



## Karakterisasi Sinyal Diskrit Suara Lima Jenis Burung Menggunakan Parameter Statistik Time Domain

Filia Ghenniya Alma<sup>1</sup>, Najwa Syarafana 'Adani<sup>2</sup>, Wiwi<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Jurusan Fisika, Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang  
[filiaghenniya@students.unnes.ac.id](mailto:filiaghenniya@students.unnes.ac.id)<sup>1</sup>, [najwasvaa@students.unnes.ac.id](mailto:najwasvaa@students.unnes.ac.id)<sup>2</sup>, [wiwi78014@students.unnes.ac.id](mailto:wiwi78014@students.unnes.ac.id)<sup>3</sup>

### Abstrak

Perkembangan pengolahan sinyal digital membuka peluang otomatisasi analisis suara burung melalui karakterisasi sinyal audio non-stasioner. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik amplitudo sinyal suara burung pada domain waktu, mengidentifikasi perbedaan spesifik antarspesies berdasarkan parameter statistik, serta memvisualisasikan grafik fluktuasi amplitudo terhadap waktu. Metode penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif melalui analisis sinyal diskrit domain waktu tanpa transformasi frekuensi. Objek penelitian terdiri dari lima jenis burung yaitu kenari, kutilang, lovebird, pleci, dan trucukan, yang direkam menggunakan aplikasi Phyphox dengan durasi  $\pm 30$  detik dan direplikasi sebanyak lima kali untuk menghasilkan 25 data audio primer. Sinyal diskrit diproses menggunakan pemrograman Python dengan pustaka NumPy dan Matplotlib melalui tahapan pembersihan dan normalisasi data. Parameter statistik domain waktu yang diekstrak meliputi rata-rata (*mean*), *Root Mean Square* (RMS), energi sinyal, variasi (*variance*), *Zero Crossing Rate* (ZCR), dan amplitudo puncak (*peak*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa parameter *time domain* efektif mengekstrak ciri pembeda akustik yang unik bagi setiap spesies burung. Burung trucukan memiliki tingkat variasi paling tinggi (0,014725 hingga 0,044567) dengan sebaran energi temporal yang fluktuatif. Sebaliknya, burung kenari dan pleci menunjukkan stabilitas pola gelombang yang teratur dengan tingkat variasi rendah. Kesimpulannya, kombinasi parameter statistik domain waktu terbukti valid sebagai dasar kuantitatif yang efisien untuk pengembangan sistem identifikasi otomatis suara burung dengan kompleksitas komputasi yang rendah.

**Kata kunci:** Sinyal Diskrit, Suara Burung, Parameter Statistik, Domain Waktu

### 1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi pengolahan sinyal digital saat ini membuka peluang besar bagi analisis suara burung secara otomatis melalui karakterisasi sinyal audio. Suara burung merupakan bentuk sinyal non-stasioner yang memiliki perbedaan amplitudo, energi, dan pola temporal yang unik, sehingga dapat dieksplorasi sebagai ciri pembeda utama antarspesies (Kogan & Margoliash, 1998). Karakterisasi vokalisasi ini dapat digambarkan secara efektif melalui parameter statistik domain waktu seperti *mean*, *variance*, *standard deviation*, dan *root mean square* (RMS) (Rabiner & Schafer, 2011). Spesies seperti burung kenari, kutilang, lovebird, pleci, dan trucukan terbukti memiliki ciri kicauan khas pada kekuatan amplitudo dan pola waktu. Oleh karena itu, representasi sinyal secara kuantitatif menjadi langkah awal yang krusial dalam pengenalan pola akustik yang akurat.

Dalam peta penelitian terkait, sistem klasifikasi suara burung umumnya mengandalkan ekstraksi ciri domain frekuensi menggunakan metode seperti *Mel-Frequency Cepstral Coefficients* (MFCC) atau *Fast Fourier Transform* (FFT). Kendati metode-metode tersebut sangat populer, analisis domain frekuensi menuntut beban komputasi yang lebih kompleks karena memerlukan tahapan transformasi sinyal. Sebaliknya, studi literatur menunjukkan bahwa analisis statistik domain waktu memiliki keunggulan inheren berupa proses komputasi yang jauh lebih sederhana namun tetap andal dalam memberikan informasi karakteristik dasar sinyal suara (Briggs et al., 2012). Penggunaan parameter temporal ini terbukti efektif membedakan karakteristik antarjenis burung, terutama pada sinyal audio yang memiliki variasi intensitas dan pola komunikasi temporal yang unik (Fagerlund, 2007).

Meskipun potensi domain waktu telah disinggung dalam literatur dasar, terdapat celah riset (*gap analysis*) di mana sebagian besar penelitian klasifikasi praktis cenderung mengabaikan analisis statistik domain waktu murni tanpa keterlibatan transformasi frekuensi. Padahal, pendekatan *time domain* memiliki kelebihan berupa kompleksitas komputasi yang rendah dan kecepatan ekstraksi ciri yang sangat tinggi (Fagerlund, 2007). Kelemahan sistem identifikasi otomatis saat ini sering kali terletak pada tingginya beban komputasi yang mempersulit implementasi pada perangkat portabel yang efisien. Alasan utama diadakannya penelitian ini adalah untuk mengisi celah tersebut dengan menguji sejauh mana parameter statistik domain waktu mampu berdiri sendiri dalam mengkarakterisasi perbedaan distribusi amplitudo yang unik secara kuantitatif (Briggs et al., 2012).

