



Department of Digital Business

Journal of Artificial Intelligence and Digital Business (RIGGS)

Homepage: <https://journal.ilmudata.co.id/index.php/RIGGS>

Vol. 5 No. 2 (2026) pp: 12907-12915

P-ISSN: 2963-9298, e-ISSN: 2963-914X

Analisis Peredaman Noise pada Sinyal Audio Dengkuran Menggunakan Filter Butterworth Berbasis Python

Sakila Sahara¹, Ainur Puji Astuti², Fifi Dewi Ratnasari³

^{1,2,3} Program Studi Fisika, Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang

¹sykll_zhr26@students.unnes.ac.id, ²ainurpujiastuti@students.unnes.ac.id, ³fifi_fisika@mail.unnes.ac.id

Abstrak

Suara dengkuran merupakan salah satu jenis sinyal audio yang sering mengandung gangguan atau noise sehingga dapat memengaruhi proses analisis sinyal. Keberadaan noise menyebabkan kualitas sinyal menurun dan berpotensi mengurangi akurasi pada proses identifikasi maupun analisis karakteristik suara dengkuran. Oleh karena itu, diperlukan metode pengolahan sinyal yang mampu mereduksi noise tanpa menghilangkan informasi penting yang terkandung pada sinyal audio. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas Filter Butterworth Low Pass dalam meredam gangguan pada sinyal suara dengkuran berbasis Python. Sampel yang digunakan terdiri atas beberapa jenis suara dengkuran dengan karakteristik yang berbeda, yaitu dengkuran bernada rendah, bernada tinggi, halus, keras, serta dengkuran yang disertai suara pilek. Data diperoleh melalui proses perekaman dan pengunduhan, kemudian dikonversi ke format WAV agar dapat diproses menggunakan Python. Tahapan penelitian meliputi pembacaan file audio, perancangan Filter Butterworth Low Pass, penerapan proses filtering, serta visualisasi hasil menggunakan grafik perbandingan antara sinyal asli dan sinyal setelah proses penyaringan. Efektivitas filter dianalisis berdasarkan perubahan bentuk gelombang dan tingkat kehalusan sinyal yang dihasilkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Filter Butterworth Low Pass mampu menghasilkan sinyal yang lebih halus dan stabil dibandingkan sinyal asli, tanpa menghilangkan karakteristik utama suara dengkuran. Dengan demikian, metode ini dapat digunakan sebagai tahap awal pengolahan sinyal audio untuk meningkatkan kualitas data sebelum dilakukan analisis lebih lanjut serta mendukung pengembangan penelitian di bidang pengolahan sinyal digital berbasis suara.

Kata Kunci: Suara Dengkuran, Butterworth Low Pass Filter, Pengolahan Sinyal Digital, Python, Audio WAV.

1. Latar Belakang

Perkembangan teknologi digital pada era modern yang penuh dengan perangkat digital saat ini, kemajuan pada perangkat digital tidak dapat di pungkiri dan memang akan terus bertambah maju seiring berkembangnya zaman saat ini. Perkembangan ini telah memaksa kita untuk dapat terus menggunakan perangkat digital hampir disemua berbagai aktivitas, mulai dari komunikasi, pendidikan, hiburan, hingga bidang kesehatan. Salah satu perangkat digital yang sering digunakan adalah laptop. Pada perkembangan teknologi digital ini juga mendorong adanya peningkatan yang signifikan dalam penggunaan sinyal audio di berbagai bidang, seperti komunikasi, multimedia, penyiaran, hingga sistem pengenalan suara. Sinyal audio merupakan representasi gelombang suara yang dapat direkam, disimpan, ditransmisikan, dan diolah secara digital. Kualitas pada sinyal audio menjadi faktor penting karena berpengaruh langsung terhadap kejelasan informasi yang diterima oleh pengguna. Salah satu jenis sinyal audio yang sering dianalisis adalah suara dengkuran.

Tidur merupakan kebutuhan dasar manusia yang berperan penting dalam menjaga fungsi fisiologis tubuh, kesehatan mental, serta kualitas hidup. Kualitas tidur yang baik memungkinkan tubuh melakukan proses pemulihan dan menjaga fungsi organ agar tetap optimal. Namun, berbagai gangguan dapat terjadi selama tidur, salah satunya adalah mendengkur, yang sering dianggap sebagai kondisi biasa padahal dapat menjadi indikasi adanya gangguan kesehatan yang lebih serius. Suara dengkuran merupakan suara yang dihasilkan akibat adanya getaran jaringan lunak pada saluran pernapasan manusia selama seseorang tidur. Dengkuran umumnya terjadi akibat aliran udara yang melewati saluran pernapasan yang menyempit sehingga menimbulkan getaran pada jaringan di area hidung dan tenggorokan. Kondisi penyempitan ini dapat disebabkan oleh keberadaan polip hidung, pembesaran tonsil, maupun melemahnya otot pada pangkal lidah, yang dapat berlangsung dalam jangka panjang apabila faktor penyebabnya tidak ditangani. Berbeda dengan pembengkakan pada rongga hidung akibat alergi yang bersifat sementara, kelemahan pada uvula atau otot palatum molle umumnya lebih sering ditemukan pada kelompok usia lanjut [7]. Oleh karena itu, kebiasaan mendengkur tidak dapat dianggap sebagai kondisi yang

sepenuhnya normal, terutama jika muncul secara mendadak dan terjadi secara berkelanjutan. Dalam beberapa kasus, kondisi tersebut dapat menjadi indikasi adanya gangguan kesehatan tertentu yang perlu mendapat perhatian lebih lanjut.

