

KINERJA SISTEM *CHAOTIC DIGITAL CDMA* DENGAN MODULASI *QUADRATURE CHAOTIC SHIFT KEYING*

Asep Permadi¹, Hadi Suwastio², Suyatno³
^{1,2}Jurusan Teknik Elektro STT Telkom Bandung
²hso@stttelkom.ac.id

Abstrak

Salah satu definisi *chaos* adalah “sebuah keteraturan tanpa periodisitas”[10]. Salah satu sifat dari *chaos* adalah *unpredictable* atau tidak dapat di prediksi. Salah satu dari aplikasi *chaos* ini adalah digunakannya sinyal *chaos* pada teknik *spreading code* pada *CDMA*. Dengan teknik ini diharapkan tingkat keamanan dari sinyal informasi yang di tebar menjadi lebih tinggi. Teknik *spreading code* dengan menggunakan *chaos* ini sering disebut $(CD)^2MA$ atau *Chaotic Digital Code Divission Multiple Access*. Penelitian yang sudah dilakukan adalah teknik $(CD)^2MA$ dan dimodulasikan dengan menggunakan teknik modulasi *VMSK* (*Very Minimum Phase Shift-Keying*) yang mempunyai efisiensi *bandwidth* cukup efektif, namun proses demodulasinya sangat sulit sebab harus menggunakan filter kristal dengan *delay group* yang besar. Penelitian ini akan mencoba menggabungkan sistem $(CD)^2MA$ dan memodulasikannya dengan *QCSK* (*Quadrature Chaotic Shift Keying*). Dasar pemikiran *QCSK* adalah modulasi *QPSK* yang mempunyai performansi hampir sama dengan *BPSK* tetapi mempunyai efisiensi *BW* yang lebih baik. *QCSK* mempunyai efisiensi *Bandwidth* yang lebih baik yaitu setengah dari sistem *DCSK*. Hal ini diharapkan dapat mengimbangi sistem $(CD)^2MA$ yang menghasilkan lebar *bandwidth* yang cukup lebar. Hasil yang diharapkan adalah performansi dan efisiensi *bandwidth* sistem lebih baik atau sama dengan performansi yang dihasilkan dari sistem $(CD)^2MA$ yang dimodulasikan dengan modulasi *VMSK*.

Kata kunci: *Chaos*, $(CD)^2MA$, *QCSK*, *VMSK*, *MAI*, *Processing Gain*

Abstract

Chaos can be defined as “regularity without periodicity” [10]. One of *chaos* properties is *unpredictable*. One of *chaos* applications is the usage of *chaos* as a *spreading code* in *CDMA*. Using this technique, the security of the information-spread signal is higher. The system using *chaos* *spreading code* is called $(CD)^2MA$ or *Chaotic Digital Code Divission Multiple Access*. The research of $(CD)^2MA$ that has been done, uses *VMSK* (*Very Minimum Phase Shift-Keying*) modulation. This modulation has high *bandwidth* efficiency but the demodulation is difficult because it has to use a chrystall filter with large group delay. In this research, the combination of of $(CD)^2MA$ and *QCSK* (*Quadrature Chaotic Shift-Keying*) modulation is performed. The basic idea of *QCSK* is the performance of *QPSK* is almost the same with *BPSK* but with a better *bandwidth* efficiency. The *QCSK* has higher *bandwidth* efficiency (50%) compared with *DCSK*. This is to compensate the $(CD)^2MA$ which produces a large *bandwidth* signal. The expected result is the performance and the *bandwidth* efficiency are better or the same as the combination of $(CD)^2MA$ and *VMSK* modulation.

Keywords: *Chaos*, $(CD)^2MA$, *QCSK*, *VMSK*, *MAI*, *Processing Gain*

1. Pendahuluan

Pada sistem komunikasi *spread spectrum*, pengirim melakukan penebaran sinyal informasi dengan menggunakan sinyal penebar berupa deretan kode acak dengan laju bit lebih besar dari laju bit sinyal data itu sendiri. Deretan kode acak tersebut, selain digunakan sebagai penebar, juga berfungsi sebagai alat untuk membedakan sinyal-sinyal datang dari masing-masing pengguna yang ditransmisikan dalam waktu dan frekuensi sama.

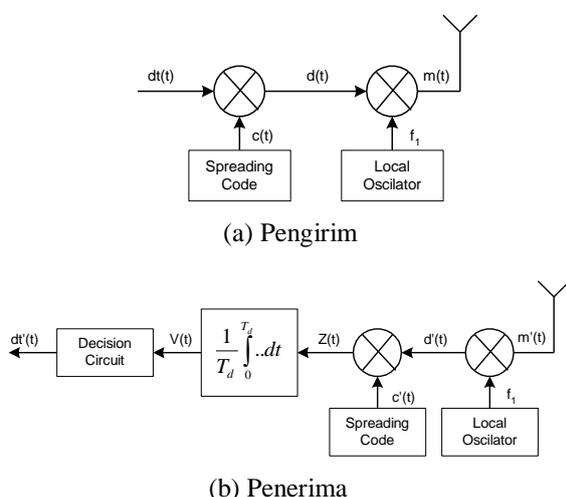
Sistem *Chaotic Digital Code Divission Multiple Access* atau $(CD)^2MA$ adalah sistem *DS-CDMA* (*Direct Sequence CDMA*) dengan sinyal *Chaos* sebagai *spreader*[1]. Sinyal *chaos* bersifat *unpredictable*, sehingga diharapkan memberikan

keamanan pada transmisi sinyal dan diharapkan juga dapat mengeliminasi efek *multiuser interference* dalam sistem komunikasi *multiuser*[1].

