

# Kinerja Butterworth Low-Pass Filter pada Teknik Modulasi Digital ASK Terhadap Paket Data yang dipengaruhi oleh Derau

Wisnoe Saputro Hidayat

*Magister Teknik Elektro, Universitas Mercu Buana*

## **Abstrak**

Proses pengiriman data informasi dalam bentuk sinyal digital kedalam saluran transmisi, dipengaruhi oleh adanya penambahan derau pada kanal yang dilaluinya untuk disampaikan ke penerima. Parameter yang dapat digunakan untuk memperbaiki sinyal bandpass yang rusak akibat adanya penambahan derau pada saluran transmisi diantaranya dengan filter sinyal yang berfungsi untuk manapis sinyal yang tidak dikehendaki.

Filter sinyal yang akan digunakan dalam penelitian adalah Butterworth low-pass filter, dimana sinyal bandpass yang telah ditambahkan derau akan ditapis dengan cara meneruskan sinyal berfrekuensi rendah dan meredam sinyal berfrekuensi tinggi.

Pengujian simulasi perangkat lunak modulasi digital ASK ini bertujuan untuk mengumpulkan data hasil ujicoba dan menganalisa kinerja Butterworth Low-Pass Filter dalam filtrasi sinyal bandpass yang telah dipengaruhi oleh derau dalam saluran transmisi AWGN, serta menghitung jumlah Bit Error Rate (BER) dari data yang diterima.

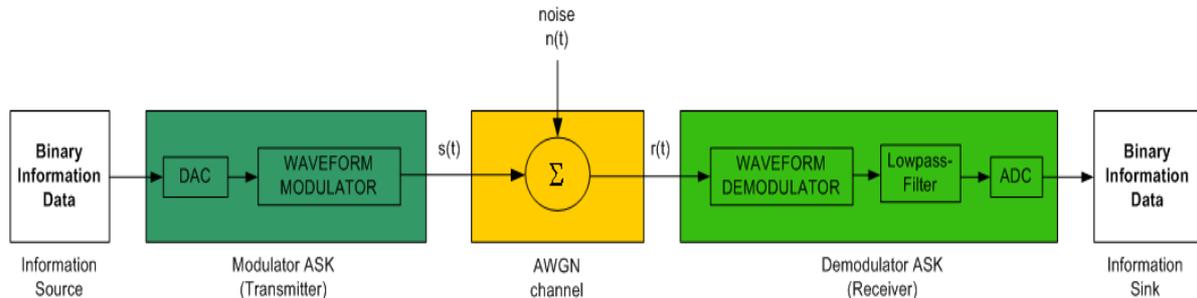
**Keywords:** *Butterworth low-pass filter, ASK, AWGN, Bit Error Rate*

## **1. PENDAHULUAN**

Penyampaian data informasi dari sumber informasi ke penerima melalui berbagai macam proses. Untuk pengiriman data yang bersifat digital selanjutnya dikenal dengan sinyal digital, sumber informasi mengirimkan data ke modulator untuk selanjutnya dilakukan proses modulasi dari sinyal digital kemudian diubah menjadi sinyal analog yang selanjutnya diberikan ke saluran transmisi untuk disampaikan ke penerima.

Pengiriman paket data informasi dari sumber informasi secara random dan banyak kedalam saluran transmisi, cenderung akan membebani waktu pengiriman dan error akibat penambahan derau / noise pada saluran transmisi yang digunakan untuk menyampaikan sinyal informasi tersebut ke penerima. Pada sisi penerima, akan dilakukan pula proses demodulasi dari sinyal analog yang diterima kemudian diubah menjadi sinyal digital seperti informasi yang disampaikan oleh sumber informasi.

Dari gambar 1 dapat dijelaskan bahwa sinyal digital yang dikirimkan oleh sumber informasi kemudian akan dilakukan proses modulasi pada sisi modulator. Selanjutnya sinyal analog yang dihasilkan oleh modulator akan dikirimkan melalui saluran transmisi. Pada saluran transmisi ini, terdapat derau / noise yang ditambahkan kepada sinyal analog yang dikirimkan sehingga sinyal yang diterima oleh demodulator akan tidak sama persis dengan sinyal analog yang dihasilkan oleh modulator.



Gambar 1 Proses penyampaian sinyal informasi melalui kanal / saluran transmisi

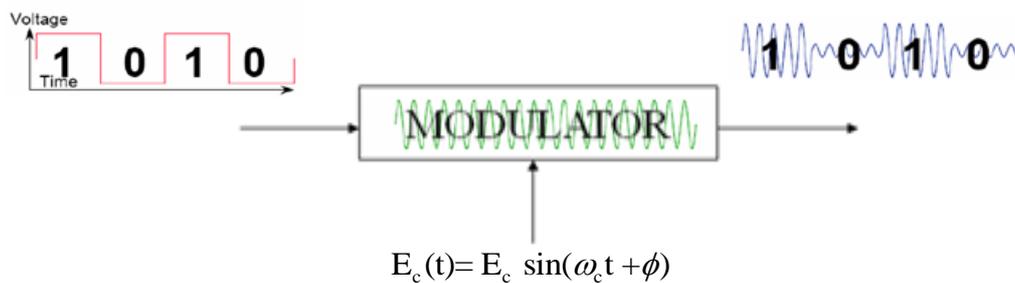
Parameter yang dapat digunakan untuk memperbaiki sinyal analog yang rusak akibat adanya penambahan derau / noise pada saluran transmisi diantaranya dengan filter sinyal yang berfungsi untuk manapis sinyal yang tidak dikehendaki. Sehingga sinyal analog yang dihasilkan setelah dilakukan filtrasi akan sedikit sama dengan sinyal analog dari modulator.

## 2. KAJIAN PUSTAKA

### 2.1 Konsep Modulasi Digital

Dalam pengiriman sinyal baseband berupa data biner yang tidak dapat secara langsung ditransmisikan ke kanal sistem radio, harus diubah terlebih dahulu menjadi sinyal bandpass. Maka diperlukan sistem modulasi untuk merubah sinyal tersebut. Modulasi berarti mengatur, menyetel dan dalam telekomunikasi tepatnya berarti mengatur suatu parameter dari suatu pembawa (carrier) frekuensi tinggi dengan pertolongan sinyal informasi yang berfrekuensi lebih rendah.

