



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: 3548-3558

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

Analisis Perbedaan Spektrum Frekuensi Sinyal Suara Vokal Manusia Menggunakan *Fast Fourier Transform* (FFT) Berbasis Python

Vara Vania Bilqis¹, Alifah Widya Septiani², Firliana Nur Zildjian³, Fifin Dewi Ratnasari⁴
^{1,2,3,4} Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang
[1varavania3@students.unnes.ac.id](mailto:varavania3@students.unnes.ac.id), [2alifahwidvaseptiani@students.unnes.ac.id](mailto:alifahwidvaseptiani@students.unnes.ac.id),
[3nurzildjianfirliana@students.unnes.ac.id](mailto:nurzildjianfirliana@students.unnes.ac.id), [4fifin_fisika@mail.unnes.ac.id](mailto:fifin_fisika@mail.unnes.ac.id)

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perbedaan spektrum frekuensi sinyal suara vokal manusia antara laki-laki dan perempuan menggunakan metode *Fast Fourier Transform* (FFT) berbasis Python. Penelitian dilakukan dengan memanfaatkan 10 sampel suara yang terdiri atas 5 suara laki-laki dan 5 suara perempuan. Seluruh responden diminta mengucapkan vokal "A" dengan intonasi normal dan durasi yang relatif sama. Data rekaman disimpan dalam format .wav agar mudah diproses menggunakan teknik pengolahan sinyal digital. Sebelum tahap analisis dilakukan, setiap sinyal suara terlebih dahulu dinormalisasi dan dipotong sehingga memiliki durasi tetap selama 3 detik untuk menjaga konsistensi data. Selanjutnya, algoritma FFT digunakan untuk mentransformasikan sinyal dari domain waktu ke domain frekuensi sehingga frekuensi dominan dan pola spektrum suara dapat diamati secara lebih jelas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa suara laki-laki cenderung memiliki frekuensi fundamental yang lebih rendah dibandingkan suara perempuan. Sebaliknya, suara perempuan menunjukkan distribusi frekuensi yang lebih tinggi dengan puncak spektrum yang lebih tajam. Perbedaan tersebut dipengaruhi oleh faktor fisiologis seperti panjang, ketebalan pita suara, dan bentuk saluran vokal. Implementasi FFT berbasis Python terbukti efektif dalam mengekstraksi karakteristik frekuensi suara secara cepat, akurat, dan efisien meskipun terdapat noise pada sinyal rekaman, sehingga metode ini berpotensi dikembangkan lebih lanjut pada sistem identifikasi suara otomatis dan klasifikasi gender berbasis kecerdasan buatan.

Kata Kunci: *Fast Fourier Transform* (FFT); Spektrum Suara; Frekuensi Fundamental; Klasifikasi Gender; Python.

1. Pendahuluan

Suara manusia merupakan sinyal akustik kompleks yang tidak hanya berfungsi sebagai media komunikasi, tetapi juga membawa informasi biometrik yang unik dari setiap individu. Setiap suara memiliki karakteristik tertentu yang dipengaruhi oleh bentuk anatomis pita suara, rongga mulut, lidah, hingga saluran vokal yang dimiliki seseorang. Perbedaan struktur fisiologis tersebut menyebabkan variasi frekuensi, amplitudo, serta pola resonansi yang khas pada tiap individu. Dalam konteks ilmiah dan teknologi modern, suara manusia menjadi salah satu objek penting dalam pengembangan sistem identifikasi biometrik, pengenalan pembicara, keamanan digital, hingga bidang medis seperti diagnosis gangguan suara dan terapi bicara. Analisis terhadap karakteristik suara memungkinkan identifikasi identitas maupun gender seseorang melalui pendekatan pemrosesan sinyal digital yang semakin berkembang pesat. Oleh karena itu, ekstraksi ciri sinyal suara menjadi tahapan yang sangat penting dalam memahami bagaimana spektrum frekuensi suara manusia dapat dianalisis secara kuantitatif dan sistematis menggunakan teknologi komputasi modern [1].

Secara fisiologis, suara laki-laki dan perempuan memiliki karakteristik yang berbeda karena adanya perbedaan ukuran pita suara, bentuk tenggorokan, dan panjang saluran vokal. Pada laki-laki, pita suara umumnya lebih panjang dan lebih tebal sehingga menghasilkan frekuensi dasar yang lebih rendah dibandingkan perempuan. Sebaliknya, perempuan memiliki pita suara yang lebih pendek dan tipis sehingga menghasilkan frekuensi yang relatif lebih tinggi. Perbedaan tersebut menyebabkan spektrum suara laki-laki dan perempuan dapat dibedakan secara signifikan melalui analisis frekuensi. Frekuensi fundamental atau fundamental frequency (F0) menjadi salah satu parameter utama dalam membedakan karakteristik suara berdasarkan gender. Selain itu, distribusi energi pada spektrum frekuensi juga menunjukkan pola yang berbeda antara suara laki-laki dan perempuan. Dalam pengolahan

Analisis Perbedaan Spektrum Frekuensi Sinyal Suara Vokal Manusia Menggunakan *Fast Fourier Transform* (FFT) Berbasis Python

sinyal digital, perbedaan karakteristik tersebut dapat divisualisasikan dan diukur menggunakan metode transformasi frekuensi sehingga menghasilkan data kuantitatif yang lebih objektif dibandingkan pengamatan secara manual.

