

Implementasi *Deep learning* Menggunakan Model Xception, InceptionV3, dan InceptionV4 Untuk Klasifikasi Kupu-Kupu

Firman Ahmad Bayumi 2117051062

Jurusan Ilmu Komputer, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung

KATA KUNCI

Kupu-kupu,
deep learning,
Xception,
InceptionV3,
InceptionV4,
Klasifikasi

ABSTRAK

Penelitian ini membandingkan performa model *deep learning* Xception, InceptionV3, dan InceptionV4 untuk klasifikasi kupu-kupu berdasarkan citra. Dataset yang digunakan mencakup berbagai spesies dengan variasi pola dan warna, dilatih menggunakan augmentasi data untuk meningkatkan generalisasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model Xception mencapai performa terbaik dengan akurasi sempurna, mengungguli dua model lainnya. Sebaliknya, InceptionV3 dan InceptionV4 menunjukkan performa yang buruk, dengan akurasi rendah dan kesulitan mengenali pola kompleks. Temuan ini menegaskan keunggulan Xception dalam analisis fitur visual mendalam dan pentingnya pemilihan arsitektur model yang tepat untuk tugas klasifikasi dengan kompleksitas tinggi.

1. Pendahuluan

Deep learning telah berkembang pesat dalam beberapa tahun terakhir, menjadi salah satu pendekatan paling inovatif dalam kecerdasan buatan. Pendekatan ini memungkinkan mesin untuk mempelajari representasi data yang kompleks secara langsung dari input mentah, seperti gambar, suara, atau teks. Dalam konteks klasifikasi gambar, *deep learning* telah merevolusi cara sistem komputer memahami pola visual, menawarkan hasil yang lebih akurat dibandingkan metode pembelajaran mesin konvensional. Salah satu aplikasi menarik dari *deep learning* adalah klasifikasi spesies kupu-kupu, yang mengharuskan sistem untuk mengenali karakteristik visual unik setiap jenisnya. Dengan kemampuan *deep learning* yang mumpuni, tugas klasifikasi ini dapat dilakukan dengan lebih cepat, akurat, dan efisien, sehingga membuka peluang baru dalam konservasi biodiversitas dan penelitian ilmiah.

Convolutional Neural Network (CNN) adalah salah satu arsitektur inti dalam *deep learning* yang dirancang khusus untuk pengolahan data visual. CNN bekerja dengan memanfaatkan lapisan konvolusi untuk mengekstraksi fitur dari gambar, seperti pola tekstur, bentuk, dan warna. Arsitektur ini telah menjadi fondasi untuk banyak model modern, termasuk Xception, InceptionV3, dan InceptionV4. Model Xception, misalnya, memperkenalkan penggunaan *depthwise separable convolutions*, yang secara signifikan mengurangi jumlah parameter tanpa mengorbankan performa. Sementara itu, InceptionV3 dan InceptionV4 dirancang dengan pendekatan modular, memanfaatkan blok Inception untuk menangkap representasi data secara efisien pada berbagai skala. Dengan struktur yang semakin kompleks dan inovatif, model ini mampu mengatasi tantangan dalam klasifikasi gambar, termasuk variasi sudut pandang,

pencahayaannya, dan latar belakang dalam gambar kupu-kupu.

Dataset yang digunakan dalam klasifikasi gambar memiliki peran yang sangat penting, karena menjadi dasar untuk melatih model *deep learning* agar dapat mengenali pola dengan akurat. Untuk klasifikasi spesies kupu-kupu, dataset ideal harus mencakup berbagai jenis spesies kupu-kupu dengan jumlah data yang memadai. Setiap gambar dalam dataset perlu diberi label dengan nama spesiesnya, yang nantinya akan menjadi acuan model untuk belajar. Dataset ini harus mencerminkan variasi alami yang ada di lingkungan nyata, seperti perbedaan dalam pencahayaan, sudut pengambilan gambar, posisi kupu-kupu, dan latar belakang. Dataset dapat diperoleh dari berbagai sumber, termasuk basis data publik, dokumentasi ilmiah, atau hasil survei lapangan. Dengan dataset yang berkualitas, model *deep learning* dapat belajar lebih baik untuk mengenali detail visual spesifik yang membedakan satu spesies kupu-kupu dari yang lain, bahkan dalam kondisi visual yang beragam.