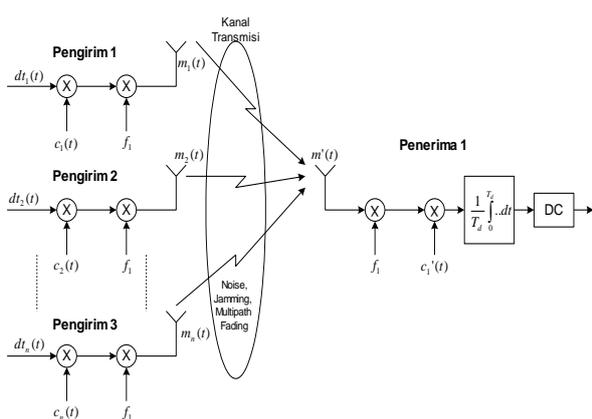
Sinyal *chaos* yang digunakan sebagai sinyal *carrier* pada sistem modulasi sudah banyak dikembangkan, seperti: *Chaotic Masking*[9], *Predictive Poincare Control*[9], *CSK* (*Chaos Shift keying*)[7], dan *DCSK* (*Diferential Chaos Shift Keying*)[8]. Penelitian ini mengembangkan model sistem modulasi *QCSK* (*Quadrature Chaos Shift Keying*)[3]. Modulasi *QCSK* didasari oleh modulasi *QPSK* yang mengkodekan 2 bit informasi pada 1 simbol. Karena *bandwidth* sistem dapat ditekan sampai setengahnya, maka sistem $(CD)^2MA$ diharapkan merupakan sistem *spread spectrum* yang mempunyai *bandwith* cukup efisien.

2. Konsep Dasar CDMA, Modulasi Quadrature, dan Fenomena Chaos

Sistem komunikasi *spread spectrum* secara umum dibagi dua yakni DS-SS (*Direct Sequence Spread Spectrum*) dan FH-SS (*Frequency Hopping Spread Spectrum*). Pada sistem DS-SS sinyal informasi ditebar menjadi sinyal yang memiliki spektrum frekuensi yang jauh lebih lebar dibanding spektrum sinyal aslinya dengan sebuah kode bit penyebar yang tidak tergantung pada sinyal informasi. Sedangkan pada FH-SS, pada saat pengiriman sinyal informasi, sinyal informasi tersebut akan dilompat-lompatkan pada beberapa frekuensi pada range tertentu di mana range tersebut jauh lebih lebar dari pada spektrum frekuensi sinyal informasi aslinya, dan pola lompatan dari sinyal informasi ini akan didasarkan pada sebuah kode penyebar *random* yang tidak tergantung pada sinyal informasi.



Gambar 1. Diagram Blok Sistem DS-SS



Gambar 2. Diagram Blok Pemodelan Sistem CDMA

2.1 Sistem DS-SS dan CDMA

Pemodelan sistem DS-SS (*Direct-Sequence Spread-Spectrum*) dijelaskan dalam blok diagram pengirim dan penerima seperti pada Gambar 1. Pada sisi pengirim, sinyal data $d(t)$ dengan *bit rate* R_d akan di *spread* ke dalam lebar frekuensi yang jauh

lebih lebar dari sinyal aslinya dengan menggunakan sebuah kode penyebar acak dengan *chip rate* R_c , dimana $R_c \gg R_d$. Sinyal yang diterima di *receiver* adalah sinyal termodulasi yang telah teredam oleh kanal sebesar α dan juga telah mengalami *delay* selama τ , maka sinyal yang diterima oleh *receiver* dapat dimodelkan sebagai:

$$m'(t) = \alpha \cdot d(t - \tau) \cdot c'(t - \tau) \cdot \cos(2\pi \cdot f_1(t - \tau)) \quad (1)$$

Konsep sistem DS-CDMA yang merupakan pengembangan dari sistem DS-SS diperlihatkan dalam diagram blok pada Gambar 2.

2.2 Modulasi Quadrature

QCSK merupakan jenis modulasi digital yang mengeksploitasi sinyal *chaos* sebagai basis sinyal pemodulasinya. Modulasi QCSK adalah modulasi *quadrature* dimana bit informasi akan dikirimkan per simbol dan setiap simbol terdiri dari 2 (dua) bit informasi. Modulasi QCSK adalah pengembangan dari skema modulasi DCSK (*Differential Chaos Shift Keying*). Pada modulasi DCSK satu simbol terdiri dari satu bit informasi. Tujuan awal digunakannya teknik *quadrature* pada modulasi berbasis sinyal *chaos* adalah untuk meningkatkan data rate transmisi. Dengan dikirimkannya 2 (dua) bit informasi sekaligus berarti data rate akan naik dua kalinya.