Dalam bidang kesehatan, analisis suara dengkur memiliki peran yang cukup penting karena dapat digunakan sebagai indikator awal untuk mendeteksi gangguan tidur, seperti *Obstructive Sleep Apnea* (OSA) dan gangguan pernapasan lainnya. *Obstructive Sleep Apnea* (OSA) merupakan gangguan kronis umum yang ditandai dengan jeda pernapasan berulang selama tidur yang disebabkan oleh penyempitan jalan napas bagian atas selama tidur, khususnya pada tingkat faring [3]. Kondisi ini dapat menyebabkan penurunan kualitas tidur seseorang, kelelahan pada siang hari, gangguan konsentrasi, hingga meningkatkan risiko penyakit kardiovaskular seperti hipertensi dan penyakit jantung [4]. Kondisi ini juga dapat menyebabkan kesalahan fatal pada seseorang seperti kematian mendadak apabila tidak ditangani dengan baik. Diagnosis OSA biasanya menggunakan pemeriksaan *Polysomnography* (PSG), namun metode tersebut memerlukan biaya yang sangat mahal, adanya peralatan khusus, serta tenaga medis yang terlatih sehingga tidak mudah untuk diakses oleh masyarakat [8]. Oleh karena itu, analisis suara dengkur menjadi salah satu metode non-invasif yang menjanjikan untuk membantu proses deteksi dini gangguan tidur secara lebih mudah dan ekonomis. Namun dalam proses perekaman, transmisi, maupun penyimpanan, sinyal audio sering kali mengalami gangguan berupa noise. Noise merupakan sinyal gangguan yang tidak diinginkan dan bercampur dengan sinyal utama sehingga dapat menurunkan kualitas audio [11]. Keberadaan noise pada proses perekaman dapat menyebabkan penurunan kualitas sinyal suara yang diterima, sehingga informasi penting yang terkandung di dalam sinyal berpotensi mengalami distorsi atau bahkan hilang. Sumber noise pada sinyal audio dapat berasal dari berbagai faktor, seperti suara lingkungan, gangguan perangkat perekam, interferensi elektromagnetik, maupun kesalahan selama proses transmisi dan penyimpanan data.

Oleh sebab itu, diperlukan teknik pengolahan sinyal suara untuk mengurangi pengaruh noise sehingga kualitas sinyal yang dihasilkan menjadi lebih baik dan informasi yang terkandung di dalamnya dapat dipertahankan. Salah satu pendekatan yang dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan yang terjadi karena noise adalah dengan menggunakan filter digital. Filter digital bekerja dengan cara memanipulasi komponen frekuensi dari sinyal sehingga noise dapat ditekan tanpa menghilangkan informasi utama. Setelah proses filtering dilakukan, diperlukan evaluasi untuk dapat mengetahui efektivitas metode yang digunakan. Perbandingan antara sinyal audio sebelum dan sesudah filtering menjadi langkah penting untuk melihat sejauh mana noise berhasil direduksi dan seberapa besar kualitas sinyal yang dihasilkan saat mengalami peningkatan [5]. Filter merupakan rangkaian yang berfungsi untuk melewatkan sinyal frekuensi yang diinginkan dan menahan sinyal frekuensi yang tidak diinginkan. Filter dapat diklasifikasikan menjadi dua yaitu filter analog dan filter digital. Filter analog dirancang untuk memproses sinyal analog, sedangkan filter digital untuk memproses sinyal analog dengan menggunakan teknik digital. Filter analog ini biasanya digunakan di ujung depan sinyal rantai pengkondisian untuk memproses sinyal analog sebelum digitalisasi. Aplikasi mereka terutama bermanfaat dalam domain frekuensi tinggi dan sistem berbasis sensor, dimana presisi analog dan pemrosesan latensi adalah yang terpenting [10].

Maka berdasarkan karakteristiknya, filter digital dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu Filter FIR (*Finite Impulse Response*) dan Filter IIR (*Infinite Impulse Response*). Filter FIR memiliki respon impuls berdurasi terbatas dan dikenal memiliki fase linear yang baik, sedangkan filter IIR memiliki respon impuls tak terbatas yang memungkinkan proses penyaringan dilakukan dengan orde filter yang lebih rendah karena adanya umpan balik pada struktur filenya. Filter IIR memiliki beberapa keunggulan dibandingkan filter FIR, terutama dari segi efisiensi komputasi. Jumlah koefisien yang digunakan menjadi lebih sedikit sehingga proses komputasi dapat dilakukan lebih cepat dan efisien. Karakteristik ini menjadikan filter IIR banyak digunakan pada sistem pengolahan sinyal waktu nyata (*Real-Time Signal Processing*) yang membutuhkan kinerja yang cepat dengan penggunaan sumber daya yang minimal. Salah satu jenis filter IIR yang banyak digunakan dalam pengolahan sinyal audio adalah Filter Butterworth. Filter Butterworth memiliki karakteristik respon frekuensi yang datar (*Maximally Flat*) pada daerah passband, sehingga mampu melewatkan frekuensi yang diinginkan tanpa menghasilkan riak (*ripple*) yang signifikan. Karakteristik ini memungkinkan sinyal utama dilewatkan dengan distorsi amplitudo yang minimal, sementara komponen noise pada frekuensi tertentu dapat direkam secara efektif sehingga banyak diterapkan pada proses reduksi noise karena memiliki transisi frekuensi yang halus dan mampu mempertahankan kualitas sinyal yang asli.

