

PENGARUH PENGGUNAAN AAF PADA MSA HP3566A TERHADAP SIMULASI PENGUKURAN FRF DENGAN BANTUAN METODE SOLUSI NUMERIK UNTUK PERSAMAAN DIFERENSIAL

Michael Rembet

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi

ABSTRAK

Perangkat akuisisi data digital seperti MSA (*Multichannel Spectrum Analyzer*) buatan Hewlett Packard tipe HP3566a, sering digunakan dalam pengukuran FRF (Fungsi Respon Frekuensi). Agar pengaruh aliasing terhadap spektrum sinyal yang diakuisisi pada pengukuran FRF dapat ditekan, maka rangkaian AAF (*Anti Aliasing Filter*) digunakan sebagai bagian dari perangkat akuisisi data. Namun, akibat penggunaan rangkaian tersebut, spektrum yang ditampilkan dapat berbeda dibandingkan dengan spektrum sistem yang diukur.

Pengaruh penggunaan AAF pada MSA HP3566a terhadap hasil pengukuran FRF diungkapkan dalam penelitian ini. Perhitungan persamaan FRF digunakan sebagai metode simulasi pengukuran FRF. Perhitungan dilakukan dengan bantuan Metode Solusi Numerik untuk Persamaan Diferensial. Hasil perhitungan dengan bantuan metode ini berupa fungsi domain z . Berdasarkan fungsi ini, fungsi transfer dapat ditentukan. Berikutnya FRF sistem uji dapat ditunjukkan dalam diagram Bode. Pengaruh penggunaan AAF terhadap hasil pengukuran FRF kemudian ditentukan dengan cara, diagram Bode FRF tanpa AAF dan diagram Bode FRF dengan AAF saling dibandingkan.

Pembandingan antara diagram Bode FRF tanpa AAF dan diagram Bode FRF dengan AAF menunjukkan bahwa kedua diagram tersebut berbeda. Pada pembandingan ini, diagram Bode FRF waktu diskrit tanpa AAF menunjukkan penurunan frekuensi pribadi teredam dari sistem sebesar 13,81 %. Selain itu, juga terdapat penurunan magnitudo sebesar 74,83 %. Ini berarti, perhitungan dengan bantuan Metode Solusi Numerik untuk Persamaan Diferensial mempengaruhi hasil simulasi penggunaan AAF pada pengukuran FRF.

Kata kunci : *Anti Aliasing Filter*, Pengukuran FRF, Metode Solusi Numerik untuk Persamaan Diferensial

1. Pendahuluan

FRF adalah suatu fungsi yang menyatakan perbandingan antara keluaran sistem terhadap masukan pada rentang frekuensi tertentu [McConnell (1995)]. Dengan demikian, pengujian FRF adalah pengujian yang dilakukan pada sistem tertentu. Pengujian tersebut dilakukan dengan sedemikian rupa sehingga spektrum sinyal masukan dan spektrum sinyal keluaran dapat saling dibandingkan. Perbandingan kedua sinyal ini dapat mencerminkan karakteristik sistem yang diuji. Ini berarti, karakteristik dinamik dari suatu sistem uji dapat diketahui lewat pengujian FRF.

Dewasa ini, pengukuran FRF dilakukan dengan bantuan perangkat akuisisi data digital. Salah satu contoh perangkat tersebut adalah MSA buatan Hewlett Packard tipe HP3566a. Proses akuisisi pada MSA dilakukan dengan bantuan ADC (*Analog to Digital Converter*).

Menurut teorema Shannon [Sturm dan Kirk (1994)], proses pencuplikan oleh ADC harus dilakukan dengan frekuensi cuplik dua kali lebih besar dari frekuensi tertinggi sinyal. Ini dilakukan agar tidak terjadi fenomena *aliasing*. Namun frekuensi tertinggi sinyal tidak dapat diketahui dengan pasti. Ini berarti, frekuensi cuplik juga tidak

dapat ditentukan dengan pasti. Salah satu cara untuk mengatasi ini adalah penggunaan sirkuit AAF pada perangkat akuisisi [Sinha (1991), McConnell (1995), Ewins (2000)].