Jika modulasi QCSK ini dipandang sebagai teknik modulasi sinyal sinusoidal, maka QCSK dapat disepadankan dengan modulasi QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*), sedangkan DCSK dapat disepadankan dengan modulasi BPSK (*Binary Phase Shift Keying*). Sistem QPSK dan BPSK memiliki kinerja BER (*Bit Error Rate*) yang sama, namun QPSK memiliki *data rate* dua kali lebih cepat dari pada BPSK.

2.3 Fenomena Chaos

Menurut Shilnikov, *chaos* adalah perilaku dinamis yang mempunyai suatu himpunan yang unik dan invarian. Sedangkan menurut Chirtopher Silva, *chaos* adalah suatu sistem dinamis yang mempunyai perilaku terbatas yang menghasilkan beberapa ciri dasar, tiga di antaranya adalah:

1. Spektrum daya yang kontinu pada suatu pita frekwensi tertentu. Ciri ini menunjukkan sinyal yang nonperiodik dan sekaligus menjadikan *chaos* sering dianalogikan dengan sinyal *noise*.
2. Mempunyai kepekaan yang tinggi terhadap kondisi awal.
3. Ergodik pada suatu *sample space* terbatas

2.4 Pemodelan Kanal

Penjalaran sinyal dari pengirim menuju penerima dalam sistem komunikasi *wireless*, akan mengalami berbagai pantulan, redaman, penguatan, difraksi dan lain-lain. Sehingga penerima akan menerima sinyal hasil penjumlahan dari berbagai

lintasan yang telah mengalami peredaman, penguatan, difraksi dan lain-lain, sehingga sinyal terima tersebut telah mengalami variasi amplituda dan fasa yang acak sepanjang perioda waktu yang cukup singkat, sehingga sinyal yang diterima adalah sinyal yang telah mengalami distorsi akibat efek kanal atau biasa disebut *small-scale fading*. Faktor yang mempengaruhi terjadinya *small-scale fading* di antaranya: *multipath propagation*, kecepatan penerima, kecepatan objek, dan *bandwidth* sinyal yang dikirim. Yang banyak digunakan untuk mensimulasikan model kanal dalam sistem komunikasi *wireless* adalah model kanal yang terganggu oleh *multipath fading* yang terdistribusi *Rayleigh* dan oleh *noise*.

Sinyal yang diterima di *receiver* adalah sinyal yang telah mengalami distorsi akibat efek kanal atau *small-scale fading*.

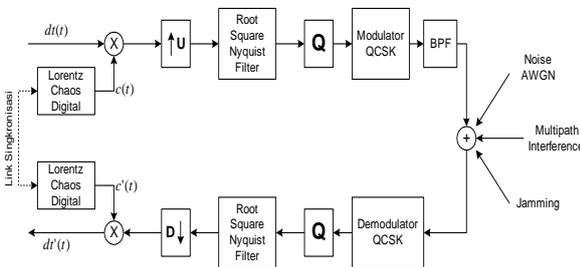
Noise terdistribusi *Gaussian*, atau sering disebut dengan *Additive White Gaussian Noise* (AWGN), memiliki karakteristik statistik sesuai *Probability Density Function* (PDF) *Gaussian* yang dapat dituliskan sebagai berikut:

$$p(n) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{n}{\sigma}\right)^2\right] \quad (2)$$

dengan σ^2 adalah varians dari n . *Probability Density Function* (PDF) *noise Gaussian* yang ternormalisasi (*normalized or standardized Gaussian density function*) dengan proses *zero-mean* dapat dicari dengan mengasumsikan $\sigma = 1$.

3. Model Sistem (CD)2MA dan Modulasi QCSK

Sistem (CD)²MA (*Chaotic Digital Code Division Multiple Access*) merupakan sistem komunikasi spektral tersebar (*spread spectrum*) yang mengeksploitasi sinyal *chaos* sebagai basis pembangkitan kode penebar acaknya. Skema sistem (CD)²MA hampir sama dengan sistem komunikasi spektral tersebar DS-CDMA dengan *pseudo-random generator* (PRG) berupa suatu generator *chaos* digital, sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram Blok Sistem (CD)²MA

3.1 Modulasi Berbasis Sinyal Chaos

Salah satu skema yang mempunyai keandalan dalam sistem transmisi misalnya adalah DCSK (*Differential Chaos Shift Keying*) yang mempunyai

performansi BER (*Bit Error Rate*) cukup baik. Skema ini digunakan untuk memodulasi sinyal digital, dimana skema tersebut memberikan performansi yang lebih baik dari skema modulasi konvensional yang menggunakan sinyal sinusoidal sebagai pembawanya.