Klasifikasi kupu-kupu menggunakan model *deep learning* seperti Xception, InceptionV3, dan InceptionV4 bukanlah tugas yang tanpa tantangan. Tantangan utama meliputi kebutuhan akan dataset yang representatif dan berkualitas tinggi, proses pelatihan yang memakan waktu dan sumber daya komputasi, serta optimisasi model agar dapat menangani berbagai jenis gambar dengan akurasi tinggi. Namun, manfaat dari penelitian ini jauh lebih besar dibandingkan tantangannya. Dengan model yang dapat mengenali spesies kupu-kupu secara otomatis, proses identifikasi yang biasanya memakan waktu berjam-jam dapat dipersingkat menjadi hitungan detik. Hal ini sangat bermanfaat dalam penelitian biologi, terutama untuk mendukung konservasi keanekaragaman hayati yang kian terancam. Selain itu, teknologi ini dapat digunakan dalam bidang pendidikan untuk meningkatkan pemahaman masyarakat tentang pentingnya pelestarian ekosistem. Secara keseluruhan, penelitian ini tidak hanya memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan teknologi *deep learning*, tetapi juga dalam menjaga keseimbangan ekologi global.

2. Penelitian Terkait

Penelitian yang dilakukan oleh [1] mengenai klasifikasi spesies kupu-kupu menggunakan model CNN yaitu VGG16, VGG19, MobileNet, Xception, Resnet50, dan InceptionV3. Dengan mengintegrasikan augmentasi data pada dataset kupu-kupu, model yang dilatih mendapatkan performa terbaiknya. Model yang digunakan berhasil memprediksi 12 kelas dari 15 kelas yang menunjukkan bahwa kinerja yang kuat dalam mengidentifikasi berbagai spesies kupu-kupu. Diantara model tersebut model InceptionV3 mendapatkan nilai akurasi tertinggi yaitu 94,66% dibandingkan dengan model yang lain.

Pada penelitian [2] mengenai identifikasi spesies kupu-kupu dan teknik klasifikasi yang mengimplementasikan model klasifikasi yaitu KNN dan SVM serta model *deep learning* AlexNet-FC6 dan SVM Chikuadrat. Pada model klasifikasi KNN dan SVM mendapatkan nilai akurasi sebesar 98,16% dan 99,26%, sedangkan model *deep learning* AlexNet-FC6 dan SVM Chikuadrat mendapatkan nilai akurasi sebesar 100%.

Pada penelitian yang dilakukan oleh [3] mengenai pra-pemrosesan dan normalisasi kumpulan data kupu-kupu untuk ekstraksi fitur mengungkapkan bahwa, Fase pra-pemrosesan melibatkan pembersihan kumpulan data dengan menghilangkan noise dari gambar, seperti daun dan bunga, untuk fokus hanya pada kupu-kupu. Langkah ini sangat penting untuk

memastikan kualitas fitur yang diekstraksi. Penelitian ini menggunakan kumpulan data 890 gambar kupu-kupu, dikategorikan ke dalam 10 kelas, dengan setiap kelas berisi 89 gambar. Dataset ini sangat penting untuk proses ekstraksi fitur, yang mencakup warna, tekstur, dan bentuk. Hasil klasifikasi yang dilakukan menunjukkan akurasi yang bervariasi berdasarkan ukuran piksel. Akurasi tertinggi dicapai dengan ukuran piksel 768x576 untuk ekstraksi fitur warna, sedangkan ekstraksi fitur tekstur terbaik terjadi pada ukuran piksel 256x160. Akurasi rata-rata untuk ekstraksi fitur bentuk di bawah 50%

3. Metodologi

Dalam bagian ini, penulis akan menyajikan gambaran umum mengenai metodologi yang digunakan dalam pengembangan model klasifikasi spesies kupu-kupu yang diusulkan. Paragraf-paragraf berikut memberikan penjelasan umum tentang model *deep learning*, dataset yang digunakan, metode pra-pemrosesan data, dan aspek utama lainnya dalam penelitian ini. Untuk pemahaman yang lebih mendalam, penulis membahas pendekatan keseluruhan serta rincian spesifik seperti dataset kupu-kupu, teknik pengolahan data, dan desain arsitektur CNN (Xception, InceptionV3, dan InceptionV4), yang akan dijelaskan secara terperinci pada bagian-bagian berikutnya.

3.1 Dataset

Dalam penelitian ini dataset yang digunakan adalah dataset kupu-kupu yang akan dilatih menggunakan *deep learning* yang akan dijelaskan sebagai berikut.