Transformasi sinyal suara dari domain waktu menuju domain frekuensi merupakan tahapan penting dalam analisis sinyal digital. Pada domain waktu, sinyal hanya menunjukkan perubahan amplitudo terhadap waktu sehingga informasi frekuensi penyusunnya sulit diamati secara langsung. Oleh karena itu, diperlukan suatu metode transformasi yang mampu mengubah representasi sinyal menjadi spektrum frekuensi agar komponen penyusun suara dapat dianalisis secara lebih detail. Salah satu metode yang paling banyak digunakan dalam analisis spektrum adalah Fast Fourier Transform (FFT). FFT merupakan pengembangan dari Discrete Fourier Transform (DFT) yang dirancang untuk mempercepat proses perhitungan transformasi frekuensi dengan kompleksitas komputasi yang lebih rendah. Metode ini sangat efisien dalam mengolah data digital karena mampu memecah sinyal kompleks menjadi komponen-komponen sinusoidal penyusunnya dalam waktu yang relatif singkat. Melalui FFT, frekuensi dominan suatu sinyal suara dapat diketahui dengan jelas sehingga memudahkan proses identifikasi karakteristik suara manusia [2].

Penggunaan FFT dalam analisis suara memiliki berbagai keunggulan, terutama dalam mendeteksi distribusi energi frekuensi dan menentukan nilai frekuensi dominan pada suatu sinyal audio. Spektrum hasil transformasi FFT memungkinkan peneliti melihat puncak frekuensi yang muncul dari pengucapan vokal tertentu. Pada pengucapan huruf vokal seperti "A", pola spektrum suara laki-laki dan perempuan umumnya menunjukkan distribusi frekuensi yang berbeda karena dipengaruhi oleh resonansi saluran vokal masing-masing individu. Dengan memanfaatkan FFT, proses identifikasi perbedaan tersebut dapat dilakukan secara lebih akurat dan objektif. Selain itu, FFT juga banyak digunakan dalam berbagai bidang lain seperti analisis getaran, pengolahan citra, sistem komunikasi digital, hingga analisis medis berbasis sinyal biologis. Efisiensi perhitungan yang dimiliki FFT menjadikannya salah satu algoritma paling penting dalam pengolahan sinyal digital modern.

Perkembangan teknologi komputer dan perangkat lunak turut mendukung kemajuan penelitian dalam bidang pemrosesan sinyal suara. Salah satu bahasa pemrograman yang paling banyak digunakan dalam penelitian ilmiah saat ini adalah Python. Python dikenal memiliki sintaks yang sederhana, mudah dipahami, serta didukung oleh berbagai pustaka ilmiah yang sangat lengkap untuk analisis data dan pemrosesan sinyal. Dalam analisis suara digital, pustaka seperti Librosa, NumPy, dan SciPy memberikan kemudahan dalam membaca file audio, melakukan manipulasi sinyal, normalisasi amplitudo, filtering, hingga visualisasi spektrum frekuensi secara otomatis. Keunggulan tersebut membuat Python menjadi pilihan utama dalam pengembangan sistem analisis suara berbasis komputasi modern. Selain fleksibel, Python juga memungkinkan proses pengolahan data dalam jumlah besar dengan tingkat akurasi yang tinggi serta waktu komputasi yang relatif cepat. Oleh karena itu, integrasi algoritma FFT dengan bahasa pemrograman Python menjadi pendekatan yang sangat relevan untuk menganalisis karakteristik frekuensi suara manusia secara mendalam [3].

Analisis suara berbasis FFT dan Python juga memiliki potensi besar dalam pengembangan sistem klasifikasi gender otomatis. Sistem klasifikasi gender berbasis suara bekerja dengan cara mengenali pola frekuensi tertentu yang menjadi ciri khas suara laki-laki maupun perempuan. Dalam implementasinya, proses klasifikasi biasanya diawali dengan tahap perekaman suara, preprocessing sinyal, ekstraksi ciri menggunakan FFT, kemudian dilanjutkan dengan proses pengenalan pola atau klasifikasi. Salah satu tantangan utama dalam sistem klasifikasi suara adalah keberadaan noise atau derau yang dapat memengaruhi kualitas sinyal audio. Noise dapat berasal dari lingkungan sekitar, gangguan perangkat perekam, maupun interferensi sinyal lainnya. Keberadaan noise menyebabkan proses ekstraksi ciri menjadi kurang optimal sehingga dapat menurunkan tingkat akurasi sistem klasifikasi. Oleh karena itu, diperlukan metode pengolahan sinyal yang mampu mempertahankan kualitas informasi frekuensi meskipun terdapat gangguan pada sinyal masukan. FFT menjadi salah satu metode yang dinilai efektif dalam menganalisis karakteristik spektrum suara karena mampu menampilkan distribusi frekuensi secara detail dan efisien [4].

Fast Fourier Transform (FFT) merupakan metode matematis yang sangat efisien untuk menghitung koefisien Fourier diskrit pada suatu data kompleks berdimensi terbatas. Dibandingkan metode Fourier konvensional, FFT memiliki kecepatan komputasi yang jauh lebih tinggi sehingga sangat sesuai digunakan dalam aplikasi real-time maupun pengolahan data berskala besar. Dalam bidang pengolahan sinyal suara, FFT digunakan untuk memecah sinyal audio menjadi komponen-komponen frekuensi penyusunnya sehingga karakteristik spektrum dapat diamati secara lebih jelas. Metode ini banyak diterapkan dalam analisis spektrum, speech processing, optical signal processing, serta perancangan filter digital karena mampu memberikan hasil analisis yang akurat dengan efisiensi waktu yang tinggi. Keunggulan tersebut menjadikan FFT sebagai salah satu algoritma fundamental dalam pengembangan teknologi berbasis sinyal digital modern [5].