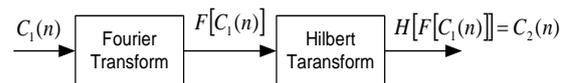
3.2 Sinyal Chaos yang saling Orthogonal

Hal yang terpenting dari skema modulasi QCSK adalah cara mendapatkan sinyal *chaos* lain yang saling orthogonal jika diberikan suatu sinyal *chaos* pada interval tertentu. Misalnya dua buah sinyal *chaos* $C_1(t)$ dan $C_2(t)$, keduanya dapat digunakan untuk memodulasi data informasi jika antar-kedua sinyal tersebut memiliki karakteristik saling orthogonal, yaitu dalam selang interval tertentu $[0, \tau]$ dapat memenuhi syarat:

$$\int_0^{\tau} C_1(t)C_2(t) \approx 0 \quad (3)$$

3.3 Hilbert Transform Waktu Diskrit

Secara umum *Hilbert transform* menghasilkan pergeseran fasa dari sinyal masukan sejauh $\pi/2$ untuk setiap komponen frekuensinya. Pada penelitian ini akan dilakukan *Hilbert transform* dari sinyal dalam kawasan frekuensi, oleh karena itu sebelum sebuah sinyal dilewatkan pada blok *Hilbert transform*, maka sinyal tersebut dilewatkan dulu pada blok FFT (*Fast Fourier Transform*). *Hilbert transform* yang digunakan dalam penelitian ini ditujukan untuk menghasilkan sinyal yang saling orthogonal, seperti diperlihatkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram Blok Hilbert Transform

Persamaan *Hilbert transform* waktu diskrit dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$h(n) = \frac{2}{N} \sum_{k=1}^{\frac{N-1}{2}} \sin\left(\frac{2\pi}{N} kn\right) \quad (4)$$

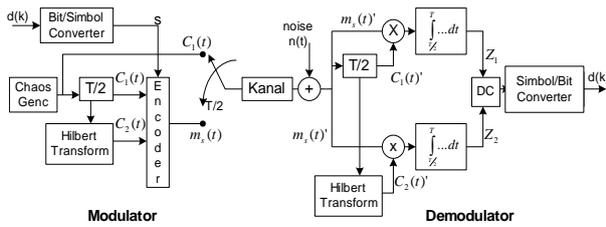
untuk $N =$ jumlah sample diskrit genap, atau:

$$h(n) = \frac{2}{N} \sum_{k=1}^{\frac{N-1}{2}} \sin\left(\frac{2\pi}{N} kn\right) \quad (5)$$

untuk $N =$ jumlah sample diskrit ganjil.

3.4 Quadrature Chaos Shift Keying (QCSK)

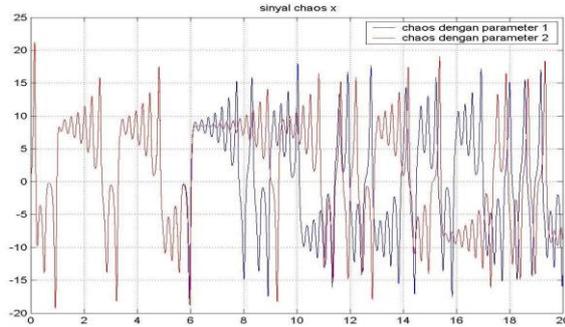
Modulasi QCSK (*Quadrature Chaos Shift Keying*) yang mengeksploitasi sinyal *chaos* sebagai basis modulasinya dijelaskan dengan diagram blok pada Gambar 5.



Gambar.5. Diagram blok sistem modulasi QCSK

4. Analisis Sistem (CD)²MA dan Modulasi QCSK

Pada Gambar 6 diperlihatkan lintasan sinyal *chaos*, dengan *attractor* dan proyeksi setiap *state* terhadap *state* lainnya berasal dari dua nilai kondisi awal yang dibedakan sebesar 0.00001%.



Gambar 6. Sinyal *Chaos* Lorenz untuk State Variable “x”

Parameter yang diberikan untuk menggambarkan kedua lintasan sinyal *chaos* tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Berbagai Nilai Parameter untuk 2 Jenis Sinyal *Chaos*

Parameter	Nilai Parameter Sinyal <i>Chaos</i> -1	Nilai Parameter Sinyal <i>Chaos</i> -2
<i>Initial Condition:</i>		
x_0	1	1
y_0	1	1
z_0	1	1.0000001
S (sigma)	10	10
R	28	28
B	8/3	8/3

4.1 *Randomness*

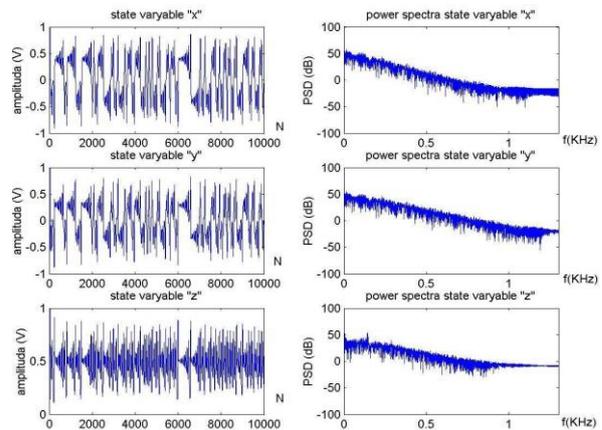
Hasil uji *randomness* dari sinyal generator *chaos* yang digunakan dalam simulasi ini diperlihatkan pada Tabel 2.

4.2 *Power Spectral Density*

Sinyal *chaos* memiliki sifat dimana spektral dayanya kontinu dalam *range* frekuensi yang sangat lebar, sehingga sinyal *chaos* ini sering di analogikan sebagai sinyal *noise*. Pada Gambar 7 diperlihatkan bentuk-bentuk sinyal *chaos* untuk setiap *state* variabelnya dan spektral dayanya.

