

Penghilang Noise pada Perintah Suara Menggunakan Filter Butterworth dengan Metode Transform Bilinier

Yusuf Eko Subandrio¹, Ratna Hartayu², Kukuh Setyajid³,
Ahmad Ridho'i⁴, Balok Hariadi⁵, Santoso⁶
Jurusan Teknik Elektro, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya
Jl. Semolowaru 45 Surabaya 60118
Telp. (031) 5931800, Faks. (031)5927817
E-mail: yusufekosubandrio0912@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini membahas penggunaan Filter Butterworth dengan Metode Transform Bilinier untuk menghilangkan noise pada perintah suara. Noise pada perintah suara dapat mengganggu pengenalan dan pemrosesan suara yang akurat, sehingga diperlukan metode yang efektif untuk mengurangi noise tersebut. Dalam penelitian ini, kami mengusulkan penggunaan Filter Butterworth yang memiliki karakteristik tajam dan linear untuk menghilangkan noise pada perintah suara. Metode Transform Bilinier digunakan untuk mengubah filter analog menjadi filter digital, sehingga dapat diimplementasikan dengan mudah pada sistem pengenalan suara digital. Langkah-langkah eksperimen dilakukan untuk menguji kinerja Filter Butterworth dengan Metode Transform Bilinier dalam menghilangkan noise pada perintah suara. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Penggunaan parameter yang tepat pada Filter Butterworth dengan metode transform bilinear menjadi faktor kunci untuk mencapai hasil yang optimal. Melalui penyetelan parameter yang sesuai, diperoleh pengaturan filter yang efisien untuk menghilangkan jenis noise tertentu dengan baik. Penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam pengembangan sistem pengenalan suara yang lebih handal dan tangguh terhadap kebisingan.

Kata Kunci: Penghilang Noise, Filter Butterworth, Metode Transform Bilinier

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam era teknologi yang semakin maju, penggunaan perintah suara sebagai salah satu metode pengendalian perangkat semakin populer. Namun, masalah utama dalam penggunaan perintah suara adalah noise atau gangguan pada sinyal suara yang dapat mempengaruhi keakuratan pengenalan suara. Salah satu teknik yang digunakan untuk mengatasi masalah ini adalah dengan menggunakan filter digital.

Filter Butterworth adalah salah satu jenis filter digital yang digunakan untuk mereduksi noise pada sinyal suara. Filter ini memiliki karakteristik yang dapat memotong frekuensi di atas titik potong dan mereduksi noise pada sinyal suara. Namun, penggunaan filter Butterworth pada sinyal suara perlu diperhatikan karena filter ini dapat mempengaruhi kualitas suara yang dihasilkan.

Untuk meminimalisir pengaruh dari penggunaan filter Butterworth pada sinyal suara, metode transform bilinier digunakan. Metode ini dapat mengkonversi filter Butterworth pada domain frekuensi ke domain waktu diskrit, sehingga filter dapat diterapkan pada sinyal suara tanpa mengurangi kualitas suara yang dihasilkan.

Dalam jurnal ini, penulis akan membahas mengenai penggunaan filter Butterworth dengan

metode transform bilinier untuk menghilangkan noise pada perintah suara. Penulis akan melakukan eksperimen pada data suara yang terkontaminasi noise dan membandingkan hasil penggunaan filter Butterworth dengan data suara yang belum difilter. Diharapkan hasil dari penelitian ini dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan sistem pengenalan suara yang lebih akurat dan dapat diandalkan.

2. KAJIAN PUSTAKA

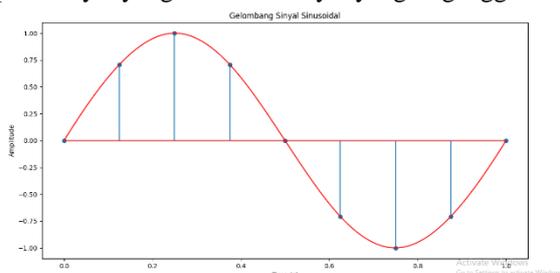
2.1 Sinyal

Sinyal adalah suatu bentuk transmisi atau perpindahan informasi atau data melalui saluran komunikasi. Sinyal bisa berupa gelombang elektromagnetik, suara, atau data digital yang dikirimkan dari satu tempat ke tempat lainnya. Sinyal ini bisa ditransmisikan melalui berbagai media, seperti kabel, gelombang radio, serat optik, atau satelit.