Modulasi dapat diartikan pula sebagai proses pengubahan sinyal baseband menjadi sinyal bandpass atau lebih jelasnya modulasi adalah proses perubahan (varying) suatu gelombang periodik sehingga menjadikan suatu sinyal yang mampu membawa suatu informasi. Secara singkat prinsip kerja modulasi diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Blok Diagram Prinsip Kerja Modulasi

Dengan proses modulasi, suatu informasi (biasanya berfrekuensi rendah) bisa dimasukkan ke dalam suatu gelombang pembawa, biasanya berupa gelombang sinus berfrekuensi tinggi. Terdapat tiga parameter kunci pada suatu gelombang sinusioidal yaitu : amplitudo, fase dan frekuensi. Ketiga parameter tersebut dapat dimodifikasi sesuai dengan sinyal informasi (berfrekuensi rendah) untuk membentuk sinyal yang termodulasi. Maka hasil sinyal termodulasi, biasa dinyatakan dalam persamaan :

$$E_c(t) = E_c \sin(\omega_c t + \phi)$$

Dimana :  $E_c(t)$  merupakan sinyal termodulasi  
 $E_c$  merupakan nilai besar amplitude dari sebuah sinyal  
 $\omega_c t$  merupakan nilai frekuensi sebuah sinyal  
 $\phi$  merupakan nilai fasa dari sebuah sinyal

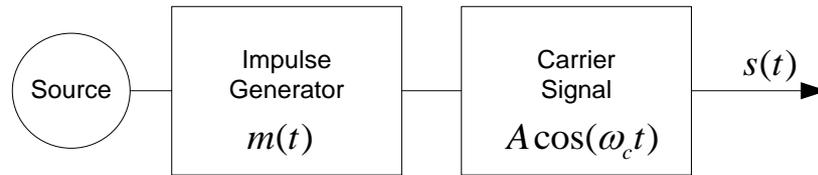
Untuk modulasi digital suatu sinyal sinus / sinyal analog pada durasi T dipakai sebagai acuan sebuah simbol digital. Pada teknik modulasi digital ASK, simbol digital 1 akan menghasilkan sinyal analog dengan amplitudo 1 atau bahkan lebih yang dapat diatur sesuai dengan kebutuhan.

### 2.1.1. Modulasi Digital ASK

Pembangkitan gelombang AM dapat dilakukan dengan dua pendekatan berbeda. Pertama adalah dengan membangkitkan sinyal AM secara langsung tanpa harus dengan membentuk sinyal baseband. Sehingga dalam kasus biner, generator harus mampu memformulasi satu dari dua sinyal gelombang AM yang mungkin.

Yang kedua dengan menggunakan sinyal baseband untuk memodulasi amplitudo suatu sinyal carrier yang dalam hal ini merupakan sinyal sinusoidal (baik cos maupun sinus), seringkali ini dikenali sebagai AM analog dengan informasi dalam bentuk digital. Kedua teknik ini merupakan pembangkitan gelombang AM untuk mentransmisi informasi digital. Untuk selanjutnya keduanya kita ketahui sebagai dua metode pembentukan ASK atau lebih dipahami sebagai AM digital.

Amplitude-shift Keying (ASK) adalah suatu bentuk modulasi yang digambarkan sebagai variasi data digital amplitude pada sinyal pembawa.

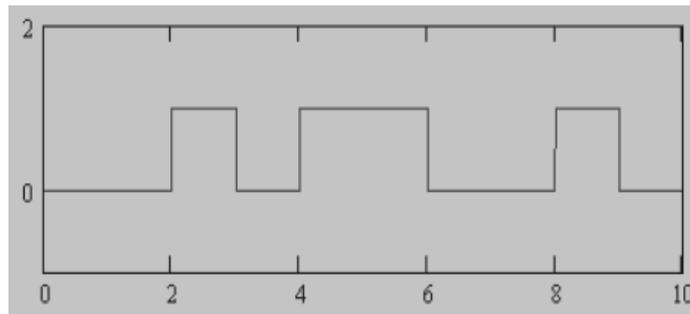


Gambar 3 Modulasi digital ASK oleh input biner

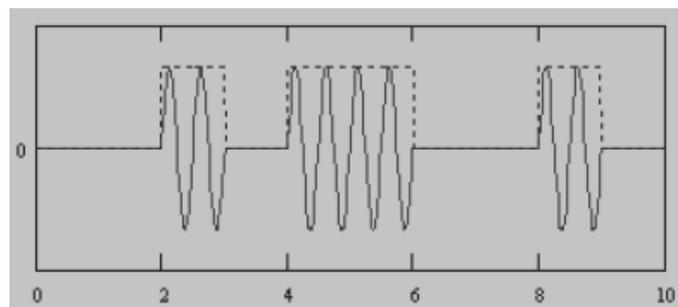
Pada binary amplitude-shift keying (BASK) sinyal yang dihasilkan adalah:

$$s(t) = Am(t) \cos(\omega_c t) \quad 0 \leq t \leq T$$

dimana  $A$  adalah konstanta,  $m(t) = 1$  atau  $0$ ,  $\omega_c$  adalah *frekuensi carrier* dan  $T$  adalah waktu. Gambar 2.3 menunjukkan pembentukan sinyal BASK oleh *input* biner 0 0 1 0 1 1 0 0 1 0. BASK biasanya lebih dikenal dengan nama *on-off keying* (OOK).



a. input biner 0 0 1 0 1 1 0 0 1 0

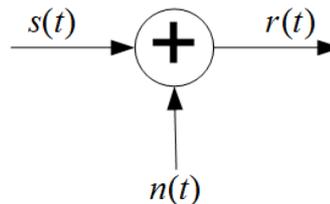


b. Sinyal BASK

Gambar 4 Pembentukan Sinyal BASK oleh *input* biner

### 2.1.2. Kanal AWGN

Seperti AM, ASK juga linier dan sensitif terhadap suara atmosfer, distorsi, dan perbedaan bentuk tinggi rendahnya permukaan bumi. Dalam proses transmisi data melalui suatu kanal atau saluran transmisi tidak lepas dari adanya penambahan derau / noise yang menyebabkan sinyal bandpass yang diterima oleh demodulator menjadi cacat/tidak sama dengan sinyal yang dikirimkan oleh modulator.