Filter butterworth dapat dirancang dalam berbagai bentuk, seperti low-pass filter, high-pass filter, band-pass filter, dan band-stop filter yang sesuai dengan kebutuhan aplikasi. Pada pengolahan sinyal audio, low-pass Butterworth filter sering digunakan untuk mereduksi noise frekuensi tinggi tanpa menghilangkan informasi penting yang terdapat pada sinyal utama. Kinerja filter dipengaruhi oleh beberapa parameter, seperti frekuensi

potong (*cutoff frequency*) dan orde filter. Semakin tinggi orde filter yang digunakan, semakin tajam kemampuan filter dalam memisahkan sinyal dan noise, meskipun kompleksitas perhitungannya juga meningkat. 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*). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa filter butterworth mampu memberikan performa yang baik dalam proses reduksi noise pada sinyal audio. Filter FIR maupun filter Butterworth sama-sama efektif dalam mereduksi noise pada sinyal audio, meskipun filter FIR memiliki keunggulan dalam karakteristik fase linear dan nilai *Signal-to-Noise Ratio* (SNR) yang sedikit lebih tinggi [6]. Selain itu, filter butterworth memiliki transisi frekuensi yang halus antara daerah *passband* dan *stopband*, sehingga banyak digunakan dalam aplikasi pengolahan sinyal audio dan biomedis [14]. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan Filter Butterworth IIR dengan karakteristik yang terdiri dari kombinasi filter *lowpass* dan *highpass* yang dihubungkan secara paralel. Frekuensi rendah diberikan ke *lowpass*, sedangkan frekuensi tinggi diberikan ke filter *highpass* [16]. Filter ini dirancang untuk meredam sinyal pada rentang frekuensi tertentu (frekuensi tinggi) tanpa mempengaruhi frekuensi di luar rentang tersebut. Dengan demikian, filter ini mampu mereduksi noise pada frekuensi tertentu tanpa mengurangi kualitas informasi audio yang ada pada frekuensi diluar *cut-off* noise [1].

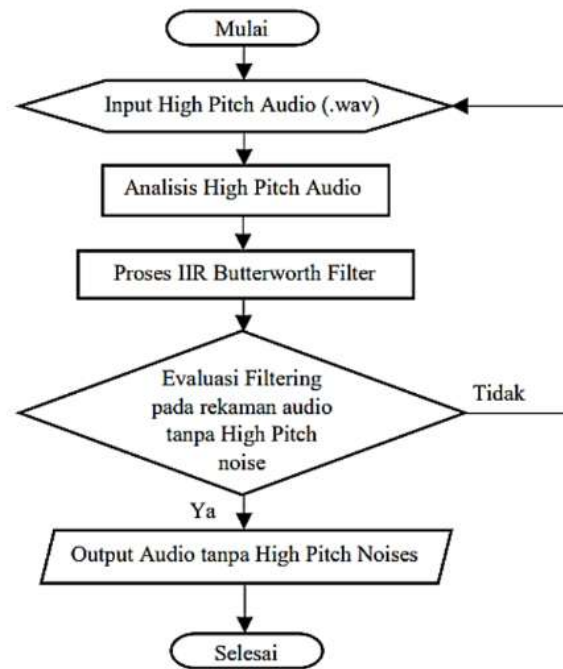
Pada penelitian ini, digunakan beberapa sampel suara dengkur sebagai data uji untuk mengevaluasi kinerja filter Butterworth dalam mereduksi noise. Penggunaan sampel bertujuan untuk memperoleh hasil analisis yang lebih representatif karena setiap rekaman memiliki karakteristik sinyal dan tingkat noise yang berbeda. Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa sampel rekaman suara dengkur dalam format audio digital. WAV. Format ini dipilih karena merupakan format audio tanpa kompresi (*lossless*) sehingga mampu mempertahankan informasi sinyal secara utuh dan meminimalkan kehilangan data selama proses analisis. Seluruh sampel audio diproses menggunakan bahasa pemrograman Python yang menyediakan berbagai pustaka pengolahan sinyal digital, seperti *Numpy*, *Scipy*, dan *Matplotlib*. Python dipilih karena memiliki kemampuan yang baik dalam melakukan pemrosesan data, perancangan filter digital, serta visualisasi hasil analisis secara efisien. Setelah proses filtering dilakukan, sinyal audio sebelum dan sesudah penyaringan dibandingkan untuk mengetahui tingkat keberhasilan metode yang digunakan. Analisis dilakukan dengan mengamati perubahan bentuk gelombang sinyal pada domain waktu serta perubahan spektrum frekuensi pada domain frekuensi. Melalui perbandingan tersebut dapat diketahui bahwa sejauh mana filter IIR dapat mampu meredam noise tanpa menghilangkan informasi penting yang terdapat pada suara dengkur. Penggunaan kedua metode tersebut diharapkan mampu menghasilkan sinyal suara dengkur yang lebih bersih sehingga informasi penting yang terkandung di dalamnya tetap terjaga dan dapat di analisis dengan lebih akurat.

2. Metode Penelitian

Filter Infinite Impulse Response (IIR) merupakan salah satu jenis filter digital yang menghasilkan keluaran berdasarkan kombinasi antara sinyal masukan saat ini dan keluaran sebelumnya. Karakteristik ini memungkinkan adanya mekanisme umpan balik sehingga filter memiliki respons frekuensi yang dapat berlangsung secara tak terbatas pada rentang frekuensi tertentu [15].