Kebaruan (*novelty*) dari penelitian ini terletak pada penerapan karakterisasi sinyal diskrit domain waktu secara murni tanpa melibatkan analisis domain frekuensi sama sekali terhadap lima jenis burung yang memiliki variasi

karakter vokal kontras, yaitu Kenari, Pleci, Lovebird, Kutilang, dan Trucukan. Studi ini secara spesifik mengombinasikan parameter statistik domain waktu meliputi rata-rata amplitudo, RMS, energi sinyal, variasi, *Zero Crossing Rate* (ZCR), dan amplitudo puncak untuk memetakan kestabilan dan fluktuasi energi akustik masing-masing spesies. Melalui visualisasi superimposisi grafik komparatif rata-rata sinyal ternormalisasi, penelitian ini menyajikan diferensiasi morfologi gelombang temporal yang jelas antarspesies yang belum dieksplorasi secara simultan dalam penelitian-penelitian sejenis sebelumnya.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini dirancang untuk menjawab beberapa pertanyaan tujuan yang esensial. Pertama, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis bagaimana karakteristik amplitudo sinyal suara burung berkembang ketika ditinjau langsung dalam domain waktu. Kedua, penelitian ini bertujuan mengidentifikasi sejauh mana perbedaan karakteristik sinyal dari masing-masing jenis burung dapat dipisahkan berdasarkan parameter statistik kuantitatif yang diperoleh. Ketiga, penelitian ini bertujuan memvisualisasikan grafik amplitudo terhadap waktu untuk memperlihatkan sebaran energi dan pola temporal kicauan secara konkret. Melalui pencapaian tujuan tersebut, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah sebagai dasar yang kuat bagi pengembangan sistem identifikasi suara burung berbasis pengolahan sinyal digital.

## 2. Metode Penelitian

### 2.1 Rancangan Eksperimen dan Alur Komputasi

Penelitian ini menerapkan pendekatan kuantitatif dengan menitikberatkan pada metode analisis sinyal diskrit dalam domain waktu (*time domain*). Pendekatan kuantitatif dipilih karena seluruh parameter yang dieksplorasi dalam eksperimen ini berupa representasi numerik hasil penculikan nilai amplitudo suara terhadap perkembangan waktu secara berkala. Alur komputasi serta rancangan eksperimen dalam studi ini didasarkan pada kerangka operasional berkas "Pengolahan Data Digital - Karakteristik Variasi Suara Burung.docx" yang dijalankan secara linear melalui lima tahapan utama. Tahapan-tahapan tersebut meliputi proses perekaman suara burung secara langsung di lapangan, pengumpulan data matriks amplitudo, prapemrosesan (*preprocessing*) sinyal digital, perhitungan parameter statistik temporal, serta visualisasi grafik komparatif. Seluruh pemrosesan digital dari sinyal suara diimplementasikan menggunakan bahasa pemrograman Python yang dieksekusi di dalam platform Google Colab. Proses manipulasi data dan kalkulasi dibantu secara intensif oleh pustaka NumPy untuk perhitungan matriks numerik, sedangkan pustaka Matplotlib digunakan secara khusus untuk menghasilkan visualisasi gelombang temporal yang presisi.

### 2.2 Prosedur Pengambilan Data dan Replikasi Sampel

Eksperimen pengambilan data primer dilaksanakan pada bulan Mei 2026 dengan menetapkan kondisi lingkungan yang terkontrol. Proses pengambilan data dilakukan di lingkungan yang memiliki intensitas gangguan suara atau *noise* akustik yang relatif rendah agar hasil rekaman suara burung lebih jelas dan interferensi lingkungan dapat diminimalkan semaksimal mungkin. Objek penelitian yang dianalisis mencakup lima jenis spesies burung yang memiliki variasi karakter vokal kontras, yaitu burung kenari (*Serinus canaria*), burung kutilang (*Pycnonotus aurigaster*), burung lovebird, burung pleci, dan burung trucukan.

Proses akuisisi data audio dari kelima jenis objek tersebut dilakukan menggunakan aplikasi Phyphox yang diintegrasikan pada perangkat telepon pintar, dengan durasi perekaman yang ditetapkan secara konstan yaitu selama kurang lebih 30 detik pada setiap sampel. Untuk menjamin validitas, konsistensi, dan keandalan data secara statistik, masing-masing burung direkam sebanyak 5 kali pengulangan replikasi secara independen sehingga diperoleh total keseluruhan 25 data audio primer. Selama proses perekaman berlangsung, posisi spasial dari perangkat perekam diusahakan tetap diam pada titik yang sama dan kondisi lingkungan dijaga agar selalu relatif seragam pada setiap pengambilan data guna mereduksi fluktuasi amplitudo akibat faktor eksternal.

