

SIMULASI PENGARUH JUMLAH EKSITASI PADA FILTER CHEBYSHEV TIPE I TERHADAP NILAI RATA-RATA MAGNITUDO SINYAL ACAK

Michael Rembet

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi Manado

ABSTRAK

Dewasa ini pengukuran sinyal getaran dilakukan dengan bantuan perangkat akuisisi data digital. Pada perangkat akuisisi data tersebut digunakan rangkaian filter. Sayangnya penggunaan filter dapat mengakibatkan perubahan spektrum yang diperoleh.

Dalam penelitian ini, pengaruh jumlah eksitasi pada filter analog terhadap nilai rata-rata magnitudo diungkapkan. Pengungkapan tersebut dilakukan dengan bantuan simulasi. Filter yang akan dieksitasi adalah filter Chebyshev tipe I berorde lima. Simulasi itu dilakukan dengan cara filter dieksitasi oleh sinyal acak. Mula-mula, eksitasi ini dilakukan sebanyak sepuluh kali. Sinyal acak tersebut, dibangkitkan dengan bantuan perangkat lunak. Setelah itu, respon filter dalam domain waktu ditransformasi ke domain frekuensi. Pada domain frekuensi, respon filter di tiap frekuensi kemudian dirataratakan. Namun selang frekuensi yang dirataratakan tersebut berada pada selang frekuensi di sekitar frekuensi potong (cut off frequency). Selanjutnya simulasi dilakukan untuk jumlah eksitasi hingga 150 kali dengan selang pertambahan sebesar sepuluh kali.

Berdasarkan simulasi yang dilakukan, disimpulkan bahwa nilai terbesar dari persentase tertinggi beda magnitudo adalah 67 % pada jumlah eksitasi sebanyak satu kali. Di lain pihak nilai terendah dari persentase tertinggi beda magnitudo adalah 3,5 % pada jumlah eksitasi sebanyak 150 kali. Ini berarti semakin banyak jumlah eksitasi, semakin kecil pula persentase tertinggi beda magnitudo.

Kata kunci : Filter Chebyshev Tipe I, Simulasi Eksitasi, Sinyal Acak

ABSTRACT

Currently, vibration signal measurements are carried out with the help of digital data acquisition. Data acquisition uses a filter circuit. Unfortunately filters on data acquisition can change the vibration signal.

In this study, the influence of the number of excitations in the analog filter on the average magnitude value is disclosed. Disclosure is done by simulation. Analog filter that used is fifth-order filter Chebyshev type I. That filter is excited by random signal one time and then 10 times to 150 times with 10 time interval. The random signal is generated by computer software. After that, response in the time domain of filter is transformed to frequency domain. In frequency domain, this response is averaged.

The largest value of the highest percentage of the difference in magnitude was 67% in the number of excitations once. On the other hand, the lowest value of the highest percentage of the difference in magnitude is 3.5% for the number of excitations of 150 times. This means that the greater the number of excitations, the smaller the highest percentage of the magnitude difference.

Keywords: Type I Chebyshev Filter, Excitation Simulation, Random Signal

1. Pendahuluan

Massa dan elastisitas merupakan dua properti struktur mekanik bermassa. Akibatnya, hingga derajat tertentu, struktur dapat bergetar. Pengukuran getaran yang terjadi ini dilakukan dengan bantuan sensor gerak. Sensor ini mengubah gerak getaran menjadi sinyal listrik dalam domain waktu. Sinyal ini akan dianalisis oleh DSA (*Dynamic Signal Analyzer*). Hasil analisis sinyal ini dapat ditampilkan dalam spektrum frekuensi. Jadi, sinyal yang terkirim dari sensor terlebih dahulu diubah dari domain waktu kontinu ke domain waktu diskrit. Proses konversi tersebut disebut sebagai proses pencuplikan sinyal. Sinyal dalam domain diskrit kemudian ditransformasi dengan bantuan FFT (*Fast Fourier Transform*) ke domain frekuensi.

