

Analisa Kinerja Quadrature Amplitude Modulation (QAM) pada Kanal Additive White Gaussian Noise (AWGN)

Baharuddin¹, Rudy Fernandez¹, Hanalde Andre¹, Rina Angraini², Fitrilina³

¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Andalas

²Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Padang

³Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Bengkulu

baharuddin@eng.unand.ac.id

ABSTRAK

Pada kanal komunikasi, sinyal informasi yang dikirimkan akan selalu mengalami gangguan karena adanya derau yang menyebabkan terjadinya kesalahan pendeteksian sinyal sehingga terjadi perubahan bit atau simbol pada sisi penerima. Hal ini menyebabkan konstelasi sinyal di sisi penerima tidak sama dengan konstelasi sinyal di sisi pengirim. Pada penelitian ini diteliti pengaruh derau AWGN pada sinyal yang dikirim. Untuk itu akan dibuat suatu pemodelan, simulasi dan analisis untuk mengamati pengaruh derau AWGN terhadap unjuk kerja sistem modulasi 16 QAM. Unjuk kerja tersebut dapat diketahui dari nilai Bit Error Rate (BER). Penelitian menunjukkan bahwa adanya derau mempengaruhi unjuk kerja dari sistem komunikasi. *Kata kunci: Derau, AWGN, QAM, BER.*

ABSTRACT

On the communication channel, transmitted information signals will always be disturbed by noise. The effect is error signal detection, so it caused a modify bit or symbol on receiver. This matter cause signal constellation on receiver side is not equal with signal constellation on transmitter side. This final project research is focused on AWGN noise on transmitted signal. Therefore this research will make a simulation model and analyze for the impact of noise AWGN through 16 QAM performance and could analyze from Bit Error Rate (BER). This research shows that impulse noise have an impact to communication system performance.

Keywords: Noise, AWGN, QAM, BER.

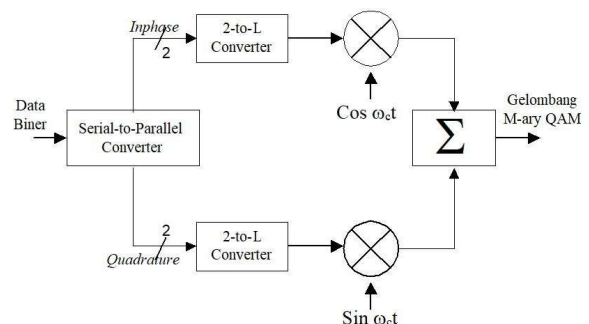
1. PENDAHULUAN

Di dalam sistem komunikasi, sebelum data melewati kanal maka akan dimodulasi terlebih dahulu untuk

menyesuaikan karakteristik sinyal input dengan karakteristik kanal [1-4]. Quadrature Amplitude Modulation (QAM) merupakan salah satu sistem modulasi yang sering dipakai. Selain dapat menghemat bandwidth, QAM memerlukan daya yang lebih rendah. Pada kanal, sinyal yang dikirim dari transmitter akan dipengaruhi oleh derau [3-4]. Dalam hal ini, derau yang berpengaruh adalah AWGN (Additive White Noise Gaussian) dan sangat berpengaruh pada kinerja sistem komunikasi. Adanya derau pada kanal akan menyebabkan sinyal yang diterima tidak sama dengan sinyal yang dikirimkan dan bisa mengakibatkan kesalahan deteksi pada penerima.

Unjuk kerja dari sistem komunikasi digital ditentukan oleh banyaknya bit yang salah dideteksi di penerima dari sejumlah bit yang dikirimkan. Untuk mengukur kinerja sistem komunikasi digital digunakan bit error rate (BER) [4-7]. Kesalahan ini dapat disebabkan oleh adanya derau yang terdapat pada kanal. Untuk itu perlu dilakukan simulasi untuk dapat mengetahui kinerja sistem komunikasi bila dipengaruhi oleh derau AWGN.

Teknik modulasi QAM merupakan pengembangan dari gabungan teknik modulasi ASK dengan PSK [2], yaitu suatu bentuk dari modulasi digital dimana sinyal informasi digital diubah amplitudo dan fasenya ke dalam fungsi gelombang pembawa. Secara umum, blok diagram pemancar QAM seperti pada gambar 1.



