

IDENTIFIKASI DENGAN BANTUAN METODE TRANSFORMASI IMPULS TAK BERUBAH PADA ANTI ALIASING FILTER YANG TERDAPAT DI MSA BUATAN HP TIPE HP3566A

Michael E. Rembet, Johan S. C. Neyland

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi Manado

ABSTRAK

Sinyal getaran dapat diukur dengan perangkat akuisisi data digital. Satu contoh perangkat ini adalah MSA (*Multichannel Spectrum Analyzer*) yang diproduksi oleh Hewlett Packard HP3566a. Perangkat akuisisi data menggunakan rangkaian AAF (*Anti Aliasing Filter*), yang bertujuan untuk menekan efek *aliasing* pada spektrum sinyal yang diperoleh. Sayangnya, pada MSA yang diproduksi oleh Hewlett Packard HP3566a tidak dilengkapi dengan informasi parameter seperti jenis dan orde filter.

Studi ini menyajikan identifikasi AAF pada MSA HP3566a. Identifikasi ini dilakukan dengan cara kurva magnitudo FRF dari AAF disesuaikan dengan kurva magnitudo filter teoretis. Selain itu, kurva fasa FRF dari AAF juga disesuaikan dengan kurva fasa filter teoretis. Kurva magnitudo dan fasa filter teoretis digambarkan berdasarkan persamaan fungsi transfer dalam domain z dari filter teoretis. Fungsi transfer dalam domain z dari filter teoretis diperoleh lewat proses transformasi fungsi transfer dalam domain s dengan Metode Transformasi Impuls Tak Berubah (*Partial Fraction Expansion Method*).

Penyesuaian kurva menyimpulkan bahwa AAF pada MSA HP3566a adalah filter *low-pass*. Filter tersebut terdiri dari dua filter jenis Butterworth orde delapan. Kedua filter itu kemudian dihubungkan secara seri.

Kata kunci: *Anti Aliasing Filter*, Metode Impuls Tak Berubah

ABSTRACT

Vibration signals can be measured by MSA (Multichannel Spectrum Analyzer). One of it is produced by Hewlett Packard HP3566A. MSA use AAF (Anti Aliasing Filter) circuit, which used for suppressing the aliasing effect on the signal spectrum. Unfortunately, the MSA produced by Hewlett Packard HP3566A is not equipped with filter parameter such as type and order filter.

This study presents AAF identification on MSA HP3566A. Filter parameter of AAF can be known by comparasing the FRF magnitude curve from AAF with theoretical filter magnitude curve. In addition, the phase of the FRF curve from AAF is also compared to the theoretical filter phase curve. Those theoretical magnitude and phase curves are described based on the transfer function in the z domain of theoretical filter. The transfer function in the z domain is obtained through the transformation process of the transfer function in the s domain with Partial Fraction Expansion Method.

The curve adjustment concludes that AAF in MSA HP3566A is a low-pass filter. The filter consists of two eight order butterworth filters. That two filters are then connected in series.

Keywords: Anti Aliasing Filter, Partial Fraction Expansion Method

1. Pendahuluan

Saat ini, pengukuran magnitudo spektrum sinyal dapat dilakukan dengan peralatan pengukuran data digital. Satu contoh perangkat tersebut adalah MSA yang diproduksi oleh Hewlett Packard HP3566a. Sebelum MSA digunakan pada pengukuran spektrum sinyal, sinyal harus terlebih dahulu dikonversi dari domain waktu kontinu ke domain waktu diskrit. Proses konversi ini disebut proses cuplik sinyal. Proses cuplik MSA dilakukan dengan menggunakan ADC (*Analog to Digital Converter*). Menurut teorema Shannon [Sturm dan Kirk (1994)], proses cuplik ADC harus dilakukan pada frekuensi cuplik yang lebih besar dari dua kali frekuensi sinyal tertinggi. Jika syarat ini tidak terpenuhi, maka akan terjadi *aliasing*. Salah satu cara untuk memastikan bahwa *aliasing* tidak terjadi adalah dengan menggunakan AAF (*Anti Aliasing Filter*) di MSA [Sinha (1991), McConnell (1995), Ewins (2000)]. AAF adalah filter *low-pass* yang

bekerja sedemikian rupa sehingga lebar spektral dari sinyal diskrit dapat dibatasi. AAF digunakan sebelum proses cuplik untuk mengeliminasi komponen frekuensi di atas frekuensi Nyquist [McConnell (1995)]. Agar hasil pengukuran lebih andal saat menggunakan AAF, parameter AAF harus diidentifikasi terlebih dahulu.

