

PENERAPAN DIMENSI FRAKTAL BOX COUNTING DAN K-MEANS DALAM KLASIFIKASI JENIS NGENGAT BERDASARKAN CORAK SAYAP

Feby Febriyanti Puji Lestari

Program Studi Matematika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya

e-mail: febyfebriyanti.22021@mhs.unesa.ac.id

Dwi Juniati

Program Studi Matematika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya

Penulis Korespondensi: dwi_juniati@unesa.ac.id

Abstrak

Ngengat merupakan kelompok serangga dalam ordo Lepidoptera yang memiliki tingkat keanekaragaman jenis tinggi yang tersebar pada berbagai habitat. Sebagai penyerbuk nokturnal dan bagian dari rantai makanan, ngengat memiliki peran penting dalam menjaga ekosistem. Namun, terdapat beberapa jenis ngengat mengalami penurunan populasi akibat perubahan iklim, degradasi habitat, serta akibat aktivitas manusia. Penurunan ini berpotensi mengganggu keseimbangan ekosistem, termasuk dalam proses penyerbukan dan kestabilan rantai makanan. Oleh karena itu, pemantauan populasi dan identifikasi jenis ngengat diperlukan sebagai langkah awal dalam menjaga keberlanjutan keanekaragaman hayati. Proses identifikasi jenis yang masih dilakukan secara manual memiliki keterbatasan karena bergantung pada keahlian pengamat dan memerlukan waktu yang relatif lama, terutama pada spesies dengan corak sayap kompleks dan serupa. Permasalahan tersebut mendorong perlunya pendekatan yang lebih objektif dan terukur. Penelitian ini bertujuan mengembangkan pendekatan kuantitatif berbasis pengolahan citra digital menggunakan dimensi fraktal *box counting* untuk merepresentasikan kompleksitas corak sayap, serta algoritma *K-Means* untuk proses pengelompokan. Penelitian dilakukan terhadap 150 citra dari 10 spesies ngengat yang berfokus pada corak sayap melalui tahapan pra-pengolahan, segmentasi, deteksi tepi, perhitungan dimensi fraktal *box counting*, klasifikasi, dan evaluasi akurasi. Hasil pengelompokan jenis ngengat tersebut menunjukkan tingkat akurasi mencapai 98%.

Kata Kunci: Corak Sayap Ngengat, *Box counting*, *K-Means*.

Abstract

Moths are a group of insects in the order Lepidoptera that have a high level of species diversity spread across various habitats. As nocturnal pollinators and part of the food chain, moths play an important role in maintaining the ecosystem. However, several species of moths are experiencing population declines due to climate change, habitat degradation, and human activities. This decline has the potential to disrupt the balance of ecosystems, including pollination processes and food chain stability. Therefore, monitoring moth populations and identifying moth species are necessary as initial steps in maintaining biodiversity sustainability. The process of species identification, which is still done manually, has limitations because it depends on the expertise of the observer and requires a relatively long time, especially for species with complex and similar wing patterns. This problem necessitates a more objective and measurable approach. This study aims to develop a quantitative approach based on digital image processing using box counting fractal dimensions to represent the complexity of wing patterns, as well as the K-Means algorithm for the clustering process. The research was conducted on 150 images from 10 species of moths focusing on wing patterns through the stages of pre-processing, segmentation, edge detection, calculation of fractal dimensions of box counting, classification, and accuracy evaluation. The results of the moth species clustering showed an accuracy rate of 98%.

Keywords: Moth Wing Patterns, *Box counting*, *K-Means*.

PENDAHULUAN

Ngengat memiliki tingkat keragaman jenis yang tinggi. Dibandingkan dengan kupu-kupu yang sama-sama berada dalam satu ordo *Lepidoptera*, ngengat memiliki jumlah spesies yang lebih banyak, dengan berbagai bentuk tubuh dan corak sayap yang

beragam. Keberadaan ngengat berperan penting dalam menjaga keseimbangan suatu ekosistem, antara lain sebagai rantai makanan alami bagi predator seperti burung, kelelawar, dan serangga pemangsa lainnya, serta berkontribusi sebagai penyerbuk pada berbagai jenis tumbuhan (Rani dkk.,

2023). Bahkan, banyak spesies ngengat yang berperan sebagai penyerbuk nokturnal yang aktif pada malam hari, sehingga keberadaan ngengat mendukung proses reproduksi dan keseimbangan ekosistem, khususnya pada tumbuhan yang bergantung pada penyerbukan malam hari (Macgregor dkk., 2014). Selain itu, corak sayap ngengat tidak hanya berfungsi sebagai identitas spesies tetapi juga sebagai strategi pertahanan diri melalui kamuflase, mimikri, maupun sinyal peringatan terhadap predator (Tang dkk., 2022).

Dalam kajian biodiversitas, ngengat dapat digunakan sebagai bioindikator karena populasinya cenderung sensitif terhadap perubahan-perubahan kondisi lingkungan. Perubahan jumlah maupun persebaran ngengat dapat menyebabkan adanya gangguan ekosistem, seperti perubahan iklim, degradasi habitat, serta akibat aktivitas manusia (Conrad dkk., 2006). Penurunan populasi diberbagai wilayah menjadi perhatian global karena dapat berdampak pada keseimbangan ekosistem, termasuk penyerbukan dan kestabilan rantai makanan.

Secara biologis, beberapa spesies ngengat memiliki fase dewasa (imago) yang relatif singkat sebagai bagian dari karakteristik alaminya, seperti sebagian ngengat tidak dapat mengonsumsi makanan pada fase dewasa, fokus utama pada proses reproduksinya, tingginya penggunaan energi dalam beraktivitas, atau struktur tubuh ngengat dewasa yang mengalami reduksi sehingga memang tidak bisa untuk bertahan 1 lama (Scoble, 1995). Faktor-faktor tersebut menyebabkan sebagian fase dewasa ngengat memiliki durasi yang terbatas yang hanya bisa bertahan dalam hitungan hari. Kondisi tersebut menyebabkan ngengat sangat bergantung oleh keberhasilan setiap tahap siklus hidupnya. Dengan demikian, identifikasi spesies ngengat diperlukan sebagai langkah awal untuk mendukung pemantauan ekosistem dan upaya menjaga keberlanjutan keanekaragaman hayati.