3.1.1 Dataset Kupu-Kupu

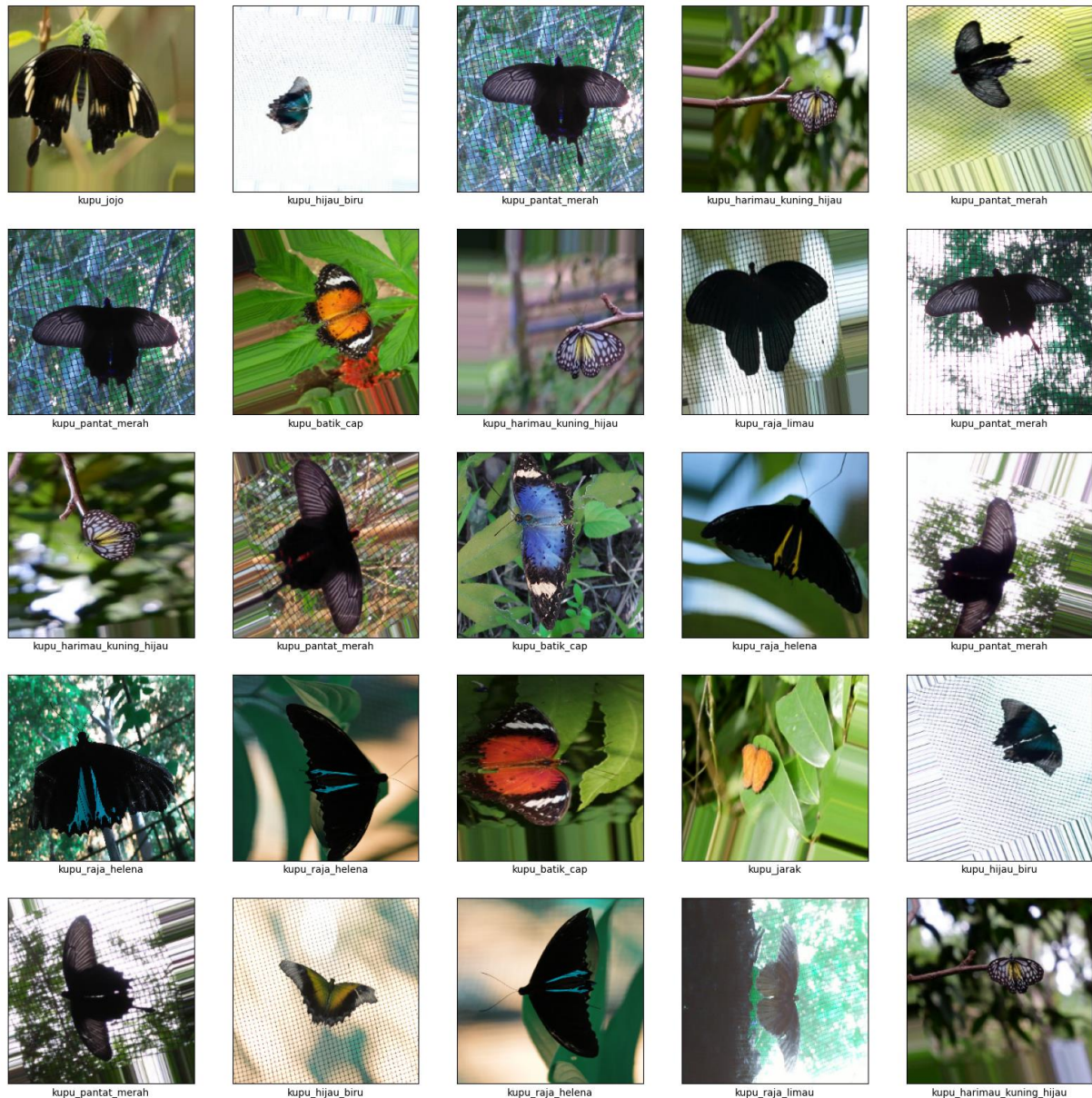
Dataset yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari gambar delapan spesies kupu-kupu yang berbeda, masing-masing memiliki karakteristik visual yang unik. Spesies-spesies tersebut diantaranya adalah sebagai berikut.

