

Analisis Performa Model CNN dalam Klasifikasi Kebakaran dan non Kebakaran Hutan

Fahreza Fany Dwiputra^{1,*}, Banu Santoso², Dony Ariyus³

^{1,2,3} Fakultas Ilmu Komputer, Teknik Komputer, Universitas Amikom Yogyakarta, Yogyakarta, Indonesia

Email: ^{1,*}fanyreza2002@students.amikom.ac.id, ²banu@amikom.ac.id, ³dony.a@amikom.ac.id

^{*}) Email Penulis Utama

Abstrak—Kebakaran hutan merupakan peristiwa terbakarnya suatu lahan yang disebabkan oleh faktor alam dan manusia, yang berdampak pada kerusakan lingkungan, hilangnya keanekaragaman hayati, dan menimbulkan dampak negatif bagi kesehatan. Penggunaan teknologi pendeteksi dan pemantau adalah salah satu upaya untuk mengurangi dampak kebakaran hutan yang semakin meluas. Seiring dengan kemajuan teknologi, Convolutional Neural Networks (CNN) adalah salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengklasifikasikan kebakaran hutan yang dinilai canggih serta populer. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis dan perbandingan kinerja tiga model CNN dalam klasifikasi kebakaran hutan dan non-kebakaran hutan. Model CNN yang digunakan adalah VGG16, Inception-V3, dan ResNet50. Data yang digunakan sebanyak 952 citra yang terdiri dari 592 citra kebakaran dan 360 citra non kebakaran. Data tersebut terbagi menjadi tiga bagian yaitu data training sebesar 653 citra, data validation sebesar 149, dan data testing sebesar 150. Hasil untuk evaluasi model Inception-V3 memiliki performa yang paling terbaik secara keseluruhan, dengan mencapai accuracy 98% dan precision 99% pada data testing. VGG16 menunjukkan performa yang baik dan konsisten, sedangkan ResNet50 menunjukkan performa yang buruk. Hal ini menunjukkan bahwa model Inception-V3 lebih unggul di bandingkan dengan model VGG16 dan ResNet50 dalam klasifikasi kebakaran dan non kebakaran hutan.

Kata Kunci: Kebakaran Hutan, Convolutional Neural Networks, VGG16, Inception-V3, ResNet50

Abstract—Forest fire is an event of burning land caused by natural and human factors, which has an impact on environmental damage, loss of biodiversity, and has a negative impact on health. The use of detection and monitoring technology is one of the efforts to reduce the impact of widespread forest fires. Along with technological advances, Convolutional Neural Networks (CNN) is one method that can be used to classify forest fires which is considered sophisticated and popular. This research aims to analyze and compare the performance of three CNN models in the classification of forest fires and non-forest fires. The CNN models used are VGG16, Inception-V3, and ResNet50. The data used is 952 images consisting of 592 fire images and 360 non-fire images. The data is divided into three parts, namely training data of 653 images, validation data of 149, and testing data of 150. The results for the evaluation of the Inception-V3 model have the best overall performance, by achieving 98% accuracy and 99% precision on the testing data. VGG16 showed good and consistent performance, while ResNet50 showed poor performance. This shows that the Inception-V3 model is superior to the VGG16 and ResNet50 models in the classification of forest fires and non-fires.

Keywords: Forest Fire, Convolutional Neural Networks, VGG16, Inception-V3, ResNet50

1. PENDAHULUAN

Kebakaran hutan merupakan suatu peristiwa terbakarnya suatu lahan hutan yang terjadi secara alami atau adanya unsur kesengajaan manusia dan dapat meluas secara cepat ke area yang lebih besar. Kebakaran hutan terjadi ketika api membakar pohon, rumput, dan semak di wilayah hutan. kebakaran hutan yang dapat menyebabkan kerusakan pada lingkungan, hilangnya keanekaragaman hayati, dan dapat menyebabkan dampak negatif pada kesehatan[1]. Beberapa faktor terjadinya kebakaran hutan disebabkan oleh faktor alami, seperti cuaca yang panas, petir, dan El Nino, serta dari unsur kesengajaan dan kelalaian manusia seperti memperluas atau membuka lahan baru dengan cara pembakaran[2].

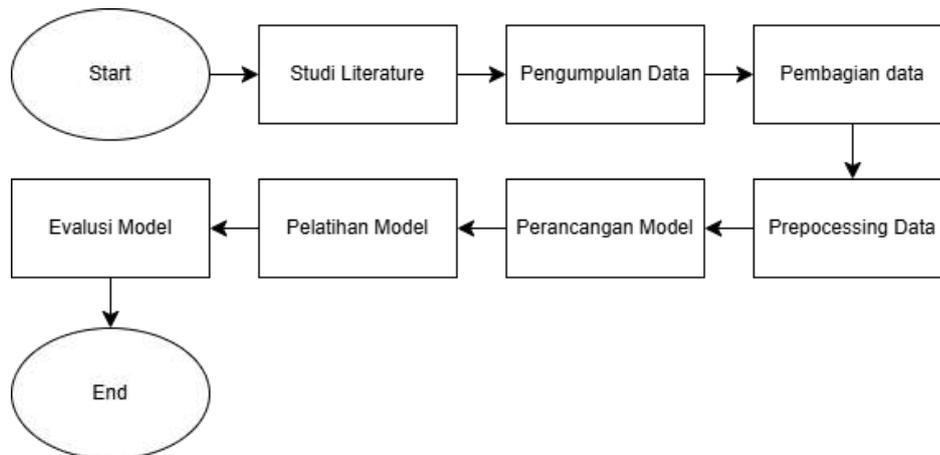
Teknologi deteksi dan pemantauan kebakaran hutan sangat perlu adanya karena menjadi salah satu upaya yang sangat penting untuk mengurangi dampak bencana kebakaran yang lebih meluas, terutama pada deteksi dini kebakaran yang dapat mendeteksi secara akurat. Seiring dengan perkembangan teknologi untuk mendeteksi kebakaran hutan yang mempunyai kemampuan yang generalisasi terhadap data yang belum di pelajari adalah Machine Learning. Khususnya dengan memanfaatkan salah satu model yang digunakan untuk mendeteksi citra kebakaran hutan yang mempunyai multiple layer dan memiliki kemampuan yang bagus serta dinilai canggih, populer, dan efektif dalam analisis citra yaitu dengan menggunakan Convolutional Neural Networks (CNN)[3]. CNN merupakan jenis jaringan saraf tiruan yang di buat khusus untuk memproses data dalam bentuk grid seperti citra digital yang telah digunakan secara luar. CNN itu sendiri memiliki banyak model yang populer dan dapat digunakan seperti Visual Geometry Group (VGG), Inception-V3, Residual Network (ResNet), AlexNet, MobileNet, dan lain-lain.