### 2.3 Prapemrosesan Berkas Sinyal Diskrit

Data mentah yang diperoleh dari aplikasi Phyphox diekspor secara otomatis ke dalam format berkas penyimpanan .csv untuk kemudian diimpor ke dalam lingkungan pemrograman Google Colab. Berkas .csv tersebut menyimpan susunan matriks dua dimensi yang memuat komponen data primer berupa variabel data waktu yang menunjukkan urutan temporal pengambilan sampel sinyal audio selama proses perekaman berlangsung, serta variabel data amplitudo sinyal yang menunjukkan besar kecilnya gelombang suara yang diterima oleh mikrofon perangkat.

Sebelum dilakukan analisis karakteristik, rangkaian data dalam berkas tersebut harus melalui tahapan prapemrosesan (*preprocessing*) terlebih dahulu. Tahap prapemrosesan ini meliputi pembersihan data dari nilai yang hilang (*missing values*) atau baris data yang cacat akibat galat sistem, yang kemudian segera dilanjutkan dengan proses normalisasi nilai amplitudo. Langkah normalisasi ini sangat krusial untuk menyamakan skala rentang amplitudo di antara ke-25 berkas data agar berada pada basis referensi yang seragam, sehingga visualisasi komparatif dan perbandingan nilai parameter statistik antarspesies dapat dilakukan secara objektif tanpa terkendala oleh perbedaan volume dasar perekaman.

### 2.4 Ekstraksi Ciri Parameter Statistik Domain Waktu

Sinyal diskrit yang telah melewati tahapan normalisasi kemudian dianalisis karakteristiknya secara murni pada domain waktu menggunakan pendekatan sinyal diskrit tanpa melibatkan transformasi Fast Fourier Transform

(FFT) atau analisis domain frekuensi lainnya. Pustaka NumPy digunakan untuk mengekstrak enam parameter statistik kuantitatif dari setiap baris sampel data audio burung. Parameter pertama adalah nilai rata-rata (*mean*) amplitudo yang digunakan untuk mengetahui tren pemusatan data sinyal, diikuti oleh parameter *Root Mean Square* (RMS) untuk merepresentasikan energi efektif atau kekuatan temporal dari sinyal suara burung.

Selanjutnya, dihitung parameter energi sinyal total melalui akumulasi kuadrat nilai amplitudo, serta parameter variasi (*variance*) untuk memetakan tingkat penyebaran dan lebar distribusi data amplitudo di sekitar nilai rata-ratanya. Dua parameter tambahan yang juga diekstrak adalah *Zero Crossing Rate* (ZCR) untuk mendeteksi frekuensi berapa kali sinyal memotong garis amplitudo nol per satuan waktu, serta amplitudo puncak (*peak*) untuk mengidentifikasi batas magnitudo maksimum gelombang. Seluruh data hasil perhitungan parameter statistik ini dikompilasi secara terstruktur ke dalam tabel induk untuk dianalisis kestabilannya. Tahap akhir dari metode ini adalah memanfaatkan pustaka Matplotlib untuk memplot grafik fluktuasi amplitudo terhadap waktu secara individual bagi setiap jenis burung, sekaligus memvisualisasikan grafik superimposisi rata-rata sinyal untuk membandingkan perbedaan pola temporal dan sebaran energi akustik antarspesies secara visual.

### 3. Hasil dan Pembahasan

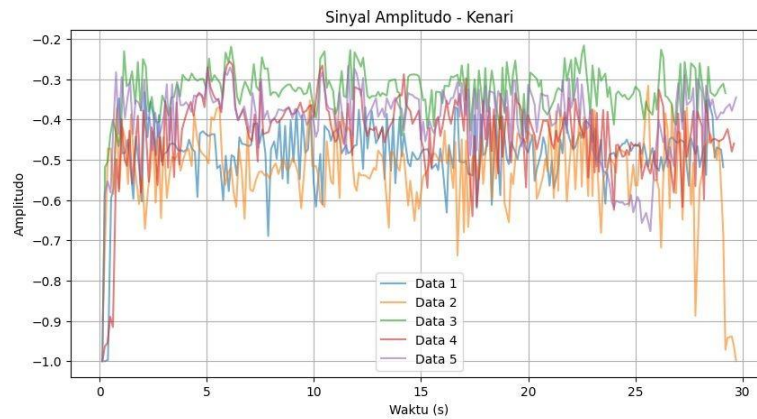
#### 3.1 Hasil Perhitungan

Berdasarkan hasil pengolahan data suara burung, diperoleh beberapa parameter ekstraksi ciri yang meliputi mean, RMS, energi, variasi, ZCR, dan peak. Setiap jenis burung memiliki karakteristik nilai yang berbeda sehingga dapat digunakan sebagai pembandingan dalam proses analisis suara. Hasil perhitungan seluruh data pengujian pada masing-masing jenis burung disajikan pada tabel 1 sebagai berikut:

Tabel 1. Hasil Perhitungan Ekstraksi Ciri Suara Burung Menggunakan Parameter Mean, RMS, Energi, Variasi, ZCR, dan Peak