Identifikasi dan klasifikasi ngengat umumnya dilakukan secara manual dengan mengamati karakteristik fisiknya dan dilakukan oleh para ahli taksonomi. Metode identifikasi secara manual memiliki beberapa keterbatasan, termasuk tergantungan tingkat tinggi pada keahlian dan ketelitian, serta prosesnya yang membutuhkan cukup banyak waktu, terutama jika dihadapkan dengan spesies ngengat yang memiliki pola yang

serupa (Scoble, 1995). Selain itu, metode ini dianggap subjektif karena hasilnya bergantung pada perspektif dan penilaian individu yang melakukan identifikasi. Oleh karena itu, diperlukannya metode lain yang lebih objektif, dapat diukur, dan berpotensi diotomatisasi untuk mendukung proses pengklasifikasian spesies ngengat secara lebih efektif.

Kemajuan teknologi telah memudahkan penerapan luas teknik pemrosesan gambar digital untuk menganalisis berbagai objek biologis, termasuk serangga, sehingga memudahkan konversi informasi visual seperti bentuk, tekstur, dan corak menjadi serangkaian data numerik yang dapat diproses menggunakan pendekatan matematis dan statistik (Singh & Kapoor, 2021). Pada spesies ngengat, citra sayapnya mengandung sejumlah besar informasi visual, yang terutama terdapat pada corak dan struktur permukaan bersisik yang membentuk desain kompleks dan acak. Kompleksitas corak sayap tersebut menjadi salah satu ciri khas yang dapat berfungsi sebagai pembeda utama untuk mengklasifikasikan jenis-jenis ngengat yang berbeda.

Konsep fraktal dapat diterapkan dalam menganalisis corak sayap ngengat karena pola-pola ini sering menunjukkan kompleksitas dan pengulangan bentuk pada berbagai tingkat pembesaran (Backes & Bruno, 2020). Kesamaan diri dan kompleksitas corak ini, yang merupakan ciri khas geometri fraktal, memberikan dasar untuk mengukur kompleksitasnya. Salah satu metode pengukuran yang umum digunakan adalah dimensi fraktal, yang berfungsi sebagai parameter numerik untuk mewakili tingkat kompleksitas corak-corak ini. Pendekatan ini telah diakui keefektifannya dalam menganalisis corak alami, termasuk objek biologis, yang tidak dapat dijelaskan secara memadai menggunakan geometri Euclidean biasa (Falconer, 2014).

Metode yang paling umum digunakan untuk menghitung dimensi fraktal dari citra digital adalah metode *box counting*. Metode ini bekerja dengan menutupi pola objek dengan kisi kotak berukuran beragam, kemudian menghitung jumlah kotak yang diperlukan. Hasil perhitungan ini dapat diubah menjadi nilai numerik yang secara matematis menggambarkan kompleksitas corak (Pham dkk., 2020). Dalam penelitian ini, penerapan metode ini difokuskan pada citra gambar sayap ngengat yang telah melalui deteksi tepi, sehingga akan

menghasilkan struktur geometris dari garis tepi corak sayap.

Nilai dimensi fraktal dari struktur geometris tepi corak sayap akan digunakan sebagai fitur numerik utama pada tahap pengelompokan data menggunakan algoritma *K-Means*. Metode ini merupakan salah satu teknik pengelompokan data yang paling populer, didukung oleh kesederhanaannya, beban komputasi yang ringan, dan kinerjanya dalam mengidentifikasi kelompok data berdasarkan pola kemiripan (Suresh dkk., 2021). Hasil pengelompokan dievaluasi dengan mengukur akurasi kelompok yang terbentuk, dengan membandingkannya dengan label spesies yang telah ada.

Pada penelitian sebelumnya, Amalia & Juniati (2025) mengklasifikasikan jenis ikan hiu berdasarkan corak tubuh menggunakan dimensi fraktal *box counting* dan *K Means*, menghasilkan akurasi sebesar 89,52%. Puspitasari & Juniati (2023) mengklasifikasikan jenis kupu-kupu berdasarkan bentuk sayap dengan menerapkan metode yang sama, menghasilkan akurasi sebesar 89%. Selain itu, penelitian Siregar & Juniati (2023) juga yang mengklasifikasikan jenis penyakit mata berdasarkan citra fundus retina, menghasilkan akurasi sebesar 89%. Hasil dari beberapa penelitian tersebut menunjukkan bahwa dimensi fraktal *box counting* dan *K-Means* cocok digunakan dalam mengklasifikasikan citra digital dengan tingkat akurasi yang tinggi.

Berdasarkan penjelasan di atas, penelitian ini berfokus pada penerapan metode dimensi fraktal *box counting* pada gambar corak sayap ngengat sebagai dasar untuk mengklasifikasikan spesies ngengat menggunakan algoritma *K-Means*. Hasil penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi pada pengembangan teknik identifikasi dan klasifikasi ngengat, sehingga dapat mengetahui keberadaan ngengat sebagai upaya dalam pemantauan ekosistem dan menjaga keberlanjutan keanekaragaman hayati.

KAJIAN TEORI

NGENGAT

Ngengat merupakan kelompok serangga yang termasuk dalam ordo *Lepidoptera*. Berbeda dengan kupu-kupu yang tergolong dalam kelompok *Rhopalocera*, ngengat termasuk dalam kelompok *Heterocera* (Kawahara dkk., 2023). Ngengat memiliki tingkat keanekaragaman spesies jauh lebih tinggi

dibandingkan kupu-kupu dan diperkirakan lebih dari 150.000 spesies (Kristensen dkk., 2007). Secara morfologi, ngengat terdiri atas kepala, dada (toraks), dan perut (abdomen), dengan ciri-ciri khusus yaitu tiga pasang kaki dan dua pasang sayap yang ditutupi sisik.

Yponomeuta evonymella

Yponomeuta evonymella atau ngengat ermine ceri-burung merupakan spesies dari famili *Yponomeutidae* yang hidup di habitat berhutan dengan tanaman inang *Prunus padus*. Larvanya hidup berkoloni dan membentuk jaring sutra besar yang dapat menyebabkan defoliiasi. Ngengat ini berukuran kecil dengan sayap putih bertotol hitam dan rentang sayap sekitar 16–25 mm.



