

IDENTIFIKASI PARAMETER *LOW PASS FILTER* MENGGUNAKAN TEKNIK REKONSTRUKSI DIAGRAM BODE

Indar Sugiarto, Felix Pasila, Mulia Rudy

Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Kristen Petra
Email : felix@petra.ac.id, indi@petra.ac.id

Abstrak

Identifikasi Parameter dapat dilakukan dengan berbagai macam cara, salah satunya yang sudah kita kenal adalah dengan Teknik Adaptive. Teknik adaptive ditinjau dari segi matematis memang sangat rumit. Cara lain yang dapat dilakukan adalah dengan menggunakan Bode Diagram, karena hanya membutuhkan data frekuensi dan/atau penguatan untuk mendapatkan parameter sistem.

Pada alat yang dibuat terdiri dari minimum sistem MCS-51, ADC, DAC, plant yang terdiri dari amplifier serta low pass filter orde satu dan orde dua, sumber frekuensi (VCO), peak detector, dan program Matlab 6.1. Minimum sistem berfungsi untuk mengirim data ke DAC dan membaca data dari ADC. Output dari DAC digunakan pada VCO untuk membangkitkan frekuensi. Frekuensi yang dihasilkan digunakan sebagai input pada plant. Kemudian output dari plant akan menjadi input bagi peak detector. Selanjutnya output yang dihasilkan peak detector akan diubah oleh ADC menjadi data biner dan mengirimkannya ke minimum sistem. Minimum sistem akan mengirimkan data ini ke PC. Kemudian data ini diproses dengan menggunakan Matlab 6.1. Sehingga didapat data berupa besarnya penguatan, frekuensi cut off, dan kemiringan sistem. Data ini dibutuhkan untuk mendapatkan transfer function.

Dari pengujian pada low pass filter -20 dB/decade dan -40 dB/decade diperoleh hasil bahwa metode yang digunakan dapat berjalan, dengan error rata-rata sebesar 1,288 %.

Kata kunci : Low Pass Filter, Transfer Function, Diagram Bode, dan Frekuensi Cut Off

Abstract

In execute some parameter identification can do with various way, one of we know is adaptive technique. Looking at it from mathematics point of view of course adaptive technique is very difficult. Another method which can used such like Bode Diagram method, because it is only need frequency data and gain/phase to get the parameter system.

The hardware is being produced like a minimum system MCS-51, ADC, DAC, plant like a amplifier and low pass filter first order and second order, frequency source (VCO), peak detector, and Matlab 6.1 programming. Minimum system is used for send data to DAC and read data from ADC. Output from DAC is used for VCO to produced frequency. The frequency that is being produced is used for input of the plant. Output from plant becomes input for peak detector. Next, output from peak detector will change into binary data with ADC and send the binary data to minimum system. Minimum system send the data to PC. Then the data will be proceed by software of Matlab 6.1. Until can get the data like value of gain, cut off frequency, and gradient system. This data is need to produce transfer function.

From research at low pass filter -20 dB/decade and -40 dB/decade we can get that method is being used can run, with error 1,288 %

Keywords : Low Pass Filter, Transfer Function, Bode Diagram, and Cut Off Frequency

Pendahuluan

Dalam melakukan suatu *Identifikasi Parameter* dapat dilakukan dengan berbagai macam cara, salah satunya yang sudah dikenal adalah dengan *Teknik Adaptive*. Teknik adaptive ditinjau dari segi matematis memang sangat rumit. Cara lain yang dapat dilakukan adalah dengan mengguna-

kan *Bode Diagram*.