Sampai saat ini identifikasi parameter AAF telah banyak dipelajari oleh para peneliti sebelumnya. Diantaranya adalah D'Antona, Di Rienzo, dan Ottoboni [1999] yang menjelaskan bahwa pendeteksian AAF dapat dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak. Menggunakan perangkat lunak ini dapat meningkatkan akurasi proses deteksi. Namun pada penelitian ini, identifikasi dilakukan dengan menggunakan metode *well-tailored identification procedure*. Peneliti lain [Pizano (2011)] menunjukkan bahwa sistem dapat diidentifikasi menggunakan persamaan *non-linier*. Persamaan ini dibandingkan

dengan FRF (Fungsi Respon Frekuensi) dari sistem. Namun, dalam penelitian ini, persamaan *non-linier* diperoleh sebagai persamaan referensi menggunakan jaringan syaraf tiruan. Penurunan persamaan ini dilakukan dengan dua cara. Cara pertama adalah menggunakan sistem SISO (*Single Input Single Output*). Pilihan lainnya adalah menggunakan sistem MISO (*Multiple Input Single Output*). Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa akurasi sistem MISO lebih baik dibandingkan dengan sistem SISO.

Dari kedua penelitian di atas terlihat bahwa parameter AAF dapat dideteksi dengan metode yang berbeda. Namun, studi ini tidak menunjukkan deteksi AAF menggunakan metode Impuls Tak Berubah. Oleh karena itu, pada penelitian ini jenis dan orde AAF yang terdapat pada MSA HP3566a dapat diidentifikasi dengan metode Impuls Tak Berubah. Perhitungan pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan software Matlab. Kemudian, efek distorsi pada sinyal uji, termasuk distorsi yang disebabkan oleh pengujian FRF terhadap sinyal jaringan pusat AAF tidak mempertimbangkan dalam penelitian ini.

2. Metode Transformasi Impuls Tak Berubah

Metode transformasi Impuls Tak Berubah digunakan agar fungsi AAF dalam domain-s dapat ditransformasikan ke domain-z. Apabila fungsi tersebut memiliki n buah kutub yaitu f_1, f_2, \dots, f_n dan $E(s)$ adalah polinomial dalam domain s, maka fungsi tersebut dapat dinyatakan sebagai berikut [Ogata (1995), Kreyzig (1999)].

$$H(s) = \frac{E(s)}{(s - f_1)(s - f_2) \dots (s - f_n)} \dots\dots\dots (1)$$

Transformasi $H(s)$ ke domain z dengan menggunakan Metode Transformasi Impuls Tak Berubah dilakukan berdasarkan kutub $H(s)$. Jika kutub-kutub $H(s)$ memiliki nilai berbeda dan g_1, g_2, \dots, g_n adalah konstanta, maka $H(s)$ diubah menjadi seperti persamaan berikut [Ogata (1995), Kreyzig (1999)].

$$H(s) = \sum_{r=1}^n \frac{g_r}{s - f_r} \dots\dots\dots (2)$$

Jika $H(s)$ memiliki kutub yang sama sejumlah u dan $g_{k1}, g_{k2}, \dots, g_{ku}$ adalah konstanta, maka $H(s)$ diubah menjadi seperti berikut ini [Ogata (1995), Kreyzig (1999)].

$$H(s) = \sum_{r=1}^n \left(\frac{g_r}{(s - f_r)} + \frac{g_{k1}}{(s - f_n)^u} + \frac{g_{k2}}{(s - f_n)^{u-1}} + \dots + \frac{g_{ku}}{(s - f_n)} \right) \dots\dots\dots (3)$$

Setelah diperoleh bentuk $H(s)$ sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (2) atau (3), maka transformasi z terhadap $H(s)$ dapat ditentukan berdasarkan Tabel 1.