Gambar 1. *Yponomeuta evonymella*

Plemyria rubiginata

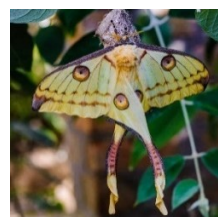
Plemyria rubiginata atau ngengat karpet biru berbatas termasuk famili *Geometridae* yang tersebar di wilayah Palearktik. Habitatnya meliputi hutan, kebun, dan area lembap. Sayapnya berwarna putih dengan gradasi coklat dan tepi biru/abu-abu, dengan rentang sayap sekitar 28 mm.



Gambar 2. *Plemyria rubiginata*

Argema mittrei

Argema mittrei merupakan ngengat besar dari famili *Saturniidae* yang endemik Madagaskar. Ciri khasnya adalah ekor panjang berwarna cerah sebagai pertahanan diri. Ngengat jantan memiliki rentang sayap hingga 20 cm dan hidup singkat, sekitar 4–5 hari, sedangkan betina 7–10 hari.



Gambar 3. *Argema mittrei*

Saturnia pavonia

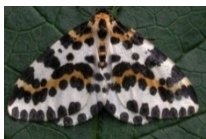
Saturnia pavonia atau ngengat kaisar termasuk famili *Saturniidae* yang tersebar di wilayah Palearktik. Ciri utamanya adalah empat bercak mata (*eyespot*) pada sayap sebagai perlindungan dari predator. Terdapat perbedaan warna antara jantan dan betina, dengan rentang sayap betina sekitar 80 mm.



Gambar 4. *Saturnia pavonia*

Abraxas grossulariata

Abraxas grossulariata atau ngengat magpie merupakan spesies dari famili *Geometridae* yang tersebar luas di Palearktik. Sayapnya berwarna putih dengan bercak hitam dan kuning sebagai sinyal aposematis. Ngengat ini memiliki rentang sayap 35–40 mm dan bersifat nokturnal.



Gambar 5. *Abraxas grossulariata*

Brahmaea wallichii

Brahmaea wallichii atau ngengat burung hantu termasuk famili *Brahmaeidae* dengan ukuran besar (rentang sayap 9–16 cm). Corak sayapnya menyerupai mata burung hantu dan tekstur kayu sebagai mimikri dan kamuflase. Ngengat ini hidup di hutan lembap dan aktif pada malam hari.



Gambar 6. *Brahmaea wallichii*

Rhodometra sacraria

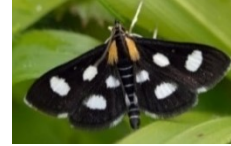
Rhodometra sacraria atau ngengat vestal adalah spesies migran dari famili *Geometridae* yang tersebar di daerah beriklim hangat. Ciri khasnya adalah sayap kuning pucat dengan garis diagonal merah muda. Rentang sayapnya sekitar 22–28 mm.



Gambar 7. *Rhodometra sacraria*

Anania funebris

Anania funebris atau ngengat sable bercak putih merupakan ngengat diurnal dari famili *Crambidae*. Sayapnya berwarna hitam dengan bintik putih kekuningan. Ngengat ini berukuran kecil dengan rentang sayap sekitar 22 mm.)



Gambar 8. *Anania funebris*

Apantesis vittata

Apantesis vittata atau ngengat harimau bergaris termasuk famili *Erebidae*. Memiliki pola garis hitam dan bercak krem. Ngengat ini menggunakan sinyal aposematis dan mampu menghasilkan bunyi ultrasonik untuk mengganggu predator, dengan rentang sayap 32–42 mm.



Gambar 9. *Apantesis vittata*

Plagodis dolabraria

Plagodis dolabraria atau ngengat sayap terbakar merupakan spesies dari famili *Geometridae* dengan corak menyerupai kayu terbakar. Pola ini berfungsi sebagai kamuflase saat hinggap di permukaan kayu. Ngengat ini memiliki rentang sayap 28–32 mm dan hidup di hutan gugur serta area berpohon.



Gambar 10. *Plagodis dolabraria*

KONVERSI GRAYSCALE

Konversi *grayscale* merupakan proses transformasi citra berwarna menjadi citra keabuan dengan mereduksi tiga kanal warna (RGB) menjadi satu kanal intensitas tanpa menghilangkan informasi struktural utama, sehingga menyederhanakan kompleksitas komputasi pada tahap analisis numerik seperti deteksi tepi (Gonzalez & Woods, 2018). Proses ini dilakukan dengan mengkombinasikan komponen merah (R), hijau (G), dan biru (B) menggunakan bobot yang mencerminkan sensitivitas sistem penglihatan manusia (Poynton, 1996).

SEGMENTASI CITRA

Segmentasi citra bertujuan memisahkan objek dari latar belakang dengan memetakan setiap piksel ke dalam dua kelas berdasarkan nilai ambang (*threshold*), sehingga citra *grayscale* diubah menjadi citra biner yang lebih sederhana (Kumaseh dkk., 2013). Pada metode *thresholding*, piksel dengan intensitas $f(x, y) \geq T$ diklasifikasikan sebagai objek, sedangkan $f(x, y) < T$ sebagai latar belakang. Nilai ambang T ditentukan berdasarkan distribusi intensitas citra, dan hasil segmentasi berupa citra biner ini merepresentasikan struktur tepi dan corak objek (Hidayatillah & Jakfar, 2022).

DETEKSI TEPI CANNY

Deteksi tepi adalah proses untuk mengekstraksikan batas-batas objek berdasarkan adanya perubahan nilai intensitas yang signifikan. Secara matematis, tepi muncul pada tempat di mana terjadi perubahan gradien keabuan yang tajam, yang dapat dimodelkan melalui turunan pertama atau gradien dari fungsi intensitas citra $f(x, y)$. Deteksi tepi berperan sebagai dasar dalam analisis bentuk dan corak objek (Faizah & Juniati, 2024). Salah satu metode deteksi tepi adalah algoritma *canny*, karena memiliki tingkat akurasi dan ketahanan terhadap derau yang baik (Canny, 1986).

