

Utilization of Mel-Spectrogram for Identification and Analysis of Animal Communication Patterns Acously

Dian Neipa Purnamasari^{1*}, Win Wisnu Wardhana¹, Ahmad Nizar Fathoni¹ and Muhammad Mufti Alfarotzi¹

¹ Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Trunojoyo Madura, Kota Bangkalan, Indonesia

*Corresponding Author email : dian.neipa@trunojoyo.ac.id

Abstract

This study aims to analyze the vocalization characteristics of eight animal species through Mel-spectrogram representation to identify dominant frequency patterns, duration, and sound intensity. Data were obtained from natural recordings and then converted into Mel-spectrograms, which were then analyzed to obtain information on frequency distribution, vocalization duration, and sound intensity levels. The results showed that most species showed dominant frequencies in the range of 2,000–9,000 Hz, with birds and chicks having the highest range (4,000–9,000 Hz). Vocalization patterns tended to be repetitive with varying durations (1–27 seconds) and high intensities (0–20 dB) at the dominant frequencies. Intra-species variations were found in birds and cats, indicating the influence of age or social factors. These findings demonstrate the potential of Mel-spectrograms as a tool for analyzing animal vocalizations for conservation purposes, behavioral monitoring, and the development of artificial intelligence-based speech recognition systems.

Keywords: Mel-spektrogram; Vokalisasi Hewan; Analisis Frekuensi; Akustik.

1. Introduction

Komunikasi merupakan aspek penting dalam kehidupan hewan untuk menyampaikan informasi terkait ancaman, reproduksi, makanan, dan interaksi sosial. Vokalisasi sebagai bentuk komunikasi akustik sangat beragam antarspesies, mencerminkan karakteristik biologis dan ekologis masing-masing. Memahami pola komunikasi ini menjadi fokus penting dalam bidang bioakustik.

Bioakustik adalah ilmu interdisipliner yang mempelajari bagaimana makhluk hidup menghasilkan, mentransmisikan, dan merespons suara. Salah satu metode yang umum digunakan dalam analisis vokalisasi hewan adalah spektrogram, khususnya Mel-spektrogram, yang merepresentasikan frekuensi suara dalam skala persepsi manusia terhadap waktu dan amplitudo. Melalui pendekatan ini, peneliti dapat mengenali pola temporal dan spektral dari sinyal suara.

Penelitian dalam bidang bioakustik telah banyak dilakukan untuk memahami karakteristik vokalisasi hewan dan kaitannya dengan perilaku serta lingkungan. Salah satu studi oleh Heryani et al [1]. mengeksplorasi bagaimana suara digunakan oleh lumba-lumba dalam berbagai konteks perilaku. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa produksi suara memiliki fungsi penting dalam komunikasi sosial dan berperan dalam berbagai aktivitas hewan laut tersebut. Kontribusinya terletak pada pemahaman komunikasi akustik spesies laut yang dilindungi, yang penting untuk upaya konservasi. Studi lain oleh Tarihoran dan Hadi meneliti keragaman spesies burung di hutan dataran rendah melalui pendekatan bioakustik [2]. Dengan menggunakan spektrogram sebagai

alat analisis, penelitian ini memungkinkan identifikasi spesies berdasarkan karakteristik suara, mendukung pemantauan keanekaragaman hayati secara non-invasif. Hal ini menunjukkan potensi pendekatan akustik sebagai metode penting dalam konservasi satwa liar, terutama di habitat alami.

Spektrogram adalah representasi visual dari spektrum frekuensi sebagai fungsi waktu. Spektrogram memberikan gambaran komprehensif tentang bagaimana frekuensi dan amplitudo suara berubah seiring waktu, memungkinkan peneliti melihat struktur temporal dan spektral sinyal akustik. Spektrogram dapat digunakan untuk mengidentifikasi pola yang tidak terlihat oleh analisis sinyal normal momen demi momen. Pengembangan teknologi berbasis spektrogram juga telah meluas ke berbagai bidang [3], [4], dan [5]. Penelitian seperti multi-SpectroGAN memperlihatkan bagaimana mel-spektrogram digunakan dalam sintesis suara berkualitas tinggi, sedangkan pendekatan lain memanfaatkan spektrogram untuk diagnosis kondisi medis, seperti penyakit Alzheimer. Penelitian lain di bidang keamanan suara memperkenalkan teknik manipulasi spektrum audio untuk menguji kerentanan sistem pengenalan suara otomatis. Semua studi ini menegaskan peran penting spektrogram sebagai representasi sinyal dalam berbagai aplikasi analisis dan teknologi.

Penelitian ini menganalisis vokalisasi delapan spesies hewan, yaitu bebek, ayam, anak ayam, kucing, anak kucing, sapi, anjing, dan burung, dengan tujuan mengidentifikasi pola frekuensi dominan, intensitas, dan durasi vokalisasi. Data suara diperoleh dari rekaman lapangan dan sumber terverifikasi. Analisis dilakukan dengan mengubah sinyal audio ke dalam bentuk Mel-spektrogram menggunakan transformasi Fourier dan filterbank Mel. Setiap spektrum dievaluasi berdasarkan karakteristik akustiknya untuk mengidentifikasi pola khas antarspesies dan variasi dalam satu spesies (misalnya antara anak dan induk).

