga modulasi ini tidak dapat digunakan dikarenakan akan merusak kualitas sistem telekomunikasi. Pada grafik *Bit Error Rate* yang dihasilkan dari modulasi 16-QAM terlihat bahwa seiring dengan bertambahnya nilai SNR dari saluran maka *Bit Error Rate* yang dihasilkan akan berkurang. Seperti halnya pada modulasi QPSK, nilai *Bit Error Rate* yang dihasilkan dengan modulasi 16-QAM ini juga lebih besar dari 10^{-3} sehingga tidak baik jika digunakan dalam suatu sistem komunikasi. Ini berarti modulasi QPSK dan 16-QAM tidak dapat bekerja dengan baik di daerah yang mempunyai tingkat SNR yang rendah.

2. Hasil BER untuk Simulasi WiMAX dengan *Code Rate* 3/4

Tabel. 5 Perbandingan *Bit Error Rate* dengan menggunakan *code rate* 3/4 dan *guard interval* 1/4

SNR	<i>Bit Error Rate</i>		
	QPSK	16-QAM	64-QAM
1	0.4817	0.5051	0.5018
2	0.4443	0.5011	0.4990
3	0.4107	0.4962	0.4980
5	0.1974	0.4909	0.4976
7	0.0315	0.4833	0.4962
9	0.0016	0.4089	0.4952
10	0	0.3323	0.4931
12	0	0.1010	0.4918
15	0	0.0016	0.4003
17	0	0	0.2018
20	0	0	0.0101
22	0	0	0.0004



Gambar 11. Perbandingan *Bit Error Rate* dengan menggunakan *code rate* 3/4 dan *guard interval* 1/4

Gambar 11 adalah perbandingan *Bit Error Rate* yang dihasilkan dari simulasi pentransmisian data pada jaringan WiMAX dengan menggunakan tiga (3) macam modulasi yang berbeda dan *code rate* yang dipakai sebesar $3/4$ serta *guard interval* $1/4$. Pada grafik *Bit Error Rate* dengan menggunakan modulasi QPSK pada saat nilai SNR saluran 1-9dB dihasilkan nilai *Bit Error Rate* yang lebih kecil jika dibandingkan dengan kedua jenis modulasi yang lain. Ini berarti modulasi QPSK lebih baik digunakan saat SNR saluran buruk.

Pada saat SNR buruk maka diperlukan modulasi yang lebih rendah agar *throughput* terjaga, hal ini dikarenakan saat SNR buruk maka laju data akan berkurang sehingga modulasi yang rendah akan lebih memudahkan sistem dalam memecahkan persandian dari modulasi tersebut.

Pada grafik modulasi 16-QAM secara umum nilai *Bit Error Rate* yang dihasilkan mengalami penurunan seiring bertambahnya nilai SNR dari saluran. Pada grafik 64-QAM terlihat bahwa *Bit Error Rate* yang dihasilkan cenderung menurun saat nilai SNR saluran semakin besar. Tidak seperti kedua jenis modulasi yang lainnya, pada modulasi 64-QAM ini dapat menghasilkan nilai *Bit Error Rate* yang diharapkan untuk mendapatkan kualitas transmisi yang baik yaitu di bawah 10^{-3} walaupun diperoleh pada saat SNR yang cukup besar, yaitu ketika SNR bernilai 22dB. Ini sesuai dengan teori bahwa semakin tinggi tingkat modulasi yang digunakan maka SNR yang dibutuhkan semakin besar untuk menjaga *throughput* dari jaringan.

Dari data yang diperoleh, terlihat bahwa saat digunakan modulasi 16-QAM dengan *code rate* $1/2$, nilai *Bit Error Rate* yang dihasilkan pada saat nilai

SNR 1 sampai dengan 3 dB lebih besar dibandingkan dengan nilai *Bit Error Rate* yang dihasilkan saat menggunakan modulasi 16-QAM dengan *code rate* 3/4. Sedangkan saat nilai SNR saluran bernilai di atas 3 dB, nilai *Bit Error Rate* yang dihasilkan saat menggunakan *code rate* 1/2 lebih kecil dibandingkan ketika menggunakan modulasi 16-QAM dengan *code rate* 3/4. Ini berarti saat nilai SNR bernilai 1dB sampai dengan 2dB lebih baik digunakan *code rate* yang lebih tinggi yaitu *code rate* 3/4, dan saat nilai SNR di atas 2 dB sebaiknya menggunakan *code rate* yang lebih rendah yaitu 1/2. Hal ini menunjukkan bahwa untuk menghadapi *air interface* yang buruk, sebaiknya diterapkan teknik modulasi yang lebih tahan gangguan dan *coding rate* yang lebih tinggi sehingga *transfer rate* lebih rendah. Sebaliknya untuk kondisi *air interface* yang baik, digunakan teknik modulasi yang mengandung informasi lebih banyak dan *coding rate* yang lebih rendah sehingga *transfer rate* lebih cepat.