AAF adalah filter lalu rendah. Spektrum sinyal berfrekuensi lebih rendah dibandingkan dengan frekuensi potong (*cut-off frequency*) diloloskan oleh filter ini. Sebaliknya spektrum sinyal berfrekuensi lebih tinggi dibandingkan dengan frekuensi potong akan dihalang. Ini berarti, AAF juga merupakan filter pembatas lebar spektrum sinyal yang akan dicuplik.

Penggunaan AAF di satu sisi dapat mengatasi munculnya fenomena *aliasing*, namun di sisi lain menimbulkan masalah. Masalah tersebut terjadi karena sinyal yang diukur terlebih dahulu melewati rangkaian AAF sebelum dicuplik. Jadi, sinyal tersebut dapat dipengaruhi baik pada besar (*magnitude*) maupun pada fasanya (*phase*) oleh rangkaian AAF. Ini berarti bahwa sinyal yang dianalisis oleh MSA dapat berbeda dengan sinyal yang seharusnya diukur [McConnell (1995)]. Akibat itu, pada penelitian ini diungkapkan tentang pengaruh AAF terhadap hasil pengukuran FRF yang diperoleh.

Pengaruh AAF terhadap hasil pengukuran FRF dengan bantuan MSA HP3566a dapat diungkapkan dengan cara membandingkan hasil dari dua jenis pengukuran FRF; yaitu pengukuran FRF dengan AAF dan pengukuran FRF tanpa AAF. Pada penelitian ini, pengukuran FRF dilakukan dengan cara simulasi. Simulasi ini dilakukan pada model matematika sinyal masukan dan sinyal keluaran. Model matematika tersebut dibentuk dengan bantuan Metode Solusi Numerik untuk Persamaan Diferensial.

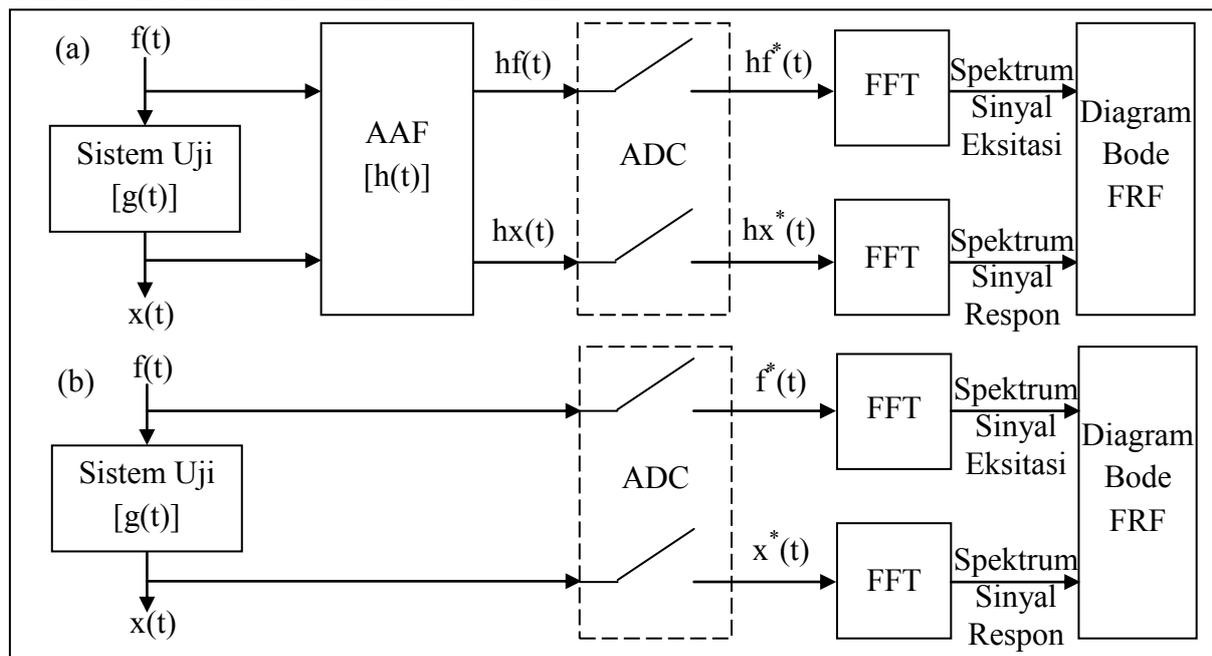
Simulasi pengukuran FRF dengan AAF dan tanpa AAF masing-masing ditunjukkan dalam Gambar 1(a) dan 1(b). Pada kedua model pengukuran FRF tersebut, $f(t)$ menyatakan fungsi sinyal eksitasi yang diberikan pada sistem uji dan $x(t)$ menyatakan fungsi sinyal respon yang dihasilkan oleh sistem uji akibat eksitasi yang diberikan. Karena $f(t)$ adalah sinyal impuls, maka sistem uji yang digunakan dapat dinyatakan dalam bentuk fungsi respon impuls (*impulse response function*) yang dinotasikan sebagai $g(t)$. Pada model pengukuran FRF dengan AAF, sebelum sinyal eksitasi dan sinyal respon dikonversikan dari domain waktu kontinu ke domain waktu diskrit