DIMENSI FRAKTAL BOX COUNTING

Fraktal merupakan pola geometris yang kompleks dan tidak beraturan yang sulit dijelaskan menggunakan geometri biasa. Salah satu karakteristik utama fraktal adalah *self-similarity*, yaitu kemiripan pola pada berbagai skala pengamatan (Mandelbrot, 1982). Berbeda dengan geometri biasa yang memiliki dimensi bilangan bulat, dimensi fraktal memungkinkan nilai non-integer yang digunakan untuk mengukur tingkat kompleksitas suatu objek. Semakin kompleks suatu struktur, semakin tinggi nilai dimensi fraktalnya (Backes & Bruno, 2020).

Metode *box-counting* merupakan salah satu pendekatan untuk mengestimasi nilai dimensi fraktal dengan membagi objek ke dalam kisi-kisi kotak berukuran tertentu dan menghitung jumlah kotak yang diperlukan untuk menutupi objek tersebut (Juniati & Budayasa, 2016). Hubungan antara jumlah partisi N , skala S , dan dimensi D dinyatakan sebagai.

$$D = \frac{\log N}{\log\left(\frac{1}{S}\right)} \quad (1)$$

Pendekatan ini dapat diperluas dalam bentuk limit untuk menggambarkan perilaku objek pada skala yang semakin kecil, sehingga diperoleh definisi dimensi fraktal secara umum. Dalam implementasinya, skala dinyatakan sebagai r dan jumlah kotak sebagai $N(r)$ sehingga persamaan menjadi.

$$D = \frac{\log N(r)}{\log\left(\frac{1}{r}\right)} \quad (2)$$

Dimana,

D = dimensi

$N(r)$ = jumlah kotak yang menutupi objek

r = ukuran (skala)

Nilai dimensi fraktal dihitung berdasarkan kemiringan (slope) hubungan linear antara $\log N(r)$ dan $\log\left(\frac{1}{r}\right)$, yang diperoleh melalui regresi linear.

$$\alpha = \frac{(\sum x_i y_i) - \frac{(\sum x_i)(\sum y_i)}{n}}{(\sum x_i^2) - \frac{(\sum x_i)^2}{n}} \quad (3)$$

K-MEANS

Algoritma *K-Means* merupakan metode *unsupervised learning* yang digunakan untuk mengelompokkan data berdasarkan tingkat kemiripan karakteristik tanpa memerlukan label kelas sebelumnya. Tujuan algoritma ini adalah membagi data menjadi K kluster, sehingga data dalam satu kluster memiliki kemiripan tinggi, sedangkan antar kluster memiliki perbedaan yang signifikan (Ikotun dkk., 2023).

Berikut ini adalah tahapan algoritma *K-Means*:

- Menentukan jumlah kluster (KKK) sesuai tujuan pengelompokan
- Menetapkan *centroid* awal sebagai pusat kluster
- Menghitung jarak setiap data terhadap centroid menggunakan jarak Euclidean sebagai berikut.

$$d(x, \mu) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu_i)^2} \quad (4)$$

dimana,

$d(x, \mu)$ = jarak antara x (data) dan μ (centroid)

i = indeks dari atribut

n = jumlah data

x_i = atribut data ke- i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$)

μ_i = atribut centroid ke- i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$)

- Mengelompokkan data ke kluster dengan centroid terdekat.
- Memperbarui centroid berdasarkan rata-rata data dalam setiap kluster
- Mengulangi proses c sampai e hingga centroid konvergen dan tidak terjadi perubahan kluster.

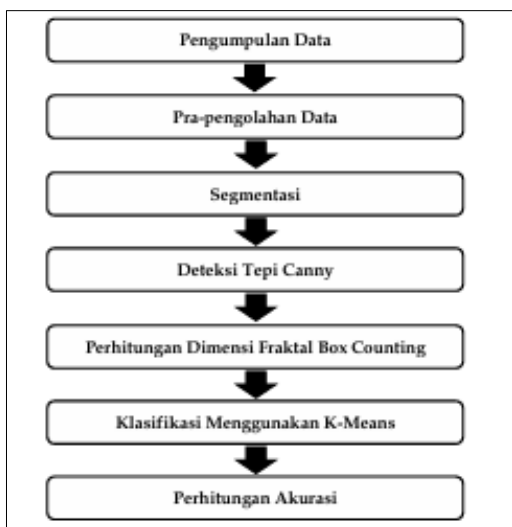
METODE PENELITIAN

SUMBER DATA

Penelitian ini menggunakan data sekunder, diperoleh dari *Kaggle* yang dapat diakses melalui <https://www.kaggle.com/datasets/gpiosenka/moths-image-datasetclassification?select=test>. Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa citra berwarna (RGB) dalam format JPG, yang menampilkan ngengat secara utuh dengan latar belakang. Jumlah keseluruhan data yang digunakan adalah 150 citra yang terdiri dari 10 jenis ngengat yaitu Ngengat Ermine Ceri-burung (*Yponomeuta evonymella*), Ngengat Karpet Biru Berbatas (*Plemyria rubiginata*), Ngengat Komet (*Argema mittrei*), Ngengat Kaisar (*Saturnia pavonia*), Ngengat Magpie (*Abraxas grossulariata*), Ngengat Burung Hantu (*Brahmaea wallichii*), Ngengat Vestal (*Rhodometra sacraria*), Ngengat Sable Bercak Putih (*Anania funebris*), Ngengat Harimau Bergaris (*Apantesis vittata*), dan Ngengat Sayap Terbakar (*Plagodis dolabraria*).

RANCANGAN PENELITIAN

Rancangan penelitian untuk mencapai tujuan pada penelitian ini dapat dilihat pada diagram alur penelitian berikut.



Gambar 11. Diagram Alur Penelitian

1. Dataset

Data dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang dapat diakses melalui website *Kaggle*. Data yang digunakan berupa data citra berjumlah 150 citra ngengat yang terdiri dari 10 jenis ngengat, yaitu 15 citra Ngengat Ermine Ceri-burung, 15 citra Ngengat Karpet Biru Berbatas, 15 citra Ngengat Komet, 15 citra Ngengat Kaisar, 15 citra

Ngengat Magpie, 15 citra Ngengat Burung Hantu, 15 citra Ngengat Vestal, 15 citra Ngengat Sable Bercak Putih, 15 citra Ngengat Harimau Bergaris, 15 citra Ngengat Sayap Terbakar.