Frekuensi pencuplikan sinyal sekurangnya harus dua kali lipat dari frekuensi tertinggi dari sinyal yang akan dicuplik. Hal ini disebut sebagai teorema Shannon [Sturm dan Kirk (1994)]. Jika nilai

frekuensi pencuplikan berada di bawah nilai frekuensi tertinggi sinyal, maka pada proses pencuplikan akan terjadi fenomena *aliasing*. Di lain pihak, frekuensi tertinggi sinyal tidak dapat diketahui. Jadi frekuensi cuplik juga tidak dapat ditentukan. Penggunaan filter lalu rendah (*low pass filter*) dapat mengatasi hal itu. Penggunaan filter ini menyebabkan frekuensi tertinggi sinyal dapat dibatasi pada nilai tertentu. Nilai batas ini disebut frekuensi Nyquist [McConnell (1995)]. Sinyal dengan frekuensi di atas batas, dihilangkan oleh filter. Dengan kata lain, filter ini menghilangkan fenomena *aliasing*. Karenanya, filter lalu rendah ini disebut sebagai Filter Anti Aliasing [Sinha (1991), McConnell (1995), Ewins (2000)]. Filter anti aliasing sering disebut sebagai AAF (*Anti Aliasing Filter*).

Penggunaan AAF dilakukan sebelum sinyal dari sensor masuk ke DSA. Akibatnya, sinyal yang masuk ke DSA telah dimodifikasi oleh AAF. Ini berarti besar (*magnitude*) maupun fasa (*phase*) sinyal dapat

berubah. Jadi, sinyal yang dianalisis oleh DSA bukanlah sinyal orisinal hasil pembacaan sensor. Karenanya, hasil analisis sinyal oleh DSA dapat berbeda dibandingkan dengan yang seharusnya. [McConnell (1995)].

Penelitian tentang filter seperti AAF telah dilakukan. Satu diantaranya dilakukan oleh Jagtap dan Uplane [Jagtap, Uplane (2012)]. Pada penelitian ini terungkap bahwa *noise* pada sinyal *electrocardiogram* di filter dapat dikurangi. Pengurangan ini dilakukan dengan menggunakan filter lalu rendah dan filter lalu tinggi (*high pass filter*). Pengurangan juga terjadi pada berbagai nilai lebar jalur transisi filter. Namun, filter yang digunakan pada penelitian ini adalah filter Chebyshev tipe II.

Peneliti lainnya [Utama (2021)], mengungkapkan bahwa perancangan filter Chebyshev tipe I dapat dilakukan dengan simulasi menggunakan GUI. Hasil simulasi menunjukkan tanggapa filter sesuai teori pada *low pass filter*, *high pass filter*, *band pass filter* dan *band stop filter*. Pergeseran frekuensi yang terjadi adalah sebesar 0,1 rad/det. Namun, pada penelitian ini, rata-rata magnitudo akibat eksitasi sinyal acak tidak diukur.

Pada penelitian ini, beda maksimum magnitudo tertinggi di jumlah eksitasi tertentu dapat tersingkap. Penyingkapan beda maksimum dan jumlah eksitasi di atas dilakukan di selang frekuensi lalu (*low band pass*). Selain itu, eksitasi sinyal acak dilakukan dengan bantuan Matlab. Jumlah kutub filter Chebyshev tipe I yang disimulasikan merupakan filter berorde lima.

2. Filter Chebyshev Tipe I

Filter Chebyshev tipe I dapat disimulasikan dengan terlebih dahulu menentukan fungsi transfer filter ini. Fungsi transfer ini bergantung pada jumlah orde filter.

Filter Chebyshev tipe I adalah filter dengan lebar pita transisi bukan paling sempit, juga bukan paling lebar pada respon magnitudo. Berbeda dengan filter Chebyshev tipe II yang memiliki riak (*ripple*) pada pita hambat (*stopband*), pada filter Chebyshev tipe I riak terjadi di pita lolos (*passband*). (Sinha, 1991). Filter ini dinamakan sesuai dengan nama Pafnuty Chebyshev sebagai penemu polinomial Chabyshhev. Ini karena persamaan filter didasarkan pada polinomial tersebut.

Jika ω adalah frekuensi normalisasi dengan nilai $-1 \leq \omega \leq 1$ dan n adalah jumlah kutub (*pole*) filter, maka nilai koefisien C_n sebagai fungsi frekuensi dapat dituliskan sebagai berikut (Valkenburg, 1982).