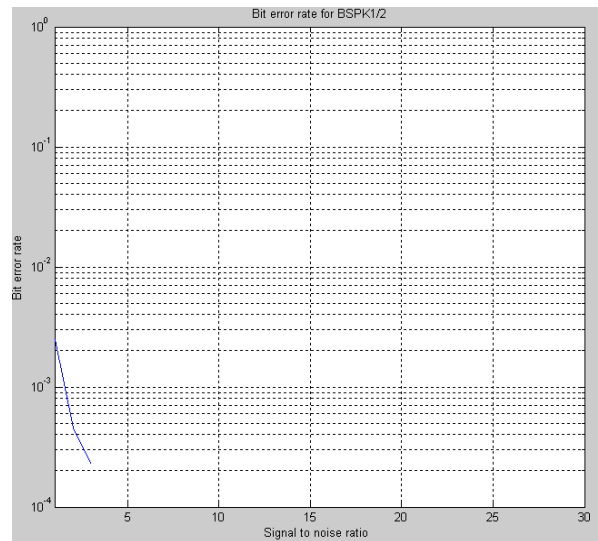
Dari perbandingan *Bit Error Rate* yang dihasilkan ketika menggunakan *guard interval* 1/4 dengan beberapa macam jenis modulasi dan *code rate* yang berbeda, dapat dilihat bahwa modulasi BPSK paling tahan terhadap gangguan kanal transmisi. Ini ditunjukkan dari nilai *Bit Error Rate* yang dihasilkan bernilai kurang dari 10^{-3} saat nilai SNR 2dB. Sedangkan modulasi 64-QAM adalah yang paling rentan terhadap gangguan kanal transmisi karena nilai SNR yang diperlukan untuk mencapai *Bit Error Rate* yang kurang dari 10^{-3} , lebih besar dibandingkan dengan yang dibutuhkan oleh modulasi lain.

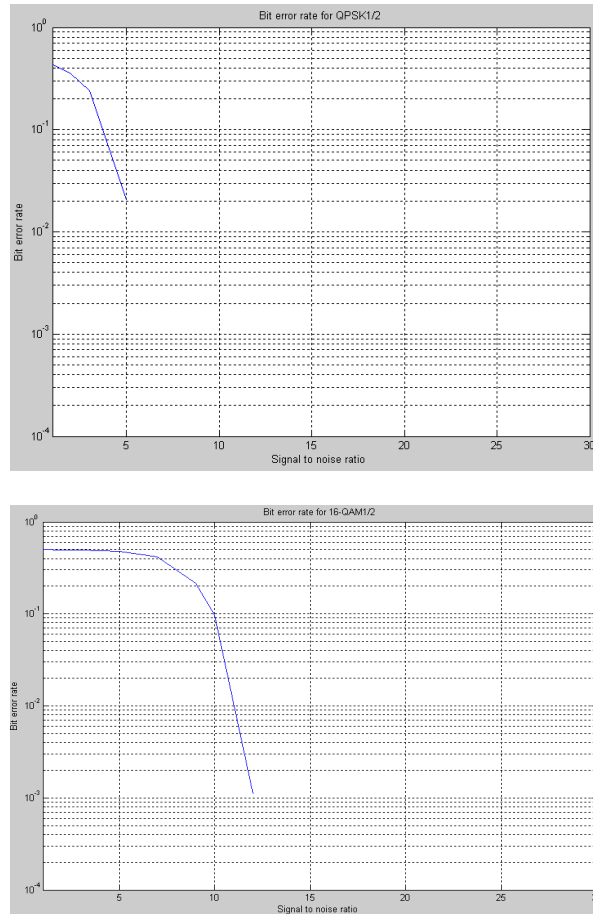
B. Simulasi dengan Menggunakan *Guard Interval 1/8*

1. Hasil BER untuk Simulasi WiMAX dengan *Code Rate 1/2*

Tabel. 6 Perbandingan *Bit Error Rate* dengan menggunakan *code rate 1/2* dan *guard interval 1/8*

SNR	<i>Bit Error Rate</i>		
	BPSK	QPSK	16-QAM
1	0.0025	0.4297	0.5009
2	0.0005	0.3520	0.4977
3	0.0002	0.2410	0.4951
5	0	0.0208	0.4774
7	0	0	0.4152
9	0	0	0.2164
10	0	0	0.0966
12	0	0	0.0011





Gambar 12. Perbandingan *Bit Error Rate* dengan menggunakan *code rate* 1/2 dan *guard interval* 1/8

Gambar 12 menunjukkan bahwa transmisi WiMAX dengan modulasi BPSK baik digunakan saat nilai SNR kanal lebih dari 2dB. Grafik pada modulasi BPSK menunjukkan kecenderungan bahwa semakin besar nilai dari SNR maka akan semakin kecil nilai *Bit Error Rate* yang akan dihasilkan. Nilai BER pada penggunaan BPSK semakin memburuk saat nilai SNR kurang dari 2dB.

Hal yang serupa juga terjadi pada modulasi QPSK, nilai *Bit Error Rate* yang dihasilkan akan semakin menurun seiring bertambahnya nilai dari SNR. Akan tetapi nilai *Bit Error Rate* yang dihasilkan oleh modulasi QPSK dengan *code rate* 1/2 dan *guard interval* 1/8 tidak layak untuk diterapkan pada sistem