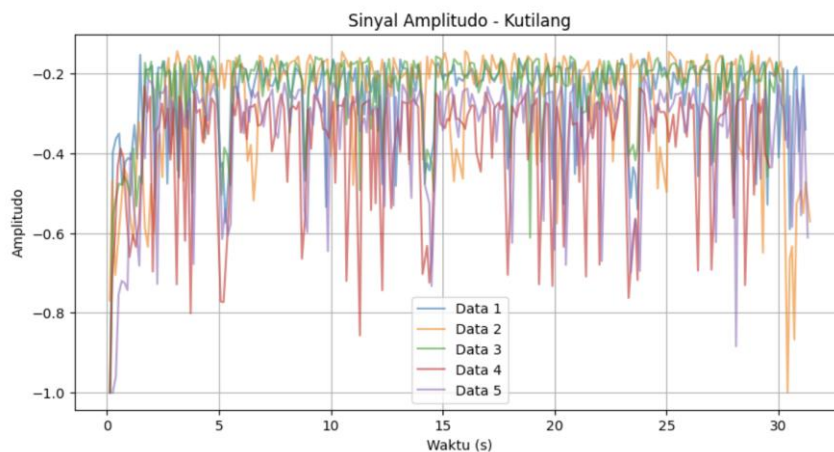
Burung	Data Ke	Mean	RMS	Energi	Variasi	ZCR	Peak
Kenari	1	-0.481151	0.487172	52.451455	0.005831	0	1.0
Kenari	2	-0.525223	0.536157	65.251891	0.011594	0	1.0
Kenari	3	-0.329718	0.336938	25.202999	0.004813	0	1.0
Kenari	4	-0.436130	0.448845	45.731815	0.011253	0	1.0
Kenari	5	-0.400401	0.411015	38.685669	0.008612	0	1.0
Kutilang	1	-0.257604	0.281510	18.702565	0.012888	0	1.0
Kutilang	2	-0.264424	0.302023	21.983508	0.021298	0	1.0
Kutilang	3	-0.244668	0.269010	16.644232	0.012504	0	1.0
Kutilang	4	-0.382412	0.412950	38.198293	0.024289	0	1.0
Kutilang	5	-0.344264	0.375228	33.368711	0.012885	0	1.0
Lovebird	1	-0.316525	0.336264	26.798404	0.010925	0	1.0
Lovebird	2	-0.330157	0.346307	27.103777	0.014381	0	1.0
Lovebird	3	-0.285367	0.309541	21.462682	0.016973	0	1.0
Lovebird	4	-0.373183	0.395271	35.153750	0.011765	0	1.0
Lovebird	5	-0.257570	0.279476	17.964554	0.006160	0	1.0
Pleci	1	-0.409445	0.416899	38.758454	0.006450	0	1.0
Pleci	2	-0.384720	0.393013	35.062289	0.009253	0	1.0
Pleci	3	-0.325557	0.339471	25.698665	0.008253	0	1.0
Pleci	4	-0.238989	0.255674	15.427116	0.012885	0	1.0
Pleci	5	-0.316525	0.336264	26.798404	0.012885	0	1.0
Trucukan	1	-0.298067	0.330219	25.189275	0.020201	0	1.0
Trucukan	2	-0.479360	0.523788	63.375649	0.044567	0	1.0
Trucukan	3	-0.415980	0.456702	47.972677	0.035537	0	1.0
Trucukan	4	-0.282908	0.307835	21.700563	0.014725	0	1.0
Trucukan	5	-0.483849	0.483849	54.313491	0.040938	0	1.0