Bode diagram merupakan salah satu teknik dalam respon analisis untuk mendeteksi magnitude dan phasa dari sistem jika diberi input sinusoidal. Teknik ini dapat memprediksi *Transfer Function* dari sistem yang diberi input sinusoidal melalui proses analisa gambar diagram Bode. Kemudian transfer function yang diperoleh dicek kembali, apakah sudah sesuai

Catatan : Diskusi untuk makalah ini diterima sebelum tanggal 1 November 2003. Diskusi yang layak muat akan diterbitkan pada Jurnal Teknik Elektro volume 4, nomor 1, Maret 2004.

dengan aslinya atau tidak. Sehingga identifikasi parameter yang dihasilkan dapat digunakan untuk mengontrol sistem dengan tepat.

Tujuan pembuatan makalah ini yaitu untuk membuat analisa dari suatu sistem/peralatan listrik untuk mendapatkan identifikasi parameter dari sistem tersebut, sehingga dapat diketahui karakteristik dari alat listrik tersebut dan bagaimana memilih suatu sistem yang baik.

Teori Dasar

1. Diagram Bode^[3]

Diagram Bode atau diagram logaritmik merupakan suatu fungsi alih sinusoida yang terdiri dari dua buah grafik yang terpisah. Satu merupakan diagram dari logaritma besar fungsi alih sinusoida (magnitude), dan yang satunya lagi merupakan diagram sudut fasa. Keduanya digambar terhadap frekuensi dalam skala logaritmik.

Faktor-faktor dasar yang sering terdapat pada suatu fungsi alih $G(j\omega)H(j\omega)$ adalah: penguatan, faktor integral dan turunan, faktor orde pertama, dan faktor kuadratik.

Penguatan K

Sebuah konstanta yang lebih besar dari satu maka mempunyai harga positif $20 \log K$ dB, sedangkan konstanta yang lebih kecil dari satu mempunyai harga negatif. Sudut fasa dari penguatan K adalah nol.

Faktor Integral Dan Turunan $(j\omega)^{\pm 1}$

Besar logaritmik dari $1/j\omega$ dalam dB adalah:

$$20 \log \left| \frac{1}{j\omega} \right| = -20 \log \omega \quad \text{db} \quad (1)$$

Sudut fasa dari $1/j\omega$ adalah konstan dan sama dengan -90° .

Dengan cara yang sama, besaran log dari $j\omega$ dalam db adalah:

$$20 \log |j\omega| = 20 \log \omega \quad \text{db} \quad (2)$$

Sudut fasa dari $j\omega$ adalah konstan dan sama dengan 90° .

Faktor Orde Pertama $(1 + j\omega T)^{\pm 1}$

Besaran log dari faktor orde pertama $1/(1+j\omega T)$ adalah:

$$20 \log \left| \frac{1}{1 + j\omega T} \right| = -20 \log \sqrt{1 + \omega^2 T^2} \quad \text{db} \quad (3)$$

Untuk faktor kebalikannya yaitu $1+j\omega T$, maka besaran lognya adalah:

$$20 \log |1 + j\omega T| = 20 \log \left| \frac{1}{1 + j\omega T} \right| \quad (4)$$

dan sudut fasanya adalah:

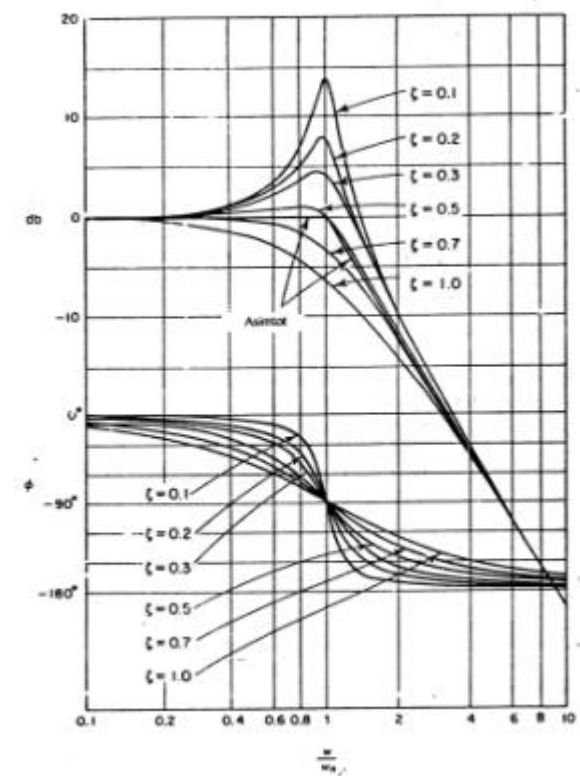
$$\phi = \angle (1 + j\omega T) = \tan^{-1} \omega T = -\angle \frac{1}{1 + j\omega T} \quad (5)$$

