

DOI: doi.org/10.21009/03.1201.FA06

EKSTRAKSI FITUR BUNYI KETUKAN BUAH KELAPA BERBASIS *POWER-NORMALIZED CEPSTRAL COEFFICIENTS* (PNCC)

Muhlis Ahmad Abdillah^{a)}, Bambang Heru Iswanto^{b)}, Haris Suhendar^{c)}

Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Jakarta, Jalan Rawamangun Muka 1, Jakarta 13220,
Indonesia

Email: ^{a)}mhlsahmd66@gmail.com, ^{b)}bhi@unj.ac.id, ^{c)}haris_suhendar@unj.ac.id

Abstrak

Bunyi ketukan buah kelapa bervariasi bergantung pada tingkat kematangan buah kelapa. Penentuan tingkat kematangan buah kelapa secara manual memiliki beberapa kendala yang perlu diatasi. Proses ini cenderung subjektif dan rentan terhadap ketidakkonsistenan, karena tergantung pada pengalaman dan penilaian individu. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk memaparkan hasil eksperimen ekstraksi ciri bunyi kelapa menggunakan *Power-Normalized Cepstral Coefficients* (PNCC). Melalui pendekatan ini diperoleh gambaran yang lebih objektif dan komprehensif tentang perbedaan karakteristik bunyi ketukan pada tingkat kematangan yang berbeda. PNCC digunakan untuk mengekstraksi fitur bunyi ketukan buah kelapa yang muda, matang, dan tua. Data yang digunakan dalam penelitian ini diakuisisi menggunakan mikrofon dua arah yang ditempatkan pada kotak tertutup. Fitur diekstrak dengan membagi rekaman bunyi ketukan berdurasi satu detik. Fitur PNCC diekstrak dari bunyi ketukan buah kelapa dan dilakukan reduksi dimensi menggunakan *Principal Component Analysis* (PCA) dengan tiga jenis kernel, yaitu Linear, RBF, dan Sigmoid. Evaluasi perbedaan karakteristik bunyi dilakukan dengan menghitung *Silhouette Score* pada setiap kernel PCA. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada kernel Linear, RBF, dan Sigmoid, diperoleh *Silhouette Score* berturut-turut sebesar 0.205446, 0.179289, dan 0.194963. Temuan ini memberikan pemahaman lebih dalam tentang perbedaan karakteristik bunyi ketukan pada tingkat kematangan buah kelapa yang berbeda dan dapat menjadi dasar untuk pengembangan metode non-invasif yang efisien dalam menentukan tingkat kematangan buah kelapa secara akurat.

Kata-kata kunci: analisis bunyi, sinyal akustik, buah kelapa, PNCC, ekstraksi fitur

Abstract

The tapping sound of a coconut varies depending on the ripeness level of the coconut. Manually determining the ripeness level of a coconut has several obstacles that need to be overcome. This process tends to be subjective and prone to inconsistency, as it depends on individual experience and judgment. Therefore, this study aims to present the experimental results of coconut sound feature extraction using *Power-Normalized Cepstral Coefficients* (PNCC). Through this approach, a more objective and comprehensive picture of the differences in beat characteristics at different maturity levels is obtained. PNCC was used to extract the beat sound features of young, mature and old coconuts. The data used in this study was acquired using a two-way microphone placed in a closed box. Features were extracted by splitting a one-second recording of the tapping sound. PNCC features were extracted from the coconut tapping sound and dimension reduction was performed using *Principal Component Analysis* (PCA) with three types of kernels, namely Linear, RBF, and Sigmoid. Evaluation of differences in sound characteristics was carried out by calculating the *Silhouette Score* on each PCA kernel. The results

showed that for Linear, RBF, and Sigmoid kernels, the Silhouette Score was 0.205446, 0.179289, and 0.194963, respectively. These findings provide a deeper understanding of the differences in the characteristics of tapping sounds at different maturity levels of coconut fruits and can be the basis for the development of efficient non-invasive methods to accurately determine the maturity level of coconut fruits.

Keywords: sound analysis, acoustic signal, coconut fruit, PNCC, feature extraction.

PENDAHULUAN

Penentuan tingkat kematangan buah kelapa adalah aspek penting dalam industri pertanian yang mempengaruhi kualitas dan keberhasilan produksi. Secara tradisional, penilaian tingkat kematangan buah kelapa dilakukan secara manual oleh pedagang dengan mendengarkan suara ketukan buah kelapa. Namun, metode manual ini memiliki beberapa kekurangan yang perlu diperhatikan. Proses penilaian secara manual ini memiliki tingkat ketidakakuratan dan variabilitas tinggi yang didasari pada subjektivitas dan kemampuan menentukan kematangan kelapa dari masing-masing pedagang [1][2].