Tabel 1. Dataset Kupu-Kupu

Class	Total Gambar (.JPG)
Batik cap	100
Harimau Kuning Hijau	100
Hijau Biru	100
Jarak	100
Jojo	100
Pantat Merah	100
Raja Helena	100
Raja Limau	100

Untuk setiap spesies, dataset mencakup 100 gambar untuk tiap kelasnya, sehingga total dataset adalah 800 gambar dalam format *.JPG*. Gambar-gambar ini diambil dalam berbagai

kondisi, mencakup variasi pencahayaan, sudut pandang, serta latar belakang, guna meningkatkan keragaman data dan mendukung pelatihan model *deep learning* yang lebih robust. Dataset ini dirancang untuk menjadi representatif dalam menangkap pola-pola unik yang membedakan satu spesies kupu-kupu dari yang lainnya, sehingga model dapat belajar mengenali spesies dengan akurasi tinggi.



Gambar 1. Dataset Kupu-Kupu

3.2 Pra-pemrosesan Data

Pada tahapan pra-pemrosesan data, penulis menerapkan berbagai metode, teknik, dan operasi pada gambar *input* sebelum dianalisis oleh model. Tujuan utama dari langkah-langkah ini adalah untuk meningkatkan kualitas gambar dan mengekstrak fitur penting guna memastikan pengenalan yang lebih akurat. Penulis menerapkan beberapa langkah pra-pemrosesan spesifik. Gambar diubah ukurannya menjadi 224 x 224 piksel dan dipusatkan selama proses pelatihan sebanyak 25 *epoch* untuk meningkatkan kemampuan model dalam menangkap lebih banyak fitur dan pola dalam gambar, yang berpotensi meningkatkan kinerja

dan akurasi.

Model yang digunakan dalam penelitian ini meliputi model Xception, InceptionV3, dan InceptionV4. Metode evaluasi yang digunakan adalah akurasi, dengan memanfaatkan model pralatih (Xception, InceptionV3, dan InceptionV4) pada *ImageNet*, yang telah mempelajari fitur dari dataset besar. Dengan mempertahankan lapisan bawah yang bertanggung jawab untuk fitur tingkat rendah umum, fokus dapat dialihkan ke penyetelan lapisan atas yang khusus untuk tugas yang sedang dilakukan. Strategi ini menghemat sumber daya komputasi dan mengurangi risiko *overfitting*, terutama ketika data pelatihan terbatas.

Parameter augmentasi data digunakan untuk memperkaya dataset pelatihan berbasis gambar pada model *deep learning*. Parameter augmentasi ini mencakup *rotation_range* yang menerapkan rotasi secara acak, *width_shift_range* dan *height_shift_range* untuk menggeser gambar secara horizontal dan vertikal, *shear_transformations* untuk menerapkan transformasi geser, *zoom_range* yang memungkinkan pembesaran gambar secara acak, *horizontal_flip* yang membuat posisi gambar menjadi horizontal, serta *fill_mode* yang menentukan cara mengisi area kosong pada gambar setelah transformasi geometris, seperti rotasi, perpindahan (*shift*), *shear*, atau *zoom*, yang mungkin meninggalkan bagian kosong di tepi gambar.. Variasi ini diterapkan dengan harapan agar meningkatkan kemampuan model untuk melakukan generalisasi pada data yang beragam, sehingga memperbaiki ketangguhan dan kinerja model terhadap data yang belum pernah dilatih sebelumnya.

3.3 Model Yang Digunakan

Model yang digunakan dalam penelitian ini adalah Xception, InceptionV3, dan InceptionV4 yang akan dijelaskan sebagai berikut.

3.3.1 Xception

Xception, yang merupakan singkatan dari "*Extreme Inception*," adalah salah satu arsitektur *Convolutional Neural Network* (CNN) yang dirancang untuk mengoptimalkan efisiensi dan akurasi dalam tugas klasifikasi gambar. Model ini diperkenalkan oleh François Chollet dan merupakan perluasan dari konsep Inception, namun dengan pendekatan yang lebih radikal.. Model Xception menunjukkan bahwa memiliki nilai akurasi dan kinerja yang tinggi [4]. Xception menggantikan blok Inception tradisional dengan *depthwise separable convolutions*, yaitu teknik yang memisahkan konvolusi spasial dan konvolusi kanal. Dengan cara ini, model dapat mempelajari fitur yang lebih mendetail dengan jumlah parameter yang jauh lebih sedikit, sehingga meningkatkan efisiensi komputasi. Xception sangat cocok untuk menangkap pola kompleks dalam dataset visual, terutama pada gambar dengan detail halus seperti tekstur dan warna kupu-kupu. Fleksibilitasnya dalam menangani data visual beragam telah menjadikannya pilihan populer untuk berbagai tugas klasifikasi, termasuk pada dataset spesifik seperti spesies kupu-kupu.