model pengukuran FRF tanpa AAF langsung dikonversikan dari domain waktu kontinu ke domain waktu diskrit dengan bantuan ADC. Sinyal eksitasi yang didiskritisasi oleh ADC dinotasikan sebagai $f^*(t)$ sedangkan sinyal respon yang didiskritisasi oleh ADC dinotasikan sebagai $x^*(t)$. Setelah itu sinyal hasil diskritisasi ADC baik pada model pengukuran FRF dengan AAF maupun pada model pengukuran FRF tanpa AAF, ditransformasikan ke dalam spektrum. Transformasi tersebut dilakukan dengan bantuan algoritma FFT. FRF sistem uji yang digunakan kemudian dihitung berdasarkan spektrum respon dan eksitasi yang diperoleh. FRF tersebut selanjutnya ditampilkan dalam diagram Bode.

Pada penelitian ini, frekuensi pribadi sistem uji dipilih sebesar 0.83 rad/detik. Ini dilakukan agar frekuensi potong AAF dapat berada pada 1 rad/detik [Rembet dan Tangkuman (2015)]. Jika $G(s)$ adalah fungsi transfer sistem uji ini, maka $G(s)$ dapat dinyatakan seperti pada persamaan berikut:

$$G(s) = \frac{1}{s^2 + 0,1 s + 0.7225} \dots\dots\dots(1)$$

Setelah eksitasi dalam domain s dan fungsi transfer



Gambar 1. Model pengukuran FRF : (a) dengan AAF, (b) tanpa AAF

dengan bantuan ADC terlebih dahulu difilter dengan bantuan AAF yang dinyatakan dalam fungsi respon impuls. Fungsi respon impuls dari AAF dinotasikan dengan $h(t)$ sedangkan fungsi sinyal eksitasi dan sinyal respon yang telah difilter masing-masing dinotasikan sebagai $hf(t)$ dan $hx(t)$. Selanjutnya fungsi sinyal eksitasi yang didiskritisasi oleh ADC dinotasikan sebagai $hf^*(t)$. Di samping itu, fungsi sinyal respon yang didiskritisasi oleh ADC dinotasikan sebagai $hx^*(t)$. Dilain pihak, sinyal eksitasi dan sinyal respon pada

sistem uji diperoleh, penentuan respon dari sistem uji dilakukan. Apabila $X(s)$ adalah respon dari sistem, maka respon sistem uji tersebut dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$X(s) = \frac{1}{s^2 + 0,1 s + 0.7225} \dots\dots\dots(2)$$

2. Parameter AAF

Parameter AAF digunakan sebagai dasar pembangunan model matematika dari fungsi transfer AAF. AAF pada MSA HP3566a adalah

dua buah filter jenis Butterworth berorde delapan yang dihubungkan secara seri [Rembet dan Tangkuman (2015)]. Ini berarti, parameter AAF adalah parameter dua buah filter jenis Butterworth berorde delapan yang dihubungkan secara seri. Jadi, fungsi transfer AAF adalah perkalian dua buah fungsi transfer filter Butterworth berorde delapan. Jika $H(s)$ adalah fungsi transfer dua buah filter jenis Butterworth berorde delapan yang dihubungkan secara seri, maka $H(s)$ dapat ditentukan sebagai berikut :

$$H(s) = \frac{1}{\sum_{n=0}^{16} a_n s^n} \dots\dots\dots(3)$$

Koefisien a_n pada Persamaan (3) ditunjukkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Koefisien Persamaan (3)