Dari beberapa model CNN yang disampaikan penggunaannya bahwa dalam penelitian ini menggunakan model VGG16, Inception-V3, ResNet50 dipilih karena memiliki kemampuan dalam mengenali pola visual yang kompleks dan memiliki karakteristik masing masing yang dapat mempengaruhi performa model. Model VGG16 memiliki ciri khas antara lain dari penggunaan convolutional 3x3 dengan stride 1 serta penerapan pooling 2x2 dengan stride 2. VGG16 ini dikenal karena mempunyai model yang sederhana tetapi efektif, stabil, dan digunakan secara luas dalam klasifikasi gambar. Penelitian sebelumnya menunjukkan model VGG16 memberikan hasil accuracy yang baik sebesar 94% pada identifikasi kebakaran hutan[4]. Model Inception-V3 membawa sistem yang berbeda karena keunggulannya yang efisien menghasilkan model yang lebih dalam dengan tingkat kesalahan yang lebih rendah dengan menggunakan multi-layer dengan ukuran yang lebih kecil. Pada penelitian sebelumnya bahwa model Inception-V3 menunjukkan hasil accuracy yang baik sebesar 99% dalam deteksi kebakaran secara realtime[5]. Sedangkan model ResNet50 memiliki konsep dalam penggunaan block residu yang di kenal dengan sebutan shortcut connections yang memungkinkan dari aliran layer sebelumnya, digunakan sebagai input langsung ke layer ouput, bertujuan untuk menghindari gambar yang dapat kehilangan informasi untuk melewati beberapa lapis tanpa adanya penurunan yang signifikan. Pada penelitian sebelumnya menunjukkan model ResNet50 berhasil memberikan hasil accuracy yang baik sebesar 96.92% dalam mendeteksi kebakaran hutan[6]. Ketiga model ini memiliki keunggulan masing masing yang dapat mempengaruhi performa dalam klasifikasi kebakaran hutan, VGG16 model yang sederhana tetapi efektif dan stabil, Inception-V3 model yang efesiensi dan memiliki akurasi yang tinggi, serta Resnet50 model yang memiliki shortcut connections[7],[8].

Dengan demikian, pada penelitian ini bertujuan untuk menganalisis serta membandingkan performa tiga model Convolutional Neural Networks(VGG16, Inception-V3, ResNet50), model mana yang terbaik dalam mengklasifikasi kebakaran dengan menggunakan citra dataset kebakaran dan non kebakaran hutan.

2. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam klasifikasi kebakaran dan non kebakaran hutan dengan menggunakan algoritma Convolutional Neural Network. Pada penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan performa ketiga model CNN seperti VGG16, ResNet50, dan Inception-V3. Berikut beberapa tahapan penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahapan Penelitian

Berdasarkan Gambar 1, tahap awal penelitian dilakukan studi literature untuk mempelajari, memahami, mendalami, dan mengumpulkan referensi dari penelitian sebelumnya. Selanjutnya dilakukan pengumpulan data citra kebakaran dan non kebakaran. Setelah data terkumpul selanjutnya data dilakukan pembagian yaitu data training, validation, dan testing. Tahap selanjutnya adalah dilakukan preprocessing data citra. Setelah dilakukannya preprocessing data selanjutnya perancangan model VGG16, Inception-V3, ResNet50 yang digunakan pada penelitian ini. Model yang sudah dirancang selanjutnya dilakukannya pelatihan pada setiap model. Setelah proses pelatihan selesai selanjutnya dilakukan evaluasi. Setelah mendapatkan hasil dari evaluasi, penelitian ini melakukan perbandingan untuk menentukan model yang memiliki performa yang terbaik dalam klasifikasi kebakaran dan non kebakaran hutan.

2.1 Studi Literature

Pada penelitian ini dilakukan dengan mendalami, mempelajari, dan mengumpulkan referensi, informasi, teknik dan konsep teori dari studi literature yang mencakup berbagai jurnal terdahulu mengenai penggunaan model Convolutional Neural Network (CNN) seperti VGG16, Inception-V3, ResNet50 untuk digunakan dalam penelitian ini sebagai landasan teori penelitian.