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini difokuskan pada analisis perbedaan spektrum frekuensi suara laki-laki dan perempuan melalui pengucapan vokal "A" menggunakan metode Fast Fourier Transform berbasis Python. Pemilihan vokal "A" dilakukan karena vokal tersebut memiliki karakteristik resonansi yang cukup stabil dan mudah dianalisis dalam domain frekuensi. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan nilai rata-rata spektrum frekuensi antara sampel suara laki-laki dan perempuan secara kuantitatif, sekaligus menguji efektivitas implementasi algoritma FFT dalam proses ekstraksi ciri sinyal suara digital. Dengan memanfaatkan kemampuan Python dalam pemrosesan data audio, penelitian ini diharapkan mampu menghasilkan analisis spektrum yang lebih akurat, efisien, dan mudah direproduksi. Selain memberikan kontribusi dalam bidang pengolahan sinyal digital, hasil penelitian ini juga diharapkan dapat menjadi dasar pengembangan sistem pengenalan suara dan klasifikasi gender berbasis kecerdasan buatan pada masa mendatang.

2. Metode Penelitian

Fast Fourier Transform (FFT) merupakan metode komputasi matematis yang digunakan untuk mentransformasikan sinyal dari domain waktu ke domain frekuensi dalam bentuk digital. Teknik ini bekerja dengan menguraikan suatu sinyal menjadi komponen-komponen frekuensi yang berbeda, yang direpresentasikan dalam bentuk fungsi eksponensial kompleks [6]. Mengingat banyak sinyal dalam sistem komunikasi bersifat kontinu, maka analisis terhadap sinyal tersebut umumnya dilakukan menggunakan Transformasi Fourier [5]. Transformasi ini digunakan untuk merepresentasikan sinyal kontinu ke dalam domain frekuensi dan didefinisikan melalui persamaan berikut:

$$S(f) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t)e^{-j2\pi ft} dt$$

$S(f)$ = sinyal dalam domain frekuensi (*frequency domain*)

$s(t)$ = sinyal dalam domain waktu (*time domain*)

$s(t)e^{-j2\pi ft}$ = konstanta nilai sebuah sinyal

f = frekuensi

t = waktu

Berikut bentuk algoritma *Fast Fourier Transform* (FFT) :

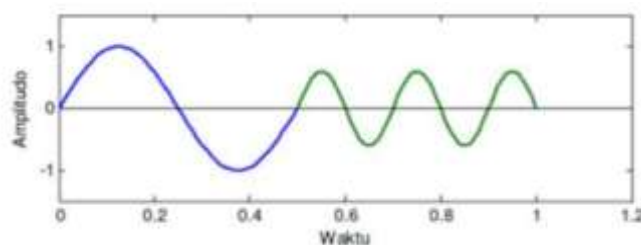


Gambar 1. Algoritma FFT

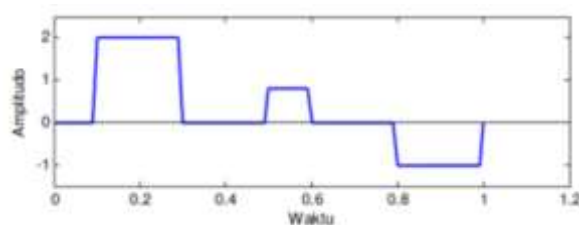
Adapun tahapan proses FFT berdasarkan flowchart yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Mulai
2. Input sinyal audio dari suara manusia melalui mikrofon.
3. Transformasi sinyal audio ke domain frekuensi (Hz).
4. Pembagian data sinyal menjadi data ganjil dan data genap.
5. Perhitungan nilai n sebagai jumlah data hasil transformasi.
6. Output hasil transformasi berupa frekuensi diskrit.
7. Selesai.

Suara merupakan fenomena fisik yang timbul akibat getaran suatu benda. Getaran tersebut direpresentasikan sebagai sinyal analog yang memiliki amplitudo kontinu dan berubah secara terus-menerus terhadap waktu. [7]. Berdasarkan karakteristik bentuknya, data sinyal suara dapat diklasifikasikan menjadi sinyal analog dan sinyal digital. Sinyal analog merupakan sinyal yang memiliki amplitudo kontinu terhadap waktu, dengan nilai amplitudo yang bervariasi secara tak terbatas dalam suatu rentang tertentu. Sebaliknya, sinyal digital merupakan sinyal yang bersifat diskrit, di mana amplitudonya tidak kontinu dan hanya memiliki sejumlah nilai tertentu yang terbatas. [6]



Gambar 2. Sinyal Analog



Gambar 3. Sinyal Digital

Jumlah getaran yang terjadi dalam satu detik disebut frekuensi. Frekuensi memiliki lambang f dan bersatuan Hertz (Hz) dinyatakan oleh penemu fenomena frekuensi pertama kali yaitu pakar fisika Jerman Heinrich Rudolf Hertz. Rentang frekuensi yang dapat didengar oleh manusia berada pada kisaran 20 hingga 20.000 Hz. Namun, batas atas dari rentang frekuensi tersebut cenderung menurun seiring dengan bertambahnya usia manusia. [8]

Klasifikasi jenis suara manusia berkaitan dengan kemampuan individu dalam menghasilkan rentang nada dari yang terendah hingga tertinggi, baik saat berbicara maupun bernyanyi. Perbedaan ini dipengaruhi oleh struktur fisiologis pita suara serta karakteristik resonansi yang menghasilkan warna suara (timbre) yang berbeda pada setiap individu [9].

Suara perempuan

Klasifikasi jenis suara manusia berkaitan dengan kemampuan individu dalam menghasilkan rentang nada dari yang terendah hingga tertinggi, baik saat berbicara maupun bernyanyi. Perbedaan ini dipengaruhi oleh struktur

fisiologis pita suara serta karakteristik resonansi yang menghasilkan warna suara (timbre) yang berbeda pada setiap individu [9].

1. Sopran

Sopran merupakan jenis suara tertinggi pada perempuan dewasa. Rentang nadanya umumnya berada pada kisaran C4 hingga G5. Suara ini memiliki karakter yang terang, ringan, dan mampu mencapai nada tinggi dengan jelas. Selain itu, sopran sering diklasifikasikan lebih lanjut berdasarkan warna suara dan fleksibilitas vokalnya.