Studi ini berbeda dari penelitian sebelumnya yang umumnya hanya fokus pada satu jenis hewan atau konteks konservasi, karena menggabungkan analisis multispecies lintas usia dalam satu kerangka akustik visual menggunakan Mel-spektrogram. Penelitian ini juga mempertimbangkan variasi usia (muda vs dewasa) dan situasi sosial saat rekaman suara, sehingga memberikan pandangan yang lebih menyeluruh terhadap bentuk komunikasi vokal.

Kontribusi utama penelitian ini adalah pengembangan pendekatan visual-akustik berbasis Mel-spektrogram untuk mendeteksi pola vokalisasi khas antarspesies dan antartahap usia. Temuan ini membuka peluang pengembangan sistem pengenalan suara hewan berbasis kecerdasan buatan untuk tujuan konservasi, pemantauan perilaku, hingga interaksi manusia-hewan secara lebih adaptif dan efisien.

2. Material and methods

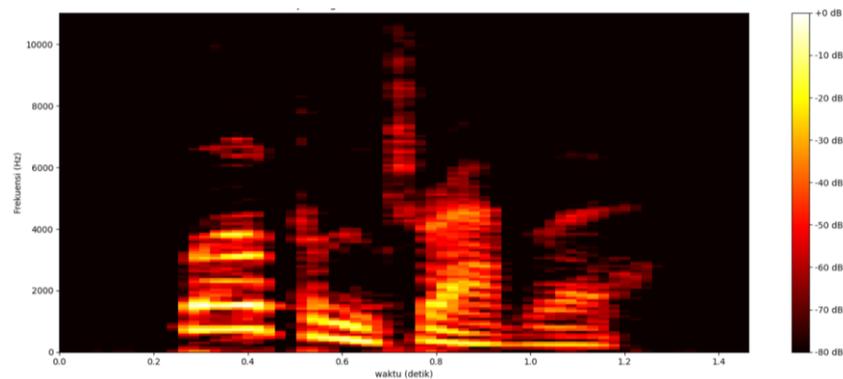
2.1 Bioakustik

Bioakustik adalah studi interdisipliner yang berfokus pada perilaku hewan, mekanisme produksi suara hewan, dasar evolusi, fitur komunikasi dan habitat, anatomi dan fisiologi hewan, waktu vokalisasi, dan analisis suara [6]. Bioakustik semakin penting dan berguna dalam konservasi, dengan aplikasi dalam pemantauan spesies yang terancam dan hampir punah, keanekaragaman hayati, kesehatan habitat, polusi suara, dampak perubahan iklim, dan lainnya [7]. Peran bioakustik dalam mendokumentasikan nilai konservasi ekosistem sangat penting, memungkinkan metode pemantauan aktif dan pasif seperti perangkap

kamera atau penginderaan jarak jauh [8]. Dalam konteks pemantauan akustik pasif, diperlukan model yang lebih baik agar dapat memperoleh wawasan secara andal dari sejumlah besar data mentah dan tidak berlabel [9]. Pendekatan ini juga dapat digunakan untuk menilai aktivitas vokal spesies dari waktu ke waktu, sehingga memberikan data penting untuk upaya konservasi [10]. Teknik inovatif, termasuk penggunaan kendaraan udara tak berawak (UAV), menawarkan peluang yang menjanjikan untuk pemantauan bioakustik di area yang tidak dapat diakses [9]. Secara keseluruhan, bioakustik memberikan metode yang ampuh untuk memahami komunikasi hewan dan implikasi ekologis dari produksi yang baik, membantu memberikan informasi bagi strategi konservasi dan pengelolaan habitat [10].

2.2 Spektrogram

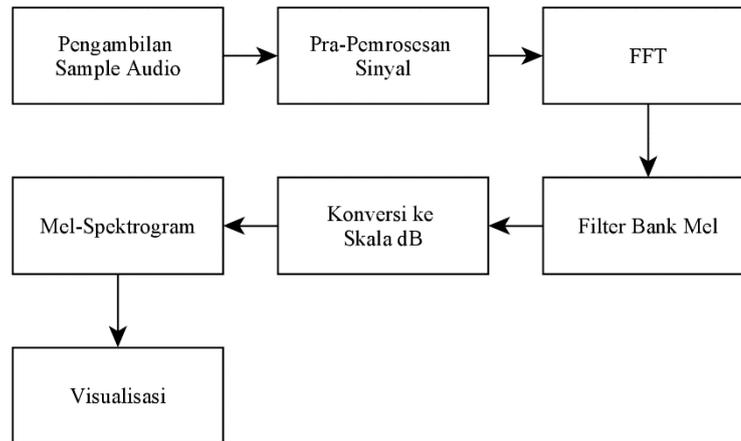
Spektrogram adalah representasi visual dari spektrum frekuensi sinyal audio sebagai fungsi waktu, yang digunakan dalam berbagai aplikasi pemrosesan sinyal audio dan pengenalan ucapan [11]. Teknik ini mengubah amplitudo mel-spektrogram menjadi skala desibel (dB) untuk mencerminkan persepsi volume suara manusia yang lebih akurat [12]. Mel-spektrogram adalah jenis khusus dari spektrogram yang menggunakan skala mel, sebuah skala frekuensi non-linear yang dirancang untuk mencerminkan persepsi pendengaran manusia, sehingga lebih efektif untuk aplikasi seperti pengenalan ucapan dan analisis musik. Contoh spektrogram ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1: Spektrogram Suara “Welcome Traveler”