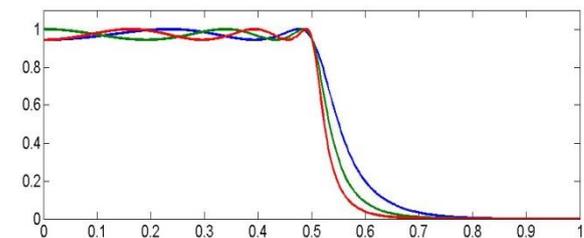
$$C_n(\omega) = \cos(n) \cdot \cos^{-1}(\omega) \dots\dots\dots(1)$$

Selanjutnya, jika ϵ adalah persentase riak, maka amplitudo filter Chebyshev tipe I yang dilambangkan

dengan G dapat ditulis sebagai berikut (Valkenburg, 1982).

$$G = \frac{1}{\sqrt{1 + \epsilon^2 \cdot C_n^2(\omega)}} \dots\dots\dots(2)$$

Grafik filter lolos bawah tipe Eliptik ditunjukkan dalam Gambar 1. Pada gambar tersebut, terdapat grafik frekuensi respon tiga filter Chebyshev tipe I. Jumlah kutub ketiga filter tersebut masing-masing adalah empat, lima dan enam. Persentase riak pada ketiga filter tersebut adalah 10 %. Ini berarti riak menyebabkan nilai magnitudo pada pita lolos bernilai dari 0,9 hingga 1,0. Selain itu, frekuensi potong ketiga filter pada gambar itu adalah 0,5 rad/det. Karena persentase riak adalah 10 %, maka nilai magnitudo frekuensi respon filter tersebut pada frekuensi potong adalah sebesar 0,9. Pada gambar itu juga terlihat bahwa riak terjadi pada pita lolos sedangkan pada pita hambat riak tidak terjadi. Namun, respon frekuensi filter Chebyshev tipe I bergerak menuju nol pada selang frekuensi pita hambat tersebut. Tambahan pula, semakin tinggi orde filter terlihat semakin curam pula lereng pada pita transisi. Semakin curam lereng pada pita transmisi suatu filter berarti filter tersebut semakin mendekati filter ideal.



Gambar 1. Grafik Respon Filter Chebyshev Tipe I Lalu Rendah (Orde 4 – Biru, Orde 5 – Hijau, Orde 6 – Merah)

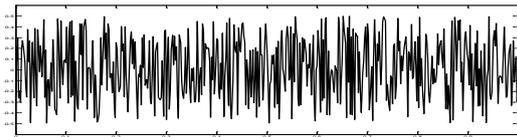
Semakin tinggi orde filter maka nilai fasa semakin bertambah dalam arah negatif. Ini berarti semakin tinggi orde filter, semakin terlambat pula sinyal yang melewati filter tersebut. Pada beberapa kasus, analisis sinyal sangat dipengaruhi oleh fasa sinyal. Karena itu, pemilihan jenis dan jumlah kutub filter dilakukan berdasarkan kebutuhan dan prioritas. Sebagai contoh pada banyak kasus peralatan komunikasi, lebih dibutuhkan filter dengan nilai fasa kecil dibandingkan dengan besar riak dalam skala tertentu. Di lain pihak, keterlambatan sinyal akibat penggunaan filter pada pengukuran sinyal getaran tidak terlalu mempengaruhi analisis. Akibat ini, maka perhitungan fasa tidak dilakukan.

3. Sinyal Getaran Acak

Getaran acak adalah getaran yang nilai amplitudo pada waktu tertentu tidak atau sulit diketahui. Getaran ini tidak memiliki sinyal periodik maupun harmonik. Salah satu cara agar sifat getaran acak dapat diketahui adalah dengan bantuan bidang ilmu statistik. Dengan bantuan bidang ilmu tersebut,

kecenderungan nilai amplitudo sebagai salah satu sifat getaran acak dapat diketahui (Smith, 1999).

Getaran acak ditunjukkan dalam Gambar 2. Sinyal getaran pada gambar tersebut adalah sinyal getaran acak yang paling banyak ditemui adalah white noise signal. Sinyal ini adalah sinyal getaran dengan kerapatan frekuensi yang tinggi. Pada sinyal ini, hampir seluruh frekuensi dalam jangkauan di spektrum sinyal tersebut memiliki amplitudo yang hampir sama. Dengan kata lain, sinyal tersebut mengandung kekuatan yang hampir sama pada tiap selang frekuensi (Goldman, 1999).