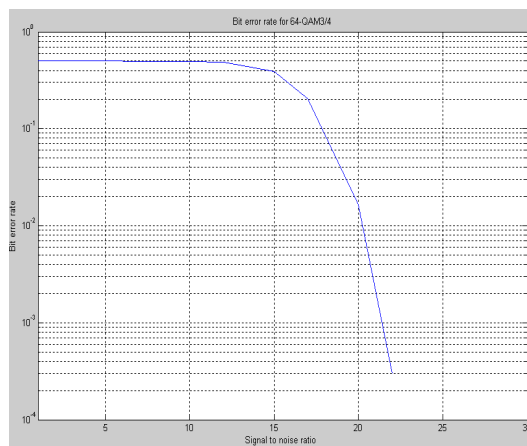
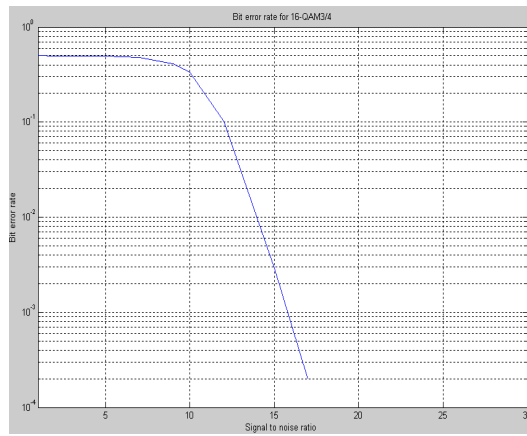
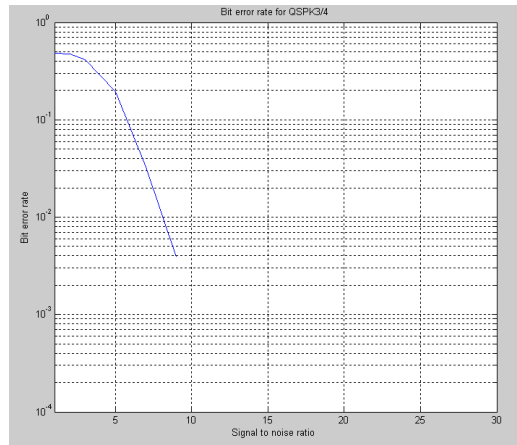
komunikasi, karena pada saat SNR bernilai 1 sampai 5 dB nilai *Bit Error Rate* yang dihasilkan melebihi batas yang dianjurkan untuk sistem komunikasi, yaitu harus kurang dari 10^{-3} . Begitupun pada modulasi 16-QAM, nilai *Bit Error Rate* yang dihasilkan tidak memenuhi standar dari sistem komunikasi karena nilai *Bit Error Rate* yang dihasilkan untuk SNR 1 sampai dengan 12dB lebih besar dari 10^{-3} .

Dari gambar 12 dapat disimpulkan bahwa saat derau dalam kanal tinggi, performansi BPSK dengan *code rate* 1/2 adalah yang paling baik dibandingkan kedua modulasi yang lain. Akan tetapi BPSK memiliki kapasitas terbatas, sehingga lebih tidak menghemat *bandwidth* bila dibandingkan kedua modulasi yang lain. Penggunaan BPSK pada transmisi WiMAX dapat mentoleransi SNR pada kanal lebih dari 2dB.

2. Hasil BER untuk Simulasi WiMAX dengan *Code Rate* 3/4

Tabel.7 Perbandingan *Bit Error Rate* dengan menggunakan *code rate* 3/4 dan *guard interval* 1/8

SNR	<i>Bit Error Rate</i>		
	QPSK	16-QAM	64-QAM
1	0.4797	0.4989	0.5008
2	0.4722	0.4969	0.5004
3	0.4121	0.4955	0.5
5	0.1944	0.4940	0.4993
7	0.0328	0.4808	0.4980
9	0.0039	0.4088	0.4972
10	0	0.3334	0.4952
12	0	0.1018	0.4887
15	0	0.0029	0.3926
17	0	0.0002	0.2043
20	0	0	0.0167
22	0	0	0.0003



Gambar 13. Perbandingan *Bit Error Rate* dengan menggunakan *code rate 3/4* dan *guard interval 1/8*

Dari data yang diperoleh dari simulasi pengiriman data pada jaringan WiMAX menggunakan 3 jenis modulasi yang berbeda dengan *code rate* sebesar $3/4$, dapat diketahui bahwa nilai *Bit Error Rate* yang dihasilkan saat SNR bernilai 1 sampai 9 dB dengan menggunakan modulasi QPSK tidak layak untuk diterapkan dalam sistem komunikasi. Hal ini disebabkan nilai *Bit Error Rate* yang dihasilkan melebihi batas yang diperbolehkan yaitu 10^{-3} . Dari ketiga jenis modulasi yang diterapkan, nilai *Bit Error Rate* yang diperoleh dengan menggunakan 16-QAM adalah yang paling rendah. *Bit Error Rate* yang dihasilkan 64-QAM menjadi lebih tinggi dibandingkan kedua modulasi yang lain saat SNR kanal kurang dari 20dB. Modulasi 16-QAM dapat digunakan untuk mempertahankan *throughput* saat SNR bernilai rendah. Sedangkan modulasi 64-QAM dapat digunakan jika SNR bernilai lebih dari 22dB, penerapan modulasi ini mampu menggandakan kapasitas data dua kali modulasi 16-QAM.

Dari data yang diperoleh, juga terlihat bahwa saat nilai SNR bernilai 1 sampai dengan 2 dB dan digunakan modulasi 16-QAM dengan *code rate* $1/2$, nilai *Bit Error Rate* yang dihasilkan lebih besar dibandingkan dengan nilai *Bit Error Rate* yang dihasilkan saat menggunakan modulasi 16-QAM dengan *code rate* $3/4$. Akan tetapi sebaliknya ketika nilai SNR saluran bernilai di atas 2 dB nilai *Bit Error Rate* yang dihasilkan lebih besar saat menggunakan modulasi 16-QAM dengan *code rate* $3/4$ dibandingkan dengan *code rate* $1/2$. Hal ini membuktikan bahwa untuk menghadapi *air interface* yang buruk, sebaiknya diterapkan teknik modulasi yang lebih tahan gangguan dengan *coding rate* yang lebih tinggi sehingga *transfer rate*

menjadi lebih rendah. Sebaliknya untuk kondisi *air interface* yang baik, digunakan teknik modulasi yang mengandung informasi lebih banyak dengan *coding rate* yang lebih rendah sehingga *transfer rate* lebih cepat.