2.2 Pengumpulan Data

Penelitian ini memanfaatkan dataset yang bersumber dari website data public yang tersedia, yaitu kaggle. Dataset yang digunakan berisi citra kebakaran dan non kebakaran hutan yang berjumlah 952 yang terdiri dari 592 citra kebakaran dan 360 citra non kebakaran hutan dengan format jpg, serta disimpan di Google Drive dan akan di import ke dalam Google Colab untuk digunakan dalam penelitian ini. Contoh data citra yang telah di kumpulkan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Contoh Data Citra

2.3 Pembagian Data

Pembagian data kebakaran dan non kebakaran yang telah terkumpul dibagi menjadi tiga bagian yang berbeda yaitu data training, data validation, dan data testing. Data citra kebakaran dan non kebakaran berjumlah 952, data tersebut dibagi menjadi data training sebesar 653 citra, data validation sebesar 149 citra, dan data testing sebesar 150 citra. Pembagian data citra dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Jumlah Pembagian Data Training, Validation, Testing

Dataset	Data Training	Data Validation	Data Testing	Jumlah
Citra Kebakaran	414	89	89	592
Citra Non Kebakaran	239	60	61	360
Jumlah	653	149	150	952

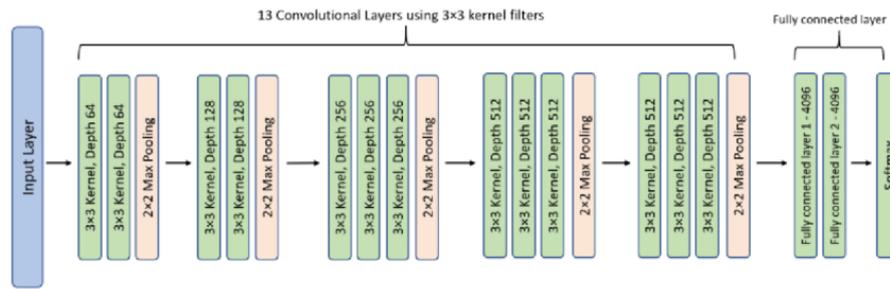
2.4 Preprocessing

Pada tahap preprocessing ini dilakukan setelah semua citra gambar kebakaran dan non kebakaran terkumpul. Selanjutnya citra gambar data yang sudah terkumpul mempunyai ukuran pixel yang berbeda, oleh karena itu tahap preprocessing ini menggunakan Resize yang bertujuan mengubah ukuran citra piksel asli menjadi ukuran piksel yang sama yaitu 224 x 224 piksel, serta juga menggunakan augmentasi data yang bertujuan untuk meningkatkan variasi data dan mengurangi terjadinya overfitting [9].

2.5 Perancangan Model CNN

Pada perancangan model CNN yang digunakan memiliki jenis lapisan convolutional layers, pooling, dan fully connected layers. Penelitian ini menggunakan beberapa model sebagai berikut:

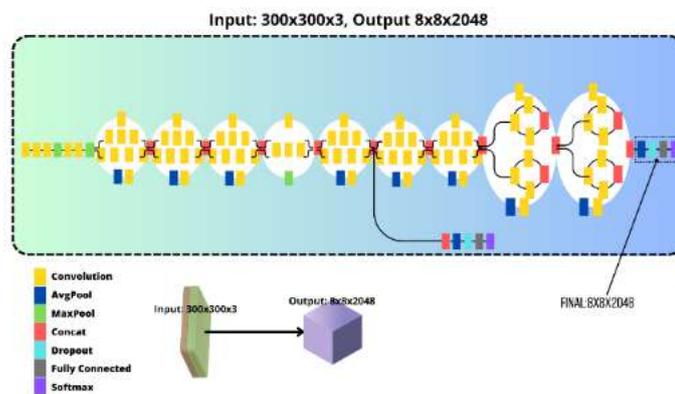
- a. Visual Geometry Group 16 (VGG16)
VGG16 merupakan singkatan dari Visual Geometry Group dengan memiliki 16-lapisan adalah salah satu model CNN yang menggunakan 16-lapisan sebagai model arsitekturnya. VGG16 memiliki arsitektur yang sederhana dengan layer filter 3x3 dan maksimal polling 2x2[10]. Dalam model VGG16 memiliki 2 jenis pooling yang digunakan adalah Max Pooling dan Average Pooling. Kedua jenis pooling ini memiliki cara kerja yang berbeda dalam memproses nilai yang dilewati oleh kernel. Max Pooling bekerja dengan cara mengembalikan nilai yang tertinggi, sedangkan Average Pooling bekerja dengan mengembalikan nilai dengan menghitung rata-rata[11].



Gambar 3. Arsitektur VGG16[12]

b. Inception-V3

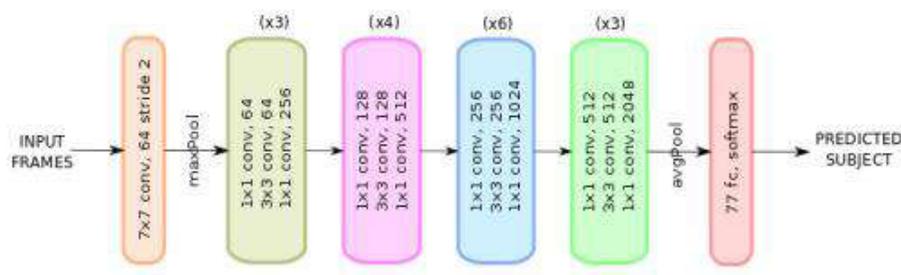
Inception adalah model jaringan saraf yang pertama diperkenalkan dengan nama GoogleNet pada tahun 2014. Pada CNN digunakan dalam pembelajaran yang mendalam untuk Inception-V3 untuk kategori gambar. Inception-V3 ini merupakan versi ketiga yang lebih maju dari versi model sebelumnya. Sebagai salah satu model CNN, Inception-V3 mempunyai 42-lapisan yang dianggap cukup efisien dalam hal kedalaman arsitektur serta memiliki faktor kesalahan yang cukup lebih rendah.