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		

Selanjutnya fungsi transfer AAF pada Persamaan (3) dieksitasi dengan sinyal masukan $F(s)$. $F(s)$ adalah transformasi s dari $f(t)$ dan berharga $1(s)$. Hasil eksitasi dalam domain s setelah difilter yang dinyatakan dalam $HF(s)$, dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$HF(s) = F(s) \times H(s) = 1(s) \times H(s) = H(s) \dots\dots\dots(4)$$

Sementara itu, dalam domain s respon sistem uji setelah difilter yang dinotasikan sebagai $HX(s)$ dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$HX(s) = X(s) \times H(s) = \frac{1}{\sum_{n=0}^{18} b_n s^n} \dots\dots\dots(5)$$

Koefisien b_n pada Persamaan (5) ditunjukkan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Koefisien Persamaan (5)

n	b_n	n	b_n	n	b_n
0	0,7225	7	2352	14	503,7
1	7,507	8	3042	15	191
2	39,99	9	3373	16	54,3
3	144,4	10	3212	17	10,35
4	394	11	2618	18	1
5	859,7	12	1814		
6	1549	13	1055		

3. Penentuan Diagram Bode FRF Waktu Diskrit pada Model Pengukuran FRF

Penentuan diagram Bode FRF waktu diskrit pada model pengukuran FRF umumnya dilakukan dalam enam tahapan. Tahap pertama adalah

keempat fungsi sinyal dalam domain s yaitu $F(s)$, $X(s)$, $HF(s)$ dan $HX(s)$ ditransformasi Laplace balik. Tahap kedua adalah fungsi sinyal dalam domain waktu hasil transformasi Laplace balik dicuplik. Kemudian, fungsi yang telah dicuplik, ditransformasi dengan bantuan DFT. Transformasi dengan bantuan DFT akan menghasilkan fungsi dalam domain k . Oleh sebab itu pada tahap keempat, fungsi dalam domain k ditransformasi ke dalam spektrum sinyal. Pada tahap kelima, spektrum sinyal dinyatakan dalam magnitudo dan fasa. Setelah seluruh magnitudo dan fasa dari spektrum diperoleh, dilanjutkan ke tahap keenam. Pada tahap keenam, dilakukan perbandingan antara spektrum sinyal eksitasi dan spektrum sinyal respon sehingga menghasilkan FRF waktu diskrit. Pada tahap terakhir ini, magnitudo FRF waktu diskrit kemudian dikombinasikan dengan fasa FRF waktu diskrit sehingga diagram Bode FRF waktu diskrit pada pengukuran FRF dapat digambarkan.

Penentuan dalam enam tahapan seperti di atas merupakan penentuan dengan langkah yang cukup panjang. Akibat ini, kesalahan dapat perhitungan dapat terjadi selama penentuan. Karena ini, beberapa metode yang mampu mentransformasi secara langsung fungsi dari domain s ke domain z telah dikembangkan. Salah satu metode tersebut adalah Metode Transformasi Solusi Numerik untuk Persamaan Diferensial.

4. Transformasi Secara Langsung Fungsi Sinyal dari Domain S ke Domain Z

4.1 Waktu Cuplik

Sebelum dilakukan transformasi secara langsung fungsi sinyal dalam domain s ke domain z , perlu ditentukan lama waktu cuplik. Karena model pengukuran FRF dibangun berdasarkan pengukuran FRF yang dilakukan dengan bantuan MSA HP3566a, maka waktu cuplik ditentukan berdasarkan waktu cuplik yang digunakan pada MSA HP3566a. Waktu cuplik yang digunakan pada MSA, bergantung pada frekuensi cuplik. Sementara itu frekuensi cuplik bergantung pada rentang frekuensi pengukuran. Untuk rentang frekuensi pengukuran dari 0 Hz hingga 100 Hz, frekuensi cuplik yang digunakan adalah sebesar 256 Hz.

Selain menentukan frekuensi cuplik, rentang frekuensi pengukuran juga menentukan frekuensi potong dari AAF. Pada rentang frekuensi di atas, frekuensi potong dari AAF diperoleh sebesar 120 Hz.