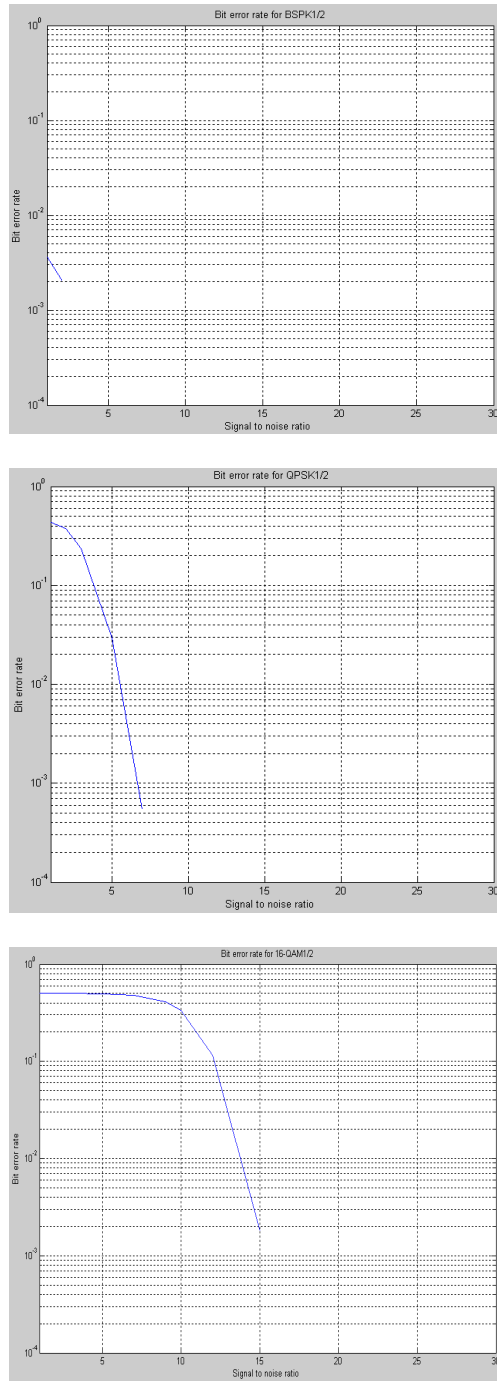
Dari perbandingan *Bit Error Rate* yang dihasilkan dengan menggunakan beberapa macam jenis modulasi dan *code rate*, dapat dilihat bahwa modulasi BPSK merupakan modulasi yang paling tahan terhadap gangguan kanal transmisi. Ini ditunjukkan dari nilai *Bit Error Rate* yang dihasilkan saat nilai SNR 2dB bernilai kurang dari 10^{-3} . Sedangkan modulasi 64-QAM adalah yang paling rentan terhadap gangguan kanal transmisi karena untuk mencapai *Bit Error Rate* yang kurang dari 10^{-3} , nilai SNR yang diperlukan lebih besar dibandingkan dengan yang dibutuhkan oleh modulasi lain.

C. Simulasi dengan Menggunakan *Guard Interval* 1/16

1. Hasil BER untuk Simulasi WiMAX dengan *Code Rate* 1/2

Tabel. 8 Perbandingan *Bit Error Rate* dengan menggunakan *code rate* 1/2 dan *guard interval* 1/16

SNR	<i>Bit Error Rate</i>		
	BPSK	QPSK	16-QAM
1	0.0036	0.4323	0.5054
2	0.0020	0.3737	0.5006
3	0	0.2361	0.4994
5	0	0.0294	0.4956
7	0	0.0005	0.4784
9	0	0	0.4099
10	0	0	0.3323
12	0	0	0.1157
15	0	0	0.0018



Gambar 14. Perbandingan *Bit Error Rate* dengan menggunakan *code rate* 1/2 dan *guard interval* 1/16

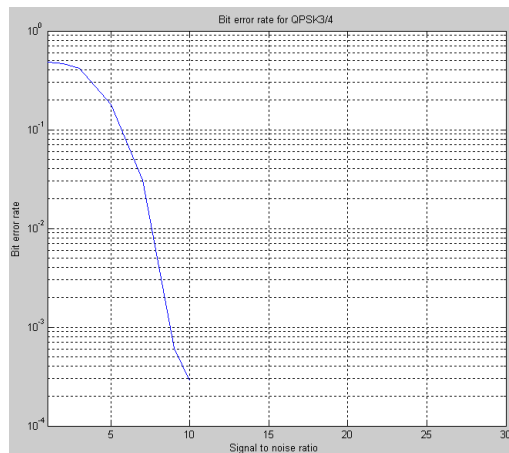
Grafik di atas (gambar 14) adalah perbandingan *Bit Error Rate* hasil simulasi pentransmisi data pada jaringan WiMAX dengan menggunakan tiga (3) jenis modulasi yang berbeda, yaitu BPSK, QPSK dan 16-QAM. Pada simulasi ini digunakan *code rate* 1/2 dan *guard interval* sebesar 1/16. Dari grafik *Bit Error Rate* dengan menggunakan modulasi BPSK tersebut dapat dilihat perbedaan nilai *Bit Error Rate* pada setiap nilai SNR saluran, yaitu 0.0036 pada saat SNR bernilai 1dB dan 0.0020 saat SNR bernilai 2dB. Ini sesuai teori bahwa nilai *Bit Error Rate* akan semakin kecil seiring dengan bertambah besarnya SNR. Pada grafik modulasi QPSK menunjukkan hal yang sama seperti ketika menggunakan modulasi BPSK yaitu seiring bertambahnya SNR maka nilai *Bit Error Rate* yang dihasilkan akan semakin kecil, dan pada modulasi QPSK ini diperoleh nilai *Bit Error Rate* yang paling kecil dibandingkan dengan kedua jenis modulasi yang lain, yaitu sebesar 0.0005. Nilai ini memenuhi standar dalam jaringan komunikasi yaitu kurang dari 10^{-3} . Sehingga modulasi ini baik digunakan pada saat nilai SNR bernilai 7dB. Sedangkan untuk nilai SNR kurang dari nilai tersebut sebaiknya tidak digunakan modulasi QPSK dengan *code rate* 1/2 dan *guard interval* 1/16. Pada grafik *Bit Error Rate* 16-QAM terlihat secara keseluruhan nilai *Bit Error Rate* yang dihasilkan semakin menurun seiring bertambahnya nilai SNR saluran. Pada saat nilai SNR saluran bernilai 1dB sampai dengan 12dB, nilai *Bit Error Rate* yang dihasilkan dengan menggunakan modulasi 16-QAM lebih besar dibandingkan dengan menggunakan tiga jenis modulasi yang lain. Ini