2. Pra-Pengolahan Data

Data citra yang diperoleh akan diproses terlebih dahulu dengan langkah-langkah sebagai berikut:

a. *Cropping Image*

Cropping pada bagian sayap kiri yang fokus pada coraknya dan penyesuaian ukuran menjadi 200×300 piksel.

b. Konversi Citra ke *Grayscale*

Citra hasil *cropping* yang berwarna (RGB) kemudian dikonversi menjadi citra *grayscale*.

c. Penghilangan *Noise* Menggunakan *Bilateral Filter*

Proses penghilangan *noise* dilakukan untuk mengurangi gangguan berupa bintik-bintik yang tidak diperlukan oleh citra tanpa menghilangkan detail tepi dan corak sayap ngengat.

d. Penyesuaian Kecerahan dan Kontras Menggunakan CLAHE

Penyesuaian kecerahan dan kontras citra menggunakan metode *Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization* (CLAHE), digunakan untuk meningkatkan kontras lokal pada.

3. Segmentasi Citra

Tahap segmentasi dilakukan untuk memisahkan objek sayap ngengat dari latar belakang menggunakan metode *thresholding*. Proses ini menghasilkan citra biner yang merepresentasikan struktur dasar dan corak sayap dalam dua warna yaitu hitam dan putih.

4. Deteksi Tepi Menggunakan Metode Canny

Citra hasil segmentasi kemudian diproses menggunakan metode Canny untuk mengekstraksi garis tepi. Tahap ini bertujuan memperoleh batas objek yang lebih jelas dan terdefinisi.

5. Perhitungan Dimensi Fraktal *Box-Counting*

Citra hasil deteksi tepi digunakan sebagai *input* dalam perhitungan dimensi fraktal menggunakan metode *box-counting* dengan bantuan Python. Melalui ini, setiap citra akan memperoleh nilai dimensi dari corak sayapnya.

6. Pengelompokan Menggunakan *K-Means*

Nilai dimensi fraktal yang diperoleh selanjutnya digunakan sebagai fitur dalam proses pengelompokan menggunakan algoritma *K-Means* dengan bantuan RapidMiner Studio. Nilai dimensi seluruh citra akan dikelompokkan ke dalam sepuluh kluster berdasarkan kemiripan nilai dimensi fraktalnya

7. Evaluasi Akurasi

Tahap akhir adalah pengukuran akurasi untuk mengetahui tingkat kesesuaian antara hasil pengelompokan dengan label data pengelompokan sebelumnya.

$$\text{akurasi} = \frac{\text{jumlah data benar}}{\text{jumlah keseluruhan data}} \times 100\% \quad (5)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

PROSES PEMILIHAN DATA

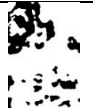
Data penelitian terdiri dari 150 citra ngengat dari 10 jenis, masing-masing 15 citra, yang diperoleh dari dataset Kaggle "*Moths Image Dataset-Classification*". Citra yang dipilih merupakan citra dengan kualitas baik, yaitu memiliki corak sayap yang jelas, bentuk sayap utuh, dan pencahayaan yang cukup. Seluruh citra tersebut berformat JPG dengan bentuk citra RGB dan memiliki resolusi yang bervariasi.

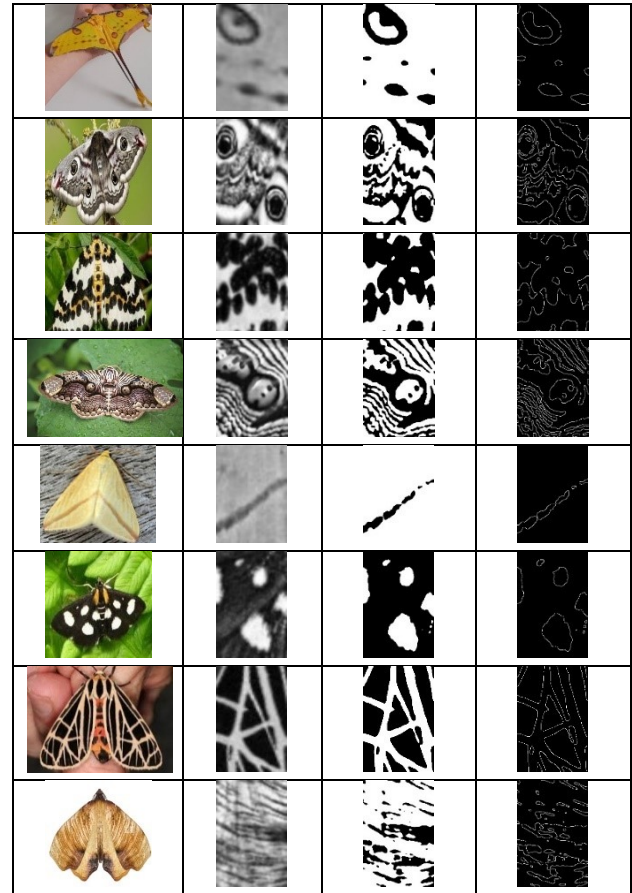
PENGOLAHAN DATA

Proses pengolahan citra menggunakan bantuan Python. Citra yang telah di *cropping* dan diseragamkan, kemudian dikonversi ke citra *grayscale* dan dilakukan reduksi *noise* serta peningkatan kontras pada citra, sehingga menghasilkan citra dengan kualitas yang lebih jelas dan detail. Selanjutnya citra disegmentasi menggunakan metode *thresholding* sehingga menghasilkan citra biner. Hasil ini kemudian diproses menggunakan deteksi tepi Canny.

Berikut adalah hasil pengolahan citra untuk setiap jenis ngengat.

Tabel 1. Hasil Pengolahan Data Citra

Citra Asli	Citra Grayscale	Citra Biner	Deteksi Tepi
			
			



DIMENSI FRAKTAL BOX COUNTING

Hasil nilai dimensi fraktal pada setiap citra corak sayap ngengat diperoleh dengan bantuan perangkat lunak Python sebagai berikut.