Faktor Kuadratik $[1+2\zeta(j\omega/\omega_n)+(j\omega/\omega_n)^2]^{\pm 1}$

$$\left[\frac{1}{1 + 2\zeta \left(j \frac{\omega}{\omega_n} \right) + \left(j \frac{\omega}{\omega_n} \right)^2} \right] = 20 \log \left| \frac{1}{1 + 2\zeta \left(j \frac{\omega}{\omega_n} \right) + \left(j \frac{\omega}{\omega_n} \right)^2} \right| \quad (6)$$

Sudut fasa faktor kuadratik $[1+2\zeta(j\omega/\omega_n) + (j\omega/\omega_n)^2]^{-1}$ adalah:

$$\phi = \angle \frac{1}{1 + 2\zeta \left(j \frac{\omega}{\omega_n} \right) + \left(j \frac{\omega}{\omega_n} \right)^2} = -\tan^{-1} \left[\frac{2\zeta \frac{\omega}{\omega_n}}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^2} \right] \quad (7)$$

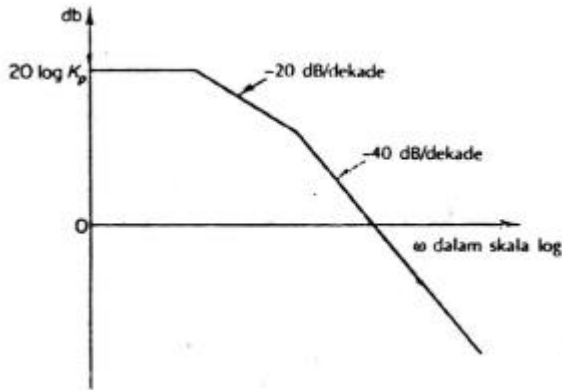


Gambar 1. Kurva besaran log, sudut fasa, dan asimtot dari $1/[1+2\zeta(j\omega/\omega_n)+(j\omega/\omega_n)^2]$

Sistem Tipe 0 (N=0) atau Koefisien Kesalahan Posisi Statis K_p

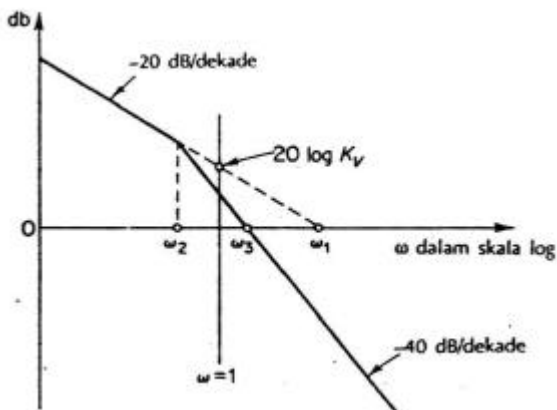
Pada sistem ini, besaran $G(j\omega)H(j\omega)$ pada frekuensi rendah sama dengan K_p , atau:

$$\lim_{\omega \rightarrow 0} G(j\omega)H(j\omega) = K_p \quad (8)$$



Gambar 2. Kurva besaran-log untuk sistem tipe 0

Sistem Tipe 1 (N=1) atau Koefisien Kesalahan Kecepatan Statis K_v



Gambar 3. Kurva besaran-log untuk sistem tipe 1

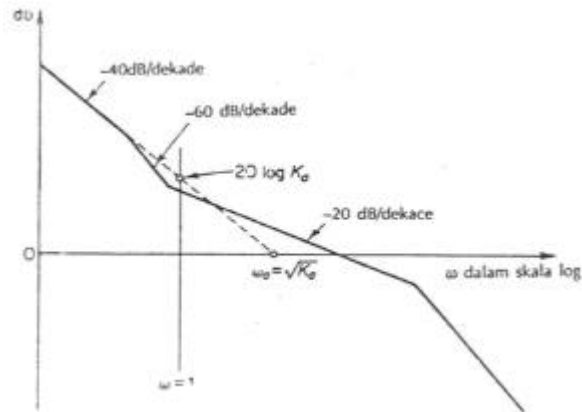
Dapat dibuktikan dengan:

$$G(j\omega)H(j\omega) = \frac{K_v}{j\omega} \text{ untuk } \omega \ll 1 \quad (9)$$

jadi,

$$20 \log \left| \frac{K_v}{j\omega} \right|_{\omega=1} = 20 \log K_v \quad (10)$$

Sistem Tipe 2 (N=2) atau Koefisien Kesalahan Percepatan Statis K_a



Gambar 4. Kurva besaran-log untuk sistem tipe 2 pada frekuensi rendah

$$G(j\omega)H(j\omega) = \frac{K_a}{(j\omega)^2} \quad (11)$$

atau,

$$G(j\omega) = \left| \frac{K_a}{(j\omega)^2} \right| \text{ jika } \omega \ll 1 \quad (12)$$

ini berarti bahwa

$$20 \log \left| \frac{K_a}{(j\omega)^2} \right|_{\omega=1} = 20 \log K_a \quad (13)$$

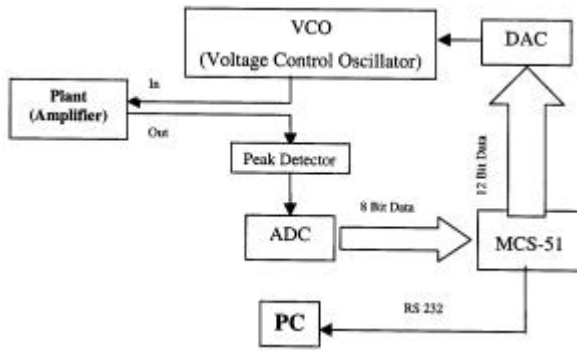
yang menghasilkan

$$\omega_a = \sqrt{K_a}$$

Desain Sistem

1. Perencanaan Plant

Pada hardware yang akan dibuat terdiri dari beberapa rangkaian, yaitu rangkaian yang berfungsi sebagai *function generator* yang terdiri dari DAC dan VCO (Voltage Controller Oscillator), serta rangkaian Peak Detector, ADC, dan microcontroller MCS-51. Untuk MCS-51 akan dipakai yang sudah jadi yang telah banyak beredar dipasaran. Sedangkan untuk plantnya akan menggunakan amplifier. Blok diagramnya dapat dilihat seperti pada gambar 5.



Gambar 5. Diagram blok sistem

2. Perencanaan Software

Bahasa Assembly digunakan untuk memprogram minimum sistem MCS-51. Dalam hal ini, minimum sistem diprogram untuk mengirimkan data ke DAC sebesar 12 bit. Selain itu juga, minimum sistem berfungsi untuk membaca data dari ADC sebesar 8 bit, kemudian mengirim data tersebut ke PC dengan menggunakan serial port. Program Matlab berfungsi untuk membaca data yang dikirimkan oleh minimum sistem kemudian menampilkannya dalam bentuk grafik/kurva. Dalam hal ini, grafik yang dihasilkan merupakan fungsi amplitudo (A) terhadap frekuensi. Setelah itu grafik ini akan diubah menjadi grafik magnitude, dengan menggunakan persamaan :