Gambar 4. Arsitektur Inception-V3[13]

c. Residual Network 50 (ResNet50)

Residual Network atau yang lebih dikenal sebagai ResNet adalah model CNN yang populer dalam mendeteksi suatu objek. Model ResNet50 ini memiliki jumlah layer dalam jaringan yang lebih dari 100-lapisan dan mempunyai kemampuan system skip connections atau melewati koneksi, sistem ini merupakan sistem yang utama dari model ResNet50 yang bertujuan untuk mempelajari jaringan yang lebih dalam tanpa mengalami masalah dalam kehilangan gradien[14].



Gambar 5. Arsitektur ResNet50[15]

2.6 Pelatihan Model

Pada proses pelatihan model ini dilakukan dengan menggunakan data yang telah dilakukan preprocessing sebelumnya. Tahapan penelitian dilakukan untuk mendapatkan model mana yang terbaik. Beberapa parameter yang digunakan dalam pelatihan antara lain jumlah learning rate sebesar 0.0001, menggunakan adam optimizer, fungsi loss categorical crossentropy serta metrik akurasi yang digunakan untuk mengoptimalkan pada saat proses pelatihan[16], jumlah proses pelatihan yang dilakukan sebesar 50 epoch untuk mencapai konvergensi yang baik, dan menggunakan early stopping untuk menghentikan pelatihan agar model tidak mengalami overfitting[17].

2.7 Evaluasi

Pada tahap ini model yang sudah dilakukan pelatihan selanjutnya melakukan evaluasi dengan menggunakan data testing dengan menggunakan Confusion matrix, yang mencakup nilai matrix seperti accuracy, precision, recall, dan f1-Score digunakan untuk mengukur performa setiap model pada klasifikasi kebakaran hutan. Confusion matrix mencakup beberapa nilai kelas, yaitu True Positive (TP), True Negative (TN), False Positive (FP), dan False Negative (FN). Confusion matrix ini berfungsi untuk memprediksi jumlah yang benar dan salah untuk setiap kelas[18]. Dengan mengetahui nilai nilai tersebut, penelitian ini dapat membandingkan performa model VGG16, Inception-V3, dan ResNet50. Untuk perhitungan bisa dilihat pada persamaan berikut.

$$\text{Accuracy} = \frac{TP+TN}{TP + TN +FP+FN} \tag{1}$$

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP + FP} \tag{2}$$

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP + FN} \tag{3}$$

$$\text{F1-Score} = 2 \times \frac{\text{Precision} \times \text{Recall}}{\text{Precision} + \text{Recall}} \tag{4}$$

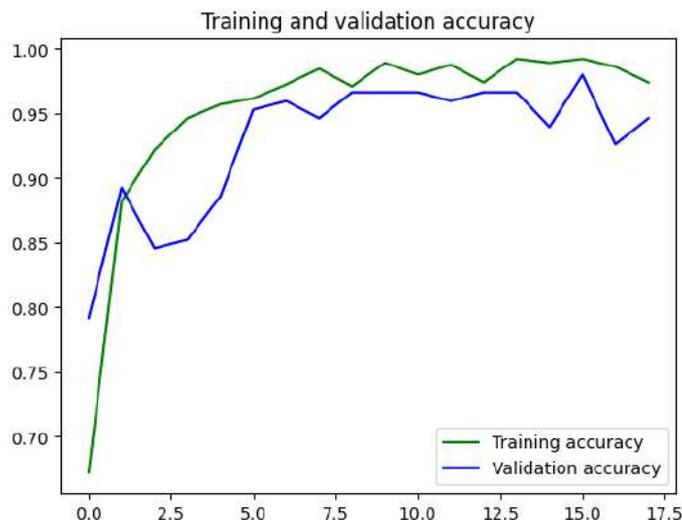
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pelatihan Model

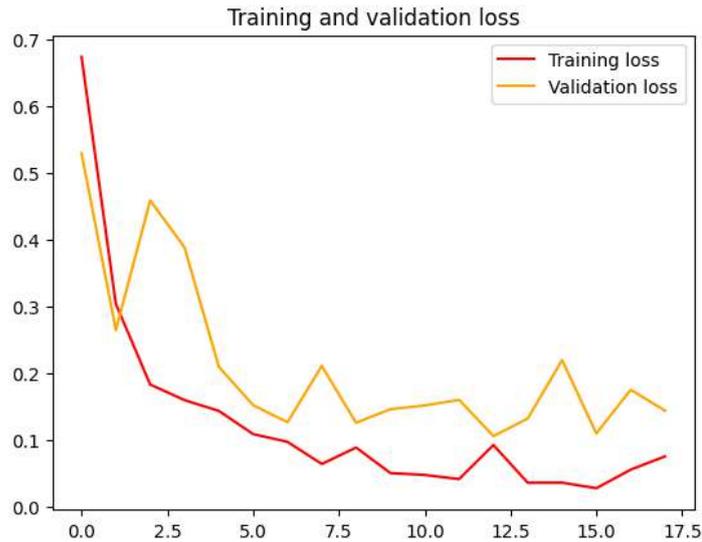
Selesainya dilakukan tahap processing dan perancangan model, selanjutnya pada tahap ini dilakukan pelatihan model dengan diterapkan optimizer adam dengan nilai learning rate 0,0001, menggunakan adam optimizer, fungsi loss categorical crossentropy serta metrik akurasi. Model dilatih dengan penggunaan epoch sebanyak 50 pada setiap model, serta menambahkan early stopping untuk mencegah tidak terjadinya model tersebut overfitting. Hasil ketiga pelatihan model dapat dilihat sebagai berikut:

a. Pelatihan model VGG16

Pada hasil pelatihan model VGG16 mendapatkan hasil akhir yang diperoleh nilai loss sebesar 0.0755, accuracy sebesar 0.9740, validasi loss sebesar 0.1440, dan validasi accuracy sebesar 0.9463. Grafik hasil pelatihan model dapat dilihat pada Gambar 6 dan 7. Pada Gambar 6 Garis Hijau menunjukkan bahwa model pada training accuracy meningkat secara bertahap dan mendapatkan nilai yang cukup tinggi. Pada Garis Biru validation accuracy menunjukkan meningkat seiring waktu, tetapi stabil pada nilai lebih rendah dibandingkan training accuracy. Pada Gambar 7 Garis Merah menunjukkan bahwa model pada trainig loss menunjukkan menurun secara cepat. Pada Garis Orange validation loss juga menunjukkan menurun dengan baik. Selama proses pelatihan menunjukkan bahwa model VGG16 memiliki kinerja yang baik dan tidak ada tanda overfitting pada kedua data training dan validation.