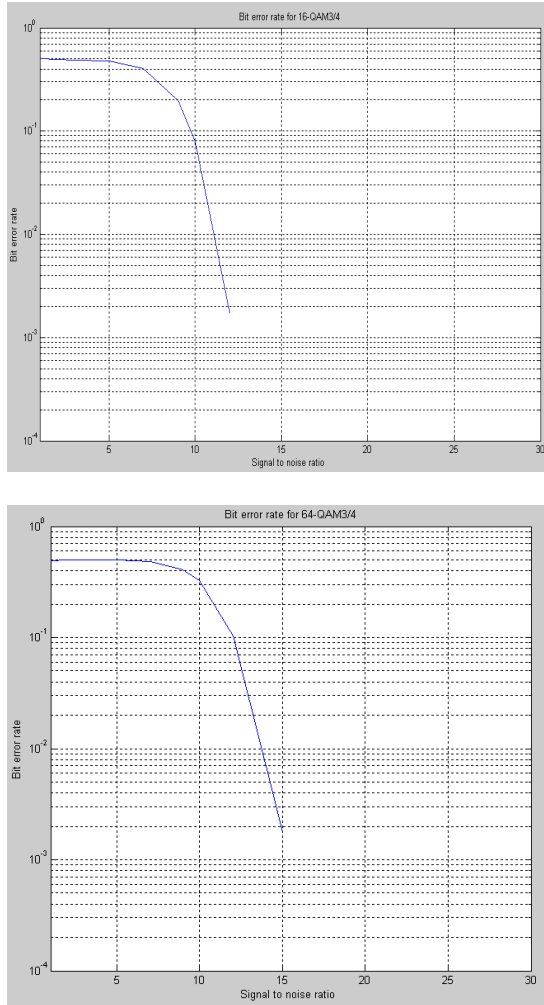
menunjukkan bahwa penggunaan 16-QAM tidak efektif jika digunakan pada saat nilai SNR bernilai di bawah 12dB.

2. Hasil BER untuk Simulasi WiMAX dengan *Code Rate* 3/4

Tabel. 9 Perbandingan *Bit Error Rate* dengan menggunakan *code rate* 3/4 dan *guard interval* 1/16

SNR	<i>Bit Error Rate</i>		
	QPSK	16-QAM	64-QAM
1	0.4835	0.4996	0.4992
2	0.4651	0.4923	0.4989
3	0.4144	0.490	0.4976
5	0.1808	0.4806	0.4940
7	0.0310	0.4059	0.4817
9	0.0006	0.1975	0.4047
10	0.0003	0.0806	0.3271
12	0	0.0017	0.1042
15	0	0	0.0018





Gambar 15. Perbandingan *Bit Error Rate* dengan menggunakan *code rate* $3/4$ dan *guard interval* $1/16$

Gambar 15 adalah perbandingan nilai *Bit Error Rate* hasil dari simulasi pengiriman data pada jaringan WiMAX dengan menggunakan tiga (3) modulasi yang berbeda dengan *code rate* $3/4$ serta *guard interval* sebesar $1/16$. Dari perbandingan grafik *Bit Error Rate* tersebut terlihat perbedaan antara ketiga jenis modulasi tersebut. Secara logika nilai *Bit Error Rate* yang dihasilkan akan lebih kecil pada saat SNR semakin besar. Dari grafik *Bit Error Rate* modulasi QPSK terlihat seperti pernyataan sebelumnya,

grafik *Bit Error Rate* yang dihasilkan pada modulasi QPSK akan semakin kecil seiring bertambahnya nilai dari SNR saluran. Pada saat nilai SNR saluran bernilai 1dB sampai dengan 7dB didapat nilai *Bit Error Rate* 0.4835 sampai dengan 0.0310 atau lebih dari 10^{-3} . Ini berarti sebaiknya modulasi QPSK tidak digunakan untuk nilai SNR saluran di bawah 7dB. Sedangkan untuk nilai SNR saluran di atas 7dB nilai *Bit Error Rate* yang dihasilkan kurang dari 10^{-3} , sehingga baik untuk sistem komunikasi. Pada grafik *Bit Error Rate* yang dihasilkan dengan menggunakan modulasi 16-QAM terlihat secara keseluruhan bahwa nilai *Bit Error Rate* yang dihasilkan akan semakin kecil seiring bertambahnya nilai SNR saluran. Hal ini sesuai dengan teori *Bit Error Rate* yaitu semakin tinggi nilai SNR maka akan semakin kecil nilai *Bit Error Rate* yang dihasilkan. Tidak seperti pada saat penggunaan modulasi QPSK, nilai *Bit Error Rate* yang diperoleh pada saat penggunaan modulasi 16-QAM menghasilkan *Bit Error Rate* yang bernilai lebih dari 10^{-3} . Ini berarti modulasi ini tidak baik digunakan saat nilai SNR berada pada kisaran nilai 1 sampai dengan 12dB. Pada grafik *Bit Error Rate* yang diperoleh dengan menggunakan modulasi 64-QAM terlihat nilai *Bit Error Rate* yang dihasilkan tidak jauh berbeda dengan modulasi 16-QAM, yaitu nilai *Bit Error Rate* yang dihasilkan akan semakin kecil seiring dengan bertambahnya nilai SNR saluran. Seperti halnya juga pada saat menggunakan modulasi 16-QAM, ketika modulasi 64-QAM diterapkan saat nilai SNR berada antara 1dB sampai dengan 15dB nilai *Bit Error Rate* yang dihasilkan berada di atas 10^{-3} . Ini berarti penggunaan modulasi 16-QAM dan 64-QAM memerlukan