Filter Butterworth IIR dipilih karena mampu meningkatkan kualitas sinyal dengan menekan komponen noise pada frekuensi yang tidak diinginkan [13]. Prinsip kerja filter ini adalah melewatkan frekuensi yang termasuk dalam rentang sinyal target dan meredam frekuensi di luar rentang tersebut. Berdasarkan rentang frekuensi yang dilewatkan, filter dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu *lowpass* filter yang meneruskan frekuensi di bawah frekuensi *cutoff*, *highpass* filter yang meneruskan frekuensi di atas frekuensi *cutoff*, serta *bandpass* filter yang hanya melewatkan frekuensi yang berada di antara dua frekuensi *cutoff* yang telah ditentukan [12].

Tahapan dari filter audio sebagai berikut :



Gambar 1. Diagram Alir IIR Butterworth Filter

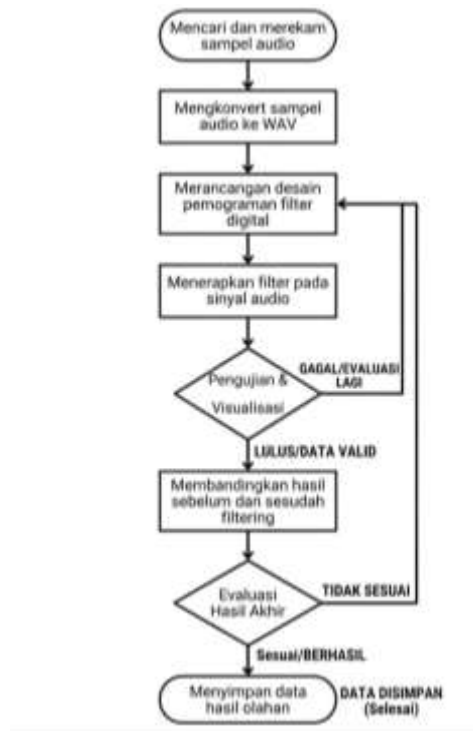
Parameter Simulasi

Penelitian ini mengimplementasikan filter IIR Butterworth dengan jenis Band-Stop untuk menghilangkan noise pada frekuensi tinggi yang tidak diinginkan dalam rekaman audio.

- **Butterworth** dipilih karena memiliki respons frekuensi yang halus pada daerah yang dilewatkan serta peredaman tajam pada daerah yang ditolak, sehingga tetap menjaga kejernihan sinyal utama [1].
- **Band-Stop Filter** dirancang untuk meredam noise pada rentang frekuensi tertentu tanpa mengganggu frekuensi lain yang berperan penting dalam rekaman audio.
- **Fast Fourier Transform (FFT)** digunakan dalam analisis spektrum frekuensi sinyal untuk mengidentifikasi dan mengisolasi komponen frekuensi yang mengganggu, sehingga filter dapat diterapkan dengan lebih presisi.

Filter IIR memiliki respons impuls yang berlangsung tak hingga karena adanya mekanisme umpan balik dalam strukturnya. Filter IIR ini memiliki keunggulan utama yaitu kemampuannya mencapai selektivitas frekuensi yang tinggi dengan jumlah koefisien lebih sedikit [2].

Pada tahap perancangan sistem komputasi, disusun alur kerja yang sesuai dengan kebutuhan sistem agar proses pengolahan dapat berjalan secara efektif dan optimal. Rancangan tersebut divisualisasikan dalam bentuk flowchart yang menggambarkan tahapan proses filtering secara sistematis agar nilai *Signal-to-Noise Ratio* dapat terlihat dengan jelas. Karena adanya proses umpan balik (feedback) yang melibatkan nilai output sebelumnya dalam perhitungan, filter IIR dikenal sebagai recursive filter. Karakteristik rekursif ini memberikan keunggulan pada filter IIR dalam mencapai selektivitas frekuensi yang tinggi dengan jumlah koefisien yang lebih sedikit dibandingkan filter FIR [2]. Dengan memanfaatkan sifat rekursifnya, filter IIR dapat mengenali pola berulang dalam sinyal audio yang menjadi indikasi adanya gema. Setelah pola ini teridentifikasi, filter dapat diterapkan untuk meredam atau menghilangkan gema tersebut, sehingga meningkatkan kualitas rekaman audio [9].



Gambar 2. Flowchart Proses Pengolahan Data

Pengujian dilakukan terhadap beberapa sampel suara dengkurkan yang memiliki karakteristik berbeda untuk mengetahui kinerja Butterworth Low Pass Filter dalam meredam noise pada berbagai kondisi sinyal audio. Sampel yang digunakan terdiri atas beberapa jenis suara dengkurkan, yaitu dengkurkan bernada rendah, dengkurkan teratur, dengkurkan halus, dengkurkan yang disertai pilek atau hambatan pernapasan, serta dengkurkan dengan napas berat. Variasi karakteristik tersebut dipilih agar pengujian tidak hanya terbatas pada satu jenis suara dengkurkan, tetapi juga dapat menggambarkan performa filter pada sinyal dengan pola amplitudo dan kandungan frekuensi yang berbeda-beda. Dengan demikian, hasil penelitian diharapkan dapat memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai kemampuan filter dalam meningkatkan kualitas sinyal audio.

Proses pengambilan data dilakukan melalui perekaman suara dengkurkan menggunakan perangkat perekam digital. Seluruh rekaman kemudian disimpan dalam format audio standar dan dikonversi ke format .wav (*Waveform Audio File Format*). Format WAV dipilih karena merupakan format audio tanpa kompresi (*lossless*), sehingga kualitas sinyal asli tetap terjaga dan tidak mengalami penurunan akibat proses kompresi data. Selain itu, format WAV juga didukung secara luas oleh berbagai pustaka (*library*) pengolahan sinyal digital pada Python, sehingga memudahkan proses pembacaan dan analisis data.