Sinyal memiliki peranan penting dalam komunikasi, baik dalam komunikasi suara, data, atau multimedia. Sinyal suara, misalnya, adalah gelombang suara yang ditransmisikan melalui saluran komunikasi, seperti telepon atau radio. Sinyal data adalah informasi digital yang dikirimkan dari satu perangkat ke perangkat lainnya, seperti sinyal

internet yang dikirim melalui kabel atau gelombang radio untuk mengakses internet.

Sinyal juga bisa dianalisis dan diproses untuk mendapatkan informasi yang terkandung di dalamnya. Di dalam dunia elektronika, sinyal sering diperlakukan sebagai gelombang yang dapat dimanipulasi atau diproses menggunakan perangkat elektronik seperti penguat sinyal atau filter sinyal. Dalam konteks telekomunikasi, sinyal juga dapat mengacu pada kekuatan atau kualitas transmisi, seperti sinyal yang kuat atau sinyal yang terganggu.

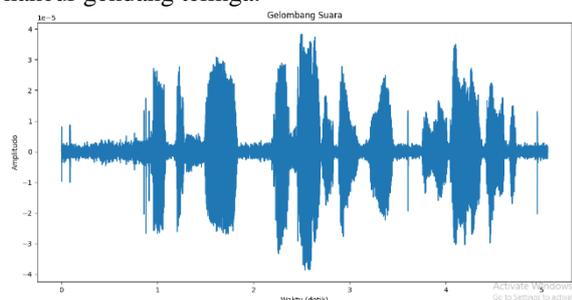


Gambar 2.1 Gelombang Sinyal Sinusoidal

2.2 Gelombang Suara

Gelombang suara bervariasi dalam tingkatan tekanan suara (amplitudo) dan dalam frekuensi yang menyebabkan suara yang satu dengan berbeda dengan suara lainnya. Jumlah waktu yang diperlukan untuk terjadinya suatu getaran atau gelombang dinamakan periode. Sedangkan jumlah gelombang yang terjadi setiap detik dinamakan frekuensi. Frekuensi suara menentukan tinggi rendahnya suara, diukur dalam hertz (Hz). Frekuensi yang dapat ditangkap oleh telinga manusia adalah antara 20 Hz sampai 20 KHz.

Amplitudo adalah keras lemahnya bunyi atau tinggi rendahnya gelombang. Amplitudo sebuah gelombang mengacu pada besarnya perubahan tekanan dan tingkat kerasnya gelombang suara. Amplitudo menggambarkan kekuatan atau intensitas suara, sementara panjang gelombang mencerminkan jarak antara puncak gelombang suara. Satuan amplitudo adalah desibel (dB), bunyi dapat merusak telinga jika tingkat volumenya lebih besar dari 85 dB dan pada ukuran 130 dB akan mampu membuat hancur gendang telinga.



Gambar 3.2 Gelombang Suara

2.3 Discrete Fourier Transform

Discrete Fourier Transform (DFT) adalah teknik pemrosesan sinyal yang digunakan untuk

mentransformasikan sinyal diskrit dari domain waktu menjadi domain frekuensi.[1] Dalam DFT, sinyal diskrit dianggap sebagai sebuah deret Fourier dan kemudian dihitung serangkaian koefisien kompleks yang mewakili amplitudo dan fase frekuensi yang berbeda.

$$X(k) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-j2\pi k n / N} \quad (1)$$

Dimana:

k : Indeks frekuensi yang menyatakan frekuensi ke k . Maksimum nilai k pada DFT adalah sama dengan nilai n . k adalah bilangan positif dimulai dari 0, 1, 2, ... dan seterusnya hingga $N-1$.

$X(k)$: Merupakan magnitude atau merupakan resultan dari penjumlahan vector real dan imaginary pada saat indeks k .

n : Menyatakan sampel ke n dimana n adalah bilangan 0, 1, 2, ... dan seterusnya.

N : Menyatakan total atau banyaknya n .