3.3.2 InceptionV3

InceptionV3 adalah salah satu generasi lanjutan dari seri Inception yang dikembangkan oleh tim *Google Research*. InceptionV3 merupakan model CNN canggih yang dirancang untuk tugas klasifikasi gambar, mewakili kemajuan progres dalam arsitektur Inception [5]. Model ini memperkenalkan sejumlah inovasi, termasuk blok Inception yang diperbarui dengan teknik

faktorisasi spasial. Faktorisasi ini membagi operasi konvolusi besar, seperti konvolusi 5×5 , menjadi beberapa konvolusi yang lebih kecil, seperti dua konvolusi berturut-turut berukuran 3×3 . Pendekatan ini tidak hanya mengurangi jumlah parameter dalam model tetapi juga meningkatkan efisiensi komputasi. Selain itu, InceptionV3 menggunakan teknik seperti *batch normalization*, regularisasi label *smoothing*, dan *auxiliary classifiers* untuk mencegah *overfitting* dan meningkatkan akurasi. Model ini dirancang untuk menangani dataset beragam dengan efisiensi tinggi, menjadikannya salah satu arsitektur yang paling handal dalam menangkap pola visual kompleks. Pada tugas klasifikasi kupu-kupu, InceptionV3 mampu mengenali pola unik setiap spesies, seperti bentuk sayap dan variasi warna, dengan sangat baik.

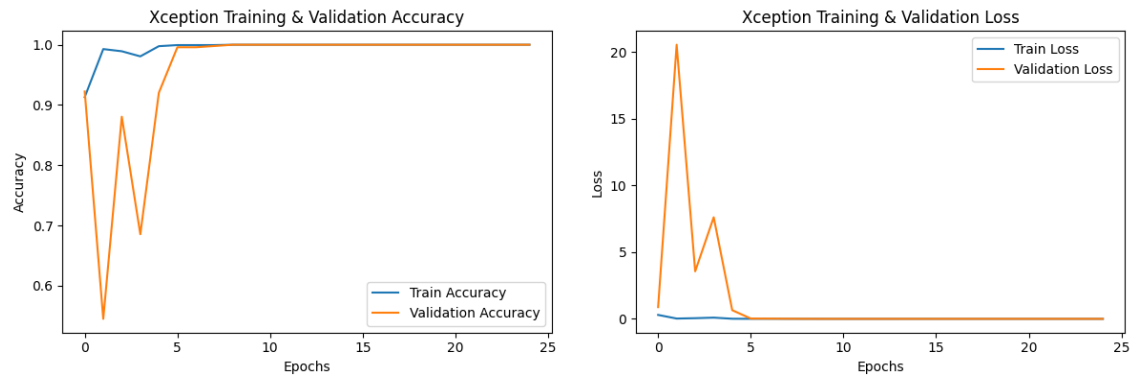
3.3.3 InceptionV4

InceptionV4 adalah evolusi lanjutan dari seri Inception yang menggabungkan kekuatan arsitektur Inception dengan elemen-elemen *Residual Networks* (ResNet). Salah satu inovasi utama dalam InceptionV4 adalah pengenalan koneksi residu pada blok Inception, yang memungkinkan model untuk mengatasi masalah *vanishing gradients* yang sering terjadi pada jaringan yang sangat dalam. Koneksi residu ini membantu aliran gradien selama proses pelatihan, sehingga mempercepat konvergensi dan meningkatkan stabilitas pelatihan. Selain itu, InceptionV4 memperkenalkan modul-modul yang lebih kompleks untuk menangkap representasi data secara lebih mendalam dan detail. Model ini sangat cocok untuk tugas-tugas yang membutuhkan tingkat akurasi tinggi dan kemampuan generalisasi yang kuat. Dalam konteks klasifikasi kupu-kupu, InceptionV4 mampu mengidentifikasi spesies secara akurat, bahkan pada gambar dengan variasi pencahayaan, latar belakang, atau sudut pandang yang signifikan. Kemampuan model ini untuk mempelajari fitur tingkat tinggi membuatnya unggul dalam menangani tantangan pada dataset visual yang kompleks.