Gambar 5 Mode operasi kanal AWGN

Berdasarkan Stallings [8], derau dapat dibagi menjadi 4 kategori :

a. Derau Suhu

Muncul akibat gejala thermal elektron di semua perangkat elektronik dan media transmisi serta merupakan fungsi temperatur. Derau suhu secara keseluruhan disebarkan sepanjang spektrum frekuensi dan sering juga disebut sebagai white noise.

b. Derau Intermodulasi

Derau ini akan terjadi bila terdapat beberapa sifat tidak linear pada transmitter, receiver atau sistem transmisi yang menghalangi.

c. Crosstalk

Dialami oleh siapapun saat menggunakan telepon, terdengar percakapan lain, dapat pula terjadi karena kopel elektrik diantara twisted pair yang berdekatan, atau namun jarang pada jalur coaxial kabel yang membawa sinyal-sinyal multiple. Crosstalk dapat pula terjadi bila sinyal yang tidak diharapkan tersebut disebarkan melalui antena gelombang mikro.

d. Derau Impuls

Terjadi pada pulsa-pulsa yang tidak beraturan atau terputusnya bunyi pada durasi pendek, serta amplitudo yang relatif tinggi. Derau impuls dapat terjadi karena berbagai macam sebab, termasuk karena gangguan elektromagnetik eksternal seperti halilintar dan kesalahan serta kerusakan dalam sistem komunikasi.

Pada penelitian ini akan disimulasikan penambahan derau pada saluran transmisi berupa Additive White Gaussian Noise atau yang biasa dikenal dengan kanal AWGN. Model kanal yang paling sering melibatkan suatu sinyal masukan  $s(t)$ , ditambah dengan adanya sinyal derau  $n(t)$ , akan menghasilkan sinyal keluaran  $r(t)$  sebanding dengan :

$$r(t) = s(t) + n(t)$$

Dengan nilai variance  $n(t)$  besarnya :

$$\begin{aligned}
E\{n_2\} &= E\left\{\left[\int_{-\infty}^{\infty} n(t)\phi(t)dt\right]^2\right\} \\
&= E\left\{\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty} n(t)\phi(t)n(\tau)\phi(\tau)dtd\tau\right\} \\
&= \int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty} E\{n(t)n(\tau)\}\phi(t)\phi(\tau)dtd\tau \\
&= \int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty} \frac{N_0}{2}\delta\{t-\tau\}\phi(t)\phi(\tau)dtd\tau \\
&= \frac{N_0}{2}\int_{-\infty}^{\infty}\phi^2(t)dt \\
&= \frac{N_0}{2}
\end{aligned}$$

Ini merupakan rumus penjumlahan dari sinyal masukan dan sinyal derau seperti pada gambar 5. Masing-Masing bentuk gelombang ini dipandang sebagai proses stokastik, tetapi untuk sekarang bentuk gelombang dari masing-masing bagian dapat dipandang secara sederhana sebagai bentuk gelombang. Sinyal derau yang ditambahkan merupakan Derau Gauss putih (AWGN), dimana masukan pada umumnya dibatasi pada power (daya) dan bandwidth (lebar pita frekuensi).

### 2.1.3. Demodulasi ASK

Demodulator dengan deteksi koheren seperti pada gambar 6 adalah demodulator yang memiliki frekuensi dan fasa yang sama persis dengan sinyal pembawanya.

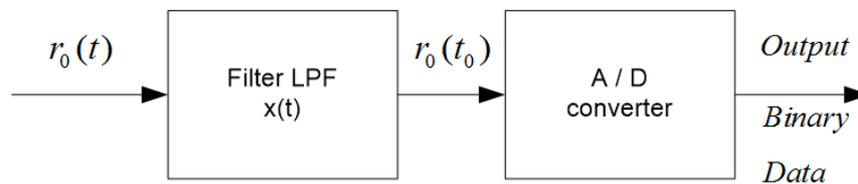
Penerima atau receiver pada demodulator ASK menerima sinyal masukan yang telah ditambahkan oleh derau Gauss putih dan menghasilkan persamaan:

$$r(t) = s(t) + n(t)$$

dengan penambahan besarnya derau adalah  $x^2(t) = \sigma_0^2 = 2N_0B$  maka akan diperoleh persamaan sinyal *bandpass output*  $r_0(t)$ :

$$r_0(t) = s_0(t) + n_0(t)$$

Dimana  $r_0(t)$  merupakan sinyal yang dihasilkan *receiver*,  $s_0(t)$  sinyal *input* dan  $n_0(t)$  derau pada *output* kanal AWGN.



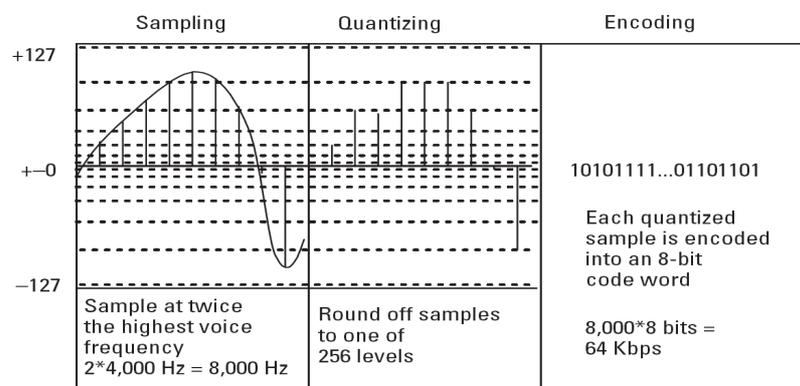
Gambar 6 Receiver pada pensinyalan biner

Hasil dari sinyal *output*  $r_0(t)$  kemudian akan dicuplik menghasilkan sinyal *passband*  $r_0(t_0)$  dan selanjutnya diubah menjadi sinyal *baseband* kembali melalui *analog to digital converter*.