Gambar 1. Pemancar QAM [4]

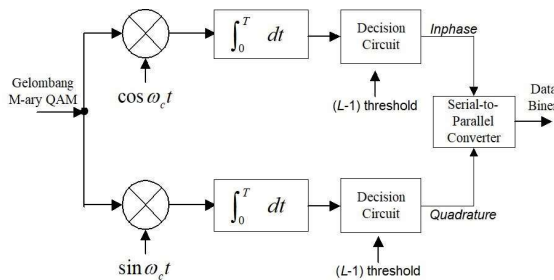
Suatu deretan input data biner sebanyak n -bit (diasumsikan genap) dipecah menjadi dua bagian pada serial-to-parallel converter, menjadi bit inphase dan bit quadrature yang tiap bagian berisi $n/2$ bit. Bit-bit yang berupa data biner secara berurutan masuk ke bagian inphase dan quadrature. Tiap pasang bit, baik pada bagian inphase maupun pada bagian quadrature akan menentukan nilai magnitudo dan polaritas pada keluaran 2-to-Level Converter. Kemudian keluaran dari 2-to-Level Converter dikombinasikan berpasangan untuk memodulasi sinyal cosinus (pada bagian inphase) dan sinyal sinus (pada bagian quadrature). Sinyal sinus dan cosinus termodulasi membentuk sinyal gabungan sehingga terbentuk modulasi amplitudo dan fase atau modulasi QAM, yang secara analitik dapat dinyatakan dengan persamaan [4]:

$$S_i(t) = \sqrt{\frac{2E_b(t)}{T}} \cos \omega_c t + \phi(t) \quad (1)$$

$$= A_i(t) \cos[2\pi f_0 t + \phi(t)]$$

dimana : $0 \leq t \leq T$ dan $i = 1, 2, 3, \dots, M$; menggambarkan indeks pada amplitudo dan fase yang mengalami perubahan sebagai fungsi waktu.

Pada penerima QAM, proses yang terjadi merupakan kebalikan dari proses yang terjadi di pemancar. Setelah sinyal diterima dan dipecah menjadi bit inphase dan bit quadrature, sinyal melalui product detector dan akan menuju ke matched filter. Keluaran dari matched filter menuju decision circuit yang digunakan untuk membandingkan L-Level signal dengan L-1 decision threshold. Keluarannya berupa dua bit data biner yang kemudian dikonversi dari parallel ke serial untuk membentuk sinyal informasi aslinya. Secara umum bentuk diagram blok penerima QAM dapat disusun seperti pada gambar 2.

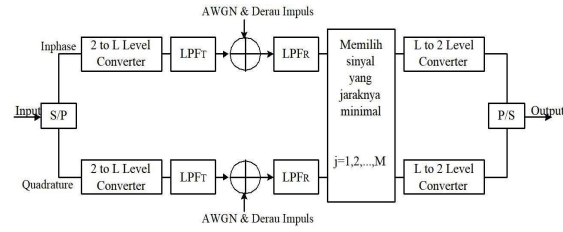


Gambar 2. Penerima QAM [4]

1.1 Diagram Blok Simulasi

Untuk mensimulasikan suatu sistem komunikasi digital,

teknik baseband ekivalen seperti pada gambar 3, dengan langkah-langkah sebagai berikut :



Gambar 3. Diagram Blok Simulasi

Sinyal yang ditransmisikan $x(t)$ dinyatakan dalam selubung kompleksnya $\hat{x}(t)$. Kedua sinyal tersebut dihubungkan dengan persamaan (2), sehingga selubung kompleks $\hat{x}(t)$ sama dengan [2]:

$$\hat{x}(t) = x_I(t) + jx_Q(t) \quad (2)$$

dimana $x_I(t)$ dan $x_Q(t)$ adalah komponen-komponen *inphase* dan *quadrature* dari sinyal yang ditransmisikan. Dengan menggunakan selubung kompleks $\hat{x}(t)$ tersebut, maka simulasi komponen frekuensi tinggi (carriernya) dapat dihilangkan.

Untuk mensimulasikan pengaruh derau pada masukan penerima, selubung kompleks $\hat{x}(t)$ ditambahkan dengan [2]:

$$\hat{n}(t) = n_I(t) + jn_Q(t) \quad (3)$$

dimana komponen inphase dan quadrature adalah saling bebas dan merupakan proses derau putih Gaussian dengan rata-rata nol.