Tabel 2. Nilai Dimensi Ngengat Ermine Ceri-burung

No.	Nilai Dimensi	No.	Nilai Dimensi
1.	1.3727	9.	1.3726
2.	1.3807	10.	1.3570
3.	1.3613	11.	1.3593
4.	1.3655	12.	1.3962
5.	1.3758	13.	1.3629
6.	1.3794	14.	1.3806
7.	1.3652	15.	1.3583
8.	1.3646		

Tabel 3. Nilai Dimensi Ngengat Karpet Biru Berbatas

No.	Nilai Dimensi	No.	Nilai Dimensi
1.	1.4922	9.	1.5000
2.	1.5092	10.	1.4899
3.	1.4959	11.	1.4963
4.	1.4870	12.	1.4938
5.	1.4815	13.	1.4812

6.	1.5077	14.	1.4867
7.	1.4909	15.	1.4990
8.	1.5030		

Tabel 4. Nilai Dimensi Ngengat Komet

No.	Nilai Dimensi	No.	Nilai Dimensi
1.	1.3159	9.	1.3131
2.	1.3281	10.	1.3173
3.	1.3182	11.	1.3378
4.	1.3325	12.	1.3287
5.	1.3286	13.	1.3196
6.	1.3365	14.	1.3193
7.	1.3156	15.	1.3197
8.	1.3283		

Tabel 5. Nilai Dimensi Ngengat Kaisar

No.	Nilai Dimensi	No.	Nilai Dimensi
1.	1.6378	9.	1.6519
2.	1.6402	10.	1.6284
3.	1.6579	11.	1.6234
4.	1.6385	12.	1.6249
5.	1.6527	13.	1.6470
6.	1.6459	14.	1.6454
7.	1.6375	15.	1.6247
8.	1.6288		

Tabel 6. Nilai Dimensi Ngengat Magpie

No.	Nilai Dimensi	No.	Nilai Dimensi
1.	1.4380	9.	1.4136
2.	1.4574	10.	1.4545
3.	1.4466	11.	1.4206
4.	1.4442	12.	1.4491
5.	1.4209	13.	1.4148
6.	1.4358	14.	1.4459
7.	1.4378	15.	1.4131
8.	1.4111		

Tabel 7. Nilai Dimensi Ngengat Burung Hantu

No.	Nilai Dimensi	No.	Nilai Dimensi
1.	1.7312	9.	1.7148
2.	1.7011	10.	1.7190
3.	1.7075	11.	1.7104
4.	1.6896	12.	1.7322
5.	1.7094	13.	1.7098
6.	1.6841	14.	1.7177
7.	1.7095	15.	1.7046
8.	1.6943		

Tabel 8. Nilai Dimensi Ngengat Vestal

No.	Nilai Dimensi	No.	Nilai Dimensi
1.	1.2775	9.	1.2588
2.	1.2811	10.	1.2522
3.	1.2636	11.	1.2733
4.	1.2940	12.	1.2598
5.	1.2717	13.	1.2758
6.	1.2564	14.	1.2969
7.	1.2844	15.	1.2899
8.	1.2869		

Tabel 9. Nilai Dimensi Ngengat Sable Bercak Putih

No.	Nilai Dimensi	No.	Nilai Dimensi
1.	1.2031	9.	1.2322
2.	1.2292	10.	1.2342
3.	1.2028	11.	1.2239
4.	1.2311	12.	1.2050
5.	1.2372	13.	1.2223
6.	1.2031	14.	1.2082
7.	1.2097	15.	1.2218
8.	1.2195		

Tabel 10. Nilai Dimensi Ngengat Harimau Bergaris

No.	Nilai Dimensi	No.	Nilai Dimensi
1.	1.5418	9.	1.5117
2.	1.5376	10.	1.5395
3.	1.5377	11.	1.5174
4.	1.5109	12.	1.5116
5.	1.5199	13.	1.5148
6.	1.5421	14.	1.5229
7.	1.5381	15.	1.5278
8.	1.5177		

Tabel 11. Nilai Dimensi Ngengat Sayap Terbakar

No.	Nilai Dimensi	No.	Nilai Dimensi
1.	1.5711	9.	1.5852
2.	1.6010	10.	1.5824
3.	1.5786	11.	1.5749
4.	1.6086	12.	1.5821
5.	1.6068	13.	1.5938
6.	1.6022	14.	1.5990
7.	1.5704	15.	1.5950
8.	1.6045		

Dari tabel nilai dimensi, diperoleh rata-rata setiap jenis ngengat sebagai berikut.

Tabel 12. Rata-Rata Nilai Dimensi Tiap Jenis

Jenis Ngengat	Rata-Rata Nilai Dimensi
Ngengat Ermine Ceri-burung	1.3701
Ngengat Karpas Biru Berbatas	1.4943
Ngengat Komet	1.3239
Ngengat Kaisar	1.6390
Ngengat Magpie	1.4336
Ngengat Burung Hantu	1.7090
Ngengat Vestal	1.2748
Ngengat Sable Bercak Putih	1.2189
Ngengat Harimau Bergaris	1.5261
Ngengat Sayap Terbakar	1.5904

K-MEANS

Proses pengelompokan data menggunakan algoritma *K-Means* dilakukan dengan bantuan RapidMiner Studio. Berikut hasil *centroid* yang diperoleh:

Tabel 13. Nilai *Centroid*

Tabel <i>Centroid</i>	
Cluster 0	1.2748
Cluster 1	1.3239
Cluster 2	1.5904
Cluster 3	1.4336
Cluster 4	1.5298
Cluster 5	1.3701
Cluster 6	1.4971
Cluster 7	1.6390
Cluster 8	1.2189
Cluster 9	1.7090

Berdasarkan nilai *centroid* pada Tabel 13, Hasil klasifikasi nilai dimensi fraktal corak sayap ngengat ke dalam sepuluh klaster sebagai berikut.