$x(n)$: Merupakan nilai diskrit dari pengambilan sampel sinyal saat n . Salah satu contoh nilai diskrit ini adalah hasil pengambilan sampel suatu sinyal dari perangkat ADC yang dibaca oleh mikrokontroler atau komputer.

$e^{-j2\pi k n / N}$: Merupakan bentuk eksponensial yang menyatakan penjumlahan vector real dan imaginary sebuah sinyal

Normalisasi ke skala decibels dengan nilai maksimum pada DFT sebesar 0 dB menggunakan persamaan:

$$X(\text{dB}) = 20 \log_{10} X(k) \quad (2)$$

2.4 Filter Infinite Impulse Response (IIR)

Filter Infinite Impulse Response (IIR) adalah jenis filter digital yang menggunakan kombinasi dari input saat ini dan output sebelumnya untuk menghasilkan output filter. Filter ini memungkinkan adanya umpan balik dan memiliki respons frekuensi yang tak terbatas dalam rentang frekuensi tertentu.[2]

Fungsi transformasi pada IIR Filter yang mempunyai orde adalah:

$$H(z) = \frac{B(z)}{A(z)} = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + \dots + b_n z^{-n}}{1 + a_1 z^{-1} + \dots + a_1 z^{-n}} \quad (1)$$

Dimana:

$H(z)$: fungsi transformasi dari IIR Filter

a_1, a_2 : koefisien feedback IIR Filter

b_1, b : koefisien feed forward IIR Filter

2.5 Filter Butterworth

Filter Butterworth merupakan filter jenis IIR (Infinite Impulse Response) yang menggunakan fungsi transfer Butterworth. Fungsi transfer Butterworth memiliki karakteristik polinomial yang tergantung pada jumlah dan urutan filter yang digunakan. Filter ini dikenal memiliki distorsi fasa yang relatif lebih rendah dibandingkan dengan beberapa jenis filter lainnya.[3]

Filter Butterworth memiliki respon frekuensi yang teratur dan dirancang untuk memberikan respon frekuensi yang datar di daerah melewati (passband) dan penurunan respon yang lembut di daerah penyaringan (stopband)

2.6 Metode Transform Bilinier

Metode transformasi bilinier digunakan untuk membuat filter digital Butterworth. Metode ini mengubah filter analog Butterworth menjadi bentuk diskrit yang dapat diterapkan pada sistem digital.

Proses perancangan filter Butterworth dengan metode transformasi bilinear melibatkan penentuan spesifikasi filter yang diinginkan, seperti frekuensi cut-off, orde filter, dan tingkat penurunan pada daerah stopband[4]

2.6.1 Menentukan Parameter Filter

Parameter filter mencakup beberapa komponen penting yang mempengaruhi karakteristik filter audio.

Frekuensi Cut-off: Parameter ini menentukan frekuensi di mana filter memisahkan sinyal menjadi dua bagian, yaitu bagian yang diizinkan melewati filter (passband edge frequency) dan bagian yang ditolak oleh filter (stopband edge frequency). Ada dua jenis filter cut-off utama, yaitu high-pass filter (membiarkan frekuensi tinggi melewati) dan low-pass filter (membiarkan frekuensi rendah melewati).

Respon Frekuensi: Respon frekuensi adalah representasi karakteristik filter dalam domain frekuensi. Hal ini menunjukkan bagaimana filter merespons sinyal audio pada berbagai frekuensi. Respon frekuensi sering dinyatakan dalam bentuk grafik, seperti grafik magnitude response atau grafik phase response.

Orde Filter: Orde filter mengacu pada kompleksitas filter dan menentukan sejauh mana filter dapat mengubah spektrum frekuensi sinyal audio. Orde filter yang lebih tinggi cenderung memiliki perubahan yang lebih tajam dan lebih rumit pada respons frekuensinya.

Tipe Filter: Tipe filter menggambarkan jenis karakteristik filtering yang ingin dicapai. Beberapa tipe filter umum termasuk low-pass filter, high-pass filter, band-pass filter, dan band-stop filter. Setiap tipe filter memiliki pengaruh yang berbeda pada spektrum frekuensi sinyal audio.