2.3 Rancangan Sistem

Penelitian ini menganalisis vokalisasi dari delapan jenis hewan: bebek, ayam, anak ayam, burung, kucing, anak kucing, anjing, dan sapi. Spesies ini dipilih berdasarkan ketersediaan, relevansi ekologis, dan variasi vokal alami antara mamalia dan unggas, serta antara hewan muda dan dewasa, guna melihat perbedaan pola vokalisasi berdasarkan usia dan spesies. Suara-suara ini dikumpulkan menggunakan mikrofon untuk memastikan kualitas rekaman yang tinggi. Seluruh rekaman suara ini kemudian diproses menggunakan laptop untuk analisis lebih lanjut.



Gambar 2: Blok Diagram Sistem

Blok diagram ditunjukkan pada Gambar 2, menggambarkan alur proses dari pengambilan sampel audio hingga visualisasi mel-spektrogram. Data vokalisasi dikumpulkan melalui mikrofon eksternal beresolusi tinggi dengan sampling rate 44,1 kHz dan 16-bit. Sinyal audio yang diperoleh kemudian menjalani tahap pra-pemrosesan untuk normalisasi dan pembersihan *noise*. Setelah itu, sinyal diproses menggunakan *Fast Fourier Transform* (FFT) untuk mengubah sinyal waktu-ke-waktu menjadi spektrum frekuensi. Hasil dari FFT kemudian diteruskan ke filter bank mel untuk menghasilkan skala mel, yang mencerminkan persepsi pendengaran manusia. Mel-spektrogram yang dihasilkan dari proses ini dikonversi ke skala desibel (dB) untuk representasi yang lebih akurat dari intensitas suara. Tahap akhir adalah visualisasi mel-spektrogram menggunakan alat bantu grafis. Visualisasi ini memungkinkan peneliti untuk melihat distribusi frekuensi dan intensitas suara secara waktu-ke-waktu, membantu dalam identifikasi pola vokalisasi hewan. Tiga parameter utama yang dianalisis dari tiap mel-spektrogram yaitu:

1. **Frekuensi dominan (Hz):** Menunjukkan rentang nada utama tiap spesies, penting untuk membedakan vokalisasi.
2. **Durasi (detik):** Menggambarkan lamanya sinyal vokal berlangsung.
3. **Intensitas (dB):** Menunjukkan kekuatan suara, berkaitan dengan emosi atau konteks vokal.

Parameter ini dipilih karena secara biologis mencerminkan tujuan komunikasi dan secara teknis dapat dimanfaatkan sebagai fitur utama dalam sistem klasifikasi suara hewan. Penggunaan mel-spektrogram untuk membandingkan lintas spesies dan usia merupakan pendekatan yang relatif jarang digunakan dalam studi vokalisasi multi-spesies. Penelitian ini tidak hanya memetakan suara, tetapi juga mengekstraksi pola dominan yang berulang berdasarkan struktur akustik, sebagai langkah awal menuju pengembangan sistem identifikasi otomatis berbasis suara.

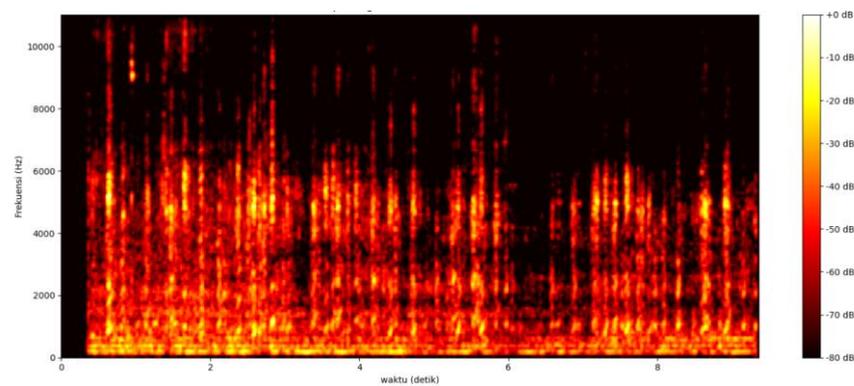
3. Results and discussion

Pada penelitian ini, parameter yang diuji adalah frekuensi suara, durasi suara, dan intensitas suara dari berbagai jenis hewan. Parameter frekuensi mengukur berapa kali gelombang suara bergetar per detik, yang dinyatakan dalam Hertz (Hz). Durasi suara mengukur berapa lama suara tersebut berlangsung, biasanya dinyatakan dalam detik. Intensitas suara mengukur kekuatan atau volume suara, yang dinyatakan dalam desibel (dB). Melalui analisis mel-spektrogram, kami dapat memvisualisasikan dan mempelajari

bagaimana setiap parameter ini bervariasi dan berinteraksi dalam vokalisasi hewan. Dengan menggunakan teknik ini, pola vokalisasi yang lebih halus dapat diidentifikasi dan dianalisis secara mendalam.