$$\text{Mag} = 20\text{Log}(A) \text{ [dB]} \quad (14)$$

dan frekuensinya diubah menjadi omega (ω) dengan menggunakan persamaan :

$$\omega = 2\pi f \text{ [Rad / s]} \quad (15)$$

Untuk sistem orde 1:

$$tf = k (s + \omega_{cutoff}) \quad (16)$$

dengan kemiringan 20 dB/decade

atau

$$tf = \frac{k}{s + \omega_{cutoff}} \quad (17)$$

dengan kemiringan -20 dB/decade

Untuk sistem orde 2:

$$tf = k \left(\frac{1}{\omega_{cutoff}^2} s^2 + \frac{2d}{\omega_{cutoff}} s + 1 \right) \quad (18)$$

dengan kemiringan 40 dB/decade

$$tf = \frac{k}{\frac{s^2}{\omega_{cutoff}^2} + 2d \frac{s}{\omega_{cutoff}} + 1} \quad (19)$$

dengan kemiringan -40 dB/decade

Sebelum program dijalankan, terlebih dahulu dibuat inialisasi dan setting untuk port serial, yaitu untuk mengatur port com, time out, dan baud rate yang digunakan (dalam hal ini baud ratenya sebesar 19200 dan time out 90 detik). Prosesnya dapat dilihat pada gambar berikut :

- Proses inialisasi untuk port serial dan urutan proses settingnya dapat dilihat pada gambar 6. Dengan menggunakan instrument creation tool pada instrument control toolbox, maka dapat dibuat inialisasi untuk port serial.



Gambar 6. Inialisasi port serial

Jika untuk mendownload program assembly digunakan port COM1 maka untuk pengambilan data pada Matlab digunakan port COM2, demikian pula sebaliknya. Beberapa hal yang perlu disesuaikan antara lain :

- Port serial yang digunakan (COM1 atau COM2)
- Baud rate di set 19200 bps
- Time out di set 90 seconds

Kemudian setting tadi disimpan di dalam workspace dengan menggunakan variable s. Proses settingnya dapat dilihat pada gambar 7.

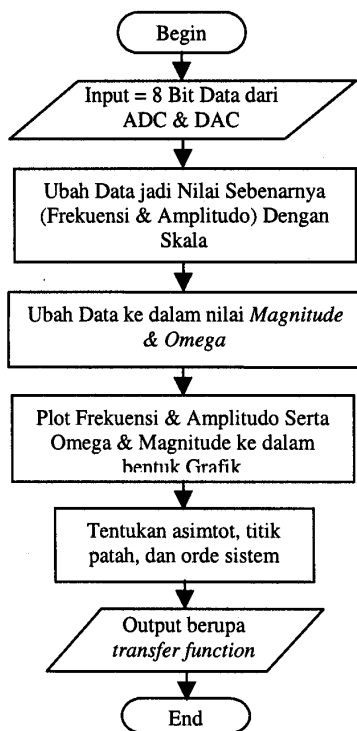


Gambar 7. Setting port serial

Setelah disimpan maka program M-file dengan nama skripsi.m dapat dijalankan.

- Setelah program dijalankan, pertama-tama Matlab akan membaca data yang dikirimkan oleh minimum sistem MCS-51 kepada PC.
- Data tersebut berupa data dari DAC dan ADC.
- Data yang diperoleh kemudian diubah menjadi data frekuensi dan amplitudo.
- Kemudian data tersebut diubah menjadi omega dan magnitudo.
- Setelah nilai omega dan magnitudo diperoleh, maka data-data itu ditampilkan kedalam bentuk grafik.
- Dari data-data tersebut kemudian dicari amplitudo awal (sebagai faktor penguatan), omega cut off (diperoleh dari frekuensi cut off), dan kemiringannya (-20 dB atau -40 dB).
- Setelah didapatkan nilai penguatan, omega cut off, dan orde dari sistem, maka dapat dicari persamaan transfer functionnya.