Jadi untuk filter yang telah dinormalisasi yaitu filter dengan frekuensi potong sebesar 1 rad/detik, rentang frekuensi pengukuran ditentukan dari 0 rad/detik hingga 0,833 rad/detik. Untuk rentang frekuensi pengukuran semacam ini, frekuensi cuplik yang digunakan adalah sebesar 2,13

rad/detik. Dengan demikian, apabila ω_c adalah frekuensi cuplik, maka waktu cuplik yang digunakan pada penghitungan transformasi secara langsung sinyal dalam domain s ke domain z dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\Delta t = \frac{1}{\omega_c} = \frac{1}{2,13} = 0,47 \text{ detik} \dots \dots \dots (6)$$

4.2 Transformasi Fungsi Sinyal dari Domain S ke Domain Z dengan Bantuan Metode Solusi Numerik untuk Persamaan Diferensial

Transformasi fungsi sinyal dari domain s ke domain z dengan bantuan Metode Solusi Numerik untuk Persamaan Diferensial dapat dilakukan hanya dalam empat tahapan. Ini berarti kesalahan perhitungan yang mungkin terjadi pada penentuan tersebut akan semakin kecil dibandingkan dengan penentuan dalam enam tahapan. Selain itu penentuan diagram Bode FRF waktu diskrit dengan bantuan metode transformasi secara langsung dari domain s ke domain z dapat dilakukan dengan bantuan algoritma yang terdapat pada perangkat lunak Matlab 6.5. Tahap pertama, keempat fungsi sinyal dalam domain s yaitu F(s), X(s), HF(s) dan HX(s) ditransformasi ke domain z. Hasil transformasi dalam domain z merupakan fungsi transfer waktu diskrit. Sementara itu karena F(s) adalah sama dengan 1(s), maka transformasi z terhadap F(s) adalah sama dengan 1(z) [Ogata (1995)]. Pada pengukuran FRF tanpa AAF, X(z) yang merupakan transformasi z terhadap X(s) berdasarkan Metode Solusi Numerik untuk Persamaan Diferensial ditentukan sebagai berikut :

$$X(z) = \frac{0,4459 z - 1,245 \times 10^{-16}}{z^2 - 1,801 z + 0,9542} \dots \dots \dots (7)$$

Setelah transformasi z terhadap X(s) diperoleh, penentuan fungsi transfer waktu diskrit hasil pengukuran FRF tanpa AAF dilakukan. Fungsi transfer waktu diskrit hasil pengukuran FRF sistem uji berdasarkan Metode Solusi Numerik untuk Persamaan Diferensial yang dinotasikan sebagai FT_{TA}(z) dinyatakan pada persamaan berikut ini :

$$FT_{TA}(z) = \frac{0,4459 z - 1,245 \times 10^{-16}}{z^2 - 1,801 z + 0,9542} \dots \dots \dots (8)$$

Sementara itu pada pengukuran FRF dengan AAF, apabila HF(z) adalah transformasi z terhadap HF(s) berdasarkan Metode Solusi Numerik untuk Persamaan Diferensial, maka HF(z) ditentukan sebagai berikut :

$$HF(z) = \frac{\sum_{n=0}^{15} d_n z^n}{\sum_{n=0}^{16} e_n z^n} \dots \dots \dots (9)$$

Koefisien d_n dan e_n pada Persamaan (9) ditunjukkan dalam Tabel 3. Kemudian transformasi z terhadap HX(s) berdasarkan Metode Solusi

Numerik untuk Persamaan Diferensial yang dinotasikan sebagai HX(z) dinyatakan pada persamaan berikut ini :

$$HX(z) = \frac{\sum_{n=0}^{16} f_n z^n}{\sum_{n=0}^{18} g_n z^n} \dots \dots \dots (10)$$

Koefisien f_n dan g_n pada Persamaan (10) ditunjukkan dalam Tabel 4.

Tabel 3. Koefisien Persamaan (9)

n	d_n	e_n
0	$4,541 \times 10^{-24}$	$8,185 \times 10^{-3}$
1	$9,764 \times 10^{-20}$	-0,1698
2	$4,288 \times 10^{-15}$	1,658
3	$2,416 \times 10^{-12}$	-10,12
4	$1,976 \times 10^{-10}$	43,24
5	$4,681 \times 10^{-9}$	-137,1
6		
7	$4,281 \times 10^{-8}$	333,6
8	$1,741 \times 10^{-7}$	-636
9	$3,371 \times 10^{-7}$	960,3
10	$3,171 \times 10^{-7}$	-1152
11	$1,42 \times 10^{-7}$	1096
12	$2,83 \times 10^{-8}$	-817,4
13	$2,18 \times 10^{-9}$	468,9
14	$4,862 \times 10^{-11}$	-200,1
15	$1,575 \times 10^{-13}$	59,91
16	$6,547 \times 10^{-18}$	-11,26
		1