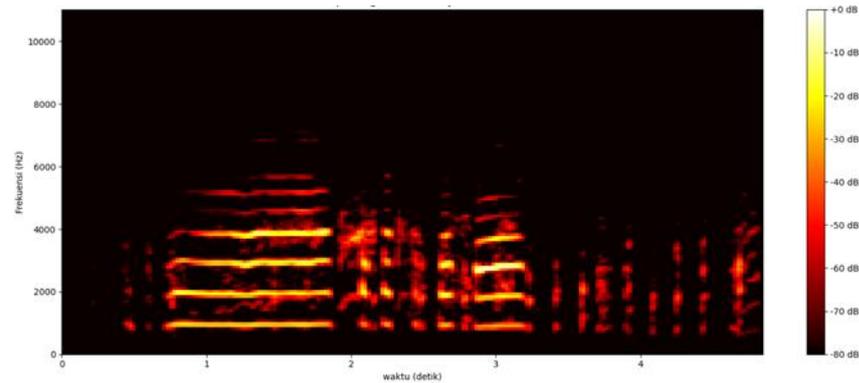
Frekuensi suara menjadi parameter utama yang diuji untuk setiap spesies, dengan variasi frekuensi yang tercatat sangat bergantung pada spesies dan tujuan vokalisasi mereka. Durasi suara memberikan informasi terkait dengan cara spesies berkomunikasi—baik dalam konteks sosial atau peringatan bahaya—sementara intensitas suara mengungkapkan seberapa kuat pesan yang ingin disampaikan oleh hewan. Melalui teknik mel-spektrogram, pola-pola ini dapat diinterpretasikan secara visual, memberikan wawasan tentang kebiasaan vokalisasi setiap spesies.

Pada Gambar 3, terlihat bahwa suara bebek memiliki banyak komponen frekuensi tinggi, terutama dalam rentang 2000 hingga 8000 Hz, yang muncul secara berulang dalam pola yang berirama. Intensitas suara yang ditunjukkan dengan warna kuning dan merah terang, menunjukkan bahwa bebek menghasilkan suara yang cukup kuat (sekitar 0 hingga -20 dB) dalam rentang frekuensi tersebut. Secara keseluruhan, suara bebek menunjukkan pola vokalisasi yang terstruktur dan berirama, mencerminkan fungsi sosial atau ekologis dalam berkomunikasi dengan individu lain di kelompoknya.



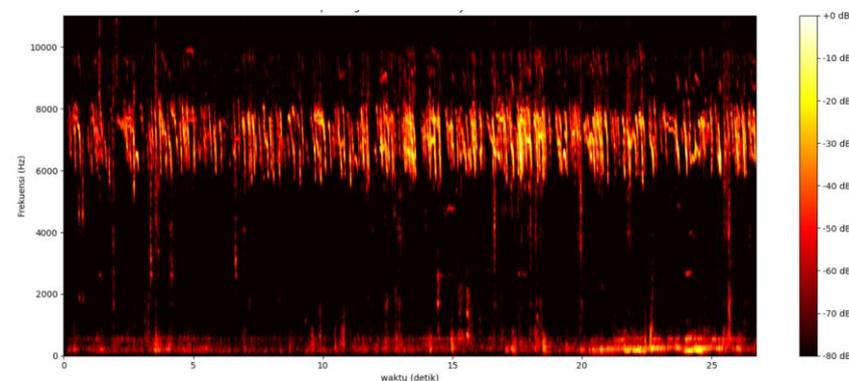
Gambar 3: Spektrogram Suara Bebek

Spektrogram ayam di Gambar 4 menunjukkan distribusi frekuensi suara selama sekitar 4 detik. Frekuensi suara berkisar dari 0 hingga 10.000 Hz, dengan intensitas yang lebih tinggi ditandai oleh warna yang lebih terang. Pada spektrogram ini, terlihat bahwa suara ayam memiliki komponen frekuensi yang kuat di sekitar 2000 hingga 6000 Hz, dengan beberapa pita frekuensi yang konsisten di bagian awal spektrogram. Setelah 2 detik, terdapat pola frekuensi yang lebih bervariasi dan tersebar, menunjukkan perubahan dinamis dalam vokalisasi ayam. Intensitas suara ditunjukkan dengan warna kuning dan merah terang, menunjukkan bahwa ayam menghasilkan suara dengan kekuatan yang cukup (sekitar 0 hingga -20 dB) dalam rentang frekuensi tersebut. Secara keseluruhan, spektrogram ini menunjukkan karakteristik vokalisasi ayam yang khas, dengan pola frekuensi yang berulang dan intensitas yang bervariasi sepanjang durasi suara.