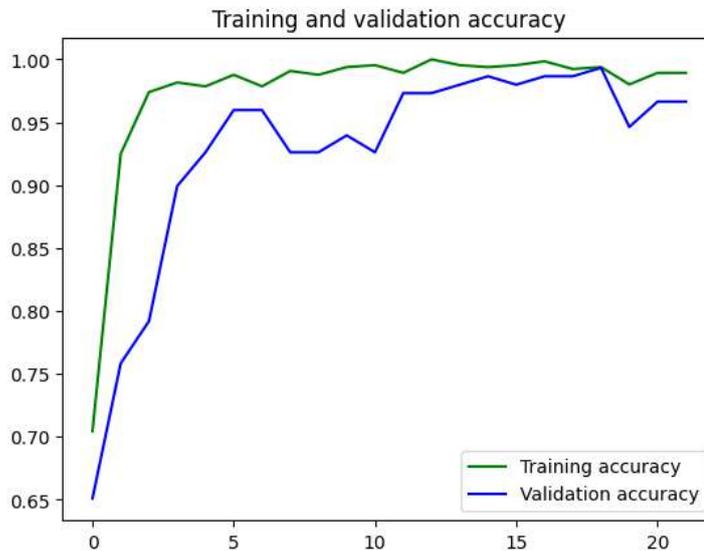
Gambar 6. Grafik Training dan Validation Model VGG16



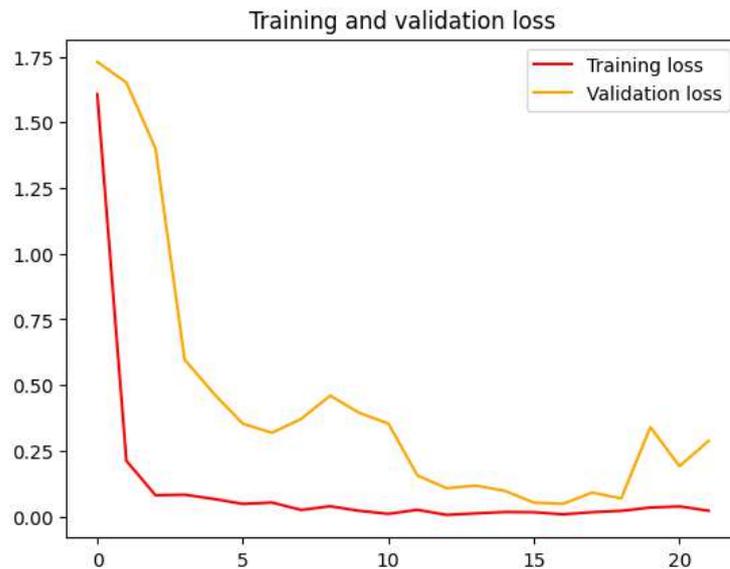
Gambar 7. Grafik Loss Training dan Validation Model VGG16

b. Pelatihan model Inception-V3

Pada hasil pelatihan model Inception-V3 mendapatkan hasil akhir yang diperoleh nilai loss sebesar 0.0219, accuracy sebesar 0.9893, validasi loss sebesar 0.2875, dan validasi accuracy sebesar 0.9664. Grafik hasil pelatihan model dapat dilihat pada Gambar 8 dan 9. Pada Gambar 8 Garis Hijau menunjukkan bahwa model pada training accuracy memiliki peningkatan stabil dan mendapatkan nilai yang cukup tinggi. Pada Garis Biru validation accuracy menunjukkan meningkat secara signifikan. Pada Gambar 9 Garis Merah menunjukkan bahwa model pada training loss menunjukkan menurun secara cepat pada beberapa epoch pertama. Pada Garis Orange validation loss juga menunjukkan menurun secara signifikan. Selama proses pelatihan menunjukkan bahwa model Inception-V3 memiliki performa yang sangat baik serta menghasilkan prediksi yang akurat pada data baru pada data training dan validation.



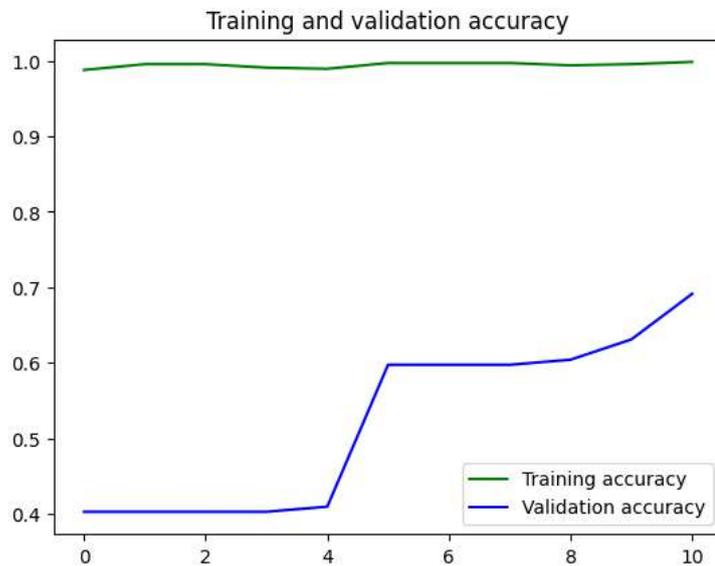
Gambar 8. Grafik Training dan Validation Model Inception-V3