Tabel 4. Koefisien Persamaan (10)

n	f_n	g_n
0	$-6,975 \times 10^{-23}$	$7,81 \times 10^{-3}$
1	$7,649 \times 10^{-22}$	-0,1768
2	$1,244 \times 10^{-17}$	1,896
3	$1,560 \times 10^{-14}$	-12,82
4	$2,367 \times 10^{-12}$	61,15
5	$9,746 \times 10^{-11}$	-218,8
6	$1,526 \times 10^{-9}$	608,4
7	$1,077 \times 10^{-8}$	-1345
8	$3,754 \times 10^{-8}$	2395
9	$6,779 \times 10^{-8}$	-3465
10	$6,429 \times 10^{-8}$	4082
11	$3,158 \times 10^{-8}$	-3906
12	$7,669 \times 10^{-9}$	3016
13	$8,399 \times 10^{-10}$	-1853
14	$3,499 \times 10^{-11}$	886,4
15	$3,958 \times 10^{-13}$	-318,7
16	$5,421 \times 10^{-16}$	81,14
17		-13,06
18		1

Selanjutnya FT_{DA}(z) yang merupakan fungsi transfer waktu diskrit hasil pengukuran FRF dengan AAF berdasarkan Metode Solusi Numerik untuk Persamaan Diferensial dinyatakan sebagai berikut :

$$FT_{DA}(z) = \frac{HX(z)}{HF(z)} = \frac{\sum_{n=0}^{31} h_n z^n}{\sum_{n=0}^{33} i_n z^n} \dots \dots \dots (11)$$

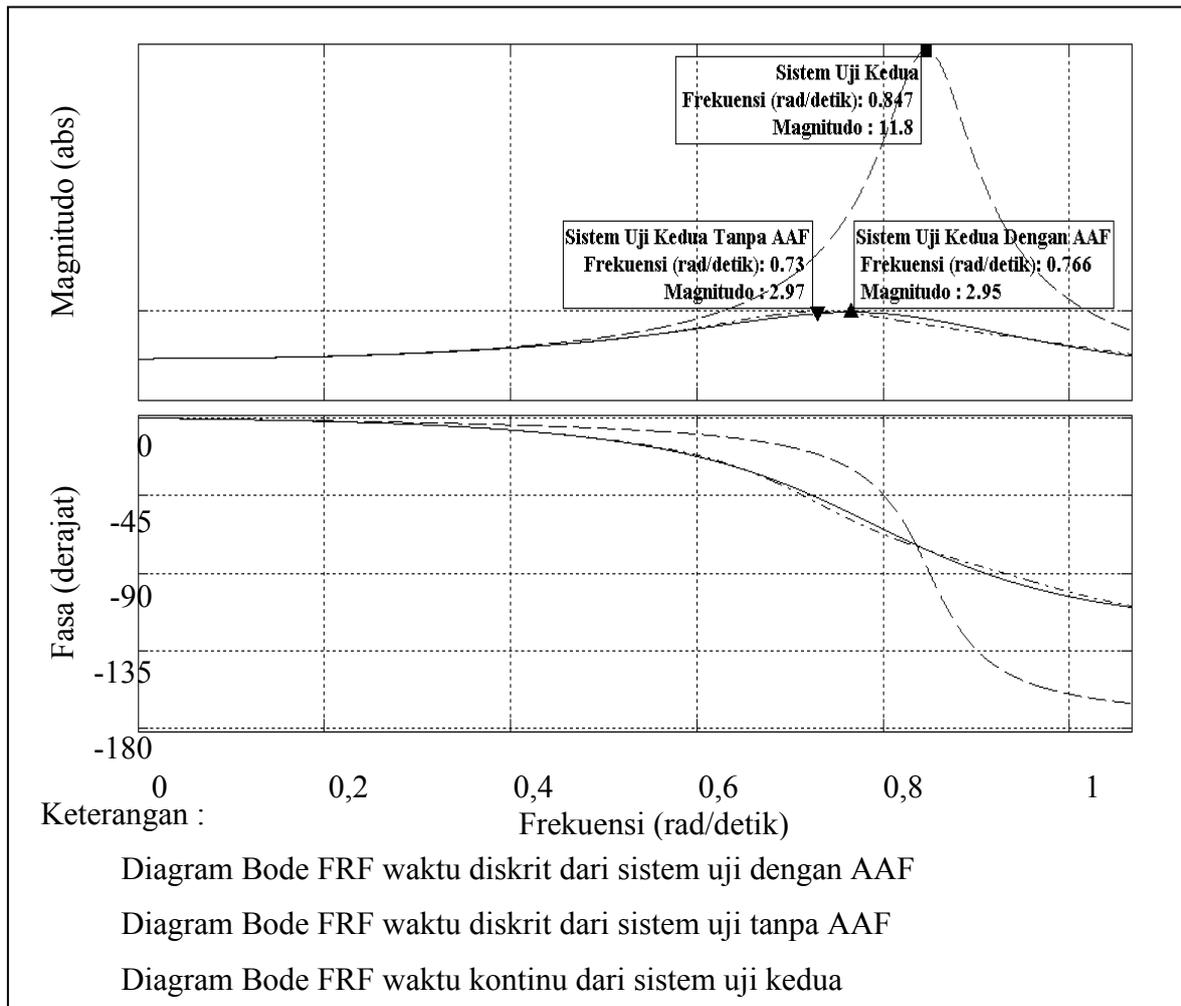
Koefisien h_n dan i_n pada Persamaan (11) ditunjukkan dalam Tabel 5. Persamaan (10) dan Persamaan (11) kemudian dinyatakan dalam diagram Bode dengan bantuan perangkat lunak Matlab 6.5.