Tabel 2. Hasil Test *Randomness* untuk Berbagai Kondisi Awal

Parameter Generator <i>Chaos</i> <i>Initial Condition</i>			Hasil Test <i>Randomness</i>
x_0	y_0	z_0	Z_{test}
0.1	0.1	0.1	1.4325
5	5	5.45351	-0.5372
2	2	2.2965435	0.5372
3	3	3.2965435	1.1639
7.57635	8	2	0.4477
6.53456	3	2	1.3430
1.53456	3	1	-1.0592
0.53456	6	9	1.3430
1	9.674	2.3423	-0.5372
5	2.674	6.3423	0.2686



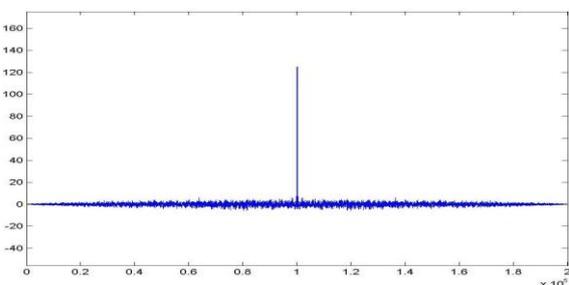
Gambar 7. Sinyal *Chaos* untuk Setiap State Variabelnya dan Spektral Dayanya

4.3 *Ergodicity*

Suatu sistem waktu diskrit dikatakan *ergodic* jika dan hanya jika memenuhi dua syarat, yaitu:

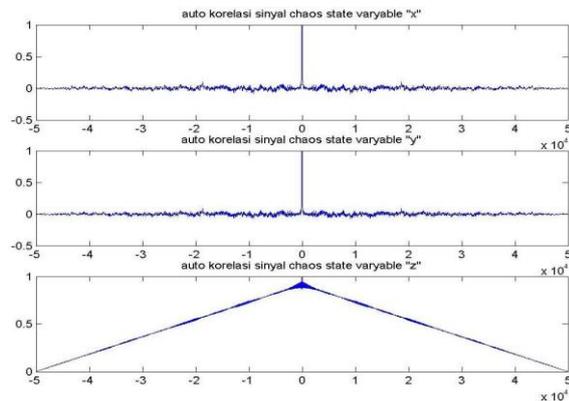
- 1). Rataan Statistik = Rataan Waktu, dan
- 2). Rataan Statistik Auto-korelasi = Rataan Waktu Auto-korelasi.

Proses $x(t)$ adalah *ergodic* jika auto-kovariansnya $C(t_1, t_2)$ sedemikian hingga $\sigma_T^2 \rightarrow 0$ untuk $T \rightarrow \infty$. Gambar 8 menunjukkan hasil simulasi grafik auto-kovarians yang memiliki nilai *varian* terus mengecil dan menuju nol pada titik $N \rightarrow \infty$.



Gambar 8. Grafik Auto-kovarians

Auto-korelasi adalah karakteristik yang menyatakan keterkaitan antara sampel sinyal ke- n dengan sampel sinyal sebelum dan sesudahnya. Gambar 9 memperlihatkan bentuk sifat auto-korelasi sinyal *chaos* ternormalisasi untuk setiap *state* variabelnya.



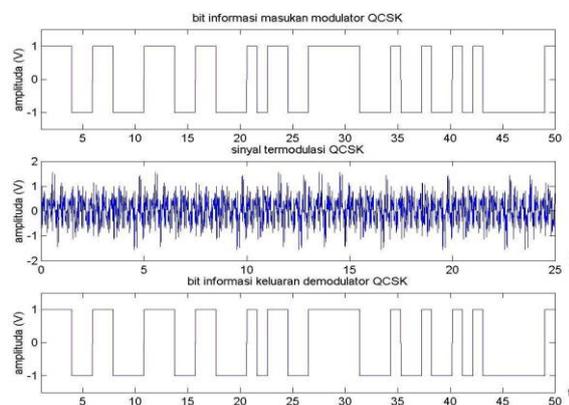
Gambar 9. Auto-korelasi Sinyal Chaos Ternormalisasi

4.4 Kinerja Sistem Tanpa Gangguan Kanal

Berikut ini dilakukan percobaan dengan mengirimkan sebanyak 50 bit data acak yang terdistribusi *uniform* dengan *bit rate* 50 kbps, kemudian sinyal tersebut dimodulasikan dan didemodulasikan tanpa ada gangguan kanal. Hasil percobaan tersebut diperlihatkan pada Gambar 10, yang menunjukkan bahwa model sistem modulasi-demodulasi QCSK telah bekerja dengan benar.