4. Hasil

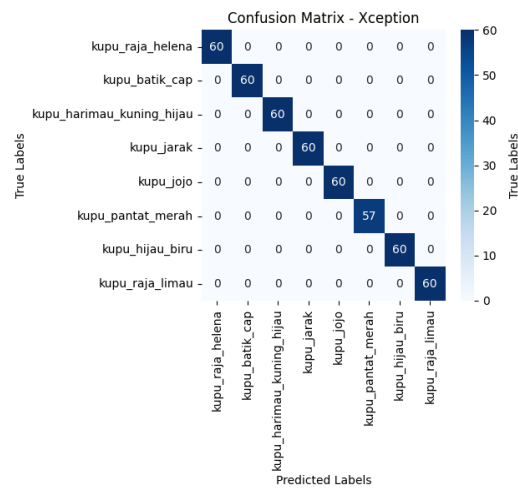
4.1 Xception

Hasil yang diperoleh dari pelatihan data menggunakan model Xception mendapatkan nilai akurasi yang sangat baik. Model ini mencapai akurasi pelatihan dengan sempurna yaitu sebesar 1.00, yang menunjukkan bahwa selama fase pelatihan, model berhasil mempelajari dan mengingat fitur-fitur dari dataset pelatihan, mencapai kecocokan yang sempurna. Akurasi validasi yang sangat tinggi, yaitu 99,82%, menunjukkan kemampuan model untuk melakukan generalisasi dengan baik terhadap data baru yang belum pernah ditemui selama pelatihan. Perbedaan kecil antara akurasi pelatihan dan validasi ini menunjukkan bahwa model berhasil menghindari *overfitting* dan mempertahankan tingkat akurasi yang tinggi. Gambar 2 menunjukkan hasilnya.



Gambar 2. Training dan Validation untuk Accuracy dan Loss Xception

Hasil visualisasi *Confusion Matrix* pada model Xception dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Confusion Matrix Xception

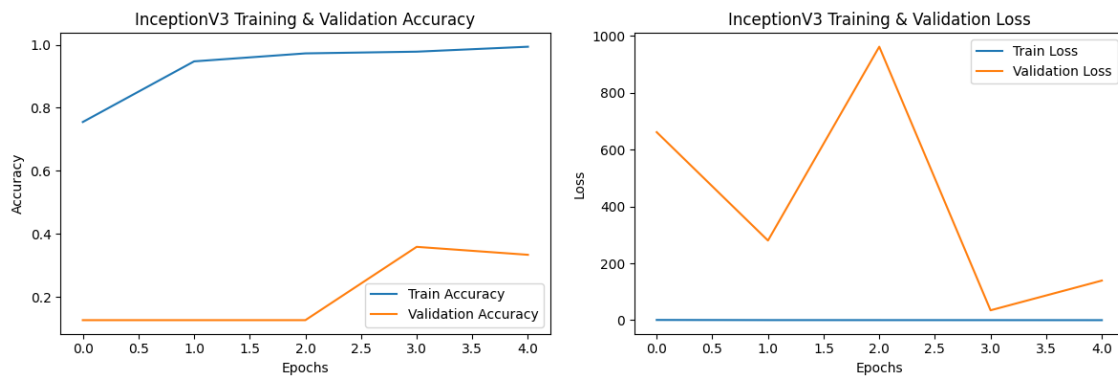
Hasil perhitungan *Accuracy*, *precision*, *recall*, *specificity*, dan *f1-score* berdasarkan *confusion matrix* Xception dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Perhitungan CMF Xception

Class	Acc	Prec	Rec	Spec	F1-Sco
Batik cap	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Harimau Kuning Hijau	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Hijau Biru	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Jarak	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Jojo	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Pantat Merah	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Raja Helena	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Raja Limau	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