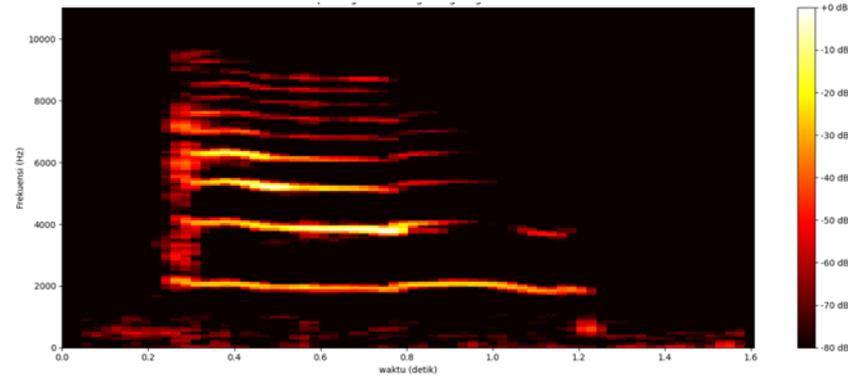
Gambar 4: Spektrogram Suara Ayam

Spektrogram anak ayam di Gambar 5 menunjukkan distribusi frekuensi suara selama sekitar 27 detik. Sebagian besar aktivitas suara anak ayam terjadi dalam rentang frekuensi 5.000 hingga 9.000 Hz, dengan puncak intensitas konsisten di sekitar 6.000 hingga 8.000 Hz, menunjukkan bahwa suara anak ayam cenderung berada di frekuensi menengah hingga tinggi. Durasi total spektrogram ini sekitar 27 detik, menunjukkan suara anak ayam yang kontinu tanpa jeda signifikan, dengan variasi intensitas yang muncul secara periodik. Intensitas suara yang lebih tinggi (0 hingga -20 dB) terutama terlihat pada frekuensi tinggi, sementara intensitas yang lebih rendah (-50 hingga -80 dB) terlihat pada frekuensi yang lebih rendah. Secara keseluruhan, spektrogram ini mencerminkan pola vokalisasi anak ayam yang memiliki karakteristik frekuensi menengah hingga tinggi dengan variasi intensitas sepanjang durasi suara.



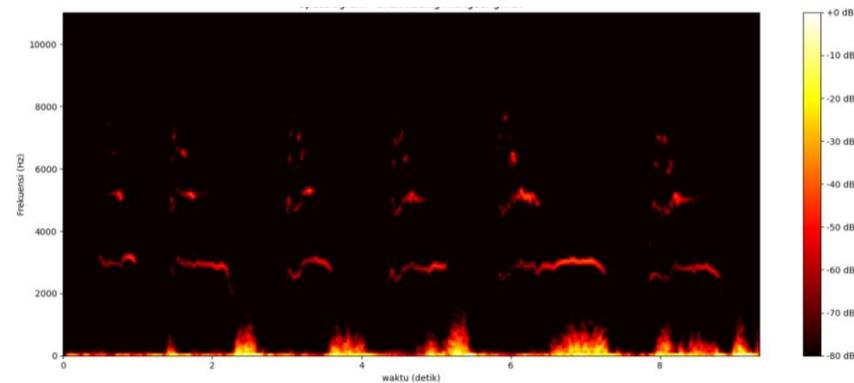
Gambar 5: Spektrogram Suara Anak Ayam

Spektrogram suara kucing di Gambar 6 menunjukkan distribusi frekuensi suara selama sekitar 1,6 detik. Frekuensi suara kucing berkisar dari 0 hingga 10.000 Hz, dengan aktivitas suara yang paling jelas terlihat pada pita frekuensi 2.000 hingga 8.000 Hz. Suara kucing menunjukkan beberapa puncak intensitas yang signifikan pada frekuensi sekitar 2.000 Hz, 4.000 Hz, dan 6.000 Hz, dengan warna kuning dan merah terang yang menandakan intensitas tinggi, yaitu sekitar 0 hingga -20 dB. Durasi suara kucing dalam spektrogram ini relatif singkat, namun menunjukkan pola yang konsisten dan berulang, mengindikasikan bahwa suara tersebut memiliki karakteristik vokalisasi yang khas. Intensitas suara yang lebih rendah (sekitar -50 hingga -80 dB) terlihat di bagian bawah spektrogram, menunjukkan adanya komponen frekuensi rendah yang kurang dominan. Secara keseluruhan, spektrogram ini mencerminkan bahwa suara kucing memiliki variasi frekuensi dan intensitas yang cukup jelas dalam durasi pendek.



Gambar 6: Spektrogram Suara Kucing

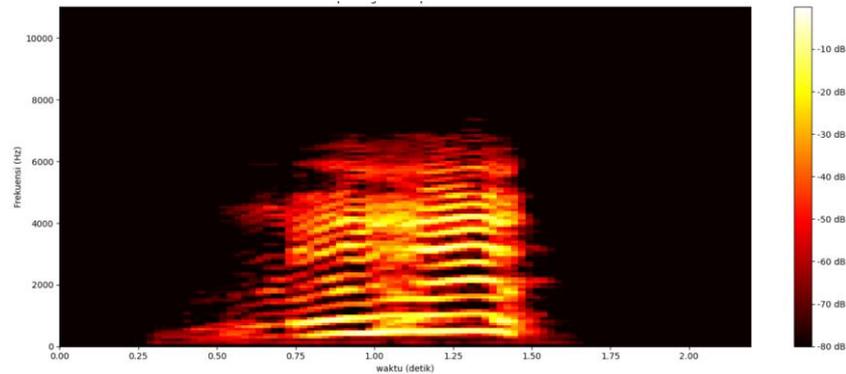
Spektrogram suara anak kucing di Gambar 7 menunjukkan distribusi frekuensi suara selama sekitar 9 detik. Frekuensi suara anak kucing berkisar dari 0 hingga 10.000 Hz, dengan aktivitas suara yang paling jelas terlihat pada pita frekuensi sekitar 2.000 hingga 6.000 Hz. Suara anak kucing menunjukkan pola yang berulang setiap sekitar 1 detik, dengan intensitas yang cukup tinggi di beberapa puncak frekuensi. Warna kuning dan merah terang menunjukkan intensitas tinggi, sekitar 0 hingga -20 dB, terutama pada frekuensi sekitar 2.000 hingga 4.000 Hz. Intensitas yang lebih rendah (sekitar -50 hingga -80 dB) terlihat pada frekuensi yang lebih rendah, menunjukkan bahwa komponen frekuensi rendah kurang dominan dalam suara anak kucing. Pola yang berulang ini mengindikasikan bahwa anak kucing mengeluarkan suara secara periodik dengan karakteristik vokalisasi yang konsisten. Secara keseluruhan, spektrogram ini mencerminkan bahwa suara anak kucing memiliki variasi frekuensi dan intensitas yang jelas, dengan pola yang teratur dan berulang sepanjang durasi suara.