Dengan demikian sinyal selubung kompleks yang sampai pada penerima adalah [2]:

$$\hat{y}(t) = \hat{x}(t) + \hat{n}(t) \quad (4)$$

$$\hat{y}(t) = [x_I(t) + n_I(t)] + j[x_Q(t) + n_Q(t)] \quad (5)$$

1.2. Pemodelan Proses Acak

Dalam simulasi ini, bit-bit masukan yang dibangkitkan sebanyak 10.000 bit dengan menggunakan fungsi *randint* dan menghasilkan bit 1 dan 0 secara acak. Kemungkinan muncul bit 1 dan bit 0 adalah sama besar dan saling bebas, hal ini dapat dilihat dari hasil percobaan peluang muncul bit 1 dan bit 0 serta korelasinya pada tabel 1. Adapun sifat-sifat korelasi proses acak yang saling bebas, dapat dijelaskan sebagai berikut:

Suatu urutan acak $\{X(n)\}$ dimana $X(k)$ dan $X(k+jk)$ saling bebas untuk semua k dan $j \neq 0$, mempunyai sifat [4]:

$$E\{X(n)X(n+j)\} = \begin{cases} \sigma^2 + \mu^2, & j = 0 \\ \mu^2, & j \neq 0 \end{cases} \quad (6)$$

dimana : $\sigma = 0,5$

$\mu = 0,5$

terlebih dahulu dibuat suatu model simulasi dengan

Peluang muncul bit 1 dan harga korelasi diatas telah diuji dengan melakukan 10 kali percobaan dan hasilnya seperti pada tabel 1. Dari tabel 1 berikut dapat disimpulkan bahwa urutan sinyal acak yang

dibangkitkan dalam simulasi adalah saling bebas (ditunjukkan oleh harga korelasi untuk $j \neq 0$ yang mendekati nilai 0,25 dan juga oleh harga korelasi untuk $j = 0$ yang mendekati nilai 0,5) dan peluang muncul bit 1 ($\approx 0,5$) sama dengan peluang muncul bit 0 ($\approx 0,5$) [4].

Tabel 1. Perhitungan Peluang Muncul Bit 1 dan Korelasinya pada Bit Input

Percobaan ke :	Peluang muncul bit 1	Korelasi untuk $j = 0$	Korelasi untuk $j \neq 0$		
			$j = 5$	$j = 30$	$j = 79$
1	0.5006	0.5006	0.2453	0.2550	0.2461
2	0.5021	0.5021	0.2507	0.2495	0.2485
3	0.5033	0.5033	0.2534	0.2517	0.2554
4	0.5030	0.5030	0.2500	0.2486	0.2481
5	0.4974	0.4974	0.2491	0.2460	0.2455
6	0.4931	0.4931	0.2456	0.2447	0.2420
7	0.5026	0.5026	0.2533	0.2521	0.2503
8	0.5008	0.5008	0.2524	0.2491	0.2495
9	0.5087	0.5087	0.2601	0.2555	0.2582
10	0.5027	0.5027	0.2551	0.2500	0.2482
Rata-rata	0.5014	0.5014	0.2515	0.2502	0.2492

Proses acak lain yang dibangkitkan adalah derau AWGN. Derau AWGN ini mempunyai rapat spektral uniform, dimana spektral dua sisinya dinyatakan oleh [4] :

$$S_{NN}(f) = \frac{\eta}{2} \quad (7)$$

dengan otokorelasi derau [4]:

$$R_{NN}(\tau) = \frac{\delta}{2} \quad (8)$$

yang berarti bahwa proses derau juga saling bebas. Rapat spektral diatas secara fisik tidak mungkin direalisasikan karena daya yang dihasilkan adalah tak hingga, yaitu [4] :

$$\int_{-\infty}^{\infty} S_{NN}(f) df \rightarrow \infty \quad (9)$$

sedangkan lebar pita sistem, B , selalu berhingga, sehingga [4] :

$$\int S_{NN}(f) df = \eta B < \infty \quad (10)$$

Bila $N(t)$ mempunyai bentuk rapat spektral daya [4]:

$$S_{NN}(f) = \begin{cases} \frac{\eta}{2}, & |f| < B \\ 0, & \text{selain itu} \end{cases} \quad (11)$$

$N(t)$ disebut derau pita bebas.