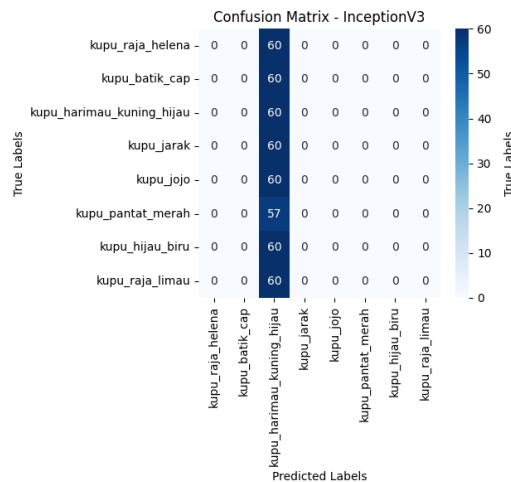
4.2 InceptionV3

Hasil yang diperoleh dari pelatihan data menggunakan model InceptionV3 mendapatkan nilai akurasi yang baik, namun nilai validasi dan prediksi mendapatkan hasil yang buruk. Model ini mencapai nilai akurasi sebesar 0.99 namun memiliki nilai validasi yang kecil yaitu 0.33. Sehingga pada proses pelatihan, model ini hanya mampu mendapatkan 5 *epoch* dikarenakan proses harus dihentikan untuk menghindari *overfitting*. Gambar 4 menunjukkan hasilnya.



Gambar 4. *Training dan Validation* untuk *Accuracy* dan *Loss* InceptionV3

Hasil visualisasi *Confusion Matrix* pada model Xception dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. *Confusion Matrix* InceptionV3

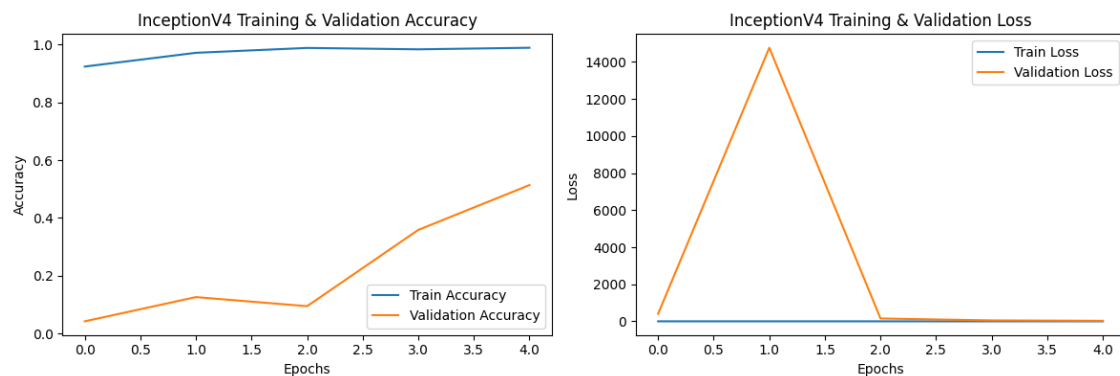
Hasil perhitungan *Accuracy*, *precision*, *recall*, *specificity*, dan *f1-score* berdasarkan *confusion matrix* InceptionV3 dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Perhitungan CMF InceptionV3

Class	Acc	Prec	Rec	Spec	F1-Sco
Batik cap	0.13	0.13	1.00	0.00	0.22
Harimau Kuning Hijau	0.87	0.00	0.00	1.00	0.00
Hijau Biru	0.87	0.00	0.00	1.00	0.00
Jarak	0.87	0.00	0.00	1.00	0.00
Jojo	0.87	0.00	0.00	1.00	0.00
Pantat Merah	0.88	0.00	0.00	1.00	0.00
Raja Helena	0.87	0.00	0.00	1.00	0.00
Raja Limau	0.87	0.00	0.00	1.00	0.00

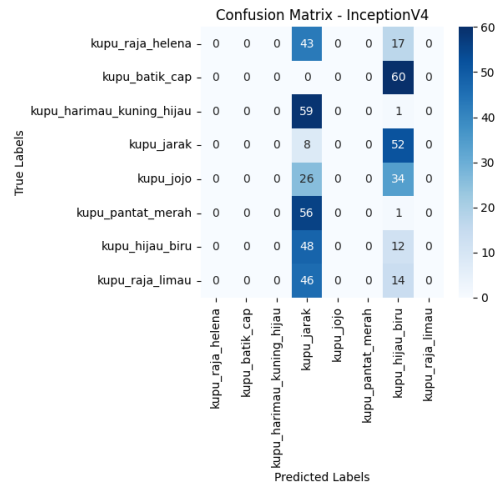
4.3 InceptionV4

Hasil yang diperoleh dari pelatihan data menggunakan model InceptionV4 mendapatkan nilai akurasi yang sangat buruk. Model ini mencapai nilai akurasi sebesar 0.98 namun memiliki nilai validasi yang kecil yaitu 0.51. Sehingga pada proses pelatihan, model ini hanya mampu mendapatkan 5 *epoch* dikarenakan proses harus dihentikan untuk menghindari *overfitting*. Gambar 6 menunjukkan hasilnya.