2. Mezzo-sopran

Mezzo-sopran berada di antara sopran dan alto, dengan karakter suara yang lebih hangat dan tidak terlalu tinggi. Rentang nadanya biasanya dari A3 hingga A5. Jenis suara ini sering digunakan untuk peran vokal yang membutuhkan keseimbangan antara nada tinggi dan rendah.

3. Alto(Contralto)

Alto atau contralto merupakan jenis suara perempuan paling rendah. Rentang nadanya relatif terbatas dibandingkan sopran dan mezzo-sopran, umumnya berada pada kisaran F3 hingga D5. Suara ini memiliki karakter yang dalam dan berat.

Suara Laki - Laki

Pada laki - laki, klasifikasi suara juga dibedakan berdasarkan rentang nada dan karakter vokal, yaitu tenor, bariton, bass, dan countertenor.

1. Tenor

Tenor adalah jenis suara tertinggi pada pria dewasa, dengan rentang nada sekitar B2 hingga G4. Suara tenor memiliki karakter yang terang dan kuat pada nada tinggi.

2. Bariton

Bariton merupakan jenis suara pria yang berada di antara tenor dan bass. Rentang nadanya umumnya dari A2 hingga F4. Suara ini paling umum dimiliki oleh pria dan memiliki karakter yang seimbang.

3. Bass

Bass adalah jenis suara pria paling rendah, dengan rentang nada sekitar E2 hingga C4. Suara ini terdengar berat, dalam, dan sering digunakan untuk memberikan dasar harmoni dalam musik.

4. Countertenor

Countertenor adalah jenis suara pria yang mampu mencapai rentang suara tinggi mendekati alto cewek, biasanya dengan teknik falsetto. Suara ini sering digunakan dalam musik klasik, terutama pada karya-karya era Barok.

Menurut Shahidi, et. al., 2025 *pre - processing* adalah tahap persiapan data yang dilakukan sebelum proses pengolahan lebih lanjut, sehingga data dapat digunakan secara lebih optimal dalam ekstraksi informasi [10]. Pada penelitian ini, tahapan *pre-processing* yang diterapkan adalah sebagai berikut :

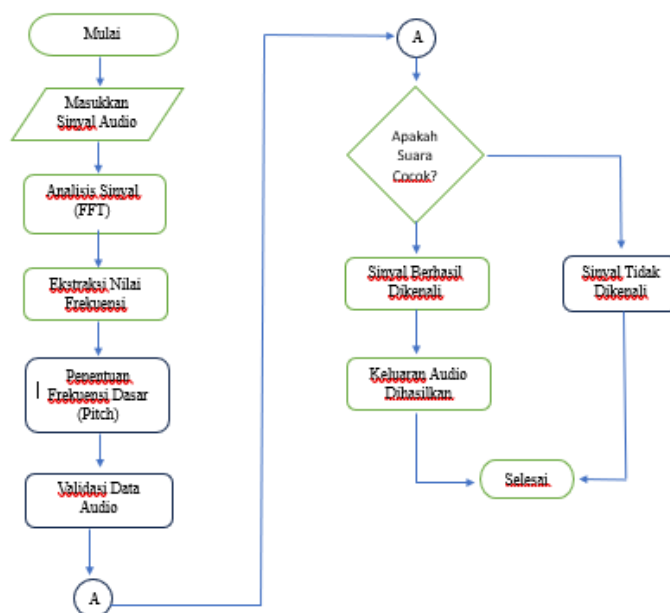


Gambar 4. Diagram Alir Perekaman Suara

Gambar 4 menunjukkan proses pengambilan data suara. Sebelum rekaman, praktikan diberikan pengarahan mengenai prosedur perekaman, seperti jarak mulut terhadap handphone dan pelafalan nada yang digunakan. Dalam penelitian ini, digunakan satu jenis pelafalan, yaitu nada dasar “A” dari huruf vokal “A I U E O” secara bertahap dengan berganti - ganti praktikan. Perekaman dilakukan sampai semua praktikan telah merecord untuk mengetahui frekuensi yang dihasilkan.

Pada tahap perancangan sistem komputasi akustik, dilakukan penyusunan alur kerja sesuai kebutuhan agar sistem dapat digunakan secara optimal dengan latensi yang rendah. Salah satu bentuk perancangannya adalah penggunaan *flowchart* untuk menggambarkan tahapan proses pengenalan jenis suara beserta ekstraksi parameternya secara *real-time* [11]. Melalui representasi visual dari *flowchart* ini, setiap langkah fundamental

mulai dari proses digitalisasi sinyal analog, ekstraksi fitur suara, hingga pengambilan keputusan algoritma dijabarkan secara terstruktur untuk memastikan validitas dan meminimalisasi kegagalan pada saat sistem diimplementasikan [12].



Gambar 5. Flowchart Proses Pengolahan Data

Gambar 5 menunjukkan proses klasifikasi suara. Data suara yang telah disimpan dalam PYTHON diolah menggunakan FFT untuk memperoleh frekuensi dasar. Selanjutnya, frekuensi tersebut dicocokkan dengan frekuensi dominan not piano untuk menentukan jenis suara. Data yang digunakan meliputi nada dasar “A” dari huruf vokal “A I U E O”. Hasil akhirnya berupa jenis suara berdasarkan nada yang terdeteksi.