Kinerja sistem dievaluasi berdasarkan BER (*Bit Error Rate*), yaitu perbandingan antara jumlah bit yang salah dibandingkan dengan jumlah bit keseluruhan yang dikirim.

$$BER = \frac{\text{jumlah bit salah pada penerima}}{\text{jumlah bit masukan pada pengirim}} \quad (6)$$



Gambar 10. Sinyal Data, Sinyal Modulasi, dan Sinyal Hasil Demodulasi

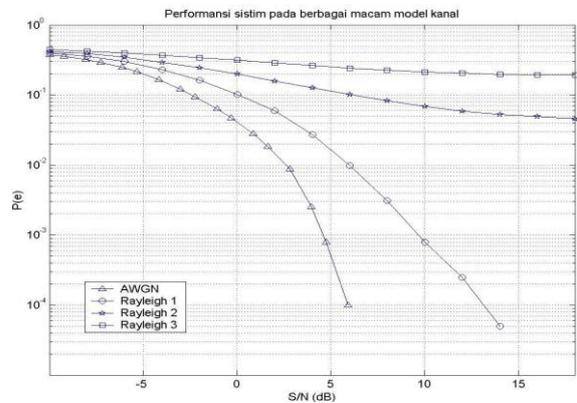
Tabel 3. BER vs Jumlah Bit Terkirim

Jumlah Bit	100	500	1000	2000	5000	10000
BER	0	0	0	0	0	0

Untuk memberikan verifikasi model sistem yang lebih valid, dilakukan percobaan lagi untuk pengiriman data lebih besar, sehingga benar-benar dapat dibuktikan model sistem yang dirancang telah bekerja baik. Tabel 3 menunjukkan tidak adanya bit salah pada pengiriman berbagai jumlah bit data, sebelum diberikan gangguan kanal.

4.5 Kinerja Sistem pada Beberapa Model Kanal

Gambar 11 memperlihatkan kinerja sistem pada model kanal AWGN dan tiga macam model kanal *fading* yang direpresentasikan oleh perubahan nilai BER (*Bit Error Rate*) terhadap perubahan S/N.

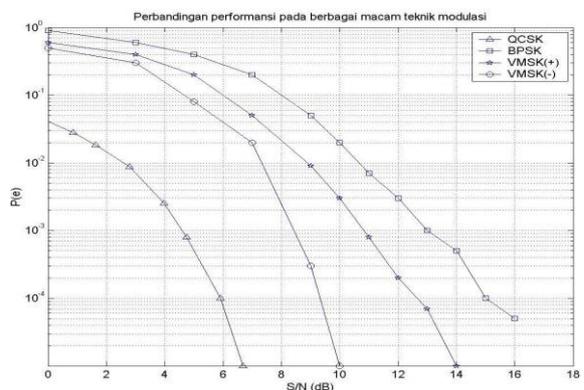


Gambar 11. Grafik BER vs S/N

Adapun penjelasan model kanal *fading* yang digunakan adalah kanal yang terganggu oleh *noise* AWGN dan terganggu oleh *multipath Rayleigh fading*, dengan spesifikasi sebagai berikut:

1. *Rayleigh-1*
 - *Frekuensi Doppler* sebesar 60 Hz.
 - Tidak diberikan sinyal *multipath*, direalisasikan dengan model kanal *single ray*, sehingga memberikan efek *flat Rayleigh fading*.
2. *Rayleigh-2*
 - *Delay spread* sebesar 3 μ s.
 - *Frekuensi Doppler* sebesar 60 Hz.
3. *Rayleigh-3*
 - *Delay spread* sebesar 0.3 μ s.
 - *Frekuensi Doppler* sebesar 60 Hz.

4.6 Perbandingan Kinerja Sistem (CD)²MA dengan Modulasi QCSK dan VMSK



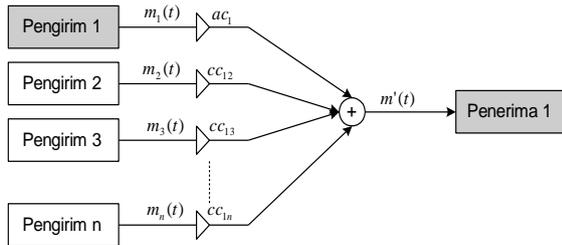
Gambar 12. Grafik Kinerja Sistem (CD)²MA dengan Berbagai Teknik Modulasi pada Kanal AWGN

Pada penelitian lain yang dilakukan sebelum penelitian ini, diteliti mengenai sistem (CD)²MA yang didukung oleh sistem modulasi VMSK (*Very Minimum Phase Shift Keying*). Gambar 12

memperlihatkan kinerja sistem (CD)²MA pada kanal AWGN yang didukung oleh berbagai macam teknik modulasi.

4.7 Multiple Access Interference (MAI)

Seperti telah dijelaskan pada sub-bab 3.2, kontribusi adanya gangguan MAI (*Multiple Access Interference*) pada sistem komunikasi spektral tersebar akan sangat ditentukan oleh nilai korelasi antara sinyal pennebar yang satu dengan yang lainnya. MAI dapat dimodelkan seperti gambar 13.