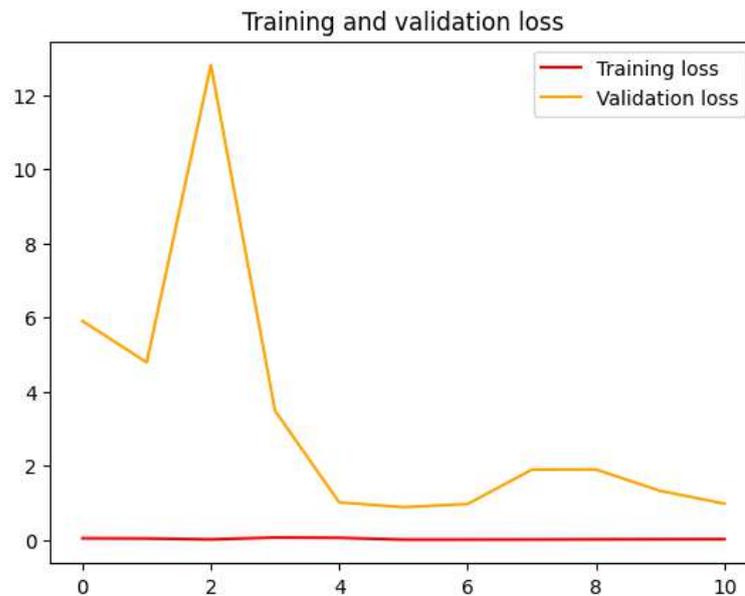
Gambar 9. Grafik Loss Training dan Validation Model Inception-V3

c. Pelatihan model ResNet50

Pada hasil pelatihan model ResNet50 mendapatkan hasil akhir yang diperoleh nilai loss sebesar 0.0196, accuracy sebesar 0.9985, validasi loss sebesar 0.9781, dan validasi accuracy sebesar 0.6913. Grafik hasil pelatihan model dapat di lihat pada Gambar 10 dan 11. Pada Gambar 10 Garis Hijau menunjukkan bahwa model pada training accuracy menunjukkan accuracy yang tidak berubah selama pelatihan, bahwa model ini mempelajari data training dengan baik. Pada Garis Biru validation accuracy menunjukkan meningkat signifikan setelah epoch ke 5. Pada Gambar 11 Garis Merah menunjukkan bahwa model pada training loss menunjukkan stabil selama pelatihan. Pada Garis Orange validation loss juga menunjukkan menurun pada awal pelatihan tetapi mulai berubah setelah epoch ke 5. Selama proses pelatihan menunjukkan tanda overfitting pada kedua data training dan validation.



Gambar 10. Grafik Training dan Validation Model ResNet50



Gambar 11. Grafik Loss Training dan Validation Model ResNet50

3.2 Evaluasi Model

Setelah dilakukan proses pelatihan selanjutnya dilakukan proses evaluasi untuk pengukuran performa dari ketiga model yang digunakan pada data testing sebanyak 160 data citra yang mencakup 89 data citra kebakaran serta 61 data citra non kebakaran, evaluasi ini bertujuan untuk mengukur kemampuan model dalam hal nilai Accuracy, Precision, Recall, dan F1-Score dalam mengklasifikasi data dengan akurat, serta memahami jenis kesalahan yang dihasilkan, serta dilakukan dengan menggunakan berbagai nilai matrix untuk menilai seberapa baik model memprediksi pada data baru. Berikut ini merupakan nilai confusion matrix dari ketiga model dapat dilihat pada Table 2.

Tabel 2. Nilai Confusion Matrix Model

	VGG16	Inception-V3	ResNet50
True Positive (TP)	84	88	69
False Positive (FP)	5	1	20
False Negative (FN)	0	2	51
True Negative (TN)	61	59	10

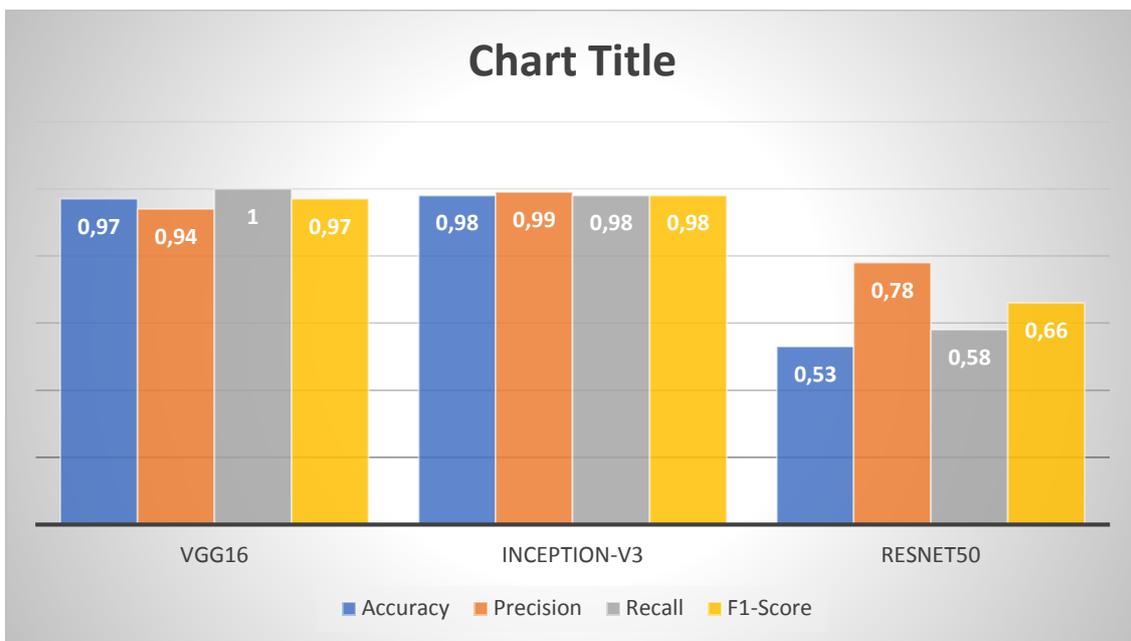
Tabel 2 menunjukkan perbandingan nilai confusion matrix dari ketiga model CNN yang mencangkup nilai kasus positif dan negative secara benar maupun salah, berdasarkan nilai matrix True Positive (TP), False Positive (FP), False Negative (FN), dan True Negative (TN), merupakan komponen dari matrix ini yang digunakan untuk mengevaluasi nilai accuracy, precision, recall, dan f1-Score pada setiap model CNN. Hasil evaluasi nilai matrix dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan Hasil Evaluasi Nilai Matrix