Tabel 14. Hasil Klasifikasi Nilai Dimensi

Jenis	Cluster	Jenis	Cluster
EC 1	Cluster 5	BH 1	Cluster 9
EC 2	Cluster 5	BH 2	Cluster 9
EC 3	Cluster 5	BH 3	Cluster 9
EC 4	Cluster 5	BH 4	Cluster 9
EC 5	Cluster 5	BH 5	Cluster 9
EC 6	Cluster 5	BH 6	Cluster 9
EC 7	Cluster 5	BH 7	Cluster 9
EC 8	Cluster 5	BH 8	Cluster 9

EC 9	Cluster 5	BH 9	Cluster 9
EC 10	Cluster 5	BH 10	Cluster 9
EC 11	Cluster 5	BH 11	Cluster 9
EC 12	Cluster 5	BH 12	Cluster 9
EC 13	Cluster 5	BH 13	Cluster 9
EC 14	Cluster 5	BH 14	Cluster 9
EC 15	Cluster 5	BH 15	Cluster 9
KB 1	Cluster 6	VT 1	Cluster 0
KB 2	Cluster 6	VT 2	Cluster 0
KB 3	Cluster 6	VT 3	Cluster 0
KB 4	Cluster 6	VT 4	Cluster 0
KB 5	Cluster 6	VT 5	Cluster 0
KB 6	Cluster 6	VT 6	Cluster 0
KB 7	Cluster 6	VT 7	Cluster 0
KB 8	Cluster 6	VT 8	Cluster 0
KB 9	Cluster 6	VT 9	Cluster 0
KB 10	Cluster 6	VT 10	Cluster 0
KB 11	Cluster 6	VT 11	Cluster 0
KB 12	Cluster 6	VT 12	Cluster 0
KB 13	Cluster 6	VT 13	Cluster 0
KB 14	Cluster 6	VT 14	Cluster 0
KB 15	Cluster 6	VT 15	Cluster 0
KT 1	Cluster 1	SB 1	Cluster 8
KT 2	Cluster 1	SB 2	Cluster 8
KT 3	Cluster 1	SB 3	Cluster 8
KT 4	Cluster 1	SB 4	Cluster 8
KT 5	Cluster 1	SB 5	Cluster 8
KT 6	Cluster 1	SB 6	Cluster 8
KT 7	Cluster 1	SB 7	Cluster 8
KT 8	Cluster 1	SB 8	Cluster 8
KT 9	Cluster 1	SB 9	Cluster 8
KT 10	Cluster 1	SB 10	Cluster 8
KT 11	Cluster 1	SB 11	Cluster 8
KT 12	Cluster 1	SB 12	Cluster 8
KT 13	Cluster 1	SB 13	Cluster 8
KT 14	Cluster 1	SB 14	Cluster 8
KT 15	Cluster 1	SB 15	Cluster 8
KR 1	Cluster 7	HB 1	Cluster 4
KR 2	Cluster 7	HB 2	Cluster 4
KR 3	Cluster 7	HB 3	Cluster 4
KR 4	Cluster 7	HB 4	Cluster 6
KR 5	Cluster 7	HB 5	Cluster 4
KR 6	Cluster 7	HB 6	Cluster 4
KR 7	Cluster 7	HB 7	Cluster 4
KR 8	Cluster 7	HB 8	Cluster 4
KR 9	Cluster 7	HB 9	Cluster 6
KR 10	Cluster 7	HB 10	Cluster 4

KR 11	Cluster 7	HB 11	Cluster 4
KR 12	Cluster 7	HB 12	Cluster 6
KR 13	Cluster 7	HB 13	Cluster 4
KR 14	Cluster 7	HB 14	Cluster 4
KR 15	Cluster 7	HB 15	Cluster 4
MG 1	Cluster 3	ST 1	Cluster 2
MG 2	Cluster 3	ST 2	Cluster 2
MG 3	Cluster 3	ST 3	Cluster 2
MG 4	Cluster 3	ST 4	Cluster 2
MG 5	Cluster 3	ST 5	Cluster 2
MG 6	Cluster 3	ST 6	Cluster 2
MG 7	Cluster 3	ST 7	Cluster 2
MG 8	Cluster 3	ST 8	Cluster 2
MG 9	Cluster 3	ST 9	Cluster 2
MG 10	Cluster 3	ST 10	Cluster 2
MG 11	Cluster 3	ST 11	Cluster 2
MG 12	Cluster 3	ST 12	Cluster 2
MG 13	Cluster 3	ST 13	Cluster 2
MG 14	Cluster 3	ST 14	Cluster 2
MG 15	Cluster 3	ST 15	Cluster 2

Dari hasil *clustering* pada tabel 14, menunjukkan bahwa cluster 0 teridentifikasi sebagai Ngengat Vestal, Cluster 1 sebagai Ngengat, Cluster 2 sebagai Ngengat Sayap Terbakar, Cluster 3 sebagai Ngengat Magpie, Cluster 4 sebagai Ngengat Harimau Bergaris, Cluster 5 sebagai Ngengat Ermine Ceri-burung, Cluster 6 sebagai Ngengat Karpas Biru Berbatas, Cluster 7 sebagai Ngengat Kaisar, Cluster 8 sebagai Ngengat Sable Bercak Putih, Cluster 9 sebagai Ngengat Burung Hantu. Namun, terdapat 3 dari 150 data yang tergolong ke dalam cluster yang salah.

AKURASI

Selanjutnya, menghitung tingkat keakuratan data berdasarkan data hasil pengelompokan dimensi citra corak sayap menggunakan algoritma *K-Means*.

$$akurasi = \frac{147}{150} \times 100\% = 98\%$$

PENUTUP

SIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa pengolahan citra ngengat meliputi proses *grayscale*, segmentasi, deteksi tepi Canny untuk meningkatkan kualitas objek citra. Selanjutnya, melakukan perhitungan dimensi fraktal menggunakan metode *box counting*, serta pengelompokan menggunakan algoritma

K-Means ke dalam sepuluh cluster menghasilkan tingkat akurasi sebesar 98%. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai dimensi fraktal berdasarkan citra corak sayap efektif dalam mengidentifikasi jenis ngengat.