SNR yang lebih besar dari 15dB. Ini dikarenakan modulasi 16-QAM dan 64-QAM memerlukan kondisi saluran yang lebih baik untuk dapat secara efektif memetakan dan mengembalikan bentuk simbol terima yang berupa sinyal kompleks menjadi bit data terima yang memang lebih kompleks dibandingkan dengan penggunaan modulasi QPSK.

Pada data yang diperoleh dari simulasi pentransmisian data pada jaringan WiMAX terlihat bahwa nilai *Bit Error Rate* yang dihasilkan pada saat penggunaan modulasi 16-QAM, dengan *code rate* 1/2 menghasilkan nilai *Bit Error Rate* yang lebih kecil dibandingkan dengan penggunaan nilai *Bit Error Rate* yang dihasilkan dengan menggunakan *code rate* 3/4 ketika SNR bernilai di atas 12dB. Ini berarti pada saat digunakan *guard interval* 1/16 dan SNR saluran tinggi, modulasi QPSK serta 16-QAM sebaiknya menggunakan *code rate* yang lebih rendah untuk mendapatkan nilai *Bit Error Rate* yang lebih baik.

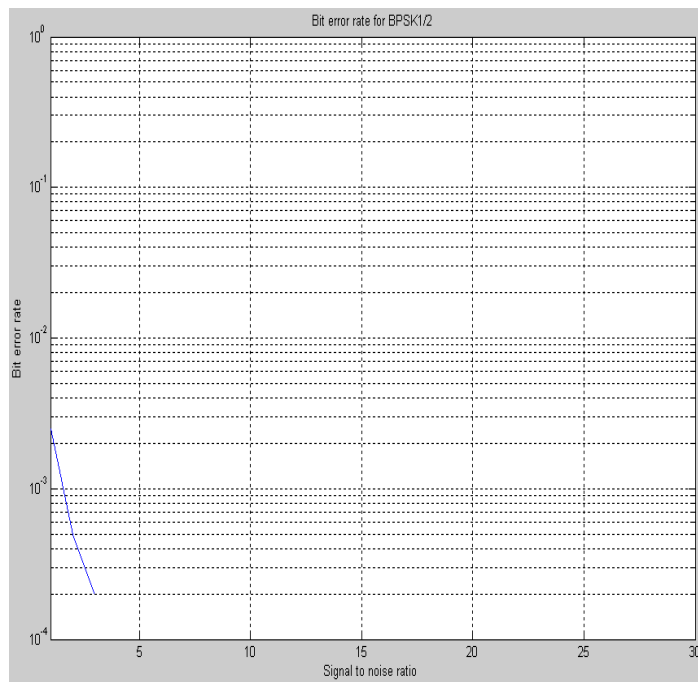
Dari perbandingan *Bit Error Rate* yang dihasilkan dengan menggunakan beberapa macam jenis modulasi dan *code rate*, dapat dilihat bahwa modulasi BPSK paling tahan terhadap gangguan kanal transmisi. Ini ditunjukkan dari besarnya *Bit Error Rate* yang dihasilkan lebih rendah dibandingkan dengan *Bit Error Rate* yang dihasilkan oleh modulasi lain saat SNR buruk. Sedangkan modulasi 64-QAM adalah yang paling rentan terhadap gangguan kanal transmisi karena nilai SNR yang diperlukan untuk mencapai *Bit Error Rate* yang kurang dari 10^{-3} , lebih besar dibandingkan dengan yang dibutuhkan oleh modulasi lain.