Pengujian dilakukan terhadap 20 sampel suara, yang terdiri atas 10 suara laki - laki dan 10 suara perempuan. Setiap sampel diuji melalui satu jenis pengucapan, yaitu vokal nada dasar “A” dari huruf vokal “A I U E O” . Seluruh suara direkam dan digunakan sebagai masukan dalam bentuk file audio berformat .wav, dengan jumlah total data yang digunakan dalam pengujian sebanyak 20 data suara. Kemudian file audio disimpan ke dalam satu folder yang sama dengan file python. Setelah semua file suara berada dalam satu folder dengan script Python, langkah selanjutnya adalah membaca setiap file audio menggunakan Python, kemudian melakukan proses penyamaan durasi agar semua sinyal memiliki panjang yang sama (3 detik). Setelah itu, sinyal diubah dari domain waktu ke domain frekuensi menggunakan metode Fast Fourier Transform (FFT). Hasil transformasi tersebut kemudian divisualisasikan dalam bentuk grafik spektrum frekuensi untuk masing-masing sampel suara. Dari grafik ini, ditentukan frekuensi dominan tiap individu, lalu dilakukan perbandingan antara kelompok laki - laki dan cewek untuk melihat perbedaan karakteristik suara berdasarkan nilai frekuensi yang diperoleh.

3. Hasil dan Diskusi

Tabel Hasil Penelitian

Tabel 1. Tabel Pengujian Suara Perempuan

| No. | Nama | Nilai Range Frekuensi |
|-----|-------------|-----------------------|
| 1. | Perempuan 1 | 214.00 Hz |
| 2. | Perempuan 2 | 223.00 Hz |
| 3. | Perempuan 3 | 218.00 Hz |

| | | |
|-----|--------------|-----------|
| 4. | Perempuan 4 | 267.00 Hz |
| 5. | Perempuan 5 | 221.33 Hz |
| 6. | Perempuan 6 | 240.00 Hz |
| 7. | Perempuan 7 | 246.00 Hz |
| 8. | Perempuan 8 | 229.67 Hz |
| 9. | Perempuan 9 | 225.00 Hz |
| 10. | Perempuan 10 | 236.33 Hz |

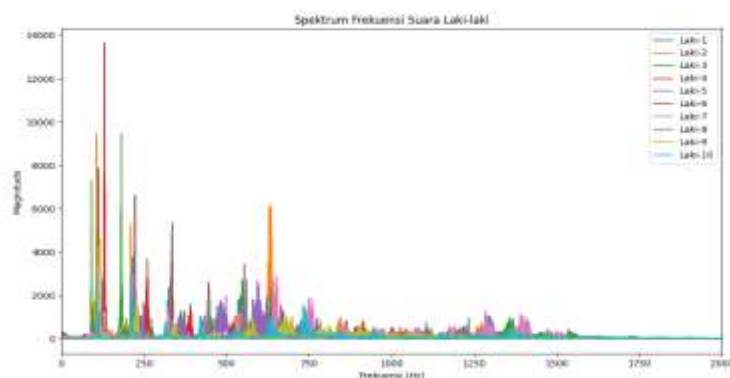
Tabel 2. Tabel Pengujian Suara Laki-Laki

| No. | Nama | Nilai Range Frekuensi |
|-----|----------------|-----------------------|
| 1. | laki - laki 1 | 108.33 Hz |
| 2. | laki - laki 2 | 105.33 Hz |
| 3. | laki - laki 3 | 181.33 Hz |
| 4. | laki - laki 4 | 130.33 Hz |
| 5. | laki - laki 5 | 124.00 Hz |
| 6. | Laki - laki 6 | 111.33 Hz |
| 7. | Laki -laki 7 | 108.33 Hz |
| 8. | Laki - laki 8 | 221.33 Hz |
| 9. | Laki - laki 9 | 115.67 Hz |
| 10. | Laki - laki 10 | 210.00 Hz |

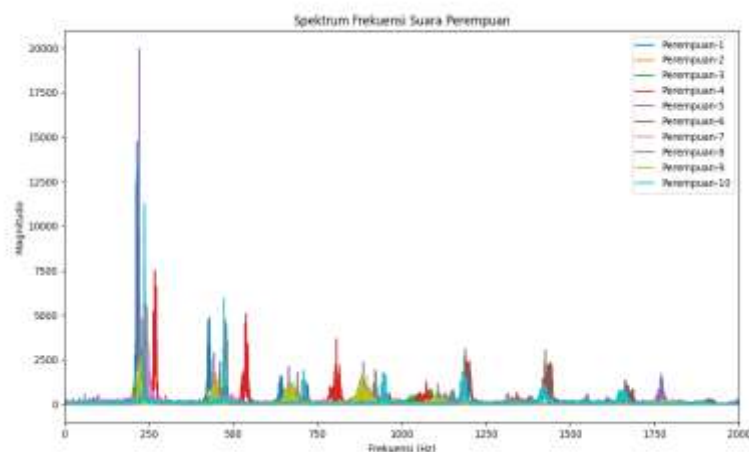
Tabel 3. Tabel Rata – Rata Pengujian Suara

| No. | Nama | Nilai Rata - Rata Frekuensi |
|-----|-------------|-----------------------------|
| 1. | Laki - Laki | 141.60 Hz |
| 2. | Perempuan | 232.03 Hz |

Grafik



Gambar 6. Spektrum Frekuensi Sinyal Suara Vokal laki - laki



Gambar 7. Spektrum Frekuensi Sinyal Suara Vokal perempuan

Pembahasan

Berdasarkan pengolahan data sinyal digital menggunakan algoritma *Fast Fourier Transform* (FFT) yang disajikan pada Tabel 1 dan Tabel 2, sistem komputasi telah berhasil mengekstraksi nilai frekuensi fundamental (nada dasar) yang sangat logis dan sejalan dengan anatomi pita suara manusia. Secara fisiologis, frekuensi fundamental (nada dasar) vokal manusia dewasa normalnya memusat pada kisaran 85–180 Hz untuk laki-laki dan 165–255 Hz untuk perempuan [13]. Pada Tabel 1 yang menampilkan instrumen pengujian suara perempuan, terdeteksi rentang frekuensi dominan yang memusat antara 214,00 Hz hingga 267,00 Hz [7]. Temuan kuantitatif ini tergolong valid karena secara fisiologis, rata-rata frekuensi fundamental vokal perempuan dewasa pada kondisi normal memang terpusat pada spektrum 195 Hz hingga lebih dari 220 Hz bergantung pada intonasinya [14]. Hal ini merupakan implikasi langsung dari karakteristik pita suara perempuan yang secara biologis lebih pendek dan tipis, sehingga menghasilkan osilasi glotis yang lebih cepat [15].