Stopband Attenuasi: Stopband atenuasi adalah penurunan amplitudo sinyal di dalam rentang

frekuensi yang disebut stopband pada filter sinyal. Ini menggambarkan seberapa baik filter dapat menekan sinyal di rentang frekuensi tersebut. Semakin tinggi nilai atenuasi, semakin baik filter dalam menekan sinyal di stopband. Nilai atenuasi biasanya dinyatakan dalam desibel (dB) dan menggambarkan pengurangan amplitudo sinyal. Dilambangkan dengan simbol δ_s .

Parameter filter ini dapat dikonfigurasi sesuai dengan kebutuhan aplikasi atau efek audio yang ingin dicapai. Dalam praktiknya, parameter filter ini diatur melalui perangkat lunak atau perangkat keras yang mengimplementasikan proses filtering audio. Rumus dibawah ini hanya dapat digunakan pada tipe Lowpass Filter dan Highpass Filter jika menggunakan Band-Pass Filter Atau Band-Stop Filter Menggunakan rumus yang berbeda.

2.6.2 Normalisasi

Berfungsi untuk memperbaiki rentang nilai dan amplitudo: Normalisasi memastikan bahwa rentang amplitudo audio berada dalam batas yang dapat ditangani atau ditampilkan dengan benar, memperbaiki kejelasan audio dan menghindari distorsi yang tidak diinginkan.

$$\omega_{cn} = 2\pi\left(\frac{f_c}{f_s}\right)$$

$$\omega_{stop n} = 2\pi\left(\frac{f_{stop}}{f_s}\right)$$

2.6.3 Un-Wrap

Berfungsi untuk menghilangkan efek aliasing: Aliasing terjadi ketika frekuensi tinggi dalam audio melebihi batas Nyquist dan menciptakan distorsi pada audio hasil transformasi. Unwrap adalah proses penghilangan efek aliasing dengan menghapus kelipatan periodik dari audio.

$$\omega_c = \tan\left(\frac{\omega_{cn}}{2}\right)$$

$$\omega_{stop} = \tan\left(\frac{\omega_{stop n}}{2}\right)$$

2.6.4 Normalisasi 1 rad/s

Berfungsi untuk menentukan orde filter:

$$\Omega_c = 1$$

$$\Omega_{stop} = \frac{\Omega_{stop}}{\Omega_c}$$

2.6.5 Prototype

Untuk membantu dalam desain low pass filter-nya, Butterworth menghasilkan tabel standar dari normalisasi low pass orde-2 kedua polinomial yang diberi nilai koefisien yang sesuai dengan frekuensi sudut cut-off 1 radian/detik.

$$H(s) = \frac{1}{Den(s)}$$

N	$Den(s)$
1	$(s + 1)$
2	$(s^2 + \sqrt{2}s + 1)$
3	$(s^2 + s + 1)(s + 1)$
4	$(s^2 + \sqrt{2 - \sqrt{2}}s + 1)(s^2 + \sqrt{2 + \sqrt{2}}s + 1)$
5	$(s^2 + \varphi^{-1}s + 1)(s^2 + \varphi s + 1)(s + 1)$

Tabel 1.1 Polinomial Orde Filter Butterworth

2.6.6 Desain Filter Analog

Ganti nilai s pada prototype dengan :

Lowpass Filter	Highpass Filter
$\left(\frac{1}{\omega_c}\right)s$	$\left(\frac{\omega_c}{s}\right)$