Dari data yang diperoleh dari materi powerpoint salah seorang peneliti bernama Gao Xinbo, School of E.E., Xidian Univ, "Chapter 3. The Discrete-Time Fourier Analysis" mengatakan bahwa :

"Analog signals can be converted into discrete signals using *sampling* and *quantization* operations: analog-to-digital conversion, or ADC"

Jika dilihat dari gambar 7 maka dapat dijelaskan bahwa proses perubahan sinyal *passband* yang masih berbentuk sinyal *analog* menjadi sinyal *digital*/sinyal informasi bit pada blok A/D converter menggunakan proses *sampling* dan *quantization*.



Gambar 7 A/D converter

## 2.2 Filter Digital

### 2.2.1. Low-Pass Filter (LPF)

Pada saat pengiriman paket data informasi melalui saluran transmisi, terdapat derau / noise yang ditambahkan kepada sinyal analog yang dikirimkan sehingga sinyal yang diterima oleh modulator akan tidak sama persis dengan sinyal analog yang dihasilkan oleh modulator.

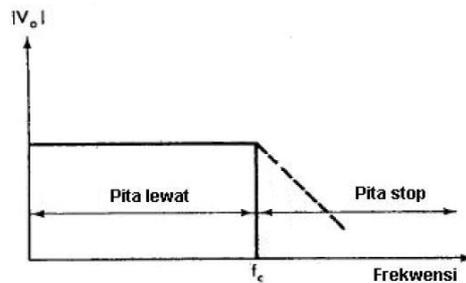
Parameter yang dapat digunakan untuk memperbaiki sinyal analog yang rusak akibat adanya penambahan derau / noise pada saluran transmisi diantaranya dengan filter / tapis sinyal yang berfungsi untuk manapis sinyal yang tidak dikehendaki. Sehingga sinyal analog yang dihasilkan setelah dilakukan filtrasi akan sedikit sama dengan sinyal analog dari modulator.

Pada proses demodulasi, terdapat filter yang dirancang agar melewatkan suatu pita frekuensi tertentu sekaligus memperlemah semua isyarat di luar pita dan dalam system komunikasi radio sangat penting perannya.

Adapun fungsi dari filter antara lain :

- Melewatkan frekuensi dalam rentang tertentu (disebut pita lolos atau *passband*), dan meredam sinyal masukan diluar daerah frekuensi pita lolosnya (disebut *stopband*). Daerah *passband* sebuah filter di definisikan sebagai daerah pita frekuensi yang dibatasi oleh penurunan daya -3 dB. Frekuensi dimana terjadi penurunan daya -3 dB (daya turun  $\frac{1}{2}$  dari daya maksimumnya) disebut frekuensi "Cut off" dengan simbol  $f_c$ .
- Memisahkan frekuensi rendah dengan frekuensi tinggi

c. Memisahkan komponen arus searah dengan arus bolak-balik. Pada LPF frekuensi di bawah  $f_c$  akan dilewatkan, sedangkan di atasnya akan dilemahkan[1]. Pada Gambar 8 diperlihatkan karakteristik frekuensi terhadap amplitudo dari LPF, garis putus-putus menunjukkan contoh bagaimana filter menyimpang dari idealnya. Untuk mendapatkan kinerja yang optimum sesuai dengan aplikasi tertentu, maka filter dapat dibuat sesuai dengan karakteristik yang dibutuhkan. Sebagai contoh penggunaan LPF dengan karakteristik Butterworth[9].

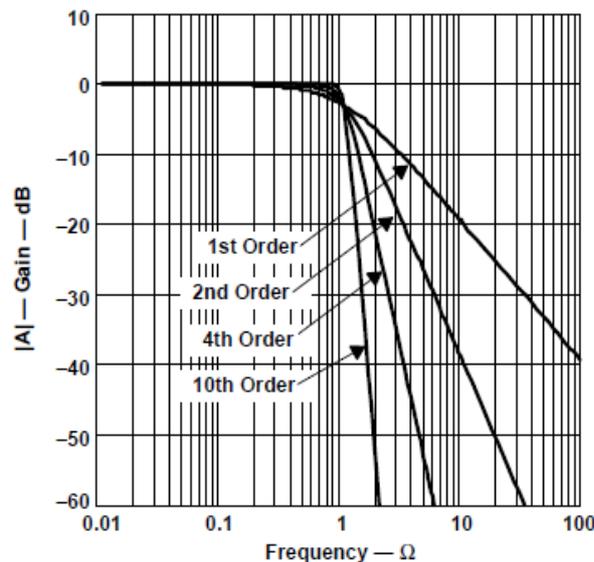


Gambar 8 Bentuk tanggapan sinyal LPF

Filter LPF umumnya digunakan pada bagian akhir dari sebuah pemancar yang berfungsi untuk menekan frekuensi harmonisa yang ada sehingga tidak ikut ditransmisi ke antenna dan mengganggu station pemancar lain.

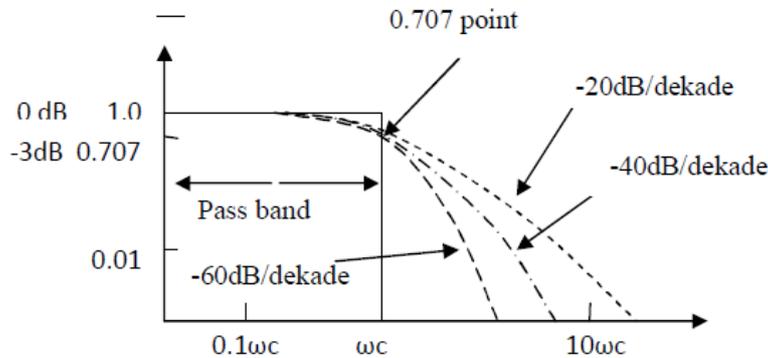
#### 2.2.2. Butterworth low-pass filter

Filter butterworth menghasilkan tanggapan frekuensi yang datar pada daerah passband dan redaman yang meningkat secara monotonikal pada stopband. Oleh karena itu, Butterworth low-pass filter sering digunakan sebagai anti-aliasing filter dalam aplikasi konverter data di mana tingkat sinyal yang tepat diperlukan di seluruh sinyal passband[9].