Tabel 5. Koefisien Persamaan (11)

n	g_n	h_n
0	$-5,709 \times 10^{-25}$	$3,546 \times 10^{-26}$
1	$1,810 \times 10^{-23}$	$7,618 \times 10^{-22}$
2	$1,016 \times 10^{-19}$	$3,347 \times 10^{-17}$
3	$1,256 \times 10^{-16}$	$1,811 \times 10^{-14}$
4	$1,675 \times 10^{-14}$	$1,125 \times 10^{-12}$
5	$4,215 \times 10^{-13}$	$6,148 \times 10^{-12}$
6	$-2,928 \times 10^{-13}$	$-1,489 \times 10^{10}$
7	$-3,260 \times 10^{-11}$	$2,829 \times 10^{-10}$
8	$1,229 \times 10^{-10}$	$4,608 \times 10^{-9}$
9	$4,836 \times 10^{-10}$	$-3,110 \times 10^{-8}$
10	$-4,317 \times 10^{-9}$	$6,348 \times 10^{-8}$
11	$9,125 \times 10^{-9}$	$1,255 \times 10^{-7}$
12	$1,207 \times 10^{-8}$	$-1,065 \times 10^{-6}$
13	$-1,025 \times 10^{-7}$	$2,775 \times 10^{-6}$
14	$2,136 \times 10^{-7}$	$-2,981 \times 10^{-6}$
15	$-1,030 \times 10^{-7}$	$-2,681 \times 10^{-6}$
16	$-4,320 \times 10^{-7}$	$1,510 \times 10^{-5}$
17	$1,056 \times 10^{-6}$	$-2,559 \times 10^{-5}$
18	$-9,804 \times 10^{-7}$	$2,102 \times 10^{-5}$
19	$-1,953 \times 10^{-8}$	$8,737 \times 10^{-8}$
20	$1,040 \times 10^{-6}$	$-2,152 \times 10^{-5}$
21	$-1,095 \times 10^{-6}$	$2,603 \times 10^{-5}$
22	$3,704 \times 10^{-7}$	$-1,436 \times 10^{-5}$
23	$2,059 \times 10^{-7}$	$1,107 \times 10^{-6}$
24	$-2,445 \times 10^{-7}$	$3,887 \times 10^{-6}$
25	$6,752 \times 10^{-8}$	$-2,568 \times 10^{-6}$
26	$1,634 \times 10^{-8}$	$5,423 \times 10^{-7}$
27	$-1,123 \times 10^{-8}$	$1,073 \times 10^{-7}$
28	$2,325 \times 10^{-10}$	$-6,603 \times 10^{-8}$
29	$4,696 \times 10^{-10}$	$3,739 \times 10^{-9}$
30	$3,057 \times 10^{-11}$	$1,558 \times 10^{-9}$
31	$3,897 \times 10^{-15}$	$4,656 \times 10^{-11}$
32	$5,421 \times 10^{-16}$	$1,574 \times 10^{-13}$
33		$6,547 \times 10^{-18}$