Tabel 1. Pasangan Fungsi Transformasi Z [Ogata(1995)]

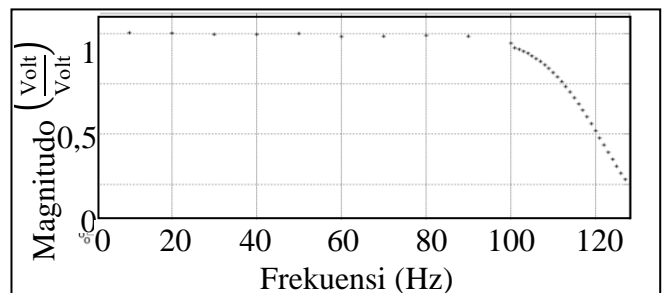
$X(s)$	$x(t)$	$x(kT)$ atau $x(k)$	$X(z)$
$1(s)$	δt	$\delta(kT) = \begin{cases} 1, & k=0 \\ 0, & k \neq 0 \end{cases}$	1

e^{-kTs}		$\delta(n-kT) = \begin{cases} 1, & n=k \\ 0, & n \neq k \end{cases}$	z^{-k}
$\frac{1}{s}$	$1(t)$	1(k)	$\frac{1}{1-z^{-1}}$
$\frac{1}{s+a}$	e^{-at}	e^{-akT}	$\frac{1}{1-e^{-aT}z^{-1}}$

Keterangan: - $x(t) = 0$ untuk $t < 0$
 - $x(kT) = x(k) = 0$ untuk $k < 0$
 - $k =$ bilangan cacah

3. Pengujian FRF dari AAF

Pengujian FRF dari AAF dilakukan agar grafik magnitudo FRF dari AAF dapat diperoleh. Grafik tersebut dibandingkan dengan grafik magnitudo FRF berdasarkan persamaan teoretis dalam domain z. Grafik magnitudo FRF teoretis didasarkan pada perkiraan awal parameter AAF. Parameter ini adalah jenis dan orde filter. Uji FRF dari AAF dilakukan dengan mengeksitasi AAF dengan sinyal sinusoidal untuk beberapa frekuensi uji. Frekuensi uji ini bervariasi antara 10 Hz hingga 127 Hz. Pemilihan frekuensi uji ini dilakukan agar frekuensi potong filter, yaitu 100 Hz, berada dalam rentang uji tersebut. Dalam pita frekuensi dari 10 Hz hingga frekuensi potong, rentang frekuensi pengujian adalah 10 Hz. Kemudian, pada pita frekuensi dari frekuensi potong hingga 127 Hz, pengujian dilakukan dalam tiap frekuensi dengan kenaikan satu Hz. Hal ini dikarenakan penurunan magnitudo FRF dari AAF di atas frekuensi potong lebih curam dibandingkan dengan penurunan magnitudo FRF di bawah frekuensi potong. Grafik magnitudo FRF dari AAF ditunjukkan dalam Gambar 1. Gambar ini menunjukkan bahwa magnitudo pada frekuensi *passband* tidak mengalami *ripple*. Ini berarti kemungkinan filter AAF untuk MSA HP 3566a adalah filter jenis Butterworth atau Chebyshev Tipe II. Oleh karena itu, magnitudo teoretis FRF didasarkan pada kedua jenis filter di atas.