Gambar 9 Bentuk tanggapan gain dari *Butterworth low-pass filter* terhadap sumbu frekuensi

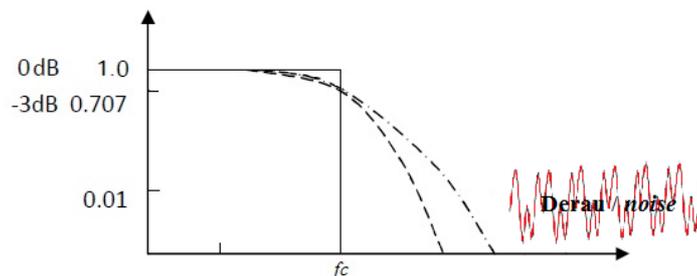
Gambar 9 merupakan bentuk tanggapan gain dari Butterworth low-pass filter terhadap sumbu frekuensi.



Gambar 10 Respon frekuensi *Butterworth low-pass filter*

Gambar 10 menunjukkan ideal (garis solid) dan praktikal (garis putus-putus) respon-respon frekuensi dari filter butterworth. Karakteristik dari sebuah Filter butterworth tidak didesain untuk menyimpan sudut fasa konstan pada frekuensi cut off, pelemahan sebesar -3dB pada frekuensi cut-off dan frekuensi diatas  $f_c$  pelemahan menjadi -20dB/decade/order[9].

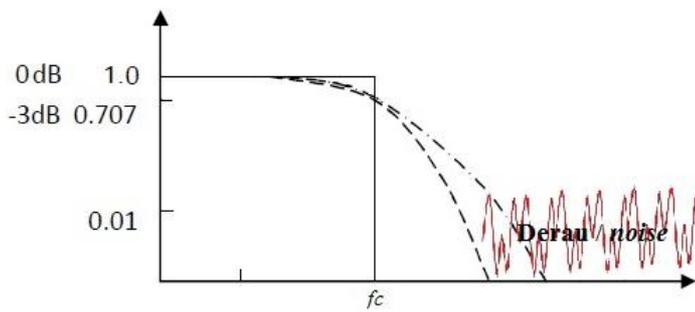
Berikut ini akan coba dijelaskan beberapa contoh kasus pengaruh nilai frekuensi cut off pada Butterworth low-pass filter terhadap posisi derau / noise :



Gambar 11 Respon nilai frekuensi *cut off* yang rendah pada *Butterworth low-pass filter* terhadap posisi derau / noise

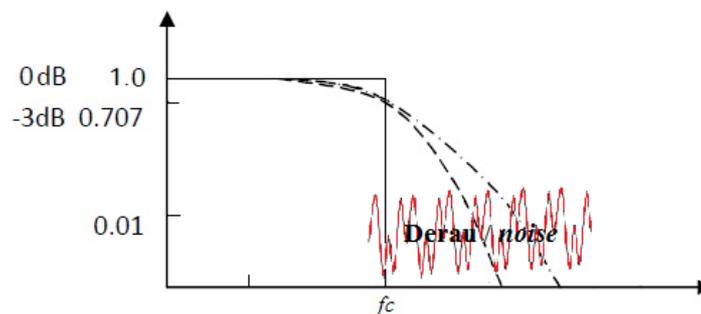
Dari gambar 11 di atas dapat dijelaskan kondisi tanggapan frekuensi cut off terhadap order butterworth low-pass filter saat ada derau yang ditambahkan kedalam sinyal. Dengan nilai  $f_c$  yang kecil, maka dimungkinkan memperoleh nilai BER yang sama pada order yang berbeda. Hal ini dikarenakan kondisi derau yang letaknya masih diluar dari frekuensi  $f_c$  kedua order.

Dari gambar 12 dapat dijelaskan bahwa saat nilai  $f_c$  sedang, maka dimungkinkan memperoleh nilai BER yang berbeda pada *order* yang berbeda. Hal ini dikarenakan kondisi derau yang letaknya sebagian sudah masuk kedalam frekuensi  $f_c$  salahsatu order yang memiliki nilai order yang lebih kecil namun belum masuk ke dalam frekuensi  $f_c$  yang memiliki order yang lebih besar.



Gambar 12 Respon nilai frekuensi *cut off* yang sedang pada *Butterworth low-pass filter* terhadap posisi derau / *noise*

Dari gambar 13 dapat dijelaskan bahwa saat nilai  $f_c$  besar, maka dimungkinkan memperoleh nilai BER yang berbeda pada *order* yang berbeda. Dimana nilai BER semakin besar jika *order* yang dimiliki oleh *Butterworth low-pass filter* semakin kecil. Hal ini dikarenakan kondisi derau yang letaknya sudah masuk kedalam frekuensi  $f_c$ , dimana nilai *order* yang lebih kecil akan lebih banyak mengambil derau / *noise* dibandingkan nilai *order* yang lebih besar.