SARAN

Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan citra dengan kualitas yang lebih tinggi agar karakteristik corak sayap dapat direpresentasikan secara lebih jelas. Selain itu, metode *box-counting* dapat dikembangkan dengan mengombinasikan fitur citra lainnya untuk meningkatkan representasi karakteristik ngengat. Penambahan jumlah data dan variasi jenis ngengat juga dapat dilakukan untuk memperoleh hasil klasifikasi yang lebih luas dan optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Amalia, S., & Juniati, D. (2025). Klasifikasi jenis ikan hiu berdasarkan corak tubuh menggunakan dimensi fraktal box counting dan K-means. *Mathunesa: Jurnal Ilmiah Matematika*, 13(3), 411–420.
- Backes, A. R., & Bruno, O. M. (2020). Texture analysis using fraktal descriptors. *Pattern Recognition*, 31(1), 55–64. <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2011.11.009>
- Canny, J. (1986). A Computational Approach to Edge Detection. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, PAMI-8(6), 679–698.
- Conrad, K. F., Warren, M. S., Fox, R., Parsons, M. S., & Woiwod, I. P. (2006). Rapid declines of common, widespread British moths provide evidence of an insect biodiversity crisis. *Biological Conservation*, 132(3), 279–291. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2006.04.020>
- Faizah, A. M., & Juniati, D. (2024). Implementasi dimensi fraktal box counting dan K-means dalam klasifikasi jenis ikan laut berdasarkan corak tubuh. *MATHunesa: Jurnal Ilmiah Matematika*, 12(1), 197–207. <https://doi.org/10.26740/MATHUNESA.V12N1.P197-207>
- Falconer, K. (2014). *Fraktal geometry: Mathematical foundations and applications (3rd ed.)*. John Wiley & Sons Inc.
- Gonzalez, R. C. and W. (2018). *Digital image processing (4th ed.)*. Pearson.
- Hidayatillah, W., & Jakfar, M. (2022). Klasifikasi Batik di Jawa Timur Berdasarkan Analisis Dimensi Fraktal Dengan Menggunakan Metode Box Counting. *MATHunesa: Jurnal Ilmiah Matematika*, 10(2), 349–358.

- <https://doi.org/10.26740/MATHUNESA.V10N2.P349-358>
- Ikotun, A. M., Ezugwu, A. E., Abualigah, L., Abuhaija, B., & Heming, J. (2023). K-means clustering algorithms: A comprehensive review, variants analysis, and advances in the era of big data. *Information Sciences*, 622, 178–210. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2022.11.139>
- Juniati, D., & Budayasa, I. K. (2016). *Geometri fraktal dan aplikasinya edisi pertama*. Unesa University Press.
- Kawahara, A. Y., Storer, C., Carvalho, A. P. S., Plotkin, D. M., Condamine, F. L., Braga, M. P., Ellis, E. A., St Laurent, R. A., Li, X., Barve, V., Cai, L., Earl, C., Frandsen, P. B., Owens, H. L., Valencia-Montoya, W. A., Aduse-Poku, K., Toussaint, E. F. A., Dexter, K. M., Doleck, T., ... Lohman, D. J. (2023). A global phylogeny of butterflies reveals their evolutionary history, ancestral hosts and biogeographic origins. *Nature Ecology & Evolution* 2023 7:6, 7(6), 903–913. <https://doi.org/10.1038/s41559-023-02041-9>
- Kristensen, N., Scoble, M. J., & Karsholt, O. (2007). Lepidoptera phylogeny and systematics: The state of inventorying moth and butterfly diversity. *Zootaxa*, (1668), 699–747. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.1668.1.30>
- Kumaseh, M. R., Latumakulita, L., & Nainggolan, N. (2013). Segmentasi citra digital ikan menggunakan metode thresholding. *Jurnal Ilmiah Sains*, 13(1), 74–79. <https://doi.org/10.35799/jis.13.1.2013.2057>
- Macgregor, C. J., Pocock, M. J. O., Fox, R., & Evans, D. M. (2014). Pollination by nocturnal Lepidoptera, and the effects of light pollution: A review. *Ecological Entomology*, 40(3), 187–198. <https://doi.org/10.1111/EEN.12174>
- Mandelbrot, B. B. (1982). *The Fractal Geometry of Nature*. W.H. Freeman & San Francisco.
- Pham, T. D., Georgescu, M., & de Rivaz, R. (2020). *Fraktal analysis of biological images: A review*. 133. <https://doi.org/10.20944/preprints202412.1952.v1>
- Poynton, C. A. (1996). A Technical Introduction to Digital Video. In *A Technical Introduction to Digital Video*. John Wiley & Sons. <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=233439>
- Puspita, D. S., & Juniati, D. (2023). Implementasi dimensi fraktal box counting dan k-means dalam klasifikasi jenis kupu-kupu (lepidoptera) berdasarkan bentuk sayap. *MATHunesa: Jurnal Ilmiah Matematika*, 11(2), 164–173. <https://doi.org/10.26740/mathunesa.v11n2.p164-173>
- Rani, M. R. I., Atmowidi, T., & Widarto, T. H. (2023). Variasi Bentuk dan Warna Sisik Sayap Kupu-Kupu dan Ngengat: Variations in Shape and Color of Butterfly Wing Scales and Moths. *Jurnal Sumberdaya Hayati*, 9(4), 164–170. <https://doi.org/10.29244/JSDH.9.4.164-170>
- Scoble, M. J. (1995). *The lepidoptera : form, function and diversity*. Natural History Museum in association with Oxford University Press.
- Singh, P., & Kapoor, R. (2021). Image processing techniques for insect classification: A review. *Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences*, 33(4), 403–417. <https://doi.org/10.33640/2405-609X.3289>
- Siregar, T. N., & Juniati, D. (2023). Implementasi dimensi fraktal box-counting dan k-means dalam klasifikasi jenis penyakit mata berdasarkan citra fundus retina. *Jurnal Riset Dan Aplikasi Matematika (JRAM)*, 7(2), 206–223. <https://doi.org/10.26740/jram.v7n2.p206-223>
- Suresh, K., Kiran, P. S., & Reddy, E. S. (2021). An overview of k-means clustering algorithm. *International Journal of Scientific Research in Computer Science, Engineering and Information Technology*, 7(2), 245–250.
- Tang, Y., Zhang, L., & Wang, J. (2022). Defensive strategies in Lepidoptera: Camouflage, mimicry, and warning signals. *Biodiversity and Ecology of Lepidoptera - Insights and Advances*, 35(2), 145–158.