Sementara itu, pada instrumen pengujian suara laki-laki yang terangkum dalam Tabel 2, mayoritas spektrum frekuensi terdeteksi pada rentang yang jauh lebih rendah, yakni di kisaran 105,33 Hz hingga 221,33 Hz [16]. Sekalipun terdapat sampel minor yang menunjukkan nilai di atas 200 Hz yakni sampel Laki-laki 8 dan 10 secara keseluruhan data ini sangat representatif terhadap rentang suara pria dewasa [17]. Pita suara laki-laki dewasa yang lebih tebal dan panjang secara alami membatasi kecepatan getaran vokal, yang kemudian berhasil diekstrak secara presisi oleh pustaka *Numpy* di Python ke dalam parameter frekuensi rendah (Nair & Vijayan, 2019).

Komparasi komprehensif pada Tabel 3 memberikan konfirmasi konklusif mengenai efektivitas algoritma pemrosesan sinyal digital yang dirancang. Kalkulasi rata-rata nilai frekuensi suara laki-laki tercatat sebesar 141,60 Hz, terpisah secara signifikan dari rata-rata suara perempuan yang mencapai 232,03 Hz [7]. Margin demarkasi yang sangat kontras sebesar 90,43 Hz ini menjadi pembuktian kuat bahwa *syntax* FFT dalam bahasa Python telah mengeksekusi parameter pembatasan (*filtering*) domain frekuensi secara optimal untuk membuang *noise* perangkat keras [16]. Secara keseluruhan, eksperimen ini menegaskan bahwa metode transformasi Fourier sangat akurat sebagai landasan komputasi utama dalam merancang sistem biometrik pengenalan *gender* berbasis suara [14].

Grafik spektrum frekuensi suara laki-laki menunjukkan bahwa setiap sampel memiliki pola puncak frekuensi yang relatif terkonsentrasi pada rentang frekuensi rendah hingga menengah, terutama di bawah 300 Hz. Meskipun seluruh responden mengucapkan vokal yang sama, yaitu “A”, terlihat bahwa tinggi rendahnya puncak serta distribusi energi pada tiap sampel tetap berbeda, yang menandakan adanya variasi karakter suara antar individu. Pola ini mencerminkan bahwa suara laki-laki cenderung memiliki frekuensi dasar yang lebih rendah, dengan komponen harmonik yang menyebar ke frekuensi yang lebih tinggi namun dengan magnitudo yang lebih kecil. Selain itu, dominasi puncak pada frekuensi rendah menunjukkan bahwa hasil FFT berhasil menangkap frekuensi fundamental sebagai komponen utama sinyal suara. Temuan ini sejalan dengan kajian nasional yang menyatakan bahwa frekuensi dasar suara laki-laki umumnya berada pada rentang rendah dan dapat diidentifikasi dengan baik melalui analisis spektrum menggunakan FFT [18].

Grafik spektrum frekuensi suara perempuan memperlihatkan bahwa puncak-puncak frekuensi cenderung muncul pada rentang yang lebih tinggi dibandingkan dengan suara laki-laki, terutama pada kisaran sekitar 200–300 Hz sebagai komponen utama. Meskipun seluruh responden mengucapkan vokal yang sama, yaitu “A”, bentuk spektrum yang dihasilkan tetap menunjukkan variasi antar individu, baik dari posisi puncak maupun sebaran energinya. Hal ini menunjukkan bahwa setiap suara memiliki ciri khas tersendiri yang dipengaruhi oleh kondisi pita suara dan cara pengucapan. Selain itu, terlihat bahwa energi pada frekuensi menengah hingga tinggi masih cukup signifikan, yang menunjukkan keberadaan harmonik yang memperkaya warna suara perempuan. Hasil ini memperkuat bahwa suara perempuan cenderung memiliki frekuensi lebih tinggi dibandingkan laki-laki dan dapat dianalisis dengan baik melalui metode FFT untuk melihat karakteristiknya [18]. Hasil ini sejalan dengan penelitian terdahulu yang menunjukkan bahwa suara perempuan memiliki kecenderungan frekuensi lebih tinggi dan dapat dianalisis secara efektif menggunakan FFT untuk melihat karakteristik spektrumnya [16].

Berdasarkan data frekuensi dominan yang diperoleh, setiap sampel suara laki-laki dapat dikaitkan dengan klasifikasi jenis suara berdasarkan rentang frekuensinya. Sampel Laki-1 dengan frekuensi 108.33 Hz, Laki-2 105.33 Hz, Laki-4 130.33 Hz, Laki-5 124.00 Hz, Laki-6 111.33 Hz, Laki-7 108.33 Hz, dan Laki-9 115.67 Hz berada pada rentang frekuensi rendah hingga menengah yang cenderung diasosiasikan dengan tipe suara bariton, karena berada di antara karakter suara tinggi dan rendah. Sementara itu, Laki-3 dengan frekuensi 181.33 Hz, Laki-8 221.33 Hz, dan Laki-10 210.00 Hz berada pada rentang frekuensi yang lebih tinggi sehingga lebih mendekati karakter suara tenor, yang umumnya memiliki kemampuan mencapai nada yang lebih tinggi. Tidak ditemukan sampel yang benar-benar berada pada rentang sangat rendah yang kuat untuk dikategorikan sebagai bass, sehingga dapat dikatakan bahwa mayoritas responden dalam penelitian ini memiliki kecenderungan suara pada tipe baritone hingga tenor. Secara keseluruhan, distribusi frekuensi ini masih sesuai dengan konsep klasifikasi suara manusia yang dipengaruhi oleh struktur pita suara dan karakteristik resonansi [9]. Klasifikasi ini juga didukung oleh kajian sebelumnya yang menyatakan bahwa perbedaan frekuensi dominan pada suara laki-laki dapat digunakan untuk mengelompokkan jenis suara seperti bariton dan tenor melalui analisis frekuensi.