Gambar 2. Getaran Acak

4. Fungsi Transfer Filter Chebyshev Tipe I

Fungsi transfer filter Chebyshev tipe I dihitung dengan bantuan Persamaan (2). Jika s adalah bilangan imajiner, maka fungsi transfer filter Chebyshev tipe I orde 5 yang dilambangkan dengan FT adalah sebagai berikut.

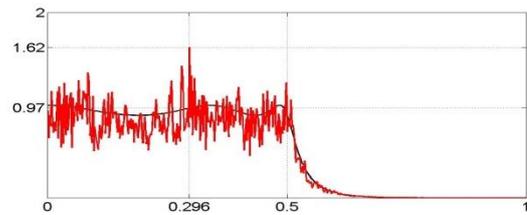
$$FT = \frac{0,0038}{s^5 + 0,468s^4 + 0,422s^3 + 0,122s^2 + 0,036s + 0,004} \dots(3)$$

5. Frekuensi Respon Filter Akibat Eksitasi Sinyal Acak

Berdasarkan fungsi transfer pada Persamaan (3) di atas, filter Chebyshev tipe I kemudian dieksitasi dengan sinyal acak. Namun karena sinyal acak yang dibangkitkan dengan bantuan Matlab di atas adalah sinyal diskrit, maka fungsi transfer filter Chebyshev tipe I kemudian ditransformasi dalam domain diskrit pula. Jika z adalah bilangan imajiner dalam domain diskrit, maka fungsi transfer filter Chebyshev tipe I dalam domain diskrit yang dilambangkan dengan Fz dapat dituliskan sebagai berikut.

$$Fz = \frac{0,023z^5 + 0,12z^4 + 0,23z^3 + 0,23z^2 + 0,12z + 0,023}{z^5 - 1,16z^4 + 1,69z^3 - 1,25z^2 + 0,70z - 0,23} \dots(4)$$

Akibat eksitasi sinyal acak, terjadi respon filter dalam domain waktu. Respon filter tersebut kemudian ditransformasi ke dalam domain frekuensi dengan bantuan Transformasi Fourier Diskrit. Grafik magnitudo frekuensi respon filter akibat eksitasi sinyal acak, digambarkan dalam Gambar 3. Pada gambar tersebut, magnitudo frekuensi respon akibat sinyal acak digambarkan dengan grafik warna merah. Di lain pihak, magnitudo frekuensi respon akibat sinyal impact digambarkan dengan grafik warna hitam. Magnitudo frekuensi respon akibat eksitasi sinyal impact digambarkan dalam Gambar 3 sebagai pembandingan. Selain itu, pada gambar tersebut juga terlihat bahwa gelombang magnitudo frekuensi respon akibat eksitasi sinyal acak, relatif sulit terlihat. Selanjutnya, pada gambar tersebut juga terlihat bahwa beda magnitudo terbesar terjadi di frekuensi 2,96 rad/det. Persentase terbesar beda magnitudo ini adalah sebesar 67 %.

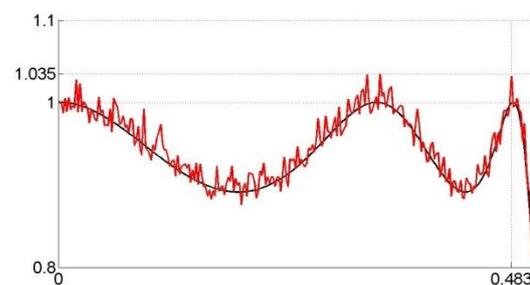


Gambar 3. Frekuensi Respon Filter Chebyshev Tipe I Akibat Eksitasi Sinyal Acak dan Sinyal Impact

Selanjutnya, filter dieksitasi sebanyak 150 kali. Kemudian, magnitudo frekuensi respon dirataratakan. Rata-rata magnitudo frekuensi respon akibat eksitasi sinyal acak diharapkan akan sama dengan magnitudo frekuensi respon filter akibat eksitasi impact.