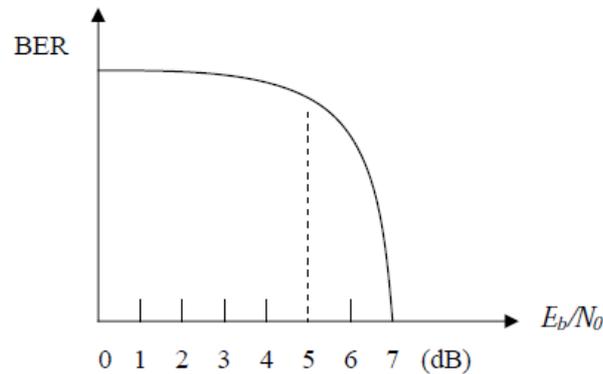


Gambar 13 Respon nilai frekuensi *cut off* yang besar pada *Butterworth low-pass filter* terhadap posisi derau / *noise*

### 2.3 Bit Error Rate (BER)

Kinerja pada sistem komunikasi banyak ditentukan oleh kemampuan bagian receiver (penerima) dalam mengolah kembali sinyal yang diterima dari transmitter (pengirim). Bagaimanapun kecanggihan sistem pada transmitter tidak akan memberi arti apabila penerima tidak mampu menterjemahkan pesan yang disampaikan melalui gelombang carrier. Sehingga kemampuan penerima untuk mengolah informasi yang terdapat pada gelombang carrier akan menentukan sejauh mana kemampuan sistem komunikasi tersebut. Dari seluruh pesan (dalam hal ini bit atau bisa saja simbol) yang dikirim pemancar berapa bagian yang diterjemahkan secara benar oleh penerima dan berapa bagian yang salah. Bagian yang salah dalam satu satuan waktu (detik) dan disebut sebagai prosen error per detik atau lebih dikenal sebagai bit error rate (BER).

$$BER = \frac{\text{Jumlah\_bit\_salah}}{\text{Jumlah\_total\_bit}}$$



Gambar 14 Grafik hubungan antara BER terhadap  $E_b/N_0$

Dari gambar 14 dapat dijelaskan bahwa semakin besar nilai  $E_b/N_0$  yang diberikan kedalam sinyal bandpass saat proses pengiriman sinyal informasi melalui kanal, maka jumlah BER yang diterima akan semakin kecil[3].

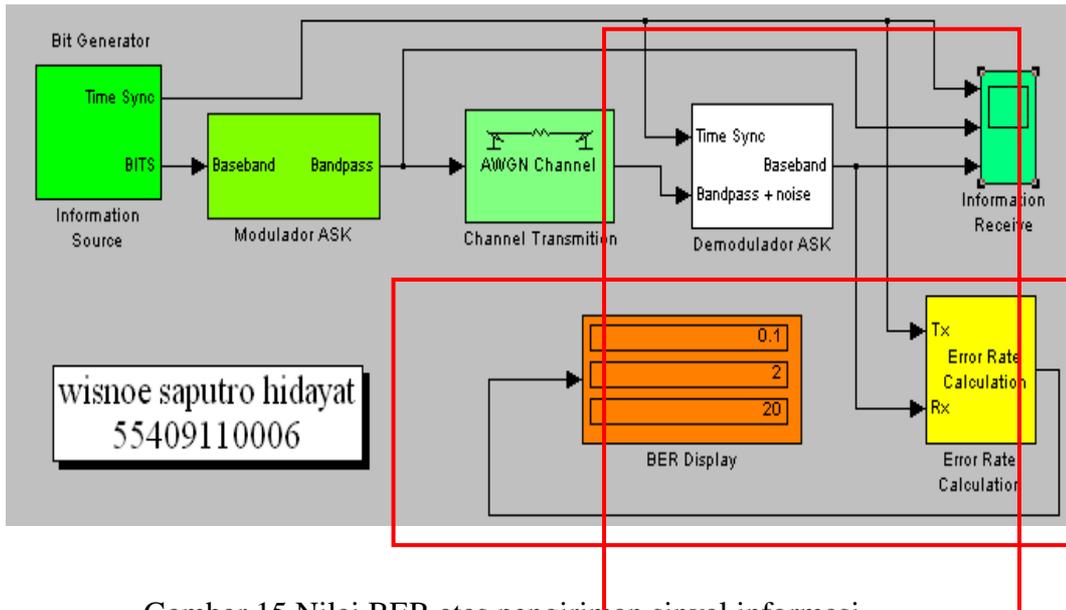
### 3. KONSEP PEMODELAN SIMULASI PROGRAM

Dalam penelitian ini, metode eksperimen menggunakan software atau program komputer dengan nama Matlab. Metode eksperimen merupakan langkah-langkah lengkap yang diambil sebelum eksperimen dilakukan agar data yang semestinya diperlukan dapat diperoleh, sehingga analisis akan menjadi objektif. Variabel bebas dijadikan sebagai variabel eksperimen, yaitu variabel penyebab atau variabel perlakuan yang karakteristiknya diyakini dapat menghasilkan perbedaan, sedangkan variabel terikat atau variabel akibat merupakan hasil dari suatu penelitian. Dikatakan terikat karena tergantung atas variabel bebas.

Eksperimen ini dilakukan pada sebuah unit PC komputer atau laptop dimana variabel bebas diperlakukan secara sadar untuk kemudian diteliti dan dianalisa efeknya terhadap variabel terikat. Dalam tesis ini, akan dicoba amati dan analisa pengaruh variabel bebas di dalam modulasi digital ASK, kanal AWGN dan filter butterworth LPF terhadap bentuk sinyal dan informasi bit yang diterima serta menghitung BER.

Hasil akhir dari ujicoba derau / noise yang ditambahkan kedalam sinyal pada saluran transmisi data adalah berupa penghitungan Bit Error Rate (BER) atau kesalahan bit pengiriman sinyal. Dalam perancangan blok simulasi program Matlab, penghitungan atas kesalahan bit yang dikirimkan dilakukan oleh blok Error Rate Calculation dan menampilkan jumlah bit yang salah pada BER Display.