2.6.7 Transformasi Bilinier

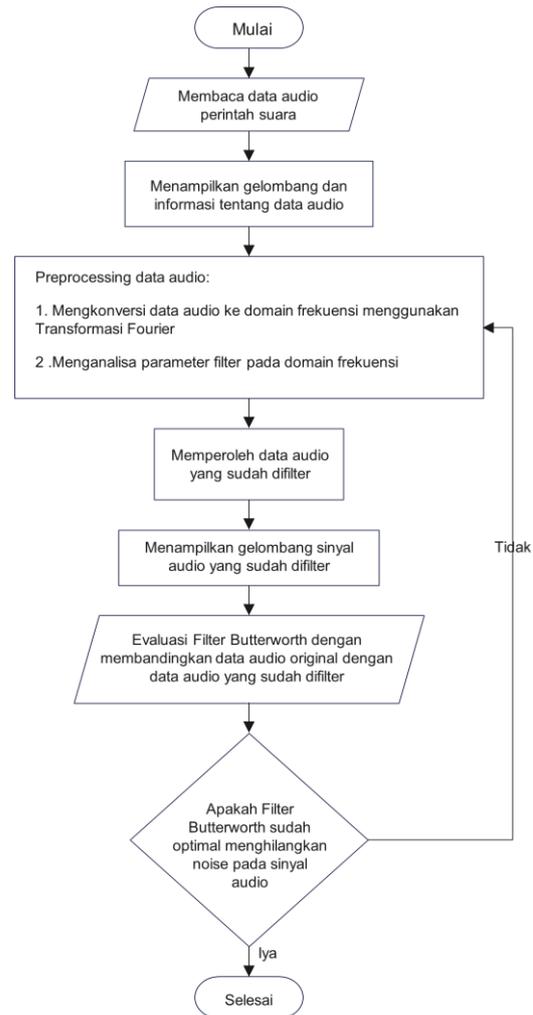
Ganti nilai s pada filter analog dengan :

$$s = \frac{2(1 - z^{-1})}{(1 + z^{-1})}$$

3. METODE

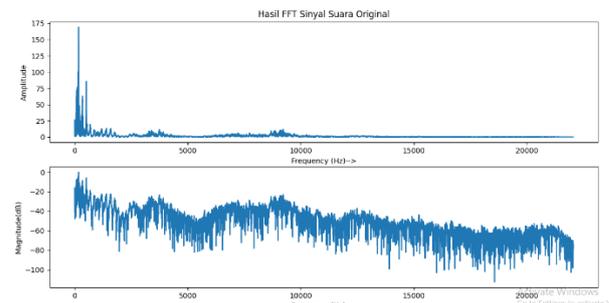
3.1 Diagram Alir

Diagram alir, juga dikenal sebagai flowchart, adalah representasi visual dari serangkaian langkah atau proses dalam bentuk grafis. Diagram alir digunakan untuk menggambarkan urutan langkah-langkah atau keputusan dalam suatu algoritma, prosedur, atau proses.



3.2 Analisa Frekuensi dengan DFT

Pertama-tama, untuk menganalisis frekuensi input audio, kami menerapkan Transformasi Fourier Diskrit ke audio input menggunakan rumus DFT N-titik sebagai berikut:

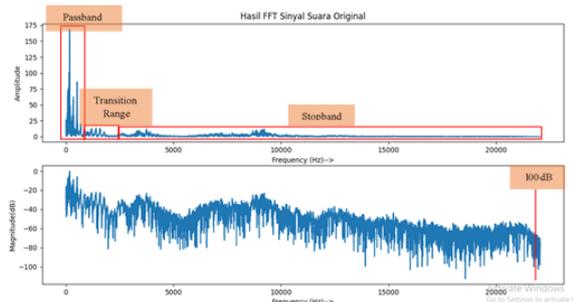


Gambar 3.1 Hasil FFT Sinyal Audio Original

Dapat kita lihat pada gambar diatas terdapat 2 bagian pada bagian pertama adalah hasil fft dengan domain frekuensi pada skala amplitudo dan pada bagian kedua adalah hasil fft dengan domain frekuensi pada skala desibel(dB)

3.3 Mengidentifikasi Frekuensi Cut-off dan Stopband Attenuasi

Dari Gambar 3.1 pada bagian pertama dapat kita lihat sinyal suara dari frekuensi rendah berubah dengan cepat ke frekuensi tinggi yang itu adalah daerah passband. Dari 0 Hz hingga 675 Hz lalu setelah itu ada daerah transisi dari 675 Hz hingga 1200 Hz, daerah stopband berada pada 1200 Hz hingga tak terhingga. pada gambar kedua dapat kita lihat attenuasi pada daerah stopband adalah sebesar 100 dB[5]