Setelah proses konversi selesai, seluruh file audio ditempatkan pada direktori yang sama dengan program Python yang digunakan dalam penelitian. Penempatan file pada direktori yang sama bertujuan untuk mempermudah proses pemanggilan file (*file access*) selama program dijalankan, sehingga jalur penyimpanan (*path*) dapat dikenali secara langsung oleh sistem. Tahapan ini juga bertujuan meminimalkan kesalahan pembacaan file yang dapat terjadi akibat perbedaan lokasi penyimpanan data.

Proses pengolahan data dilakukan menggunakan bahasa pemrograman Python karena memiliki berbagai pustaka yang mendukung analisis sinyal digital secara efisien. Pada penelitian ini digunakan beberapa *library*, seperti *NumPy* untuk melakukan pengolahan data numerik dan operasi matriks, *SciPy* untuk proses perancangan dan penerapan filter digital Butterworth, serta *Matplotlib* untuk menampilkan visualisasi sinyal dalam bentuk grafik. Kombinasi pustaka tersebut memungkinkan proses pengolahan sinyal dilakukan secara sistematis mulai dari pembacaan data, filtering, hingga visualisasi hasil.

Tahap awal pengolahan dilakukan dengan membaca setiap file audio menggunakan fungsi pembaca data pada Python sehingga diperoleh nilai amplitudo sinyal beserta frekuensi pengambilan sampel (*sampling rate*). Informasi tersebut menjadi dasar dalam proses perancangan filter, khususnya untuk menentukan frekuensi cutoff yang sesuai dengan karakteristik sinyal suara dengkur. Selanjutnya, dilakukan perancangan Butterworth Low Pass Filter dengan menentukan parameter utama berupa orde filter dan frekuensi cutoff. Penentuan parameter ini sangat penting karena akan memengaruhi kemampuan filter dalam melewatkan komponen frekuensi rendah sekaligus meredam komponen frekuensi tinggi yang dianggap sebagai noise.

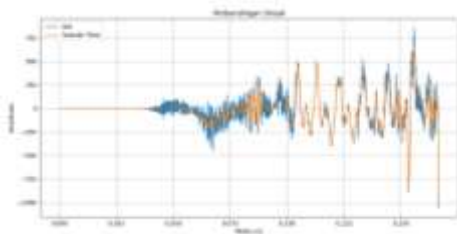
Setelah parameter filter ditentukan, proses filtering dilakukan terhadap masing-masing sampel suara dengkur. Pada tahap ini, Butterworth Low Pass Filter bekerja dengan mempertahankan komponen frekuensi yang berada di bawah nilai cutoff, sementara komponen dengan frekuensi lebih tinggi mengalami pelemahan (*attenuation*). Karena sebagian besar energi suara dengkur berada pada rentang frekuensi rendah hingga menengah, proses filtering diharapkan mampu mengurangi gangguan tanpa menghilangkan informasi utama yang terkandung dalam sinyal.

Hasil filtering kemudian dibandingkan dengan sinyal asli melalui visualisasi dalam domain waktu. Visualisasi dilakukan dengan menampilkan grafik amplitudo terhadap waktu untuk sinyal sebelum dan sesudah proses filtering pada satu bidang grafik yang sama. Perbandingan ini bertujuan untuk mempermudah pengamatan terhadap perubahan bentuk gelombang, terutama pada bagian yang mengalami fluktuasi amplitudo tinggi akibat keberadaan noise. Selain itu, visualisasi juga digunakan untuk mengetahui apakah proses filtering tetap mempertahankan pola utama suara dengkur setelah komponen frekuensi tinggi direduksi.

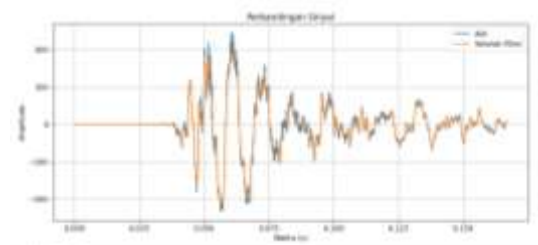
Tahap akhir penelitian adalah melakukan analisis terhadap hasil filtering. Analisis dilakukan secara visual dengan mengamati tingkat kehalusan sinyal, perubahan amplitudo, serta kesesuaian pola sinyal sebelum dan sesudah filtering. Efektivitas Butterworth Low Pass Filter dievaluasi berdasarkan kemampuannya dalam mengurangi noise tanpa menyebabkan distorsi yang signifikan pada bentuk dasar sinyal suara dengkur. Hasil analisis tersebut kemudian digunakan sebagai dasar untuk menarik kesimpulan mengenai kinerja filter sebagai metode prapengolahan (*preprocessing*) pada pengolahan sinyal audio berbasis Python.