Gambar 7: Spektrogram Suara Anak Kucing

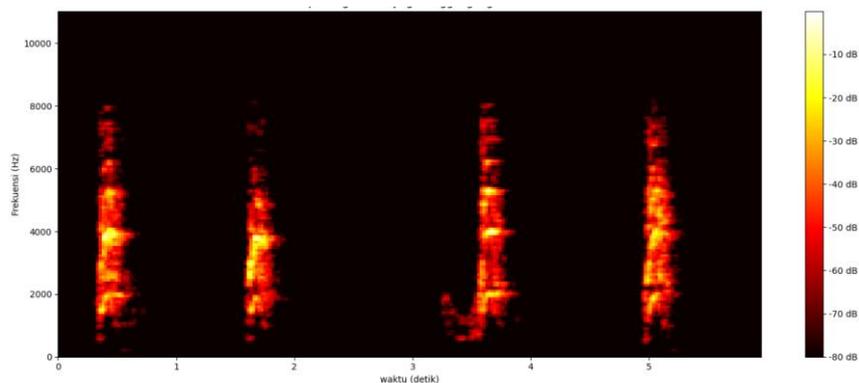
Spektrogram suara sapi di Gambar 8 menunjukkan distribusi frekuensi suara selama sekitar 2 detik. Frekuensi suara sapi berkisar dari 0 hingga 10.000 Hz, dengan aktivitas suara yang paling jelas terlihat pada pita frekuensi sekitar 0 hingga 4.000 Hz. Suara sapi menunjukkan pola intensitas yang kuat pada frekuensi rendah hingga menengah, dengan puncak intensitas yang signifikan di sekitar 1.000 hingga 4.000 Hz, ditandai oleh warna kuning dan merah terang yang menunjukkan intensitas tinggi, sekitar 0 hingga -20 dB. Pola frekuensi terlihat cukup stabil dan berjenjang, mengindikasikan suara yang mendalam dan konsisten, yang khas untuk vokalisasi sapi. Intensitas yang lebih rendah (sekitar -50 hingga -80 dB) terlihat pada frekuensi yang lebih tinggi, menunjukkan bahwa komponen frekuensi tinggi kurang dominan dalam suara sapi. Secara keseluruhan, spektrogram ini mencerminkan bahwa suara sapi memiliki karakteristik vokalisasi yang

kuat pada frekuensi rendah hingga menengah dengan intensitas yang cukup tinggi dan konsisten sepanjang durasi suara.



Gambar 8: Spektrogram Suara Sapi

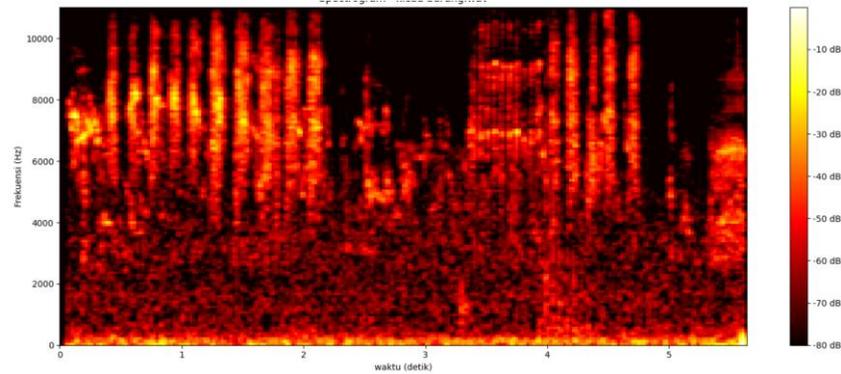
Spektrogram suara anjing di Gambar 9 menunjukkan distribusi frekuensi suara selama sekitar 5 detik. Frekuensi suara anjing berkisar dari 0 hingga 10.000 Hz, dengan aktivitas suara yang paling jelas terlihat pada pita frekuensi 2.000 hingga 8.000 Hz. Suara anjing menunjukkan pola yang berulang dengan interval sekitar 1 detik, dengan setiap pola suara memiliki intensitas yang tinggi pada frekuensi sekitar 4.000 hingga 6.000 Hz, ditandai dengan warna kuning dan merah terang yang menunjukkan intensitas tinggi, yaitu sekitar 0 hingga -20 dB. Pola ini mengindikasikan bahwa suara anjing memiliki karakteristik vokalisasi yang kuat dan berirama. Frekuensi yang lebih rendah (di bawah 2.000 Hz) dan lebih tinggi (di atas 8.000 Hz) menunjukkan sedikit aktivitas suara, yang menandakan bahwa komponen frekuensi menengah hingga tinggi lebih dominan dalam suara anjing. Secara keseluruhan, spektrogram ini mencerminkan bahwa suara anjing memiliki pola frekuensi dan intensitas yang jelas dan berulang, dengan karakteristik vokalisasi yang kuat dalam rentang frekuensi menengah hingga tinggi.