Gambar 6. Training dan Validation untuk Accuracy dan Loss InceptionV4

Hasil visualisasi *Confusion Matrix* pada model Xception dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 7. *Confusion Matrix* InceptionV4

Hasil perhitungan *Accuracy*, *precision*, *recall*, *specificity*, dan *f1-score* berdasarkan *confusion matrix* InceptionV4 dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Perhitungan CMF InceptionV4

Class	Acc	Prec	Rec	Spec	F1-Sco
Batik cap	0.87	0.00	0.00	1.00	0.00
Harimau Kuning Hijau	0.87	0.00	0.00	1.00	0.00
Hijau Biru	0.55	0.07	0.20	0.60	0.10
Jarak	0.31	0.03	0.13	0.33	0.05
Jojo	0.87	0.00	0.00	1.00	0.00
Pantat Merah	0.88	0.00	0.00	1.00	0.00
Raja Helena	0.87	0.00	0.00	1.00	0.00
Raja Limau	0.90	1.00	0.23	1.00	0.38

5. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa pemilihan arsitektur model *deep learning* memiliki pengaruh signifikan terhadap keberhasilan klasifikasi citra kupu-kupu, terutama pada dataset dengan variasi pola dan warna yang kompleks. Dari tiga model yang diuji, Xception terbukti menjadi yang paling unggul, mencapai akurasi sempurna dan menunjukkan kemampuan yang sangat baik dalam mengenali pola visual yang kompleks. Model ini mampu menangkap detail-detail penting dalam citra kupu-kupu, menjadikannya pilihan ideal untuk aplikasi klasifikasi citra dengan kompleksitas tinggi.

Sebaliknya, InceptionV3 dan InceptionV4 menunjukkan performa yang jauh lebih rendah, dengan akurasi yang tidak memadai dan ketidakmampuan untuk menangani variasi dalam data secara efektif. Hal ini mengindikasikan bahwa kedua model tersebut kurang sesuai untuk tugas klasifikasi kupu-kupu dalam konteks dataset ini.

Hasil penelitian ini menegaskan pentingnya pemilihan arsitektur model yang tepat dalam tugas pengolahan citra. Xception dapat direkomendasikan sebagai model utama untuk pengembangan sistem identifikasi spesies kupu-kupu berbasis *deep learning*. Penelitian lebih lanjut disarankan untuk mengeksplorasi kombinasi model atau pendekatan ensemble guna meningkatkan akurasi klasifikasi pada model selain Xception, sekaligus menguji dataset yang lebih luas untuk meningkatkan generalisasi model.

Daftar Pustaka

- [1] R. P. P. Fathimathul *et al.*, “A Novel Method for the Classification of Butterfly Species Using Pre-Trained CNN Models,” *Electron.*, vol. 11, no. 13, pp. 1–20, 2022, doi: 10.3390/electronics11132016.
- [2] R. Yasmin, A. Das, L. J. Rozario, and M. E. Islam, “Butterfly detection and classification techniques: A review,” *Intell. Syst. with Appl.*, vol. 18, no. August 2022, p. 200214, 2023, doi: 10.1016/j.iswa.2023.200214.
- [3] D. Satria Yudha Kartika and H. Maulana, “Preprosesing dan normalisasi pada dataset kupu-kupu untuk ekstraksi fitur warna, bentuk dan tekstur,” *J. Comput. Electron. Telecommun.*, vol. 1, no. 2, pp. 1–8, 2021, doi: 10.52435/complete.v1i2.76.
- [4] L. E. Chuquimarca, B. X. Vintimilla, and S. A. Velastin, “A review of external quality inspection for fruit grading using CNN models,” *Artif. Intell. Agric.*, vol. 14, pp. 1–20, 2024, doi: 10.1016/j.aiia.2024.10.002.
- [5] S. H. Ali and M. B. Abdulrazzaq, “KurdSet: A Kurdish Handwritten Characters Recognition Dataset Using Convolutional Neural Network,” *Comput. Mater. Contin.*, vol. 79, no. 1, pp. 429–448, 2024, doi: 10.32604/cmc.2024.048356.