3. Hasil dan Diskusi

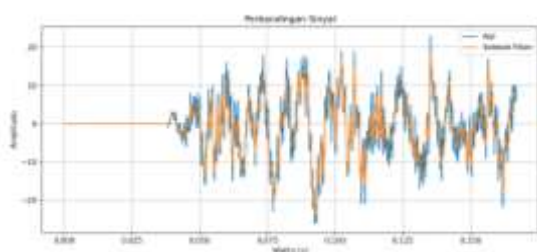
Grafik Perbandingan Sinyal Sebelum dan Sesudah Filtering



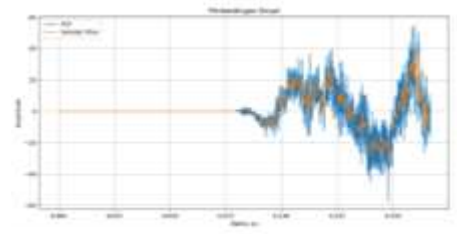
Gambar 3.a. Grafik perbandingan sinyal dengkur keras



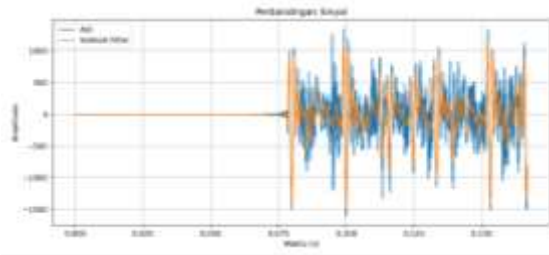
Gambar 3.b. grafik perbandingan sinyal dengkur disertai pilek atau hambatan pernapasan



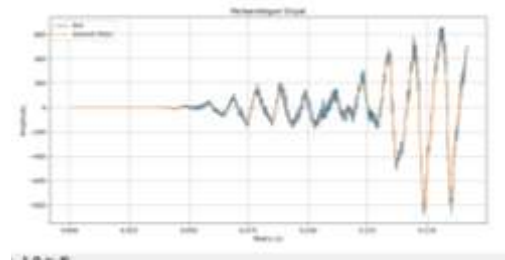
Gambar 3.c. Grafik perbandingan sinyal dengkur teratur



Gambar 3.d. grafik perbandingan sinyal dengkur bernada rendah



Gambar 3.e. grafik perbandingan sinyal dengkur dengan napas berat



Gambar 3.f. grafik perbandingan sinyal dengkur halus

Pembahasan

Berdasarkan hasil pengolahan sinyal yang ditunjukkan pada beberapa gambar di atas, terlihat adanya perbedaan karakteristik antara sinyal suara dengkur asli dengan sinyal yang telah diproses menggunakan Butterworth Low Pass Filter. Sinyal asli ditampilkan dengan kurva berwarna biru, sedangkan sinyal hasil filtering ditunjukkan oleh kurva berwarna oranye. Secara umum, bentuk gelombang hasil filtering masih mengikuti pola dasar sinyal asli, sehingga karakteristik utama suara dengkur tetap dapat dipertahankan. Hal ini menunjukkan bahwa proses penyaringan tidak mengubah struktur utama sinyal, melainkan hanya mengurangi komponen-komponen yang dianggap sebagai gangguan atau noise. Dengan demikian, informasi penting yang terkandung dalam sinyal suara dengkur tetap tersedia untuk proses analisis selanjutnya.

Perbedaan yang paling nyata terlihat pada bagian sinyal yang memiliki fluktuasi amplitudo tinggi. Pada sinyal asli, terdapat perubahan amplitudo yang tajam dan tidak beraturan pada beberapa interval waktu. Fluktuasi tersebut umumnya disebabkan oleh keberadaan komponen frekuensi tinggi yang berasal dari noise lingkungan, gangguan pada proses perekaman, maupun interferensi dari perangkat elektronik yang digunakan. Setelah diterapkan Butterworth Low Pass Filter, fluktuasi tersebut mengalami penurunan sehingga bentuk gelombang menjadi lebih halus dan stabil. Kondisi ini menunjukkan bahwa filter berhasil meredam komponen frekuensi tinggi tanpa menghilangkan komponen frekuensi rendah yang menjadi karakteristik utama suara dengkur.

Hasil tersebut sejalan dengan prinsip kerja Butterworth Low Pass Filter yang dirancang untuk melewatkan sinyal dengan frekuensi di bawah nilai cutoff dan secara bertahap meredam sinyal yang memiliki frekuensi lebih tinggi. Tidak seperti beberapa jenis filter lain yang memiliki ripple pada daerah passband atau stopband, filter Butterworth memiliki respon amplitudo yang relatif datar (maximally flat) pada daerah passband. Karakteristik ini memungkinkan sinyal utama tetap dipertahankan dengan distorsi amplitudo yang minimal. Oleh karena itu, bentuk dasar gelombang suara dengkur setelah proses filtering masih menyerupai sinyal asli, meskipun komponen noise telah berkurang secara signifikan.

Selain perubahan pada fluktuasi amplitudo, hasil filtering juga menunjukkan bahwa puncak-puncak utama (peak) sinyal masih dapat diamati dengan jelas. Keberadaan puncak-puncak tersebut menunjukkan bahwa informasi penting mengenai karakteristik suara dengkur, seperti intensitas dan pola periodik, tetap terjaga setelah proses penyaringan. Hal ini menjadi aspek yang penting karena berbagai penelitian mengenai analisis suara dengkur umumnya memanfaatkan karakteristik amplitudo, pola temporal, maupun distribusi frekuensi sebagai parameter utama dalam proses identifikasi maupun klasifikasi. Dengan tetap terjaganya karakteristik tersebut, hasil filtering menjadi lebih representatif untuk digunakan pada tahap analisis berikutnya.