Dalam menentukan tingkat kematangan buah kelapa, proses seleksi secara manual memiliki beberapa kelemahan yang perlu diperhatikan. Selain rentan terhadap ketidakkonsistenan, proses ini juga memakan waktu yang lama, membutuhkan biaya tinggi, dan sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti gangguan suara angin dan suara lainnya [3]. Kesalahan dalam menentukan tingkat kematangan buah kelapa dapat berdampak negatif pada kualitas kelapa yang akan dijual [4]. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan suatu sistem yang dapat membantu masyarakat secara efektif dalam menentukan tingkat kematangan buah kelapa.

Untuk mengatasi kendala-kendala tersebut, pendekatan analisis karakteristik fitur bunyi dengan menggunakan pembelajaran mesin menjadi alternatif yang menarik. Pembelajaran mesin adalah cabang ilmu komputer yang memungkinkan komputer untuk belajar dan membuat prediksi berdasarkan data tanpa adanya pemrograman eksplisit. Dalam konteks analisis bunyi ketukan buah kelapa, pendekatan ini dapat digunakan untuk mengenali pola-pola karakteristik yang berbeda antara tingkat kematangan yang berbeda.

Sebelumnya, penelitian yang dilakukan oleh Gatchalian, dkk [5] menemukan perbedaan karakteristik suara ketukan pada buah kelapa dengan tingkat kematangan yang berbeda. Penelitian ini menggunakan metode FFT untuk menganalisis gelombang suara dan menghasilkan magnitudo spektral. Hasil penelitian menunjukkan bahwa buah kelapa muda menghasilkan suara yang padat sedangkan buah kelapa matang dan tua menghasilkan suara yang berongga. Selain itu daya rata-rata yang dihitung dari magnitudo spektrum menunjukkan bahwa buah kelapa muda memiliki daya rata-rata yang lebih rendah dibandingkan dengan buah kelapa matang dan tua.

Pada penelitian ini, dilakukan analisis fitur bunyi dengan pendekatan yang berbeda yaitu dengan menggunakan PNCC dan dimensi reduksi menggunakan PCA. Perbedaan karakteristik bunyi ketukan dari masing-masing tingkat kematangan yang berbeda dipelajari, serta melakukan evaluasi dengan menggunakan *Silhouette Score* pada beberapa kernel PCA seperti Linear, RBF, dan Sigmoid. Dengan pendekatan ini diperoleh pemahaman yang lebih mendalam mengenai hubungan antara fitur bunyi dan tingkat kematangan buah kelapa, serta mengidentifikasi fitur-fitur yang paling relevan untuk membedakan tingkat kematangan secara efektif.

METODOLOGI

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah rekaman bunyi ketukan buah kelapa yang diperoleh menggunakan mikrofon dua arah yang ditempatkan di dalam kotak tertutup. Setiap rekaman bunyi ketukan memiliki durasi satu detik untuk memastikan konsistensi dalam analisis. Pengambilan data dilakukan pada buah kelapa dengan tingkat kematangan yang berbeda yaitu muda, matang dan tua.

Ekstraksi fitur dilakukan menggunakan teknik PNCC yang digunakan untuk merepresentasikan karakteristik spektral bunyi dalam domain frekuensi dan mel. Proses ekstraksi fitur melibatkan

langkah-langkah seperti peningkatan awal (*pre-emphasis*), pembagian sinyal bunyi menjadi segmen-segmen pendek (*framing*), pengaplikasian fungsi jendela pada setiap segmen sinyal (*windowing*), transformasi Fourier, dan perhitungan PNCC [6]. Fitur-fitur PNCC yang diekstraksi akan digunakan sebagai data masukan dalam analisis karakteristik bunyi pada tingkat kematangan yang berbeda.