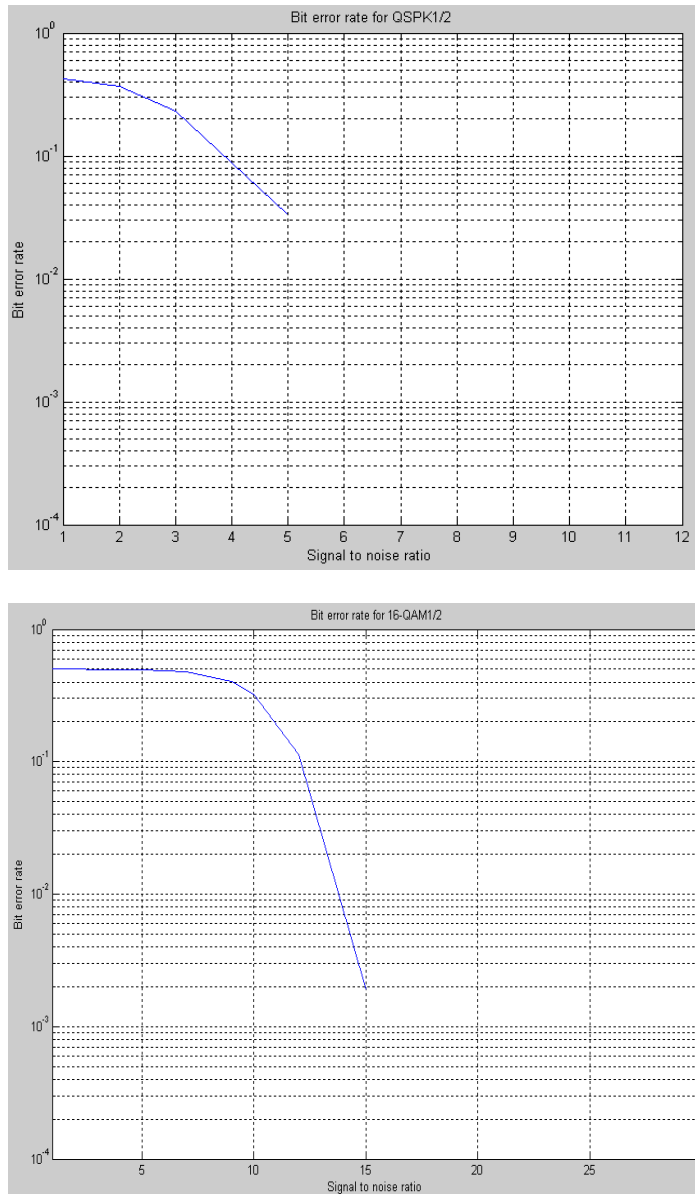
D. Simulasi dengan Menggunakan *Guard Interval 1/32*

1. Hasil BER untuk Simulasi WiMAX dengan *Code Rate 1/2*

Tabel. 10 Perbandingan *Bit Error Rate* dengan menggunakan *code rate 1/2* dan *guard interval 1/32*

SNR	<i>Bit Error Rate</i>		
	BPSK	QPSK	16-QAM
1	0.0037	0.4255	0.5016
2	0.0003	0.3676	0.5011
3	0.0002	0.2324	0.4988
5	0	0.0330	0.4967
7	0	0	0.4817
9	0	0	0.4046
10	0	0	0.3218
12	0	0	0.1122
15	0	0	0.0019





Gambar 16. Perbandingan *Bit Error Rate* dengan menggunakan *code rate* $1/2$ dan *guard interval* $1/32$

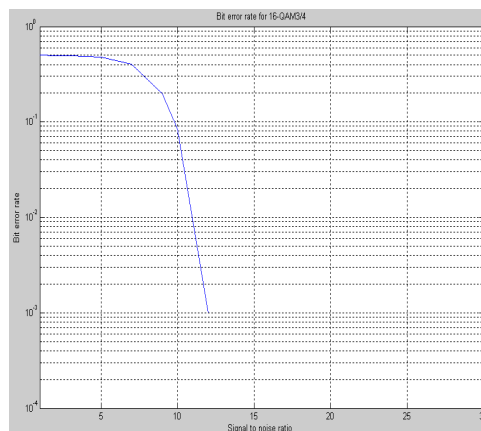
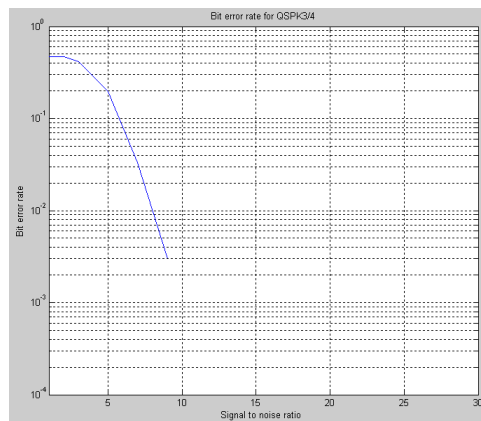
Gambar 16 adalah perbandingan *Bit Error Rate* hasil simulasi pentransmision data menggunakan tiga (3) jenis modulasi yang berbeda, yaitu BPSK, QPSK dan 16-QAM. Pada grafik *Bit Error Rate* dengan menggunakan modulasi BPSK, terlihat bahwa *Bit Error Rate* yang

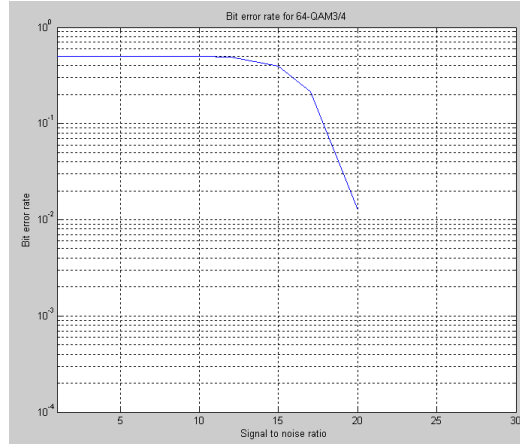
dihasilkan mengalami penurunan nilai dari 0.0037 pada saat SNR bernilai 1 dB dan menjadi 0.0002 saat nilai SNR 3 dB. Pada grafik *Bit Error Rate* yang dihasilkan dengan menggunakan modulasi QPSK terlihat bahwa nilai *Bit Error Rate* yang dihasilkan akan semakin menurun seiring dengan bertambahnya nilai SNR saluran. Hal ini sesuai dengan teori yang ada bahwa nilai *Bit Error Rate* yang dihasilkan akan semakin menurun jika nilai SNR dari saluran semakin besar. Dan terlihat dari grafik bahwa nilai *Bit Error Rate* yang dihasilkan ketika menggunakan modulasi QPSK saat nilai SNR saluran 1dB sampai dengan 5dB bernilai lebih dari 10^{-3} . Hal ini menunjukkan bahwa modulasi QPSK dengan *code rate* 1/2 dan *guard interval* 1/32 tidak cocok digunakan saat SNR saluran bernilai kurang dari 5dB. Pada grafik *Bit Error Rate* dengan menggunakan modulasi 16-QAM terlihat bahwa nilai *Bit Error Rate* yang dihasilkan akan semakin menurun seiring dengan bertambahnya nilai SNR saluran. Nilai *Bit Error Rate* yang dihasilkan saat nilai SNR bernilai 1dB sampai dengan 15dB juga bernilai di atas 10^{-3} sehingga tidak layak untuk digunakan dalam sistem komunikasi. Jadi saat SNR rendah sebaiknya menggunakan modulasi yang lebih sederhana atau pada saat ini yaitu modulasi BPSK untuk mempertahankan *throughput* jaringan, akan tetapi saat SNR mendukung untuk digunakannya modulasi yang lebih tinggi sebaiknya menggunakan modulasi yang lebih tinggi agar *transfer rate* lebih cepat dan *bandwidth* lebih efisien.