6. Rata-Rata Magnitudo Frekuensi Respon Filter Akibat Eksitasi Sinyal Acak

Rata-rata magnitudo frekuensi respon filter akibat eksitasi sinyal acak diperoleh setelah simulasi dilakukan sebanyak 15 kali. Simulasi pertama dilakukan pada jumlah eksitasi sebanyak sepuluh kali. Simulasi berikutnya dilakukan dengan pertambahan 10 kali untuk tiap simulasi. Ini berarti jumlah eksitasi pada simulasi terakhir adalah sebanyak 150 kali. Grafik magnitudo frekuensi respon filter akibat eksitasi sinyal acak untuk simulasi terakhir digambarkan dalam Gambar 4. Pada gambar tersebut, ditampilkan hanya pada selang frekuensi lalu rendah hingga 0,55 rad/det. Selain itu, pada gambar tersebut juga ditampilkan frekuensi respon filter akibat eksitasi sinyal impact sebagai pembandingan. Pada Gambar 4 juga terlihat bahwa rata-rata magnitudo frekuensi respon akibat eksitasi sinyal acak sebanyak 150 kali sudah mendekati respon akibat sinyal impact. Persentase terbesar beda magnitudo ini adalah sebesar 3,5 %.



Gambar 4. Grafik Magnitudo Frekuensi Respon Filter Chebyshev Tipe I Akibat Eksitasi Sinyal Acak Sebanyak 150 Kali

7. Persentase Tertinggi Beda Magnitudo

Persentase tertinggi beda magnitudo pada eksitasi tertentu ditampilkan dalam Tabel 1. Pada tabel ini terlihat adanya penurunan persentase tertinggi beda magnitudo. Nilai terendah dari persentase tertinggi beda magnitudo terjadi pada simulasi dengan eksitasi sebanyak 150 kali.

Tabel 1. Persentase Beda Magnitudo Tertinggi pada Jumlah Eksitasi Tertentu

No.	Jumlah Eksitasi	Persentase Tertinggi Beda Magnitudo
1.	1	67
2.	10	42
3.	20	23
4.	30	14,2
5.	40	10,5
6.	50	8,3
7.	60	7,5
8.	70	6,2
9.	80	5,9
10.	90	4,8
11.	100	4,1
12.	110	4,05
13.	120	4,3
14.	130	3,9
15.	140	3,8
16.	150	3,5

8. Kesimpulan

Kesimpulan penelitian ini adalah, nilai terendah persentase tertinggi beda magnitudo terjadi pada simulasi dengan jumlah eksitasi sebanyak satu kali. Nilai ini adalah 67 %. Di lain pihak, jumlah eksitasi sebanyak 150 kali menimbulkan nilai persentase tertinggi beda magnitudo yang paling kecil. Nilai ini sebesar 3,5 %. Ini berarti semakin banyak jumlah eksitasi, semakin kecil pula persentase tertinggi beda magnitudo.

Daftar Pustaka

- Goldman, Steve, 1999: "Vibration Spectrum Analysis, A Practical Approach", Second Edition, Industrial Press Inc., New York.
- Jagtap, Sonal K., Uplane, Mahadev Dattatraya, "A Real Time Approach: ECG Noise Reduction in Chebyshev Type II Digital Filter", International Journal of Computer Applications, Vol. 49, No. 9, hal. 52 – 59.
- Kreyszig, Erwin, 1999: "Advanced Engineering Mathematics", John Wiley & Sons, Inc. Singapore.
- Utama, Herry Satria, "Simulasi Perancangan Filter Analog Chebyshev Tipe I Menggunakan MATLAB", JET (Jurnal Elektro Teknik) – Program Studi Teknik Elektro – Universitas Pakuan, Vol. 1, No. 1 (2021), hal. 39 – 45.
- Sinha, Naresh K., 1991: "Linear Systems", John Wiley & Sons, Inc. Singapore.
- Smith, Steven W., 1999: "The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing", Second Edition, California Technical Publishing, California.
- Strum, Robert D., 1994: "Contemporary Linear Systems Using MATLAB", PWS Publishing Company, Boston.
- Valkenburg, M. E. Van, 1982: "Analog Filter Design", Holt, Rinehart and Winston, Holt-Saunders Japan, Tokyo.