## 3.2 Grafik dan Pembahasan



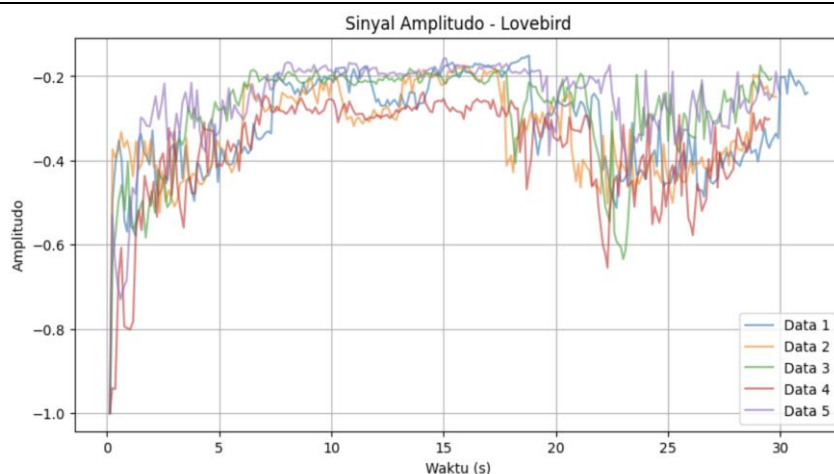
Gambar 1. Sinyal Amplitudo Kenari

Berdasarkan Gambar 1 fluktuasi sinyal diskrit domain waktu dari hasil perekaman suara burung Kenari selama durasi sekitar 30 detik melalui lima kali pengulangan (Data 1 hingga Data 5). Sinyal audio tersebut menunjukkan karakteristik amplitudo yang relatif teratur, stabil, dan konsisten di sepanjang interval waktu, dengan kecenderungan dominasi nilai rata-rata sinyal yang berada pada posisi rentang tengah. Pola gelombang yang bergerak konstan dan berulang ini secara biologis mengonfirmasi sifat khas dari kicauan burung kenari yang dikenal memiliki irama nada merdu dan stabil. Secara kuantitatif, keteraturan ini selaras dengan hasil parameter statistik data tabel, di mana nilai rata-rata (mean) amplitudo kenari tercatat berada pada rentang  $-0,329718$  hingga  $-0,525223$ . Selain itu, nilai Root Mean Square (RMS) sebesar  $0,336938$  hingga  $0,536157$  berkorelasi linear dengan akumulasi energi sinyalnya yang mencapai angka  $25,202999$  hingga  $65,251891$ , serta didukung tingkat penyebaran (variance) rendah yang berkisar antara  $0,004813$  dan  $0,011594$ . Seluruh parameter time domain ini membuktikan kestabilan pola amplitudo kenari sebagai identitas akustik yang valid untuk membedakan karakteristik antarspesies burung.



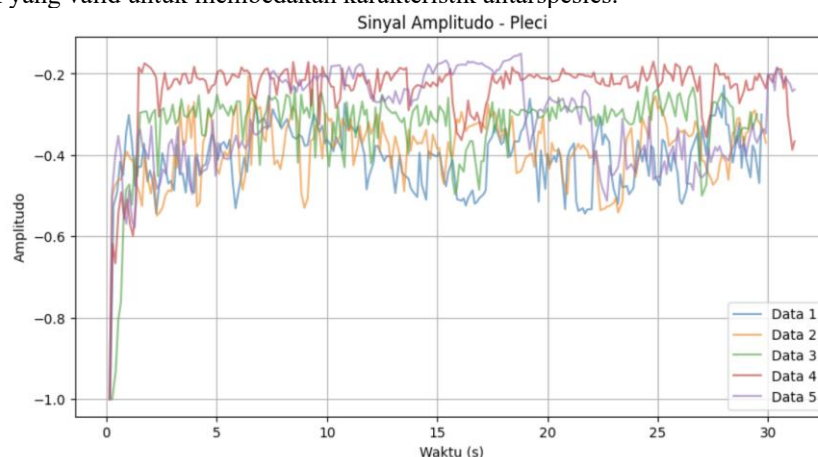
Gambar 2. Sinyal Amplitudo Kutilang

Berdasarkan Gambar 2 sinyal amplitudo terhadap waktu hasil perekaman suara burung Kutilang selama 30 detik melalui lima kali pengulangan (Data 1 hingga Data 5). Berdasarkan plot “Sinyal Amplitudo - Kutilang”, sinyal audio menunjukkan karakteristik non-stasioner yang sangat dinamis dengan fluktuasi amplitudo tajam pada rentang nilai  $-0,2$  hingga  $-1,0$ . Pola gelombang yang rapat ini mengonfirmasi sifat biologis vokalisasi kutilang yang memiliki tempo cepat dan variasi amplitudo tinggi. Secara kuantitatif, nilai variasi (variance) kutilang berada pada rentang  $0,012888$  hingga  $0,024289$ , yang mencerminkan tingkat penyebaran data amplitudo yang lebar. Tingginya fluktuasi ini berkorelasi dengan nilai rata-rata (mean) amplitudo antara  $-0,244668$  dan  $-0,382412$  serta parameter Root Mean Square (RMS) sebesar  $0,269010$  hingga  $0,412950$  yang merepresentasikan energi temporal sinyal. Dengan demikian, analisis time domain ini berhasil mengidentifikasi pola temporal unik kutilang yang esensial sebagai parameter pembeda dalam sistem klasifikasi otomatis.