Gambar 13. Model MAI

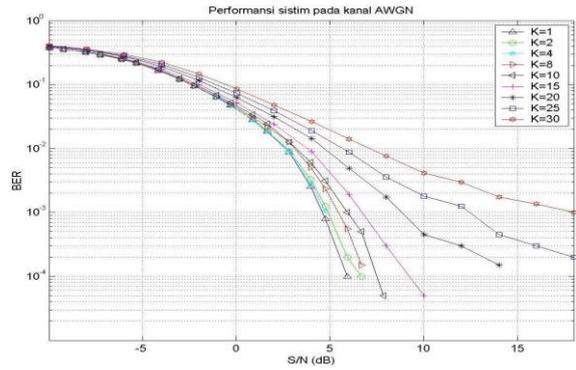
Tabel 4 memuat perbedaan 10 (sepuluh) pasangan nilai kondisi awal (x_0, y_0, z_0) untuk 10 (sepuluh) buah sinyal *chaos* yang dipergunakan sebagai kode pennebar pada percobaan model (CD)²MA untuk 10 (sepuluh) pengguna, dengan 1 (satu) sinyal diinginkan dan 9 (sembilan) sinyal lainnya sebagai MAI. Tabel 5 memuat nilai-nilai kros-korelasi ternormalisasi antar-sepuluh kode pennebar tersebut.

Tabel 4. Kondisi Awal untuk 10 Jenis Sinyal *Chaos*

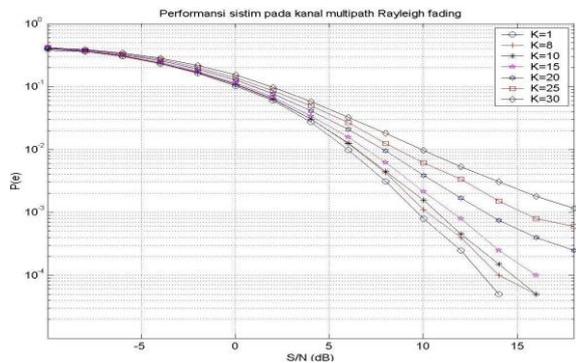
Spreader	Initial condition		
	x_0	y_0	z_0
Spreader 1 (Sp1)	0.1	0.1	0.1
Spreader 2 (Sp2)	5	5	5.45351
Spreader 3 (Sp3)	2	2	2.2965435
Spreader 4 (Sp4)	3	3	3.2965435
Spreader 5 (Sp5)	7.57635	8	2
Spreader 6 (Sp6)	6.53456	3	2
Spreader 7 (Sp7)	1.53456	3	1
Spreader 8 (Sp8)	0.53456	6	9
Spreader 9 (Sp9)	1	9.674	2.3423
Spreader 10 (Sp10)	5	2.674	6.3423

Tabel.5. Nilai-Nilai Kros-Korelasi Ternormalisasi untuk 10 Jenis Sinyal *Chaos* yang Berbeda

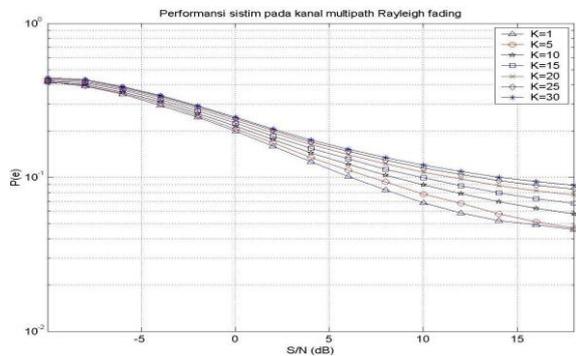
	Sp1	Sp2	Sp3	Sp4	Sp5	Sp6	Sp7	Sp8	Sp9	Sp10
Sp1	1	0.0553	0.0156	0.0096	0.0705	0.0106	0.0035	0.0647	0.0281	0.0488
Sp2	0.0533	1	0.0032	0.2858	0.2894	0.0919	0.3638	0.0304	0.2594	0.3690
Sp3	0.0151	0.0033	1	0.2848	0.0538	0.0923	0.4795	0.3015	0.2671	0.1984
Sp4	0.0092	0.2848	0.2825	1	0.1675	0.0102	0.0755	0.1746	0.3698	0.3615
Sp5	0.0669	0.2844	0.0526	0.1651	1	0.0768	0.1592	0.1056	0.3460	0.1833
Sp6	0.0099	0.0894	0.0032	0.0090	0.0761	1	0.2392	0.2220	0.3938	0.4122
Sp7	0.0034	0.3663	0.4805	0.0762	0.1632	0.2476	1	0.2089	0.3898	0.1943
Sp8	0.0629	0.0307	0.3025	0.1766	0.1083	0.2301	0.2092	1	0.0520	0.2127
Sp9	0.0272	0.2605	0.2671	0.3725	0.3535	0.4064	0.3886	0.0517	1	0.2153
Sp10	0.0475	0.3728	0.1997	0.3664	0.1884	0.4282	0.1949	0.2132	0.2166	1



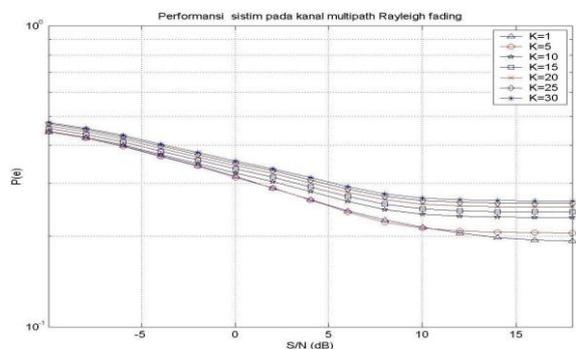
Gambar 14. Kinerja (CD)²MA pada Kanal AWGN