Secara visual, proses filtering juga menghasilkan sinyal yang lebih mudah diamati dibandingkan sinyal asli. Pengurangan komponen noise menyebabkan bentuk gelombang menjadi lebih jelas sehingga batas antara bagian yang mengandung aktivitas suara dan bagian yang relatif tenang dapat dikenali dengan lebih mudah. Kondisi ini memberikan keuntungan pada tahap prapengolahan (preprocessing), karena sinyal yang telah dibersihkan dari noise umumnya menghasilkan ekstraksi fitur yang lebih akurat. Pada aplikasi pengolahan sinyal digital, kualitas preprocessing sangat berpengaruh terhadap keberhasilan analisis lanjutan, seperti ekstraksi ciri, pengenalan pola, maupun klasifikasi berbasis pembelajaran mesin.

Meskipun demikian, hasil filtering juga menunjukkan adanya sedikit penurunan amplitudo pada beberapa bagian sinyal. Penurunan ini merupakan konsekuensi dari proses penyaringan, karena sebagian energi sinyal pada rentang frekuensi tinggi ikut teredam bersama komponen noise. Namun, penurunan amplitudo tersebut masih berada pada batas yang dapat diterima karena tidak mengubah bentuk dasar sinyal secara keseluruhan. Hal ini menunjukkan bahwa pemilihan parameter filter, seperti frekuensi cutoff dan orde filter, telah cukup sesuai

sehingga mampu menghasilkan keseimbangan antara pengurangan noise dan pelestarian informasi utama sinyal. Apabila frekuensi cutoff ditetapkan terlalu rendah, maka sebagian komponen penting dari suara dengkur akan berpotensi ikut teredam, sedangkan cutoff yang terlalu tinggi dapat menyebabkan noise masih lolos ke sinyal keluaran.

Efektivitas Butterworth Low Pass Filter pada penelitian ini juga didukung oleh karakteristik spektrum frekuensi suara dengkur. Sebagian besar energi suara dengkur berada pada rentang frekuensi rendah hingga menengah, sedangkan banyak gangguan yang muncul selama proses perekaman berada pada frekuensi yang lebih tinggi. Oleh karena itu, penggunaan low-pass filter menjadi pendekatan yang sesuai untuk memisahkan informasi utama dari komponen gangguan. Dengan mempertahankan komponen frekuensi yang relevan dan mengurangi frekuensi yang tidak diinginkan, kualitas sinyal dapat ditingkatkan sehingga hasil analisis menjadi lebih andal.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa Butterworth Low Pass Filter efektif digunakan sebagai metode preprocessing pada sinyal suara dengkur. Filter ini mampu mengurangi noise frekuensi tinggi, menghasilkan sinyal yang lebih halus dan stabil, serta tetap mempertahankan pola utama sinyal. Hasil tersebut memperkuat temuan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa Butterworth Filter memiliki kemampuan yang baik dalam meningkatkan kualitas sinyal audio karena respon frekuensinya yang halus dan distorsi yang relatif kecil pada daerah passband [13]. Dengan demikian, metode ini dapat dijadikan sebagai tahapan awal yang penting sebelum dilakukan proses analisis lebih lanjut, seperti ekstraksi fitur, identifikasi karakteristik dengkur, maupun pengembangan sistem deteksi gangguan tidur berbasis pengolahan sinyal digital.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, penerapan Butterworth Low Pass Filter berbasis Python terbukti efektif dalam meredam komponen frekuensi tinggi yang tidak diinginkan pada sinyal suara dengkur. Proses filtering menghasilkan sinyal dengan bentuk gelombang yang lebih halus dan stabil dibandingkan sinyal asli, sehingga noise dapat dikurangi tanpa menghilangkan karakteristik utama maupun pola dasar suara dengkur. Hasil tersebut menunjukkan bahwa filter mampu mempertahankan informasi penting yang terkandung dalam sinyal, sekaligus meningkatkan kualitas sinyal untuk proses analisis selanjutnya. Pengamatan terhadap hasil filtering menunjukkan bahwa fluktuasi amplitudo yang disebabkan oleh noise mengalami penurunan, sedangkan puncak-puncak utama sinyal tetap dapat dipertahankan. Hal ini menunjukkan bahwa pemilihan Butterworth Low Pass Filter sesuai untuk tahap prapengolahan (*preprocessing*) sinyal audio, karena mampu menghasilkan sinyal yang lebih bersih tanpa menimbulkan distorsi yang signifikan terhadap informasi utama. Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa Butterworth Low Pass Filter merupakan metode yang efektif untuk meningkatkan kualitas sinyal suara dengkur sebelum dilakukan proses analisis lebih lanjut, seperti ekstraksi fitur, identifikasi karakteristik dengkur, maupun pengembangan sistem klasifikasi berbasis pengolahan sinyal digital. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan melakukan evaluasi menggunakan parameter kuantitatif, seperti *Signal-to-Noise Ratio* (SNR), *Root Mean Square* (RMS), atau analisis spektrum frekuensi, serta membandingkan kinerja Butterworth Low Pass Filter dengan metode penyaringan digital lainnya agar diperoleh konfigurasi filter yang paling optimal.