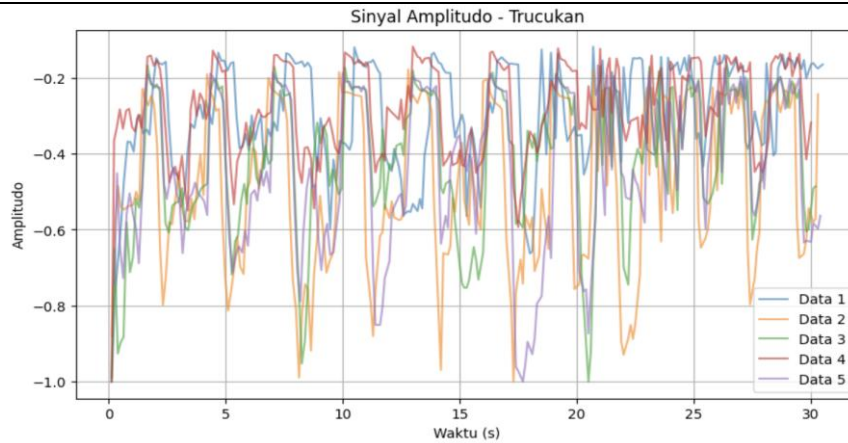
Gambar 3. Sinyal Amplitudo Lovebird

Berdasarkan Gambar 3 sinyal amplitudo terhadap waktu untuk burung Lovebird selama durasi perekaman 30 detik dengan lima kali pengulangan disajikan pada grafik “Sinyal Amplitudo - Lovebird”. Berdasarkan plot tersebut, sinyal audio menunjukkan karakteristik gelombang yang tajam dan berulang dengan penguatan nilai amplitudo yang relatif stabil pada rentang -0,2 hingga -0,4, khususnya pada rentang waktu 5 hingga 17 detik. Pola temporal yang konsisten ini mengonfirmasi sifat akustik lovebird yang dicirikan oleh intensitas suara tinggi serta magnitudo energi sinyal yang besar. Secara kuantitatif, analisis statistik domain waktu mencatat nilai rata-rata (mean) amplitudo berada pada rentang -0,257570 hingga -0,373183, serta nilai Root Mean Square (RMS) sebesar 0,279476 hingga 0,395271. Besarnya nilai RMS tersebut berbanding lurus dengan kalkulasi energi sinyal yang mencapai angka 17,964554 hingga 35,153750, dengan tingkat penyebaran (variance) yang berkisar antara 0,006160 dan 0,016973. Dengan demikian, visualisasi ini membuktikan stabilitas pola amplitudo lovebird sebagai identitas akustik yang valid untuk membedakan karakteristik antarspesies.



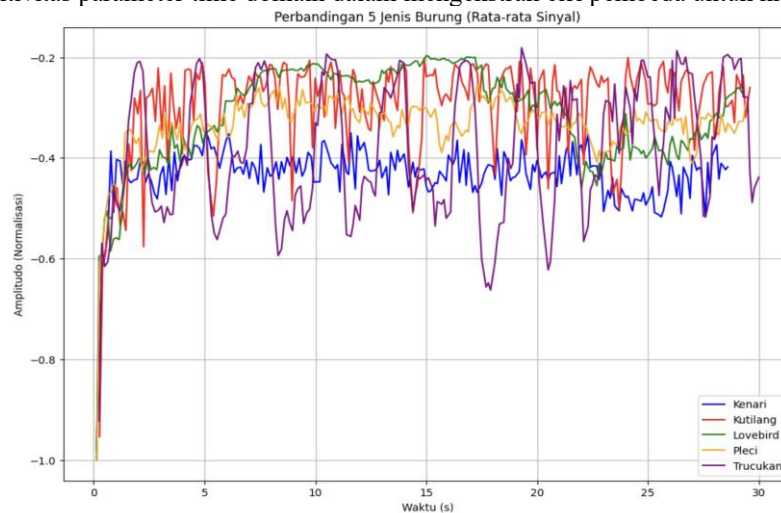
Gambar 4. Sinyal Amplitudo Pleci

Berdasarkan Gambar 4 karakteristik fluktuasi amplitudo terhadap waktu dari lima data pengulangan perekaman sinyal diskrit sepanjang kurang lebih 30 detik. Plot tersebut menunjukkan bahwa sinyal suara burung Pleci memiliki pola temporal yang sangat rapat dan konstan dengan kecenderungan dominasi amplitudo pada rentang nilai -0,2 hingga -0,5. Pola pergerakan gelombang ini secara langsung mengonfirmasi karakteristik biologis suara pleci yang memiliki nada kecil tetapi rapat, serta variasi amplitudo yang umumnya lebih rendah jika dibandingkan dengan lovebird dan kutilang. Berdasarkan hasil perhitungan kuantitatif parameter statistik domain waktu, nilai variasi (variance) pleci mencatat stabilitas tinggi pada kisaran angka 0,006450 hingga 0,012885. Kestabilan tersebut selaras dengan sebaran nilai rata-rata (mean) amplitudo pada rentang -0,238989 hingga -0,409445, nilai Root Mean Square (RMS) sebesar 0,255674 hingga 0,416899, serta akumulasi energi sinyal yang berada pada rentang nilai 15,427116 hingga 38,758454. Seluruh temuan parameter statistik ini membuktikan bahwa analisis time domain mampu mendeskripsikan ciri dasar distribusi amplitudo khas spesies pleci secara kuantitatif.



Gambar 5. Sinyal Amplitudo Trucukan

Berdasarkan Gambar 5 domain waktu dari lima replikasi data audio sepanjang 30 detik. Plot tersebut memperlihatkan fluktuasi amplitudo yang sangat ekstrem dan dinamis, merentang dari rentang nilai  $-0,1$  hingga mendekati batas bawah  $-1,0$  dengan pola ritme yang naik-turun secara tajam. Pola gelombang yang fluktuatif ini selaras dengan sifat akustik burung Trucukan yang memiliki karakteristik suara relatif keras serta distribusi energi besar pada interval waktu tertentu. Secara kuantitatif, analisis parameter statistik menunjukkan nilai variasi (variance) trucukan yang sangat tinggi, berkisar antara  $0,014725$  hingga  $0,044567$ . Besarnya penyebaran data ini direpresentasikan oleh nilai rata-rata (mean) amplitudo antara  $-0,282908$  dan  $-0,483849$ , serta nilai Root Mean Square (RMS) sebesar  $0,307835$  hingga  $0,523788$ . Nilai RMS tersebut berkorelasi linear dengan besarnya energi sinyal yang mencapai rentang  $21,700563$  hingga  $63,375649$ . Karakteristik fluktuasi temporal yang unik ini membuktikan efektivitas parameter time domain dalam mengekstrak ciri pembeda untuk klasifikasi otomatis.