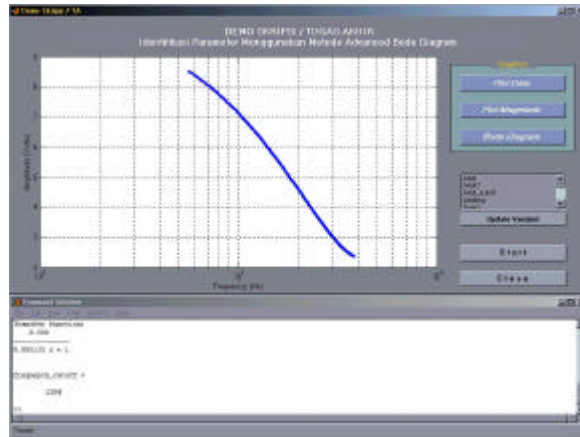
Flowchart dari proses identifikasi parameter di atas dapat dilihat pada gambar 8.



Gambar 8. Alur proses identifikasi parameter dengan rekonstruksi diagram bode

Hasil Pengujian

Hasil pengujian pada low pass filter -20 dB/decade untuk penguatan maksimum dengan frekuensi cut off 800 Hz ditunjukkan pada gambar 9 berikut.

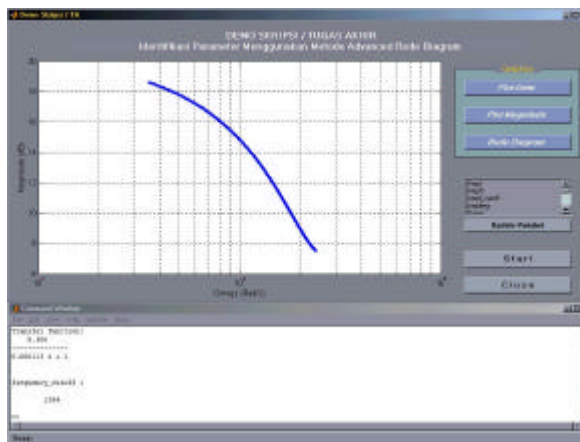


Gambar 9. Grafik amplitudo sinyal untuk LPF -20dB/decade dengan frekuensi cut off 800 Hz, frekuensi dalam Hertz.

Untuk plot magnitude diperoleh dengan melakukan perhitungan :

$$\text{magnitude} = 20\log(\text{amplitudo}) \text{ [dB]} \quad (20)$$

Dalam hal ini besarnya amplitudo diperoleh dari plot data pada gambar 9 sehingga dihasilkan plot magnitude seperti ditunjukkan pada gambar 10.



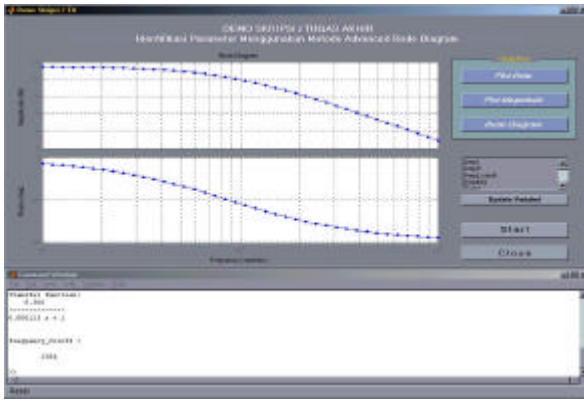
Gambar 10. Grafik plot magnitude dengan amplitudo yang didapat dari gambar 9.