Dalam simulasi derau yang dibangkitkan adalah derau Gaussian pita terbatas, sehingga suatu proses Gaussian bandpass dapat dinyatakan dalam bentuk quadrature [2, 4]:

$$N(t) = n_I(t) \cos 2\pi f_o t - n_Q(t) \sin 2\pi f_o t \quad (12)$$

berikut :

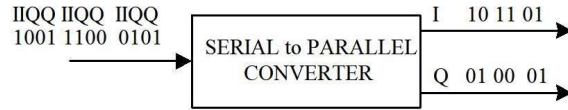
$$\hat{n}(t) = n_I(t) + j n_Q(t) \quad (13)$$

1.3 Pemodelan Sistem

Dalam simulasi ini, sistem yang digunakan dimodelkan dalam bentuk baseband kompleks. Jadi semua proses yang beroperasi pada frekuensi tinggi atau yang menghasilkan translasi sinyal ke frekuensi tinggi dapat ditiadakan.

1.3.1 Pengubah Seri menjadi Paralel (*Serial to Parallel Converter*)

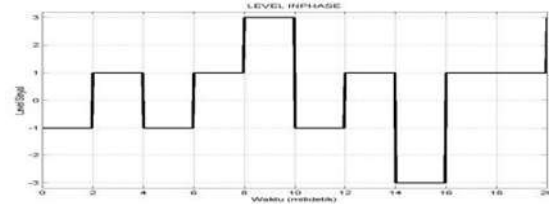
Proses yang terjadi pada tahap ini adalah memecah sinyal informasi dari bentuk serial ke paralel atau bit masukan akan dipecah menjadi bit *inphase* dan bit *quadrature* [8,9]. Pada 16 QAM, setiap 4 bit masukan yang melalui *serial to parallel converter* akan keluar menuju kanal *inphase* sebanyak 2 bit dan 2 bit lainnya menuju kanal *quadrature*. Laju bit keluaran dari *serial to parallel converter* menjadi seperempat dari laju bit masukannya.



Gambar 4. Pengubah Seri menjadi Paralel [5]

1.3.2 Pengubah Level dari 2 ke L

Bit-bit *inphase* dan *quadrature* yang memiliki dua level yaitu 1 dan 0, diubah menjadi sinyal PAM dengan L level. Untuk semua kemungkinan L level yang dibentuk dari 2 bit dapat dilihat pada tabel 2.1. Pada gambar 3.8 dan 3.9 menunjukkan bentuk keluaran setelah melewati *2 to L Level Converter*. Apabila level-level *inphase* dan *quadrature* ini digambar pada bidang dua dimensi dengan *inphase* pada sumbu X dan *quadrature* pada sumbu Y, maka akan diperoleh bentuk konstelasi sinyal QAM.

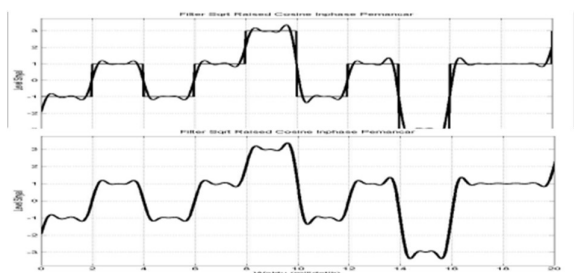


Gambar 5. Bit Level Inphase [10]

1.3.3 Filter Square Root Raised Cosine Pemancar

Filter yang digunakan mempunyai karakteristik transfer keseluruhan *raised cosine* dengan faktor *roll off* = 0,5 dan dengan tambahan *equalizer* $x/\sin x$. Sedangkan pada pemancar, filter yang digunakan adalah *square root raised cosine*. Sinyal keluaran filter pemancar seperti pada gambar berikut.

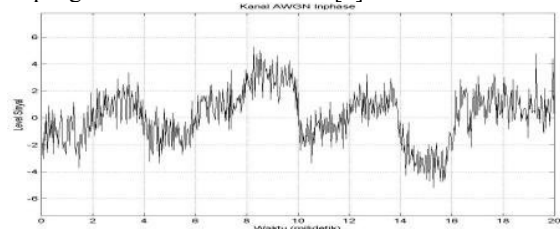
dan dapat dinyatakan dalam baseband kompleks sebagai



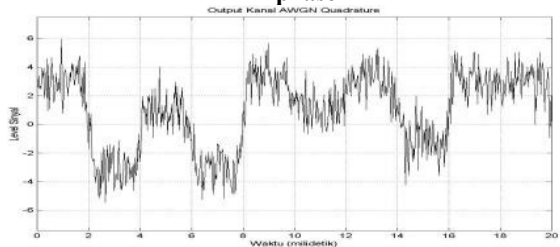
Gambar 6. Keluaran Filter Sqrt Raised Cosine InphasePemancar [10]