Gambar 6. Perbandingan 5 Jenis Burung

Berdasarkan Gambar 6 superimposisi dari nilai rata-rata sinyal amplitudo ternormalisasi terhadap waktu untuk lima spesies burung sepanjang durasi perekaman 30 detik. Melalui pendekatan time domain, visualisasi komparatif ini memperlihatkan pemisahan pola temporal dan morfologi gelombang yang khas dari masing-masing spesies secara kuantitatif. Sinyal rata-rata burung kenari dan pleci menunjukkan kecenderungan nilai yang berada pada rentang tengah dengan pola amplitudo yang relatif teratur di sepanjang interval waktu. Sebaliknya, sinyal burung kutilang dan trucukan memperlihatkan fluktuasi amplitudo yang sangat dinamis, tajam, dan fluktuatif, yang mengonfirmasi tingginya variasi temporal serta distribusi energi besar pada interval waktu tertentu. Sementara itu, burung lovebird menunjukkan penguatan sinyal yang stabil dengan intensitas tinggi pada rentang waktu 5 hingga 18 detik. Secara keseluruhan, perbandingan ini membuktikan bahwa karakteristik statistik domain waktu mampu merepresentasikan perbedaan distribusi amplitudo unik antarspesies sebagai dasar sistem identifikasi otomatis.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis karakterisasi sinyal diskrit domain waktu, penelitian ini membuktikan bahwa setiap spesies burung memiliki identitas akustik yang unik melalui parameter statistik kuantitatif yang diperoleh dari proses pengolahan sinyal digital. Perbedaan karakteristik biologis vokal pada masing-masing spesies menghasilkan pola amplitudo, distribusi energi, serta morfologi gelombang yang berbeda satu sama lain. Melalui

visualisasi grafik amplitudo terhadap waktu, pola temporal suara burung dapat diamati secara jelas sehingga mempermudah proses identifikasi karakteristik dasar dari setiap spesies. Pendekatan domain waktu terbukti efektif karena memiliki kompleksitas komputasi yang relatif sederhana namun tetap mampu menghasilkan representasi data yang akurat dan informatif. Selain itu, analisis domain waktu berhasil mengidentifikasi tingkat kestabilan sinyal, variasi amplitudo, serta intensitas energi suara secara kuantitatif melalui parameter statistik seperti mean, Root Mean Square (RMS), energi sinyal, dan variance.

Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa kombinasi parameter statistik domain waktu mampu menjadi pembeda yang valid antarspesies burung dalam proses klasifikasi otomatis. Burung trucukan memiliki tingkat variasi amplitudo dan energi sinyal temporal paling tinggi dibandingkan spesies lainnya, yang ditunjukkan oleh pola gelombang yang sangat fluktuatif dan dinamis. Sebaliknya, burung kenari dan pleci menunjukkan kestabilan amplitudo yang lebih baik dengan pola sinyal yang cenderung teratur dan konsisten sepanjang waktu pengamatan. Burung lovebird memperlihatkan intensitas sinyal yang stabil dengan penguatan amplitudo cukup tinggi, sedangkan kutilang memiliki karakteristik fluktuasi amplitudo yang cepat dan rapat. Secara keseluruhan, visualisasi grafik fluktuasi amplitudo terhadap waktu sangat membantu dalam memahami pola perubahan temporal serta distribusi energi akustik dari masing-masing spesies. Dengan demikian, metode analisis domain waktu dapat dijadikan dasar yang efektif dalam pengembangan sistem identifikasi dan klasifikasi suara burung berbasis pengolahan sinyal digital.