Dari gambar 9 dan 10 diperoleh nilai :

$$\text{Amplitudo} = K = 8,5$$

$$\text{Omega cut off} = 10^4 \text{ rad/sec}$$

Rekonstruksi diagram bode menggunakan matlab dari hasil pengujian pada low pass filter -20 dB/decade untuk penguatan maksimum dengan frekuensi cut off 800 Hz ditunjukkan pada gambar 11 berikut.



Gambar 11. Diagram Bode yang dihasilkan untuk LPF -20 dB/decade dengan frekuensi cut off 800 Hz

Dengan membandingkan amplitudo cut off dan amplitudo setelah cut off, maka dapat diperoleh kemiringannya sebesar -20 dB. Kemudian data-data tersebut dikumpulkan dan diproses menjadi sebuah fungsi. Maka persamaan transfer function yang dihasilkan adalah :

$$tf = \frac{k}{s + \omega_{cutoff}} = \frac{8,5}{s + 10^4}$$

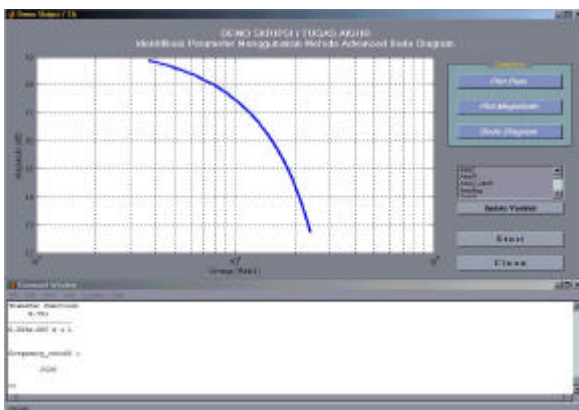
$$tf = \frac{8,506}{0,000115 s + 1} \quad (21)$$

Pengujian untuk low pass filter -20 dB/decade untuk penguatan maksimum dengan frekuensi cut off 2 KHz dapat dilihat pada gambar 12.

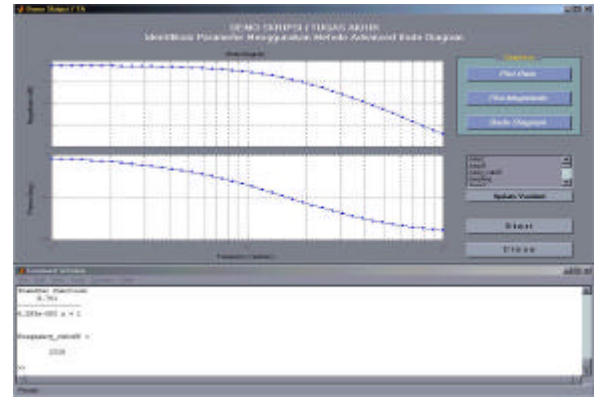
Persamaan transfer function yang dihasilkan adalah :

$$tf = \frac{8,791}{6,293 \cdot 10^{-5} s + 1} \quad (22)$$

Sedangkan untuk pengujian low pass filter -40 dB dengan frekuensi cut off 2 KHz dapat dilihat pada gambar 13.

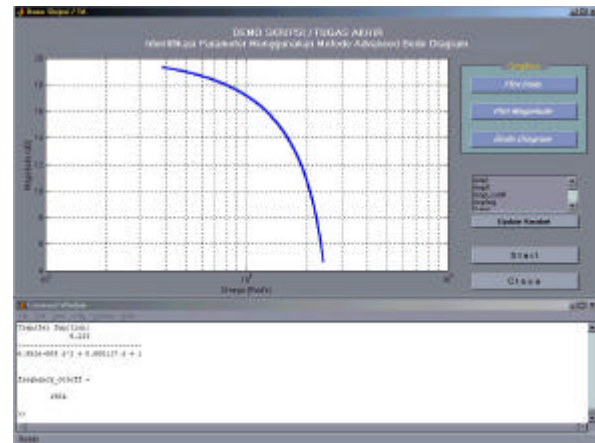


(a)