Gambar 9: Spektrogram Suara Anjing

Spektrogram suara burung di Gambar 10 menunjukkan distribusi frekuensi suara selama sekitar 5 detik. Frekuensi suara burung berkisar dari 0 hingga 10.000 Hz, dengan aktivitas suara yang paling jelas terlihat pada pita frekuensi 2.000 hingga 8.000 Hz. Suara burung menunjukkan pola frekuensi yang kompleks dan berulang dengan intensitas yang tinggi di berbagai frekuensi. Puncak intensitas terlihat pada frekuensi sekitar 4.000 hingga 8.000 Hz, ditandai dengan warna kuning dan merah terang yang menunjukkan intensitas tinggi, yaitu sekitar 0 hingga -20 dB. Pola ini mengindikasikan bahwa burung menghasilkan suara dengan karakteristik vokalisasi yang beragam dan dinamis. Frekuensi yang lebih rendah

(di bawah 2.000 Hz) menunjukkan aktivitas yang lebih sedikit, menandakan bahwa komponen frekuensi tinggi lebih dominan dalam suara burung. Intensitas suara yang lebih rendah (sekitar -50 hingga -80 dB) terlihat di bagian bawah spektrogram, menunjukkan adanya variasi intensitas dalam vokalisasi burung. Secara keseluruhan, spektrogram ini mencerminkan bahwa suara burung memiliki pola frekuensi dan intensitas yang kompleks dan berulang, dengan karakteristik vokalisasi yang kuat dalam rentang frekuensi menengah hingga tinggi.



Gambar 10: Spektrogram Suara Burung

Berdasarkan analisis yang dilakukan pada berbagai spesies, hasil spektrogram ini memberikan gambaran menyeluruh mengenai perbedaan pola vokalisasi antar spesies hewan. Setiap suara hewan yang direkam menunjukkan pola frekuensi, durasi, dan intensitas yang khas, yang diukur dalam rentang frekuensi tertentu dan dianalisis untuk mengidentifikasi pola vokalisasi dominan. Dalam penelitian ini, kami berhasil menggambarkan bagaimana setiap spesies menggunakan vokalisasi mereka untuk berkomunikasi dalam konteks sosial dan ekologis yang berbeda. Tabel di bawah ini memberikan gambaran menyeluruh tentang karakteristik akustik dari suara hewan-hewan yang diuji, yang meliputi anak ayam, kucing, anak kucing, sapi, anjing, burung, bebek, dan ayam. Berikut adalah tabel yang merangkum hasil pengujian:

Tabel 1: Perbandingan Pola Komunikasi Hewan

| Hewan | Durasi (detik) | Rentang Frekuensi (Hz) | Frekuensi Dominan (Hz) | Intensitas Tinggi (dB) | Pola Frekuensi | Keterangan |
|-----------|----------------|------------------------|------------------------|------------------------|-------------------|--|
| Bebek | 8 | 0 - 10.000 | 2.000 - 8.000 | 0 hingga - 20 | Bervariasi | Frekuensi menengah-tinggi, intensitas tinggi tersebar luas |
| Ayam | 4 | 0 - 10.000 | 2.000 - 6.000 | 0 hingga - 20 | Berulang | Frekuensi menengah, intensitas tinggi, pola berulang |
| Anak Ayam | 27 | 0 - 10.000 | 5.000 - 9.000 | 0 hingga - 20 | Kontinu, periodik | Frekuensi menengah-tinggi, intensitas bervariasi |

| Hewan | Durasi (detik) | Rentang Frekuensi (Hz) | Frekuensi Dominan (Hz) | Intensitas Tinggi (dB) | Pola Frekuensi | Keterangan |
|-------------|----------------|------------------------|------------------------|------------------------|--------------------|---|
| | | | | | | secara periodik |
| Kucing | 1.6 | 0 - 10.000 | 2.000 - 8.000 | 0 hingga - 20 | Stabil, berjenjang | Frekuensi menengah-tinggi, variasi frekuensi dan intensitas |
| Anak Kucing | 9 | 0 - 10.000 | 2.000 - 6.000 | 0 hingga - 20 | Berulang | Frekuensi menengah, intensitas tinggi, pola berulang |
| Sapi | 2 | 0 - 10.000 | 1.000 - 4.000 | 0 hingga - 20 | Stabil, berjenjang | Frekuensi rendah-menengah, intensitas kuat dan konsisten |
| Anjing | 5 | 0 - 10.000 | 2.000 - 8.000 | 0 hingga - 20 | Berulang | Frekuensi menengah-tinggi, intensitas tinggi, pola berulang |
| Burung | 5 | 0 - 10.000 | 4.000 - 8.000 | 0 hingga - 20 | Kompleks, berulang | Frekuensi menengah-tinggi, vokalisasi beragam dan dinamis |

4. Conclusion

Penelitian ini mengungkap bahwa meskipun setiap spesies hewan memiliki karakteristik vokalisasi yang khas, terdapat pola-pola akustik serupa yang muncul lintas spesies, khususnya dalam aspek frekuensi dominan, durasi, dan intensitas suara. Kesamaan ini menunjukkan adanya kemungkinan fungsi vokalisasi yang serupa, baik sebagai respons terhadap lingkungan maupun sebagai sarana komunikasi sosial.