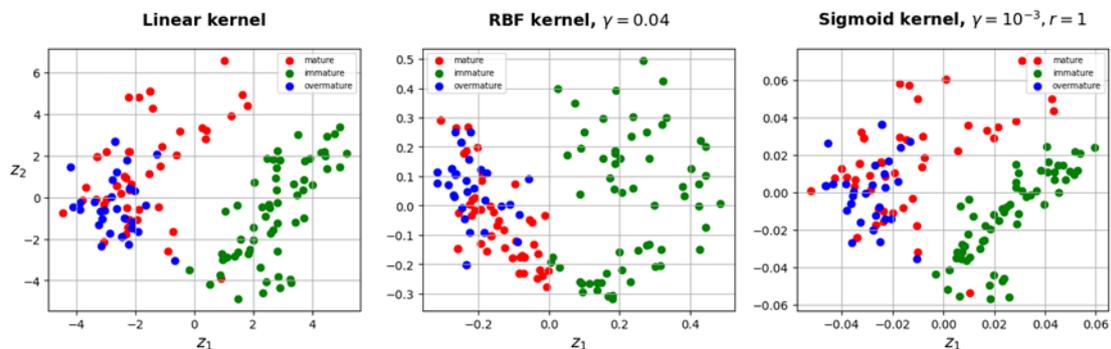
Analisis karakteristik bunyi dilakukan menggunakan metode reduksi dimensi PCA. PCA adalah teknik statistik yang digunakan untuk mengurangi dimensi data dengan tujuan memperoleh representasi yang lebih ringkas namun mempertahankan informasi yang penting. PCA melakukan transformasi data ke ruang dimensi yang lebih rendah dengan mengidentifikasi pola varian tertinggi dalam data asli. Komponen utama yang dihasilkan oleh PCA merupakan kombinasi linear dari variabel asli yang paling berkontribusi terhadap varian total data [7]. PCA digunakan untuk mengurangi dimensi fitur PNCC dan mengekstraksi pola penting yang membedakan tingkat kematangan buah kelapa. Hasilnya akan memungkinkan pemvisualisasian perbedaan karakteristik bunyi antara buah kelapa muda, matang, dan tua.

Evaluasi dilakukan dengan menggunakan metrik *Silhouette Score* pada beberapa kernel PCA, yakni Linear, RBF, dan Sigmoid. *Silhouette Score* adalah metrik evaluasi yang digunakan untuk mengukur sejauh mana suatu objek dalam satu kelompok serupa dengan objek dalam kelompok yang sama dibandingkan dengan kelompok yang lain [8]. Nilai *Silhouette Score* berkisar antara -1 hingga 1, di mana nilai positif mendekati 1 menunjukkan bahwa objek tersebut cocok dalam kelompoknya, sementara nilai negatif mendekati -1 menandakan bahwa objek mungkin lebih cocok dalam kelompok yang berbeda [9]. Dalam konteks penelitian ini, *Silhouette Score* digunakan untuk mengevaluasi kemampuan metode PCA dalam membedakan karakteristik bunyi ketukan buah kelapa pada tingkat kematangan yang berbeda, di mana nilai yang lebih tinggi menunjukkan tingkat pemisahan yang lebih baik antara tingkat kematangan.

Dengan menggunakan metode di atas, penelitian ini bertujuan untuk memahami perbedaan karakteristik bunyi ketukan buah kelapa pada tingkat kematangan yang berbeda. Ekstraksi fitur PNCC dan analisis menggunakan PCA diharapkan dapat memberikan wawasan yang lebih dalam mengenai perbedaan bunyi antara buah kelapa muda, matang, dan tua.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini, dilakukan PCA pada fitur PNCC bunyi ketukan buah kelapa untuk melihat visualisasi perbedaan karakteristik bunyi pada tingkat kematangan yang berbeda. Plot hasil PCA menunjukkan adanya dua kluster yang tidak terlalu terpisah dengan jelas, yaitu tingkat kematangan tua dan matang. Namun, terdapat satu kluster yang terpisah dengan sangat baik, yaitu tingkat kematangan muda. Hal ini mengindikasikan bahwa suara ketukan dari buah kelapa tua dan matang memiliki karakteristik yang relatif serupa, sedangkan suara ketukan dari buah kelapa dengan tingkat kematangan muda memiliki karakteristik yang sangat berbeda. Hasil ini menyoroti perbedaan signifikan dalam karakteristik bunyi ketukan pada tingkat kematangan yang berbeda, khususnya antara kelapa muda dengan kelapa tua dan matang.



GAMBAR 1. Hasil PCA dengan kernel Linear, RBF, dan Sigmoid

Hasil plot menunjukkan bahwa meskipun klaster untuk kelapa tua dan matang tidak terpisahkan dengan jelas, terdapat sebuah tren yang terlihat pada plot tersebut. Tren tersebut menunjukkan bahwa semakin kecil nilai pada sumbu Z1, maka tingkat kematangan cenderung condong pada tingkat kematangan ‘tua’ (*overmature*). Selanjutnya, dilakukan evaluasi menggunakan metrik *Silhouette Score* untuk masing-masing kernel PCA.