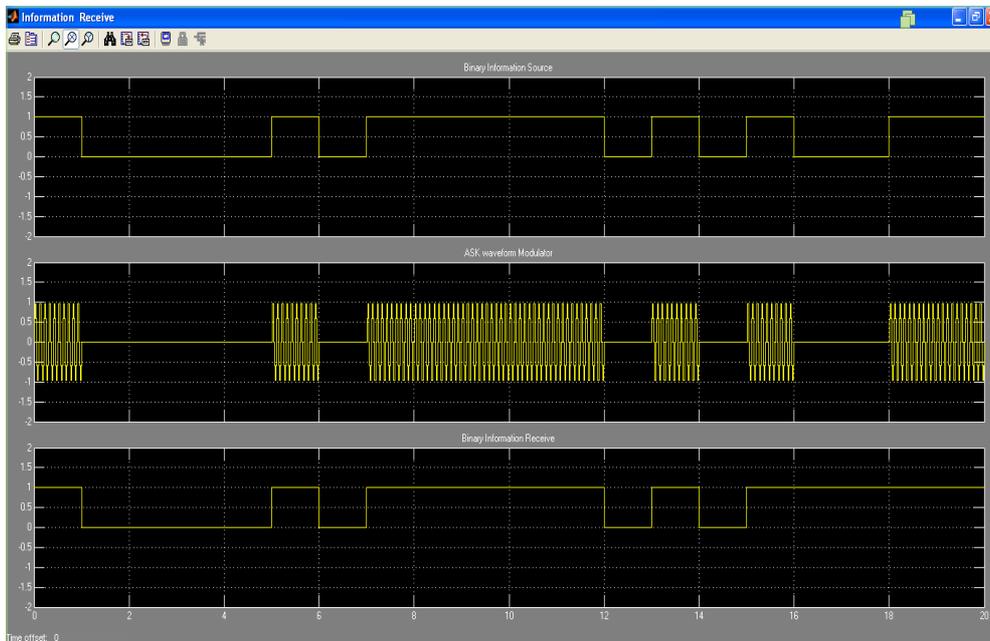
Dari Gambar 15 diatas dapat dilihat bahwa terdapat sejumlah bit yang salah pada saat proses pengiriman paket data informasi melalui kanal AWGN. Jumlah bit yang salah bernilai 2 bit dari jumlah total bit yang dikirimkan adalah 20 bit. Sehingga besarnya nilai BER adalah :



Gambar 15 Nilai BER atas pengiriman sinyal informasi

$$\begin{aligned}
 BER &= \frac{\text{Jumlah\_bit\_salah}}{\text{Jumlah\_total\_bit}} \\
 &= \frac{2}{20} \\
 &= 0,1
 \end{aligned}$$

Pada scope information receive, dapat dilihat lokasi bit yang salah dari proses pengiriman paket data dari sumber informasi ke tujuan melalui kanal AWGN.



Gambar 16 Kesalahan bit pada proses pengiriman sinyal informasi

Dari Gambar 16 dapat dilihat dari contoh pengambilan data seperti yang terdapat dalam kotak merah bahwa pengiriman sederet paket data biner terdiri dari jumlah bit 0,1,0,1,0,0,1,1. Namun dalam sisi penerima, paket data yang diterima terdiri dari jumlah bit 0,1,0,1, 1,1,1,1.

Hal ini menunjukkan bahwa paket data yang dikirimkan terdapat sejumlah kesalahan bit.

#### 4. HASIL DAN ANALISIS

Dari hasil ujicoba sinyal yang telah ditambahkan derau dengan nilai yang sama kemudian dilakukan filtrasi sinyal dengan Butterworth Low-Pass Filter, maka dapat dianalisa sebagai berikut :

Tabel 1 Pengaruh Kenaikan nilai Order terhadap BER pada nilai  $E_s/N_0 = 5 \text{ dB}$

No.	Data Hasil Pengujian Simulasi										Keterangan	
1	Bernoulli Binary Generator					AWGN Channel		Butterworth Low-pass Filter			Error Rate Cal	Butterworth LPF dengan nilai variabel bebas : $E_s/N_0 = 5 \text{ dB}$ ; Order = 2 
	$P_{(n)}$	Initial Seed (bits)	Sample time (s)	$E_s/N_0$ (dB)	Symbol Period (s)	Order	$F_s$ (Hz)	$F_c$ (Hz)	BER			
	0,37	15	1	5	1	2	100000	26000	0,2612			
	0,37	15	1	5	1	2	100000	27000	0,2631			
	0,37	15	1	5	1	2	100000	29000	0,2655			
	0,37	15	1	5	1	2	100000	30000	0,2668			
	0,37	15	1	5	1	2	100000	33000	0,2709			
	0,37	15	1	5	1	2	100000	38500	0,2827			
	0,37	15	1	5	1	2	100000	43000	0,2863			
	0,37	15	1	5	1	2	100000	45000	0,2892			
	0,37	15	1	5	1	2	100000	49000	0,3154			
	0,37	15	1	5	1	2	100000	50000	0,3199			
	2	Bernoulli Binary Generator					AWGN Channel		Butterworth Low-pass Filter			
$P_{(n)}$		Initial Seed (bits)	Sample time (s)	$E_s/N_0$ (dB)	Symbol Period (s)	Order	$F_s$ (Hz)	$F_c$ (Hz)	BER			
0,37		15	1	5	1	8	100000	5000	0,1928			
0,37		15	1	5	1	8	100000	10000	0,1982			
0,37		15	1	5	1	8	100000	16500	0,2279			
0,37		15	1	5	1	8	100000	18000	0,2580			
0,37		15	1	5	1	8	100000	31000	0,3003			
0,37		15	1	5	1	8	100000	38500	0,2900			
0,37		15	1	5	1	8	100000	43000	0,2910			
0,37		15	1	5	1	8	100000	45000	0,2937			
0,37		15	1	5	1	8	100000	49000	0,2999			
0,37		15	1	5	1	8	100000	50000	0,3199			

Dari ujicoba perubahan order Butterworth dengan nilai  $E_s/N_0$  yang tetap, diperoleh hasil seperti pada tabel 1. Hasil analisa menyimpulkan bahwa perubahan nilai  $f_c$  pada order 8 diperoleh grafik yang lebih curam/ekstrem dibandingkan grafik yang dihasilkan oleh order 2, namun jika dilihat dari sisi nilai BER yang dihasilkan terkadang saat nilai  $f_c$  sama nilai BER dari order 2 lebih kecil daripada order 8. Hal ini dikarenakan distribusi derau ke dalam sinyal bandpass disebarkan sepanjang spektrum frekuensi secara random/acak.