Secara khusus, kelompok burung dan anak ayam menunjukkan kompleksitas vokal yang tinggi di rentang frekuensi menengah hingga tinggi, sedangkan mamalia seperti kucing, anak kucing, dan anjing memperlihatkan pola vokalisasi berulang yang konsisten dengan intensitas yang relatif tinggi. Bebek dan ayam menunjukkan karakteristik yang mendekati pola-pola tersebut, menandakan adanya tumpang tindih akustik antara spesies unggas dan mamalia dalam konteks tertentu.

Refleksi dari temuan ini memperlihatkan bahwa evolusi vokalisasi hewan tidak terjadi secara acak, melainkan dipengaruhi oleh kebutuhan adaptif dan sosial yang serupa, meskipun berasal dari filum yang berbeda. Dengan demikian, vokalisasi dapat menjadi

jendela penting untuk memahami dinamika komunikasi, keterikatan sosial, hingga evolusi perilaku antarspesies. Penelitian ini membuka peluang untuk eksplorasi lebih lanjut tentang bagaimana sinyal suara dapat digunakan sebagai indikator interaksi lintas spesies maupun pengembangan sistem pengenalan suara berbasis bioakustik.

References

- [1] R. P. Heryani, "Studi kasus produksi suara dan tingkah laku lumba-lumba di perairan Case study of sound production and dolphin behavior in waters," *J. Perikan. dan Kelaut.*, vol. 27, no. 1, pp. 100–104, 2022.
- [2] A. G. Tarihoran and S. Hadi, "Identification of Avifauna in the Lowland Forest," in *AIP Conference Proceedings*, 2020, no. September 2020, pp. 1–4.
- [3] S. H. Lee, H. W. Yoon, H. R. Noh, J. H. Kim, and S. W. Lee, "Multi-SpectroGAN: High-Diversity and High-Fidelity Spectrogram Generation with Adversarial Style Combination for Speech Synthesis," in *35th AAAI Conference on Artificial Intelligence, AAAI 2021*, 2021, vol. 14B, pp. 13198–13206, doi: 10.1609/aaai.v35i14.17559.
- [4] A. Meghanani, A. C. S., and A. G. Ramakrishnan, "An Exploration of Log-Mel Spectrogram and MFCC Features for Alzheimer's Dementia Recognition From Spontaneous Speech," in *The 8th IEEE Spoken Language Technology Workshop*, 2021, pp. 670–677.
- [5] H. Guo, Y. Wang, N. Ivanov, L. Xiao, and Q. Yan, "SPECPATCH: Human-In-The-Loop Adversarial Audio Spectrogram Patch Attack on Speech Recognition," in *Proceedings of the ACM Conference on Computer and Communications Security*, 2022, pp. 1353–1366, doi: 10.1145/3548606.3560660.
- [6] W. Penar, A. Magiera, and C. Klocek, "Applications of Bioacoustics in Animal Ecology," *Ecol. Complex.*, pp. 1–5, 2020.
- [7] C. Abrahams and M. Geary, "Combining Bioacoustics and Occupancy Modelling for Improved Monitoring of Rare Breeding Bird Populations," *Ecol. Indic.*, vol. 112, 2020.
- [8] H. L. Bateman, S. B. Riddle, and E. S. Cubley, "Using Bioacoustics to Examine Vocal Phenology of Neotropical Migratory Birds on a Wild and Scenic River in Arizona," *Birds*, vol. 2, no. 3, pp. 261–274, 2021, doi: 10.3390/birds2030019.
- [9] A. Michez, S. Broset, and P. Lejeune, "Ears in the sky: Potential of drones for the bioacoustic monitoring of birds and bats," *Drones*, vol. 5, no. 1, pp. 1–19, 2021, doi: 10.3390/drones5010009.
- [10] B. Van Merriënboer, J. Hamer, V. Dumoulin, E. Trianta, and T. Denton, "Birds , bats and beyond : evaluating generalization in bioacoustics models," *Front. Bird Sci.*, vol. 3, no. 1369756, pp. 1–16, 2024, doi: 10.3389/fbirs.2024.1369756.
- [11] T. Zhang, G. Feng, J. Liang, and T. An, "Acoustic Scene Classification Based on Mel Spectrogram Decomposition and Model Merging," *Appl. Acoust.*, vol. 182, p. 108258, 2021.
- [12] T. Tran and J. Lundgren, "Drill fault diagnosis based on the scalogram and mel spectrogram of sound signals using artificial intelligence," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 203655–203666, 2020.