TABEL 1. Silhouette Score

Kernel	Silhouette Score
Linear	0.205446
RBF	0.179289
Sigmoid	0.194963

Nilai *Silhouette Score* yang diperoleh dari ketiga kernel PCA (Linear, RBF, dan Sigmoid) berada dalam kisaran positif, menunjukkan bahwa ada tingkat pemisahan yang baik antara kelompok-kelompok kematangan buah kelapa dalam analisis menggunakan PCA. Nilai *Silhouette Score* yang lebih tinggi mengindikasikan bahwa objek dalam kelompok memiliki kesamaan yang lebih tinggi dengan anggota dalam kelompok yang sama dibandingkan dengan kelompok lain.

SIMPULAN

Dalam penelitian ini dilakukan analisis karakteristik fitur bunyi ketukan buah kelapa berdasarkan PNCC dengan menggunakan PCA. Ditemukan bahwa bunyi ketukan buah kelapa pada tingkat kematangan yang berbeda memiliki perbedaan karakteristik yang signifikan. Hasil plot PCA menunjukkan bahwa meskipun kelapa tua dan matang tidak terpisahkan dengan jelas, terdapat tren yang menunjukkan semakin kecil nilai pada sumbu Z1 maka tingkat kematangan cenderung condong pada tingkat kematangan ‘tua’. Penggunaan tiga kernel PCA (Linear, RBF, dan Sigmoid) memberikan pemisahan yang baik antara tingkat kematangan. Hasil evaluasi menggunakan *Silhouette Score* menunjukkan bahwa metode PCA memberikan nilai *Silhouette Score* yang positif, menandakan adanya pemisahan yang baik antara tingkat kematangan buah kelapa. Temuan ini menunjukkan potensi penggunaan analisis karakteristik bunyi ketukan berdasarkan PNCC dan PCA sebagai metode non-invasif untuk menentukan tingkat kematangan buah kelapa. Penelitian selanjutnya dapat fokus pada pengembangan sistem klasifikasi tingkat kematangan buah kelapa menggunakan pendekatan pembelajaran mendalam (*deep learning*) atau model lainnya. Hal ini akan memungkinkan pengembangan solusi yang lebih akurat dan efisien dalam penentuan tingkat kematangan buah kelapa secara otomatis.

REFERENSI

- [1] Brosnan, Tadhg, Da-Wen Sun, “Inspection and grading of agricultural and food products by computer vision systems-a review,” *Computers and electronics in agriculture*, vol. 36, no. 2-3, pp. 193-213, 2002.
- [2] Donis-González *et al.*, “Assessment of chestnut (*Castanea spp.*) slice quality using color images,” *Journal of Food Engineering*, vol. 115, no. 3, pp. 407-414, 2013.
- [3] Bhargava, Anuja, Atul Bansal, “Fruits and vegetables quality evaluation using computer vision: A review,” *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*, vol. 33, no. 3, pp. 243-257, 2021.
- [4] Mohammadi *et al.*, Vahid, “Detecting maturity of persimmon fruit based on image processing technique,” *Scientia Horticulturae*, vol. 184, pp. 123-128, 2015.
- [5] Gatchalian *et al.*, “Measurement of young coconut (*Cocos nucifera*, L.) maturity by sound waves,” *Journal of food engineering*, vol. 23, no. 3, pp. 253-276, 1994.

- [6] Kim, Chanwoo, R. M. Stern, "Power-normalized cepstral coefficients (PNCC) for robust speech recognition," *IEEE/ACM Transactions on audio, speech, and language processing*, vol. 24, no. 7, pp. 1315-1329, 2016.
- [7] Pearson, Karl, "LIII. On lines and planes of closest fit to systems of points in space," *The London, Edinburgh and Dublin philosophical magazine and journal of science*, vol. 2, no. 11, pp. 559-572, 1901.
- [8] Rousseeuw, J. Peter, "Silhouettes: a graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis," *Journal of computational and applied mathematics*, vol. 20, pp. 53-65, 1987.
- [9] De Amorim, Renato Cordeiro, Christian Hennig, "Recovering the number of clusters in data sets with noise features using feature rescaling factors," *Information sciences*, vol. 324, pp. 126-145, 2015.