Gambar 15. Kinerja (CD)²MA pada Kanal *Rayleigh-1*



Gambar 16. Kinerja (CD)²MA pada Kanal *Rayleigh-2*



Gambar 17. Kinerja (CD)²MA pada Kanal *Rayleigh-3*

4.8 Kinerja Sistem (CD)²MA di Berbagai Kanal

Pada Gambar 14 s. d. 17 diperlihatkan grafik-grafik kinerja sistem (CD)²MA pada setiap model kanal yang digunakan, dengan diberikan efek MAI

untuk jumlah sinyal $(CD)^2MA$ sebanyak $K = [1, 30]$ pengguna. Gambar 2 memperlihatkan bahwa pada model kanal *Rayleigh-2* setiap penambahan sebanyak 5 pengguna akan memberikan kenaikan nilai S/N rata-rata sekitar 1 dB, jika dievaluasi pada nilai BER 10^{-1} .

Hal lain yang sebenarnya juga menentukan kinerja sistem $(CD)^2MA$, namun tidak dipertimbangkan sebagai variabel penelitian ini, adalah *Processing Gain* yang didefinisikan sebagai perbandingan antara *data rate* setelah *spreading* terhadap *data rate* sebelum *spreading*, atau dapat dihitung dari perbandingan antara *chip rate* R_c terhadap *data rate* R_d :

$$PG(dB) = 10 \log \left(\frac{R_c}{R_d} \right) = 10 \log(N) [dB] \quad (7)$$

dengan $R_c = N \times R_d$.

5. Kesimpulan

1. Pada BER 10^{-3} , penggunaan modulasi QCSK pada sistem $(CD)^2MA$ memberikan perbaikan nilai S/N sebesar 3,8 dB dibandingkan terhadap penggunaan modulasi VMSK(-), sedangkan apabila dibandingkan terhadap penggunaan modulasi VMSK(+) akan memberikan perbaikan nilai S/N sebesar 6 dB. Jika dibandingkan dengan BPSK, QCSK akan memberikan perbaikan S/N sebesar 8,4 dB. Jadi perbaikan oleh penggunaan modulasi QCSK dapat dipandang signifikan.
2. Untuk BER 10^{-3} pada kanal AWGN, untuk jumlah pengguna kurang dari 15, setiap penambahan satu pengguna menyebabkan pengurangan nilai rata-rata S/N sebesar 0,2 dB. Sedangkan untuk jumlah pengguna kurang dari 15, setiap penambahan satu pengguna menyebabkan pengurangan nilai rata-rata S/N sebesar 0,7 dB.
3. Pemodelan Kanal *Rayleigh fading* dengan delay spread $0,3 \mu s$ akan mengakibatkan sinyal yang ditransmisikan mengalami *frequency selective fading* yang mengakibatkan terjadinya ISI, dan menyebabkan kinerja sistem menurun drastis, sehingga dapat disarankan untuk menambahkan suatu sistem Pengkodean FEC (*Forward Error Correcting*) untuk mengurangi *error*.

Daftar Pustaka

- [1] Fikry, A., 2002. Perancangan dan *Simulasi Sistem Chaotic Digital Code Division Multiple Access*. STT Telkom Bandung.
- [2] Freeman, Roger L., 1974, *Telecommunication Transmission Handbook*, Wiley International Publication, London.
- [3] Galias, Z and G. M. Maggio, *Quadrature Chaos Shift Keying*.

- [4] Johansson, M., *The Hilbert Transform*, Vaxjo University.
- [5] Kennedy, Peter Michael, 1998, *Application of Chaos in Communication*.
- [6] Kocarev, L., K.S Halle, K. Eckert, L. O. Chua, and U. Parliz. *Experimental Demonstration of Secure Communication via Chaotic Synchronization*, International Journal Bifurcation Chaos. Vol. 2, pp. 709-713, 1992.
- [7] Kolumban, G., B. Vizvari, W. Schwarz, and A. Able, *Differential Chaos Shift Keying: A Robust Coding for Chaos Communication*, Proceeding 4th International Specialist Workshop on Non-Linear Dynamic of Electronic Sistem (NDES '96), Seville, Spain, June 1996, pp 87-92.
- [8] Lau, F. C. M., M. M. Yip, C. K. Tse, and S. F. Hau, *A Multiple-Access Technique for Differential Chaos-Shift Keying-I: Fundamental Theory and Application*. IEEE Trans. on Circuit and System, Vol. 49, No. 1, January 2002.
- [9] Rappaport T. S., 1996, *Wireless Communication*. Prantice Hall, New Jersey.
- [10] Sardar, Z., dan I. Abrams, 1998, *Mengenal Chaos: for Beginners*, Mizan Media Utama.
- [11] Schweizer, J., and M. P. Kennedy, *Predictive Poincare Control Modulation: A New Methode for Modulating Digital Information onto a Chaotic Carrier Signal*, Proceeding Irish DSP and Control Colloquium, Dublin, Ireland, 1994, pp 125-132.
- [12] Sklar, Bernard, 1988, *Digital Communication*, Prantice Hall, New Jersey.