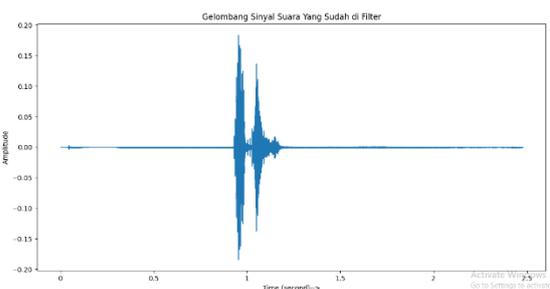
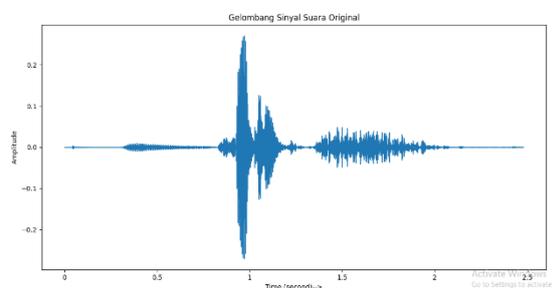


Gambar 3.2 Penentuan Paramameter

3.4 Mengimplementasi Filter Butterworth dengan Metode Transformasi Bilinier menggunakan Python

1. import numpy as np
2. import scipy
3. from scipy import signal
4. base_dir = "D:\Project Python\Audio-Signal-Processing-master\Audio-Signal-Processing-master\Data Set\Aktif"
5. Sound = "Maju (4).wav"
6. samples, sampling_rate = librosa.load(os.path.join(base_dir, Sound), sr=None, mono=True, offset=0.0, duration=None)
7. b,a = signal.butter(5, 1000/(sampling_rate/2), btype='highpass')

4. HASIL DAN PEMBAHASAN



5. KESIMPULAN

Filter Butterworth dapat efektif digunakan untuk menghilangkan noise pada perintah suara. Penggunaan filter ini membantu menghasilkan sinyal suara yang lebih jernih dan mudah diinterpretasikan.

Metode transform bilinear adalah pendekatan yang tepat untuk menerapkan filter Butterworth pada domain frekuensi digital. Metode ini memungkinkan perubahan filter analog menjadi filter digital dengan mempertahankan karakteristik penting dari filter aslinya.

Implementasi filter Butterworth dengan metode transform bilinear berhasil menghilangkan noise pada perintah suara dengan akurasi yang memadai. Eksperimen dan pengujian yang dilakukan menunjukkan bahwa pendekatan ini memberikan hasil yang baik dalam mengurangi noise tanpa mengorbankan kualitas perintah suara yang diinginkan.

Penggunaan parameter yang tepat dalam filter Butterworth dan metode transform bilinear menjadi faktor kunci untuk mencapai hasil yang optimal. Melalui penyetelan parameter yang sesuai, diperoleh pengaturan filter yang efisien untuk menghilangkan jenis noise tertentu dengan baik.

PUSTAKA

- [1] D. T. Kusuma, "Fast Fourier Transform (FFT) Dalam Transformasi Sinyal Frekuensi Suara Sebagai Upaya Perolehan Average Energy (AE) Musik," *Petir*, vol. 14, no. 1, pp. 28–35, 2020, doi: 10.33322/petir.v14i1.1022.
- [2] R. N. Wardhani, D. P. Yohast, and I. S. Tilawah, "Filter IIR (Butterworth) and ICA for Identifying Silent Chain's Sound Characteristics," no. Asais 2019, pp. 114–119, 2020, doi: 10.5220/0009906801140119.
- [3] M. Singh and E. N. Kumar Garg, "Audio Noise Reduction Using Butter Worth Filter," *Int. J. Comput. Organ. Trends*, vol. 6, no. 1, pp. 20–23, 2014, doi: 10.14445/22492593/ijcot-v6p305.
- [4] S. Santoso, R. Hartayu, C. Anam, dan D. A. Aziz, "Simulasi Ekstraksi Fitur Suara menggunakan Mel-Frequency Cepstrum Coefficient," *Jurnal Sains dan Informatika*, vol. 8, no. 1, pp. 80–87, 2022.
- [5] A. K. M and M. C. K, "Efficient Audio Noise Reduction System Using Butterworth Chebyshev and Elliptical filter," *Int. J. Multimed. Ubiquitous Eng.*, vol. 12, no. 1, pp. 225–238, 2017, doi: 10.14257/ijmue.2017.12.1.19.
- [6] K. Nguyen, "Audio Filtering using Butterworth Filter".

Halaman ini sengaja dikosongkan