Dari tabel 2 dengan nilai  $E_s/N_0 = 15\text{dB}$ ; order = 8, saat nilai  $f_c$  5000Hz menghasilkan nilai BER = 0,1906. Jika dibandingkan dengan hasil perolehan pada tabel 4.1 dengan nilai  $E_s/N_0 = 5\text{dB}$ ; order = 8, nilai  $f_c$  5000Hz menghasilkan nilai BER = 0,1928. Hal ini membuktikan bahwa peningkatan nilai  $E_s/N_0$  dapat

mempengaruhi kualitas sinyal menjadi semakin baik atau dengan kata lain nilai BER menjadi berkurang.

Tabel 2 Pengaruh Kenaikan nilai *Order* terhadap BER pada nilai  $E_s/N_0 = 15$  dB

No.	Data Hasil Pengujian Simulasi									Keterangan
3	Bernoulli Binary Generator			AWGN Channel		Butterworth Low-pass Filter		Error Rate Cal		Butterworth LPF dengan nilai variabel bebas : $E_s/N_0 = 15$ dB ; Order = 2 
	$P_{in}$	Initial Seed	Sample time	$E_s/N_0$	Symbol Period	Order	$F_s$	$F_c$	BER	
		(bits)	(s)	(dB)	(s)		(Hz)	(Hz)		
	0,37	15	1	15	1	2	100000	945	0,1876	
	0,37	15	1	15	1	2	100000	1100	0,1930	
	0,37	15	1	15	1	2	100000	1300	0,1966	
	0,37	15	1	15	1	2	100000	1550	0,1997	
	0,37	15	1	15	1	2	100000	2300	0,2088	
	0,37	15	1	15	1	2	100000	5000	0,2887	
	0,37	15	1	15	1	2	100000	8500	0,3030	
	0,37	15	1	15	1	2	100000	16500	0,3047	
0,37	15	1	15	1	2	100000	18000	0,3049		
0,37	15	1	15	1	2	100000	21000	0,3051		
4	Bernoulli Binary Generator			AWGN Channel		Butterworth Low-pass Filter		Error Rate Cal		Butterworth LPF dengan nilai variabel bebas : $E_s/N_0 = 15$ dB ; Order = 8 
	$P_{in}$	Initial Seed	Sample time	$E_s/N_0$	Symbol Period	Order	$F_s$	$F_c$	BER	
		(bits)	(s)	(dB)	(s)		(Hz)	(Hz)		
	0,37	15	1	15	1	8	100000	700	0,1824	
	0,37	15	1	15	1	8	100000	945	0,1850	
	0,37	15	1	15	1	8	100000	1100	0,1854	
	0,37	15	1	15	1	8	100000	1300	0,1867	
	0,37	15	1	15	1	8	100000	5000	0,1906	
	0,37	15	1	15	1	8	100000	12570	0,2171	
	0,37	15	1	15	1	8	100000	16500	0,2310	
	0,37	15	1	15	1	8	100000	18000	0,2961	
0,37	15	1	15	1	8	100000	21000	0,3019		
0,37	15	1	15	1	8	100000	27000	0,3026		

### 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Pengujian simulasi perangkat lunak modulasi digital ASK ini bertujuan untuk mengumpulkan data hasil ujicoba dan menganalisa kinerja Butterworth Low-Pass Filter dalam filtrasi sinyal bandpass yang telah dipengaruhi oleh derau, serta menghitung jumlah Bit Error Rate (BER) dari data yang diterima.

Berdasarkan nilai kuantitatif dari tabel hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa semakin besar variabel bebas  $F_c$  yang diberikan kedalam sinyal passband pada blok Butterworth Low-Pass Filter, maka akan menghasilkan BER yang cenderung besar.

Pada pengujian dengan nilai  $E_s/N_0$  yang tetap, diperoleh hasil bahwa perubahan nilai  $f_c$  pada order 8 diperoleh grafik yang lebih curam/ekstrem dibandingkan grafik yang dihasilkan oleh order 2.

Saat nilai  $f_c$  sama nilai BER dari order 2 lebih kecil daripada order 8. Hal ini dikarenakan distribusi derau ke dalam sinyal bandpass disebarkan sepanjang spektrum frekuensi secara random/acak.

Peningkatan nilai  $E_s/N_0$  dapat mempengaruhi kualitas sinyal menjadi semakin baik atau dengan kata lain nilai BER menjadi berkurang.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Beauty, Agung D., & M.Julius. (2009). *Perancangan Rangkaian Terpadu Penguat Operasional Untuk Pengatur Nada*. Jurnal EECCIS, Vol. III, No. 2.
- [2]. Kugelstadt, Thomas. (2008). *Active Filter Design Techniques*. Texas: Texas Instrument.
- [3]. Maharani, Tamara & Aries Pratiarso, Arifin. (2011). *Simulasi Pengiriman Dan Penerimaan Informasi Menggunakan Kode BCH*. Surabaya : Politeknik Elektronika Negeri Surabaya Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [4]. Osman, A.S. (2006). *Ber Performance Study Of Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)*. A project report submitted in partial fulfillment of the requirements for the award of the degree of Masters of Engineering (Electrical – Electronics & Telecommunication). Malaysia : Universiti Teknologi Malaysia.
- [5]. Santoso, Dana. (2009). *Buku Pedoman Penyusunan Tesis*. Jakarta : Universitas Mercu Buana.
- [6]. Saydam, Gouzali. (2000). *Sistem Telekomunikasi di Indonesia*. Bandung : Angkasa.
- [7]. Smale, P.H. (1986). *Sistem Telekomunikasi I*. Jakarta : Erlangga.
- [8]. Stallings, William. (2001). *Dasar-dasar Komunikasi Data*. Jakarta : Salemba Teknika.
- [9]. Wajiansyah, Agusma, & Subir. (2011). *Desain Filter Aktif Low Pass Butterworth*. *Dielektrika*, ISSN 2086-9487 Vol. 2, No. 2 : 120 – 126.
- [10]. Winder, Steve. (2002). *Analog And Digital Filter Design*. USA : Elsevier Science.
- [11]. Wisnoe. (2007). *Kinerja Modulasi Digital Dengan Metode ASK (Amplitude-Shift Keying)*. Semarang : Universitas Diponegoro.
- [12]. Xiong, Fuqin. (2006). *Digital Modulation Techniques*. Norwood : Artech House, Inc.