Model	Accuracy	Precision	Recall	F1-Score
VGG16	0.97	0.94	1.00	0.97
Inception-V3	0.98	0.99	0.98	0.98
ResNet50	0.53	0.78	0.58	0.66

Tabel 3 menunjukkan perbandingan hasil evaluasi menunjukkan bahwa model VGG16 mendapatkan hasil yang cukup baik yaitu nilai accuracy sebesar 0.97 atau 97%, precision 0.94 atau 94%, recall 1.00 atau 100%, dan f1-score 0.97 atau 97%. Model Inception-V3 mendapatkan hasil yang terbaik dibandingkan dengan model lainnya yaitu accuracy sebesar 0.98 atau 98%, precision 0.99 atau 99%, recall 0.98 atau 98%, dan f1-score 0.98 atau 98%. Model Inception-V3 ini memiliki keunggulan yang inovatif, menggunakan blok inception yang menggabungkan filter dengan berbagai macam ukuran untuk menangkap pola lokal dan global secara bersamaan dan efisien, serta

penggunaan factorized convolutions dan batch normalization membantu pengurangan resiko kehilangan gradien. Model ResNet50 mendapatkan kinerja yang buruk yaitu nilai accuracy sebesar 0.53 atau 53%, precision 0.78 atau 78%, recall 0.58 atau 58%, dan f1-score 0,66 atau 66%. Model ResNet50 ini mengalami overfitting pada dataset yang kecil serta keterbatasan pada variasi data dan augmentasi yang membuat model ResNet50 ini kurang optimal. Gambar 9 menunjukkan grafik perbandingan hasil evaluasi ketiga model CNN berdasarkan nilai accuracy, precision, recall, dan f1-score. Gambar 9 menunjukkan bahwa model Inception-V3 memiliki performa yang terbaik pada seluruh semua metrik, menandakan bahwa model inception-V3 ini kemampuannya sangat baik dan konsisten. Model VGG16 menunjukkan performa yang baik dengan memiliki nilai recall yang sempurna meskipun berada dibawah model Inception-V3, sedangkan model ResNet50 menunjukkan performa yang lebih rendah di bandingkan dengan kedua model lainnya,



Gambar 12. Grafik Perbandingan Model CNN

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil evaluasi, yang dilakukan oleh peneliti maka didapatkan hasil dari klasifikasi citra kebakaran dan non kebakaran dari ketiga model CNN (VGG16, Inception-V3, ResNet50), menunjukkan bahwa model Inception-V3 memiliki performa yang terbaik secara keseluruhan mencapai tingkat accuracy yang tinggi sebesar 98%, precision 99%, recall 98%, dan f1-score sebesar 98%. Model VGG16 menunjukkan performa yang baik, dengan memiliki accuracy 97%, precision 94%, recall yang sempurna mencapai 100%, dan f1-score 97% karena model ini yang sederhana, efektif dan stabil, sedangkan model ResNet50 menunjukkan performa yang buruk dengan mencapai accuracy 53%, precision 78%, recall 58%, dan f1-score 66%, bahwa model ini kurang optimal yang mengakibatkan model ini overfitting dibandingkan dengan model lainnya.

Hasil penelitian menunjukkan model Inception-V3 memiliki keunggulan arsitektur yang inovatif, yang memungkinkan model menangkap pola lokal dan global secara efisien, serta kemampuan model ini menghasilkan prediksi yang akurat dan seimbang. Oleh karena itu, pada penelitian ini model Inception-V3 menjadi pilihan model CNN yang terbaik dalam klasifikasi kebakaran dan non kebakaran dibandingkan dengan model lainnya.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan rasa terima kasih kepada Universitas Amikom Yogyakarta atas kesempatan yang diberikan untuk melakukan penelitian ini, ucapan terima kasih juga kepada Dosen Pembimbing yang terlibat dalam penelitian ini, serta kepada orang tua dan teman-teman atas dukungan dan bantuan dalam menyelesaikan penelitian ini.