1.3.4 Sinyal Dipengaruhi Derau

Setelah melalui kanal AWGN sinyal informasi akan sampai di penerima dan menjadi sinyal yang terpengaruh oleh derau. Derau yang berpengaruh disini adalah derau AWGN. Pada gambar 7 dan 8 merupakan sinyal yang terpengaruh oleh derau AWGN. [2]



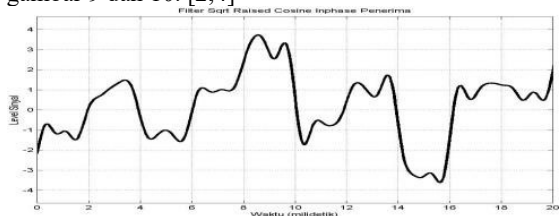
Gambar 7. Sinyal Dipengaruhi Derau AWGN di Inphase



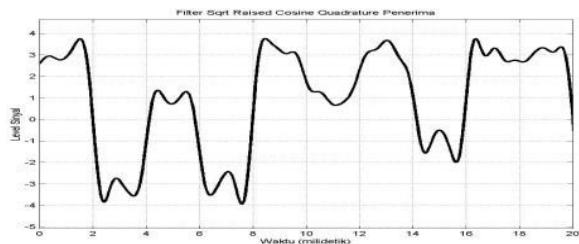
Gambar 8. Sinyal Dipengaruhi Derau AWGN di Quadrature

1.3.5 Filter Square Root Raised Cosine Penerima

Setelah sampai di penerima sinyal terkena derau akan menuju ke filter square root raised cosine yang berfungsi untuk membatasi derau pada sinyal. Keluaran dari filter square root raised cosine ditunjukkan pada gambar dibawah ini. Untuk keluaran filter yang sinyalnya dipengaruhi derau AWGN seperti pada gambar 9 dan 10. [2,4]



Gambar 9. Keluaran Filter di Inphase Penerima



Gambar 10. Keluaran Filter di Quadrature Penerima.

2 Hasil dan Pembahasan

2.1.Data Simulasi

Besarnya kesalahan bit akan mempengaruhi unjuk kerja sistem komunikasi digital, oleh karena itu untuk mengetahui unjuk kerja sistem yang disimulasikan dilakukan perhitungan BER pada bit-bit hasil deteksi penerima. Pada perhitungan BER ini dilakukan untuk sistem 16 QAM yang dipengaruhi oleh derau AWGN, dimana hasilnya diberikan pada tabel 2.

Tabel 2. Tabel Harga BER Sistem 16 QAM dengan Derau AWGN

Percobaan ke	E_b/N_0	dB	BER	$P(e)$
1	10.0037	10.0016	0.0003	0.0001
2	5.0009	6.9905	0.0045	0.0028
3	3.3335	5.2290	0.0139	0.0113
4	2.4962	3.9728	0.0278	0.0211
5	1.9954	3.0004	0.0407	0.0313
6	1.6644	2.2127	0.0530	0.0416
7	1.4257	1.5403	0.0644	0.0520
8	1.0225	0.9677	0.0728	0.0631
9	1.0104	0.4521	0.0849	0.0744
10	0.9989	-0.0050	0.0946	0.0811
Rata-rata	2.89516	3.4362	0.0457	0.0379

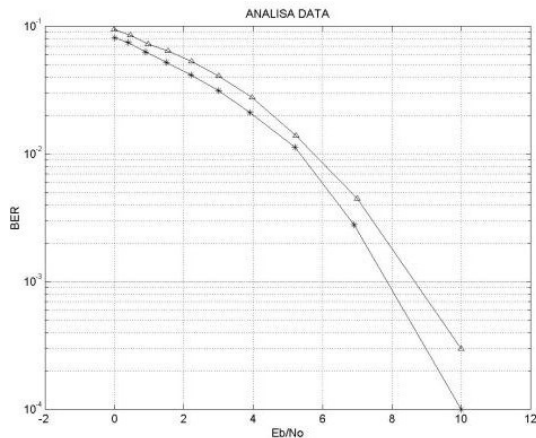
2.2 .Pengolahan Data Hasil Simulasi

Selanjutnya data hasil simulasi diolah dalam bentuk grafik-grafik E_b/N_0 terhadap besarnya BER (laju kesalahan yang terjadi pada bit-bit yang diterima).