5. Perbandingan Antara Diagram Bode FRF Waktu Diskrit Dibantu Metode Solusi Numerik untuk Persamaan Diferensial

Perbandingan kedua diagram Bode FRF waktu diskrit ini dilakukan dengan cara tiga diagram Bode FRF diplot dalam satu diagram. Tiga diagram tersebut adalah satu diagram Bode FRF waktu kontinu dan dua diagram Bode FRF waktu diskrit. Kedua diagram Bode FRF waktu diskrit adalah diagram Bode hasil pengukuran FRF dengan AAF dan diagram Bode hasil pengukuran FRF tanpa AAF. Perbandingan ketiga diagram Bode FRF ini dipusatkan pada daerah di sekitar frekuensi pribadi. Perbandingan tersebut ditunjukkan dalam Gambar 2. Pada gambar tersebut, terlihat bahwa diagram Bode FRF waktu diskrit dengan AAF, diagram Bode FRF waktu diskrit tanpa AAF dan diagram Bode FRF waktu kontinu, berbeda satu terhadap yang lain. Pada perbandingan ini, diagram Bode FRF waktu diskrit tanpa AAF menunjukkan penurunan frekuensi pribadi teredam dari sistem sebesar 13,81% yaitu dari 0,847 rad/detik menjadi 0,73 rad/detik dan penurunan magnitudo sebesar 74,83% yaitu dari 11,8 menjadi 2,97. Ini berarti bahwa pada penentuan diagram Bode FRF waktu diskrit dari sistem uji dengan bantuan Metode Solusi Numerik untuk Persamaan Diferensial terjadi kesalahan. Sementara itu frekuensi pribadi teredam yang dinyatakan pada diagram Bode FRF waktu diskrit dengan AAF mengalami peningkatan sebesar 4,93% dibandingkan dengan frekuensi pribadi yang dinyatakan pada diagram Bode FRF waktu diskrit tanpa AAF yaitu dari 0,73 rad/detik menjadi 0,766 rad/detik. Selain itu, magnitudo yang dinyatakan dalam diagram Bode FRF waktu diskrit dengan AAF lebih kecil 0,67% dibandingkan dengan magnitudo yang dinyatakan dalam diagram Bode FRF waktu diskrit tanpa AAF yaitu dari 2,97 menjadi 2,95. Ini berarti bahwa jika pencuplikan sinyal pada simulasi pengukuran FRF dengan bantuan Metode Solusi Numerik untuk Persamaan Diferensial, maka penggunaan AAF memengaruhi hasil pengukuran FRF dari sistem tersebut.



Gambar 2. Perbandingan diagram Bode FRF pada Metode Solusi Numerik untuk Persamaan Diferensial dari sistem uji

6. Kesimpulan

Pada penelitian ini diperoleh kesimpulan bahwa jika pencuplikan dilakukan dengan bantuan Metode Solusi Numerik untuk Persamaan Diferensial, penggunaan AAF mempengaruhi hasil pengukuran FRF. Hasil pengukuran FRF yang dipengaruhi adalah frekuensi pribadi teredam dan magnitudo. Frekuensi pribadi teredam bertambah sebesar 4,93% sedangkan magnitudo berkurang 0,67%.

7. Daftar Pustaka

- Ewins, D. J. (2000) : *Modal Testing : Theory, Practice and Application*, Research Studies Press LTD, Baldock.
- McConnell, Kenneth G. (1995) : *Vibration Testing : Theory and Practice*, John Wiley & Sons, New York.
- Rembet, Michael, Tangkuman, Stenly (2015) : *Identifikasi Anti Aliasig Filter yang Terdapat pada MSA Buatan HP Tipe HP3566A dengan Bantuan Metode Trapesium*, Jurnal Tekno Mesin Universitas Sam Ratulangi, Volume 01, Nomor 03, Februari 2015.
- Ogata, Katsuhiko (1995) : *Discrete-Time Control Systems*, Prentice Hall International Inc., New Jersey.
- 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.