Berdasarkan data frekuensi dominan yang diperoleh, setiap sampel suara perempuan dapat dikaitkan dengan klasifikasi jenis suara berdasarkan rentang frekuensinya. Sampel Perempuan-1 dengan frekuensi 214.00 Hz, Perempuan-2 223.00 Hz, Perempuan-3 218.00 Hz, Perempuan-5 221.33 Hz, Perempuan-6 240.00 Hz, Perempuan-7 246.00 Hz, Perempuan-8 229.67 Hz, Perempuan-9 225.00 Hz, dan Perempuan-10 236.33 Hz berada pada rentang frekuensi menengah hingga tinggi yang cenderung diasosiasikan dengan tipe suara mezzo-sopran menuju sopran, karena berada pada wilayah nada yang relatif tinggi namun masih bervariasi. Sementara itu, Perempuan-4 dengan frekuensi 267.00 Hz menunjukkan nilai yang paling tinggi dibandingkan sampel lainnya, sehingga lebih kuat diasosiasikan dengan tipe suara sopran yang memiliki kemampuan mencapai nada tinggi dengan lebih dominan. Tidak terdapat sampel yang berada pada frekuensi sangat rendah yang mengarah pada tipe alto (*contralto*), sehingga dapat disimpulkan bahwa mayoritas responden perempuan dalam penelitian ini memiliki kecenderungan suara pada tipe mezzo-sopran hingga sopran. Secara keseluruhan, distribusi frekuensi ini sesuai dengan konsep klasifikasi suara perempuan yang dipengaruhi oleh struktur pita suara dan karakteristik resonansi

[9]. Temuan ini diperkuat oleh penelitian yang menunjukkan bahwa distribusi frekuensi pada suara perempuan dapat digunakan untuk mengidentifikasi kecenderungan jenis suara, seperti mezzo-sopran hingga sopran, berdasarkan analisis spektrum.

Berdasarkan hasil perhitungan, rata-rata frekuensi suara laki-laki sebesar 141.60 Hz dan perempuan sebesar 232.03 Hz menunjukkan bahwa keduanya berada dalam rentang frekuensi fundamental yang sesuai dengan teori, yaitu sekitar 85–180 Hz untuk laki-laki dan 165–255 Hz untuk perempuan. Hal ini menandakan bahwa data yang diperoleh sudah merepresentasikan karakteristik suara manusia dewasa secara fisiologis. Perbedaan rata-rata tersebut juga memperlihatkan bahwa suara perempuan cenderung memiliki frekuensi lebih tinggi dibandingkan laki-laki, sebagaimana dijelaskan dalam kajian nasional bahwa frekuensi dasar suara dipengaruhi oleh panjang dan massa pita suara. Dengan demikian, hasil analisis ini tidak hanya konsisten dengan teori, tetapi juga didukung oleh penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa metode FFT mampu mengidentifikasi frekuensi fundamental suara manusia secara akurat [13,18].

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan data menggunakan metode Fast Fourier Transform (FFT) berbasis python yang telah di filter, diperoleh rentang frekuensi suara laki-laki berkisaran 105,33 Hz hingga 221,33 Hz dengan rata-rata 141,60 Hz, sedangkan suara perempuan berada pada rentang 214,00 Hz sampai 267,00 Hz dengan rata-rata 232,03 Hz. Perbedaan ini sesuai dengan penjelasan fisiologis, dimana pita suara laki-laki yang lebih panjang dan tebal membuatnya bergetar lebih lambat sehingga menghasilkan frekuensi yang lebih rendah, sedangkan pita suara perempuan yang lebih pendek dan tipis menimbulkan getaran yang lebih cepat sehingga frekuensinya cenderung lebih tinggi. Selain itu, meskipun setiap individu mengucapkan bunyi vokal yang sama yaitu ‘A’, setiap individu tetap memiliki nilai frekuensi yang berbeda satu sama lain, yang menunjukkan bahwa setiap individu memiliki ciri khas suara yang unik dan bisa dibedakan melalui analisis ini. Hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa metode FFT cukup efektif dan akurat untuk digunakan dalam menganalisis karakteristik suara manusia, asalkan didukung dengan proses pengambilan dan pengolahan data yang baik. Proses penyaringan data yang dilakukan terbukti penting untuk membuang nilai-nilai frekuensi yang tidak wajar akibat gangguan seperti suara lingkungan atau kualitas alat rekam, sehingga data yang dihasilkan benar-benar menggambarkan sifat suara asli. Berdasarkan nilai frekuensi yang diperoleh, kita bisa mengelompokkan jenis suara; mayoritas suara laki-laki dalam penelitian ini termasuk tipe baritone hingga tenor, sedangkan suara perempuan umumnya masuk ke dalam kategori mezzo-sopran sampai sopran. Secara keseluruhan, hasil yang didapatkan sudah sesuai dengan teori dan penelitian terdahulu, sehingga metode ini bisa diandalkan untuk keperluan analisis suara maupun pengembangan sistem pengenalan suara ke depannya.