2. Hasil BER untuk Simulasi WiMAX dengan Code Rate 3/4

Tabel. 11 Perbandingan *Bit Error Rate* dengan menggunakan *code rate 3/4* dan *guard interval 1/32*

SNR	<i>Bit Error Rate</i>		
	QPSK	16-QAM	64-QAM
1	0.4739	0.4990	0.5032
2	0.4670	0.4983	0.5010
3	0.4149	0.4964	0.5005
5	0.1974	0.4748	0.4995
7	0.0329	0.4061	0.4990
9	0.0030	0.1972	0.4989
10	0	0.0845	0.4987
12	0	0.0010	0.4880
15	0	0	0.3925
17	0	0	0.2123
20	0	0	0.0126





Gambar 17. Perbandingan *Bit Error Rate* dengan menggunakan *code rate* $3/4$ dan *guard interval* $1/32$

Gambar 17 adalah perbandingan *Bit Error Rate* yang dihasilkan dari simulasi pentransmisian data pada jaringan WiMAX menggunakan tiga (3) macam modulasi yang berbeda dengan *code rate* sebesar $3/4$ serta *guard interval* sebesar $1/32$. Pada grafik *Bit Error Rate* dengan menggunakan modulasi QPSK saat nilai SNR saluran 1-9dB, nilai *Bit Error Rate* yang dihasilkan lebih kecil jika dibandingkan dengan kedua jenis modulasi yang lain. Ini berarti modulasi QPSK lebih baik digunakan saat SNR saluran buruk.

Pada saat SNR buruk maka diperlukan modulasi yang lebih rendah agar *throughput* terjaga, hal ini dikarenakan saat SNR buruk maka laju data akan berkurang sehingga modulasi yang rendah akan lebih memudahkan sistem dalam memecahkan persandian dari modulasi tersebut.

Pada grafik modulasi 16-QAM secara umum nilai *Bit Error Rate* yang dihasilkan mengalami penurunan seiring bertambahnya nilai SNR dari saluran. Pada grafik 64-QAM terlihat bahwa *Bit Error Rate* yang

dihasilkan cenderung menurun saat nilai SNR saluran semakin besar. Seperti kedua jenis modulasi yang lainnya, pada modulasi 64-QAM ini tidak dapat menghasilkan nilai *Bit Error Rate* yang diharapkan untuk mendapatkan kualitas transmisi yang baik yaitu di bawah 10^{-3} . Ini sesuai dengan teori bahwa semakin tinggi tingkat modulasi yang digunakan maka SNR yang dibutuhkan semakin besar untuk menjaga *throughput* dari jaringan. Dari data yang diperoleh dari simulasi terlihat bahwa nilai *Bit Error Rate* yang dihasilkan pada saat SNR bernilai 1-12 dB dan menggunakan modulasi 16-QAM dengan *code rate* 1/2, nilai *Bit Error Rate* yang dihasilkan lebih besar dibandingkan dengan nilai *Bit Error Rate* yang dihasilkan pada saat menggunakan modulasi 16-QAM dengan *code rate* 3/4. Sedangkan ketika SNR bernilai di atas 12 dB nilai *Bit Error Rate* yang dihasilkan saat menggunakan modulasi 16-QAM dengan *code rate* 1/2 bernilai lebih kecil dibandingkan dengan menggunakan *code rate* 3/4. Hal ini juga membuktikan teori bahwa untuk menghadapi *air interface* yang buruk, sebaiknya diterapkan teknik modulasi yang lebih tahan gangguan dan *coding rate* yang lebih tinggi sehingga *transfer rate* lebih rendah. Sebaliknya untuk kondisi *air interface* yang baik, digunakan teknik modulasi yang mengandung informasi lebih banyak dan *coding rate* yang lebih rendah sehingga *transfer rate* lebih cepat. Dari perbandingan *Bit Error Rate* yang dihasilkan dengan menggunakan beberapa macam jenis modulasi dan *code rate*, dapat dilihat bahwa modulasi BPSK paling tahan terhadap gangguan kanal transmisi. Ini ditunjukkan dari besarnya *Bit Error Rate* yang dihasilkan modulasi BPSK saat SNR buruk lebih rendah

dibandingkan dengan *Bit Error Rate* yang dihasilkan oleh modulasi lain. Sedangkan modulasi 64-QAM adalah yang paling rentan terhadap gangguan kanal transmisi karena nilai SNR yang diperlukan untuk mencapai *Bit Error Rate* yang kurang dari 10^{-3} , lebih besar dibandingkan dengan yang dibutuhkan oleh modulasi lain.