Referensi

1. Apriyansyah, M. R., Sally, A. D. Q., Rifqi, I., Athiyyah, R., trivanti, S., Fiber, M., Assaidah, and Erry, K. 2025. "Implementasi Filter Infinite Impulse Response (IIR) Butterworth untuk Meredam Noise Berfrekuensi Tinggi pada Rekaman Laki-Laki dan Perempuan", *Jurnal Penelitian Sains*, Vol. 27, No. 2. 2025. doi: <https://doi.org/10.56064/jps.v27i2.1122>
2. Bansal, S. 2021. "Akuisisi data Real-Time dalam Fisiologi Manusia", *Academic Press*, hlm. 21-55. 2021.
3. Cao, Shuang., Rosenzweig, Ivana., Federico Bilotta., Hong Jiang., dan Ming Xia. 2024. "Deteksi Otomatis Apnea Tidur Obstruktif Berdasarkan Suara Bicara atau Mendengkur: Tinjauan Naratif", *Jurnal Penyakit Toraks*, Vol. 16, No. 4, hlm. 2654–2667, April 2024. doi: 10.21037/jtd-24-310
4. Chaturvedi, Akhil. 2022. "Kemajuan dalam Analisis Suara Mendengkur untuk Deteksi Apnea Tidur: Tinjauan Komprehensif", *Jurnal Penelitian Ilmiah dan Teknik*, Vol. 9, No. 7, hlm. 176-184, 2022. [Online]. Tersedia: <https://jsaer.com/download/vol-9-iss-7-2022/JSAER2022-9-7-176-184.pdf>
5. Kumar, Sandeep., dan Singh, Rajeshwar. 2021. "Tinjauan dan Analisis Komprehensif tentang Desain Filter Digital", *Jurnal Internasional Penelitian Lanjutan di bidang Teknik dan Teknologi*, Vol. 12, No. 1, hlm. 1131-1149, Februari 2021. doi: 10.34218/IJARET.12.1.2021.103
6. Liu, Sancho Harmalita., Sabrina, Nabila Husna., dan Hardson. 2023. "Perbandingan Filter FIR dan IIR untuk Pengurangan Kebisingan Sinyal Audio", *Komputasi Ultima : Jurnal Sistem Komputer*, Vol. 15, No. 1, hlm. 19–24, Juni 2023. doi: <https://doi.org/10.31937/sk.v15i1.3171>
7. Marbun, E. M. 2016. "Tinjau Pustaka Mendengkur", *Meditek: Jurnal Kedokteran dan Kesehatan*. Universitas Kristen Krida Wacana (UKRIDA).
8. Qualickuz Zanan, N. H., Azman, M., Zainuddin, K., Wan Puteh, S. E., Mohamed, A. S., & Mat Baki, M. 2021. "Spektrum Frekuensi Suara Snore dalam Kaitannya dengan Situs Obstruksi Di Antara Pendengkur", *Acta Otorhinolaryngologica Italica*, Vol. 41, No. 4, hlm. 348–355. doi: <https://doi.org/10.14639/0392-100X-N1202>

9. Rayana, A. A. R., dan Andriani, W. 2019. "Filtering Sinyal Suara Gitar Menggunakan Band-Pass Filter", *Jurnal Nasional Informatika dan Teknologi Jaringan*, Vol. 4, No. 1, pp.50-67. Sempember 2019. doi: 10.30743/infotekjar.v4i1.1194
10. Sadeghi, Saman. 2025. "Tinjauan Komprehensif Desain Filter Analog dan Digital: Implementasi Berbasis FPGA, Challenges Real-Time, dan Aplikasi yang Muncul", *Jurnal Internasional Ilmu Teknik & Teknologi*, Vol. 2025, No. 49, Juli 2025. [Online]. Tersedia: https://www.researchgate.net/publication/394853942_A_Comprehensive_Review_of_Analog_and_Digital_Filter_Design_FPGA-Based_Implementations_Real-Time_Challenges_and_Emerging_Applications
11. Septiawan, Redza Dwi., Rayes, Putri Rahmasari., dan Nuzla Afidatur. R. 2024. "Simulasi Penghapusan Kebisingan dalam Sinyal Suara dengan Menggunakan Metode Transformasi Fourier Cepat", *Jurnal Matematika Semeton*, Vol. 1, No.1, hlm. 1–7, April 2024. doi: <https://doi.org/10.29303/semeton.v1i1.203>
12. Sriyanto, Sesar Prabu Dwi., and Perdana, Yusuf Hadi., 2018. "Pengaruh Penggunaan Filter Butterworth Pada Penentuan Waktu Tiba Gelombang P", *Jurnal Sains Dan Teknologi*, Vol. 7, No. 2, Oktober 2018. doi: <https://doi.org/10.23887/jstundiksha.v7i2.13013>
13. Subandrio, Y. E., dkk. "Penghilang Noise pada Perintah Suara Menggunakan Filter Butterworth dengan Metode Transform Bilinier", *Jurnal EL Sains*, Vol. 5, No. 2, November 2023. doi: <https://doi.org/10.30996/elsains.v5i2.9525>
14. Wang, Boyou. 2024. "Pemrosesan Sinyal Berdasarkan Filter Butterworth: Properti, Desain, dan Aplikasi", *Sorotan dalam Sains, Teknik dan Teknologi*, Vol. 97, hlm. 72-77, Mei 2024. [Online]. Tersedia: https://www.researchgate.net/publication/381531788_Signal_Processing_Based_on_Butterworth_Filter_Properties_Design_and_Applications
15. Wardhani, R. N., Yohast, D. P., dan I. S. Tilawah. 2020. "Filter IIR (Butterworth) dan ICA untuk Mengidentifikasi Karakteristik Suara Silent Chain", *Konferensi: Seminar Internasional Asia Tenggara Tahunan*, hlm. 114-119, 2020. Doi: 10.5220/0009906801140119
16. Zega, M., Pohan, A. H., Abrianto, H., Simamora, G., and Gulton, A. 2024. "Studi Penentuan Band Stop Filter pada Jaringan WiMAX 3.5GHz", *Jurnal Cahaya Mandalika*, Vol. 5, No. 2, pp. 725-736. Oktober 2024. [Online]. Available: <https://ojs.cahayamandalika.com/index.php/jcm/article/view/3733>