Referensi

1. H. Purwanto and S. Wahyuningsih, “Karakteristik akustik suara manusia berdasarkan gender: Sebuah tinjauan pemrosesan sinyal digital,” *Jurnal Sains Komputer dan Informatika*, vol. 7, no. 1, pp. 89–102, 2023. [Online]. Available: <https://jurnal.syntaxliterate.co.id/index.php/syntax-literat/article/view/11234>
2. A. Prasetyo, B. Santoso, and I. Budiman, “Penerapan transformasi fourier cepat (FFT) dalam analisis perbandingan sinyal audio digital,” *Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi*, vol. 11, no. 2, pp. 145–158, 2022. [Online]. Available: <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/it-e>
3. E. Suryanto and D. Kusuma, “Komputasi sinyal suara menggunakan Python: Analisis efisiensi library Librosa dan SciPy,” *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi*, vol. 13, no. 4, pp. 210–225, 2024. [Online]. Available: <https://journal.itelkom-pwt.ac.id/index.php/dinda/article/view/9876>
4. R. B. Handoko and S. Suyanto, “Klasifikasi gender berdasarkan suara menggunakan support vector machine,” *Jurnal Komputasi Indonesia (Indo-JC)*, vol. 4, no. 1, pp. 9–18, 2019. doi: 10.21108/INDOJC.2019.4.1.244.
5. A. Riyani, A. Nurrochman, E. Sanjaya, P. Rizqiyah, and A. Junaidi, “Mengidentifikasi sinyal suara manusia menggunakan metode fast Fourier transform (FFT) berbasis MATLAB,” *Journal of Informatics, Information System, Software Engineering and Applications (INISTA)*, vol. 1, no. 2, pp. 42–50, 2019. [Online]. Available: <https://journal.itelkom-pwt.ac.id/index.php/inista/article/download/52/35>
6. D. T. Kusuma, “Fast Fourier Transform (FFT) dalam transformasi sinyal frekuensi suara sebagai upaya perolehan average energy (AE) musik,” *PETIR: Jurnal Pengkajian dan Penerapan Teknik Informatika*, vol. 14, no. 1, 2021. doi: 10.33322/petir.v14i1.1022.
7. L. Fitria, Novianda, and D. Alfina, “Classification of sounds based on frequency range using the fast Fourier transform method to determine human voice types,” *Telematika: Jurnal Informatika dan Teknologi Informasi*, vol. 21, no. 3, pp. 248–259, 2024.
8. J. Siahaan, Y. Syarif, and F. Siregar, “Rancangan power amplifier untuk alat pengukur transmission loss material akustik dengan metode impedance tube,” *Journal of Electrical and System Control Engineering (JESCE)*, vol. 1, no. 2, 2018. [Online]. Available: <http://ojs.uma.ac.id/index.php/jesce>
9. I. R. Titze, *Principles of Voice Production*. National Center for Voice and Speech, 2000.
10. S. Shahidi, A. W. Samadzai, and H. Shahbazi, “Effective data preprocessing in data science: From method selection to domain-specific optimization,” *Journal of Advanced Computer Knowledge and Algorithms*, vol. 2, no. 4, pp. 84–90, 2025. doi: 10.29103/jacka.v2i4.22886.
11. M. Shili, S. Hammedi, A. Gawanmeh, and K. Nouri, “Embedded implementation of real-time voice command recognition on PIC microcontroller,” *Automation*, vol. 6, no. 4, p. 79, 2025. doi: 10.3390/automation6040079.

12. A. Hanif, R. Umar, and I. Ria, "Perancangan sistem pengenalan suara sebagai pengendali laptop berbasis Arduino Uno," *Prosiding SNST Fakultas Teknik*, vol. 1, no. 1, pp. 53–58, 2016. [Online]. Available: https://publikasiilmiah.unwahas.ac.id/PROSIDING_SNST_FT/article/view/2373
13. R. Suandi, E. Erwin, and U. Malik, "Pengembangan aplikasi pembeda suara laki-laki dan perempuan berdasarkan gender, range usia, kelas frekuensinya berbasis FFT," *Jurnal ECOTIPE*, vol. 9, no. 1, pp. 32–38, 2022. [Online]. Available: <https://ecotipe.ubb.ac.id/index.php/ecotipe/article/view/2836>
14. V. Costa, M. Guzman, A. Marchetto, J. G. Svec, and Z. Camargo, "Fundamental voice frequency: Acoustic, electroglottographic, and accelerometer measurement in individuals with and without vocal alteration," *Journal of Voice*, vol. 33, no. 4, pp. 585.e1–585.e9, 2019. doi: 10.1016/j.jvoice.2018.01.018.
15. R. R. Nair and B. Vijayan, "Voice based gender recognition," *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, vol. 6, no. 5, pp. 2109–2112, 2019. [Online]. Available: <https://www.irjet.net/archives/V6/i5/IRJET-V6I5418.pdf>
16. I. Irtawaty *et al.*, "Pengembangan aplikasi pembeda suara laki-laki dan perempuan berbasis FFT dan K-Means," *Jurnal Ecotipe*, vol. 9, no. 1, 2022. [Online]. Available: <https://www.ecotipe.ubb.ac.id/index.php/ecotipe/article/view/2836>
17. A. Mishra and P. Gupta, "Gender identification using a speech dependent voice frequency estimation system," *International Journal of Engineering Development and Research (IJEDR)*, vol. 5, no. 2, pp. 1269–1273, 2017. [Online]. Available: <https://www.ijedr.org/papers/IJEDR1702206.pdf>
18. E. Mulyani, E. Erwin, and S. Salomo, "Penentuan frekuensi fundamental dan formant suara manusia dewasa berdasarkan perbedaan suku dan gender menggunakan software PRAAT," *Jurnal Komunikasi Fisika Indonesia*, vol. 12, no. 10, pp. 679–685, 2015. [Online]. Available: <https://kfi.ejournal.unri.ac.id/index.php/JKFI/article/view/2838>