Gambar 1. Magnitudo FRF dari AAF yang Terdapat pada MSA HP3566a

4. Fungsi FRF Teoretis

Fungsi FRF teoretis dihitung agar grafik magnitudo FRF dari filter jenis Butterworth atau Chebyshev Tipe II dapat diperoleh. Jika AAF merupakan dua filter tipe Butterworth orde delapan yang dihubungkan secara seri, maka persamaan AAF ini

dalam domain s yang dilambangkan dengan $H_B(s)$ dapat ditulis sebagai berikut.

$$H_B(s) = \frac{1}{\sum_{n=0}^{16} a_n s^n} \dots\dots\dots (4)$$

Koefisien a_n dari Persamaan (4) ditampilkan pada Tabel 2. Tabel tersebut menunjukkan bahwa setiap koefisien berubah secara simetris antara koefisien dengan s pangkat terkecil dan koefisien dengan s pangkat terbesar. Koefisien terbesar adalah 2014,8 pada s pangkat delapan. Di sisi lain, koefisien terkecil adalah satu di s pangkat nol dan 16.

Tabel 2. Koefisien Persamaan (4)

n	a_n	n	a_n	n	a_n
0	1	6	1403	12	448,22
1	10,26	7	1841,9	13	178,52
2	52,6	8	2014,8	14	52,6
3	178,52	9	1841,9	15	10,26
4	448,22	10	1403	16	1
5	881,5	11	881,5		

Persamaan (4) kemudian ditransformasikan menjadi persamaan dalam domain z menggunakan metode transformasi Impuls Tak Berubah. Transformasi ini dilakukan dengan periode cuplik sebesar 0,001 detik. Persamaan AAF tipe Butterworth dalam domain z yang dilambangkan dengan $H_B(z)$ adalah sebagai berikut.

$$H_B(z) = \frac{\sum_{n=0}^{16} b_n z^n}{\sum_{n=0}^{16} c_n z^n} \dots\dots\dots (5)$$

Koefisien b_n dan c_n dari Persamaan (5) ditampilkan pada Tabel 3. Pada tabel itu terlihat bahwa terdapat 16 nilai b_n yang berpadanan dengan z pangkat nol hingga 15. Selain itu, terdapat 17 nilai c_n yang berpadanan dengan z pangkat nol hingga 16.

Tabel 3. Koefisien Persamaan (5)

n	b_n	c_n	n	b_n	c_n
0	$1,0 \times 10^{-64}$	1	9	$2,4 \times 10^{-46}$	-11390
1	$6,0 \times 10^{-57}$	-16	10	$7,8 \times 10^{-47}$	7977
2	$2,5 \times 10^{-53}$	120	11	$1,1 \times 10^{-47}$	-4354
3	$1,0 \times 10^{-50}$	-559	12	$6,5 \times 10^{-49}$	1815
4	$6,4 \times 10^{-49}$	1815	13	$1,1 \times 10^{-50}$	-559
5	$1,1 \times 10^{-47}$	-4354	14	$2,5 \times 10^{-53}$	120
6	$7,8 \times 10^{-47}$	7977	15	$6,1 \times 10^{-57}$	-16
7	$2,4 \times 10^{-46}$	-11390	16		1
8	$3,4 \times 10^{-46}$	12800			

Persamaan AAF dalam domain s yang dilambangkan dengan $H_C(s)$ untuk filter lalu rendah jenis Chebyshev tipe II berorde lima adalah sebagai berikut.

$$H_C(s) = \frac{1,7 s^4 + 1,7 s^2 + 0,3}{s^5 + 2,7 s^4 + 2,1 s^3 + 2,1 s^2 + 0,5 s + 0,3} \dots\dots (6)$$

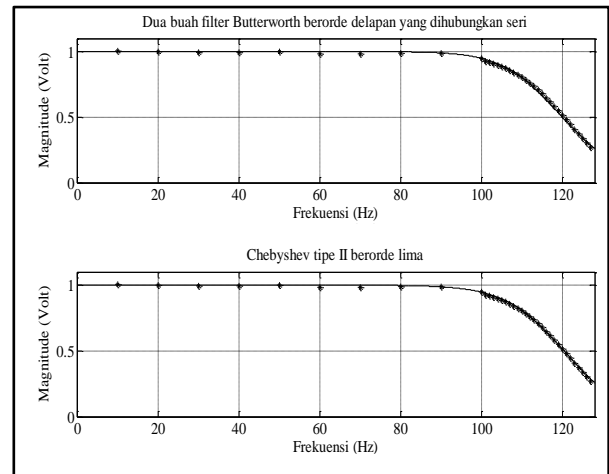
Persamaan (6) kemudian ditransformasikan ke persamaan AAF jenis Chebyshev tipe II dalam domain z dengan bantuan metode transformasi Impuls Tak Berubah. Frekuensi cuplik saat transformasi adalah 1000 Hz. Persamaan AAF jenis Chebyshev tipe II dalam domain z yang

dilambangkan dengan $H_C(z)$, dituliskan seperti berikut.