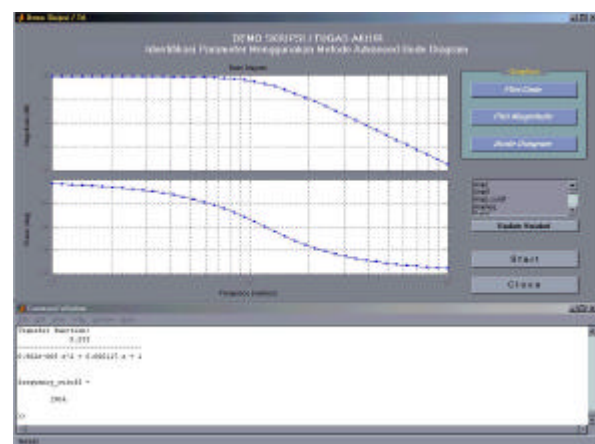


(b)

Gambar 12. (a). Grafik plot magnitudo untuk LPF -20 dB/decade dengan frekuensi cut off 2 KHz. (b). Diagram Bode yang dihasilkan dari proses rekonstruksi



(a)



(b)

Gambar 13. (a). Grafik plot magnitudo untuk LPF -40 dB/decade dengan frekuensi cut off 2 KHz. (b). Diagram Bode yang dihasilkan dari proses rekonstruksi

Transfer function yang dihasilkan :

$$tf = \frac{9,233}{6,982 \cdot 10^{-9} s^2 + 0,000117 s + 1} \quad (23)$$

Pengujian error bertujuan untuk mengetahui seberapa besar error yang dihasilkan antara data magnitude awal (data hasil pengukuran langsung dari alat) dengan data magnitude pada diagram Bode (yang dihasilkan dari matlab). Data magnitude tersebut kemudian diubah kembali menjadi data amplitudo. Untuk mencari errornya digunakan regresi linear.

Untuk pengujian dengan K yang berbeda, tabel errornya dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 1. Tabel Error Untuk Frekuensi Cut Off Dan Penguatan K Yang Berbeda

K	Frekuensi Cut Off	LPF	Error (%)
8.5	800 Hz	-20 dB	0.64
	800 Hz	-40 dB	3.76
	2 KHz	-20 dB	3.12
	2 KHz	-40 dB	1.29
4	800 Hz	-20 dB	2.76
	800 Hz	-40 dB	2.03
	2 KHz	-20 dB	0.53
	2 KHz	-40 dB	1.34
2	800 Hz	-20 dB	2.48
	800 Hz	-40 dB	1.2
	2 KHz	-20 dB	0.67
	2 KHz	-40 dB	2.11
Rata-Rata :			1.288

Dari tabel 1, rata-rata error yang diperoleh adalah sebesar 1,288 %.

Kesimpulan

Alat dan program yang dibuat untuk identifikasi parameter low pass filter dengan teknik rekonstruksi diagram bode sudah dapat berjalan dengan baik. Dari hasil pengujian didapatkan bahwa error antara data awal magnitude dan hasil magnitude pada Bode diagram rata-rata sebesar 1,288 % dari semua eksperimen.

Secara umum sistem yang digunakan merupakan sistem terbuka *Single Input Single Output*. Hal ini karena plant yang digunakan hanya mendapat

input dari VCO saja dan output yang dihasilkan kemudian diproses untuk dianalisa.

Daftar Pustaka

- [1]. Coughlin, Robert F. and Driscoll, Frederick F. Operational Amplifiers and Linear Integrated Circuits Second Edition. New Jersey: Prentice-Hall, 1982.
- [2]. _____, National Data Acquisition Databook. Hongkong: Asia Communication National Semiconductor HK. Ltd, 1995.
- [3]. Ogata, Katsuhiko. Teknik Kontrol Automatik (Sistem Pengaturan) Jilid 2 Edisi 2. Jakarta: Erlangga, 1997.