REFERENCES

- [1] [1] A. Wijayanto, H. A. Wiraraja, and S. A. Idris, "Forest Fire and Environmental Damage: The Indonesian Legal Policy and Law Enforcement," *Unnes Law J.*, vol. 8, no. 1, pp. 105–132, 2022, doi: 10.15294/ulj.v7i1.52812.
- [2] M. D. Flannigan, B. J. Stocks, and B. M. Wotton, "Climate change and forest fires," *Sci. Total Environ.*, vol. 262, no. 3, pp. 221–229, 2000, doi: 10.1016/S0048-9697(00)00524-6.
- [3] Z. F. Abror, "KLASIFIKASI CITRA KEBAKARAN DAN NON KEBAKARAN MENGGUNAKAN CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK," *J. Ilm. Teknol. dan Rekayasa*, vol. 24, no. 2, pp. 102–113, 2019, doi: 10.35760/tr.2019.v24i2.2389.
- [4] D. Hindarto, "Comparison Accuracy of CNN and VGG16 in Forest Fire Identification: A Case Study," *J. Comput. Networks, Archit. High Perform. Comput.*, vol. 6, no. 1, pp. 137–148, 2023, doi: 10.47709/cnahpc.v6i1.3371.
- [5] A. Bhavani, M. Iswarya, and J. Lokesh, "Real-time fire detection based on CNN and inception V3 algorithms," *Int. J. Health Sci. (Qassim)*, vol. 6, no. May, pp. 13513–13527, 2022, doi: 10.53730/ijhs.v6ns2.8618.
- [6] R. A. Saputra and F. D. Adhinata, "Model Deteksi Kebakaran Hutan dan Lahan Menggunakan Transfer Learning DenseNet201," *J. Intell. Syst. Comput.*, vol. 5, no. 2, pp. 65–72, 2023, doi: 10.52985/insyst.v5i2.317.
- [7] M. I. Fathur Rozi, N. O. Adiwijaya, and D. I. Swasono, "Identifikasi Kinerja Arsitektur Transfer Learning Vgg16, Resnet-50, Dan Inception-V3 Dalam Pengklasifikasian Citra Penyakit Daun Tomat," *J. Ris. Rekayasa Elektro*, vol. 5, no. 2, p. 145, 2023, doi: 10.30595/jrre.v5i2.18050.
- [8] M. Khatama Insani and D. Budi Santoso, "Perbandingan Kinerja Model Pre-Trained CNN (VGG16, RESNET, dan INCEPTIONV3) untuk Aplikasi Pengenalan Wajah pada Sistem Absensi Karyawan," *J. Indones. Manaj. Inform. dan Komun.*, vol. 5, no. 3, pp. 2612–2622, 2024, [Online]. Available: <https://journal.stmiki.ac.id>
- [9] D. Putri Ayuni, Jasril, M. Irsyad, F. Yanto, and S. Sanjaya, "Augmentasi Data Pada Implementasi Convolutional Neural Network Arsitektur Efficientnet-B3 Untuk Klasifikasi Penyakit Daun Padi," *Zo. J. Sist. Inf.*, vol. 5, no. 2, pp. 239–249, 2023, doi: 10.31849/zn.v5i2.13874.
- [10] Y. Miftahuddin and F. Adani, "Sistem Klasifikasi Jenis Kupu-Kupu Menggunakan Visual Geometry Group 16," vol. X, no. X, pp. 1–11, 2022, [Online]. Available: <https://e-proceeding.itenas.ac.id/index.php/fti/article/view/965>
- [11] W. Hutamaputra, R. Y. Krisnabayu, M. Mawarni, N. Yudistira, and F. A. Bachtiar, "Perbandingan Convolutional Neural Network VGG16 dan ResNet34 pada Sistem Klasifikasi Sampah Botol," *J. Teknol. dan Sist. Komput.*, vol. 10, no. 2, pp. 136–142, 2022, doi: 10.14710/jtsiskom.2021.14045.
- [12] E. S. WAHYUNI and M. HENDRI, "Smoke and Fire Detection Base on Convolutional Neural Network," *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 7, no. 3, p. 455, Sep. 2019, doi: 10.26760/elkomika.v7i3.455.
- [13] N. Huda, A. Mahiruna, W. Sulistijanti, and R. C. N. Santi, "Analisis Performa Inceptionv3 Convolutional Network Pada Klasifikasi Varietas Daun Grapevine," *J. Sains Komput. dan Teknol. Inf.*, vol. 5, no. 2, pp. 47–53, 2023, doi: 10.33084/jsakti.v5i2.5022.
- [14] C. R. Madhuri, S. S. Jandhyala, D. M. Ravuri, and V. D. Babu, "Accurate classification of forest fires in aerial images using ensemble model," *Bull. Electr. Eng. Informatics*, vol. 13, no. 4, pp. 2650–2658, 2024, doi: 10.11591/eei.v13i4.6527.
- [15] Y. N. Yenusi, Suryasatriya Trihandaru, and A. Setiawan, "Comparison of Convolutional Neural Network (CNN) Models in Face Classification of Papuan and Other Ethnicities," *JST (Jurnal Sains dan Teknol.)*, vol. 12, no. 1, pp. 261–268, 2023, doi: 10.23887/jstundiksha.v12i1.46861.
- [16] Elinda Lusyana Puji Ristanti, "Analisis Dan Perbandingan Arsitektur Vgg16 Dan Mobilenetv2 Untuk Klasifikasi Dan Identifikasi Penyakit Daun Pada Tanaman Cabai Menggunakan Cnn," *J. Ilm. Sain dan Teknol.*, vol. 2, no. 9, pp. 216–226, 2024.
- [17] M. Alruwaili, A. Shehab, and S. Abd El-Ghany, "COVID-19 Diagnosis Using an Enhanced Inception-ResNetV2 Deep Learning Model in CXR Images," *J. Healthc. Eng.*, vol. 2021, no. DI, 2021, doi: 10.1155/2021/6658058.
- [18] S. Arnardito and T. B. Sasongko, "Comparison of EfficientNetB7 and MobileNetV2 in Herbal Plant Species Classification Using Convolutional Neural Networks," *J. Appl. Informatics Comput.*, vol. 8, no. 1, pp. 176–185, 2024, doi: 10.30871/jaic.v8i1.7927.