2.2.1 Sistem 16 QAM yang Dipengaruhi Derau AWGN

Hasil simulasi sistem 16 QAM yang dipengaruhi derau AWGN dapat dilihat pada grafik perbandingan antara E_b/N_0 dan BER baik secara simulasi maupun secara analitik yang ditunjukkan pada gambar 11.

3rd Editions, McGraw-Hill International Editions,
Communications and Signal Processing, Singapore.



Gambar 11. Grafik Perbandingan E_b/N_0 yang Dipengaruhi Derau AWGN

Grafik tersebut menunjukkan bahwa dengan adanya derau AWGN akan menurunkan kinerja dari sistem modulasi 16 QAM, dibandingkan dengan tanpa derau AWGN. Penurunan kinerja akibat pengaruh derau AWGN, adalah BER sebesar 10^{-2} dan nilai E_b/N_0 sebelumnya adalah 7 dB, menjadi 5,8 dB. Hal ini menyebabkan penurunan kinerja akibat pengaruh derau AWGN sebesar 1,2 dB.

3 Penutup

3.1 Simpulan

Dari perbandingan BER hasil simulasi sistem 16 QAM yang dipengaruhi derau AWGN dan sistem yang dipengaruhi derau AWGN, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Adanya derau AWGN dapat mempengaruhi unjuk kerja sistem 16 QAM yang ditunjukkan dengan nilai BER yang lebih besar dibandingkan tanpa adanya pengaruh derau AWGN.
2. Adanya pengaruh derau AWGN, BER sebesar 10^{-2} nilai E_b/N_0 adalah 5,8 dB. Sedangkan dengan adanya pengaruh derau AWGN nilai E_b/N_0 adalah 7 dB. Dari data tersebut terjadi penurunan kinerja yaitu selisih sebesar 1,2 dB.

3.2 Saran

Simulasi ini merupakan penelitian mengenai pengaruh derau AWGN terhadap sistem modulasi 16 QAM, sehingga dapat dikembangkan untuk sistem modulasi yang lainnya.

Daftar Pustaka

- [1]. Jeruchim, Michael C., Balaban, Philip, and Shanmugam, K. Sam, 2012, **Simulation of Communication Systems**, Plenum Press, New York, USA.
- [2]. Proakis, John G., 2010, **Digital Communications**,

- [3]. Schwart, M, **Information Transmission, Modulation and Noise**, McGraw-Hill, 2015.
- [4]. Shanmugam, K. Sam, 2005, **Digital and Analog Communications Systems**, John Wiley and Sons, Inc., Wiley Series in Telecommunications.
- [5]. Tomasi, W, 2017, **Advanced Electronic Communications Systems**, Prentice-Hall, Inc., New Jersey.
- [6]. Wang, Weizheng, 2018, **Communications Toolbox, for Use with Matlab and Simulink**, The Math Works Inc, 24 Prime Park Way, Mass.01760-1500.
- [7]. Gunawan Wibisono, "Performance of TC MPSK Modulation on Fading Channel", Ph.D Dissertatin, Maret 2018
- [8]. Stephen B. Wicker, "Error Control System for Communication and Storage", 2015
- [9]. Gunawan Wibisono, "Unjuk Kerja Pengkoean Trellis MPSK dengan CCI pada kanal berfading", Proceeding The 1999 FTUI Semianat- Quality in Research, Kampus UI Deok 3-6 August 1999
- [10]. Theodore. S. Rappaport, 1996, "Wireless Communication Principles", Prentice-Hall Upper Saddle River, New Jersey, 1996
- [11]. Gunawan Wibisono, "Unjuk kerja TC 8PSK dengan Teknik Diversitas MRC pada Kanal Fading Nakagami dengan adanya Interferensi ", Proceeding of seminar on Intelligent Teknologi and Its Applications, ITS, Surabaya 7 Mei 2002
- [12]. Valentine A. Aola & Jingjun Zhang, "Performance Analysis of Maximum Ratio Combining in the presence of multiple Equal-Power Cochannel Interferer in a Nakagami Fading Channel", IEEE Trans. On Veh. Technol., vol. 50, no. 2, Mar. 2019.
- [13]. Suwarno Pribadi, "Unjuk Kerja Modulasi Kode Trellis 4 State *PSK dengan Teknik Diversitas Ruang Ganda Maximum Ratio Combining dan Selective Diversity Combiner pada Kanal Fading Nakagami", Jurusan Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok, 1999