$$H_C(z) = \frac{1,7z^5 - 6,8z^4 + 10,2z^3 - 6,8z^2 + 1,7z}{z^5 - 5z^4 + 10z^3 - 10z^2 + 5z - 1} \dots\dots\dots (7)$$

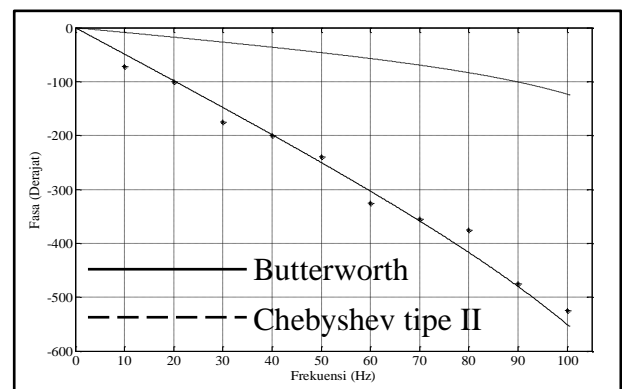
5. Validasi Parameter FRF dari AAF

Validasi parameter FRF dari AAF dilakukan lewat proses *curve fitting* antara kurva magnitudo FRF dari AAF dan kurva magnitudo FRF teoretis. Kecocokan kurva ini ditunjukkan pada Gambar 2. Dari gambar ini kita dapat melihat bahwa magnitudo kedua filter teoretis sesuai dengan magnitudo AAF.



Gambar 2. Curve Fitting Magnitudo

Oleh karena hal di atas, proses *curve fitting* juga dilakukan antara kurva fasa FRF dari AAF dengan kurva fasa dari kedua jenis filter teoretis. Proses ini ditampilkan pada Gambar 3. Dari gambar itu terlihat bahwa kurva yang sesuai dengan kurva fasa AAF adalah kurva filter yang tersusun dari dua filter Butterworth orde delapan yang dihubungkan secara seri.



Gambar 3. Curve Fitting Fasa

6. Penutup

Identifikasi parameter AAF pada MSA HP3566a dapat dilakukan. AAF ini adalah dua filter *low-pass* jenis filter Butterworth orde delapan yang dihubungkan secara seri.

DAFTAR PUSTAKA

- D'Antona, G.; Di Rienzo, L.; Ottoboni, R. (1999) :
Anti-aliasing Analog Low Pass Filter Transfer
Function Parametric Spectral Estimation for
Digital Compensation, Instrumentation and
Measurement Technology Conference,
IMTC/99, Proceedings of the 16th IEEE
(Volume 2).
- Ewins, D. J. (2000) : *Modal Testing : Theory,
Practice and Application*, Research Studies
Press LTD, Baldock
- Kreuzig, Erwin (1999) : *Advanced Engineering
Mathematics*, John Wiley & Sons Inc.,
Singapore
- McConnell, Kenneth G. (1995) : *Vibration Testing
: Theory and Practice*, John Wiley & Sons,
New York
- Ogata, Katsuhiko (1995) : *Discrete-Time Control
Systems*, Prentice Hall International Inc.,
New Jersey
- Pizano, Daniel Gomez (2011) : Comparison of
Frequency Response and Neural Network
Techniques for System Identification of an
Actively Controlled Structure, *Dyna Journal*
(Volume 78)
- Sinha, Naresh K. (1991) : *Linear Systems*, John
Wiley & Sons Inc., Singapore
- Strum, Robert D., Kirk, Donald E. (1994) :
*Contemporary Linear Systems Using
MATLAB®*, PWS Publishing Company,
Boston