### Reference

- Akbar, D. D., & Juniati, D. (2025). Penerapan metode dimensi fraktal Higuchi dan k-nearest neighbours dalam klasifikasi emosi manusia berdasarkan suara. <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/mathunesa/article/view/66538>
- Boashash, B. (2015). *Time-frequency signal analysis and processing: A comprehensive reference* (2nd ed.). Academic Press. <https://archive.org/details/time-frequency-signal-analysis-and-processing>
- Briggs, F., Raich, R., & Fern, X. Z. (2012). Audio classification of bird species: A statistical manifold approach. *IEEE International Conference on Data Mining*. <https://doi.org/10.1109/ICDM.2012.82>
- Damardhi, S. R., Faradisa, I. S., & Sotyohadi, S. (2025). Evaluating a preprocessing pipeline for fetal phonocardiography using FIR filtering. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi & Teknik Elektronika*, 13(2), 155. <https://doi.org/10.26760/elkomika.v13i2.155>
- Dewi, A. S., & Juniati, D. (2023). Klasifikasi burung nokturnal berdasarkan suara menggunakan dimensi fraktal Higuchi dan k-nearest neighbor. *Jurnal Riset dan Aplikasi Matematika (JRAM)*, 7(2), 177–194. <https://doi.org/10.26740/jram.v7n2.p177-194>
- Effendi, H., & Saryadi, R. M. (2023). Perancangan sistem deteksi dan pengenalan perintah suara menggunakan modul ESP32 dengan metode convolutional neural network (CNN). *Sainstech: Jurnal Penelitian dan Pengkajian Sains dan Teknologi*, 33(4). <https://doi.org/10.37277/stch.v33i4.1781>
- Fagerlund, S. (2007). Bird species recognition using support vector machines. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, 2007, 1–8. <https://doi.org/10.1155/2007/38637>
- Fikri, M., Christiono, C., K, I. G. M., Mauriraya, K. T., Pasra, N., Samsurizal, S., Romadhoni, M. L., & Thahara, A. A. (2023). Clustering suara corona discharge berdasarkan tegangan menggunakan metode fuzzy C-means. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi & Teknik Elektronika*, 11(3), 609. <https://doi.org/10.26760/elkomika.v11i3.609>
- Kogan, J. A., & Margoliash, D. (1998). Automated recognition of bird song elements from continuous recordings using dynamic time warping and hidden Markov models. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 103(4), 2185–2196. <https://doi.org/10.1121/1.421364>
- Muwakhid, I. A. (2025). Statistical feature extraction based on Wavelet transform for arrhythmia detection. *Jurnal Transformatika*, 23(1), 30–40. <https://doi.org/10.26623/transformatika.v23i1.12339>
- Ndun, Y. G., Bitin, P., & Arrizal, A. F. R. (2025). Implementasi algoritma FFT untuk deteksi nada dalam analisis frekuensi suara. *Seminar Nasional Teknologi & Sains*, 4(1), 311–320. <https://doi.org/10.29407/2g141y12>
- Oktaviani, P. R., Iswanto, B. H., & Suhendar, H. (2024). Karakteristik fitur suara ketukan buah kelapa berdasarkan domain waktu dan domain frekuensi. *Joint Prosiding IPS dan Seminar Nasional Fisika*, 12(1), FA–11. <https://doi.org/10.21009/03.1201.FA02>
- Oppenheim, A. V., & Schaffer, R. W. (2010). *Discrete-time signal processing* (3rd ed.). Pearson. <https://archive.org/details/discretetimesign0000oppe>
- Phie Chyan, Zelvi Gustiana, Sitti Arni, Amru Yasir, Hartina Husain, Budi Arif Dermawan, Ade Oktarino, I. P. T. Indrayana, Amril Mutoi Siregar, Alfredo Gormantara, Indah Dwi Mumpuni, Medy Wisnu Prihatmono, I. P. G. S. Andisana, Lenny Maryam A. B. Possumah, Ibnu Atho'illah, Siti Aisyah, Santi, Nuk Ghurroh Setyoningrum, Salman Farizy, & Vivi Afifah. (2024). *Pengantar data science: Mengambil keputusan berdasarkan data*. PT. Mifandi Mandiri Digital.
- Purnamasari, D. N., Wardhana, W. W., Fathoni, A. N., & Alfarotzi, M. M. (2025). Utilization of Mel-spectrogram for identification and analysis of animal communication patterns acoustically. *JTEIN: Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, 6(2), 134–144. <https://doi.org/10.24036/jtein.v6i2.711>
- Putra, R. A., & Nugroho, A. R. (2026). Sistem klasifikasi emosi kucing menggunakan SVM dan strategi augmentasi data. *Seminar Nasional Teknologi & Sains*, 5(1), 029–038. <https://doi.org/10.29407/2706f967>
- Rabiner, L. R., & Schaffer, R. W. (2011). *Theory and applications of digital speech processing*. Pearson Education. <https://archive.org/details/theoryapplicatio0000rabi>
- Subandrio, Y. E., Hartayu, R., Setyadjit, K., Ridho'i, A., Hariadi, B., & San, S. (2023). Penghilang noise pada perintah suara menggunakan filter Butterworth dengan metode transformasi bilinier. <https://doi.org/10.30996/elsains.v5i2.9525>
- Sugiantoro, Z., & Lionnie, R. (2026). Enhancing Isolation Forest with Threshold-based Filtering and LSTM for Attendance Anomaly Detection. *ELKOMIKA Jurnal Teknik Energi Elektrik Teknik Telekomunikasi & Teknik Elektronika*, 14(2), 136. <https://doi.org/10.26760/elkomika.v14i2.135>
- Wicaksono, A., Laksono, E. P., & Hartiyani, S. D. (2023). Perbandingan tingkat kemiripan rekaman suara menggunakan metode Itakura-Saito distance untuk mendukung analisa audio forensik. *Jurnal KomtekInfo*, 10(1), 29–37. <https://doi.org/10.35134/komtekinfo.v10i1.357>
- Yania, P. A. N., & Juniati, D. (2023). Penerapan dimensi fraktal Higuchi dan k-nearest neighbor dalam klasifikasi *Passeriformes* (burung pengicau) berdasarkan suara. *MATHunesa Jurnal Ilmiah Matematika*, 11(2), 92–101. <https://doi.org/10.26740/mathunesa.v11n2.p92-101>