

PENERAPAN *HYPERPARAMETER CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK (CNN)* DALAM MEMBANGUN MODEL SEGMENTASI GAMBAR MENGGUNAKAN ARSITEKTUR *U-NET* DENGAN *TENSORFLOW*

APPLICATION OF CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK (CNN) HYPERPARAMETERS IN BUILDING IMAGE SEGMENTATION MODELS USING U-NET ARCHITECTURE WITH TENSORFLOW

¹Tri Sulistiyorini*, ²Erma Sova, ³Nelly Sofie, ⁴Revida Iriana Napitupulu
^{1,3,4}Fakultas Teknologi Industri Universitas Gunadarma, ²Fakultas Ilmu Komputer Universitas Gunadarma, Jl. Margonda Raya No. 100, Depok 16424, Jawa Barat
¹ tri_s@staff.gunadarma.ac.id, ² erma_ova@staff.gunadarma.ac.id, ³ nelly_sofi@staff.gunadarma.ac.id, ⁴ revida@staff.gunadarma.ac.id
) Penulis Korespondensi

Abstrak

Teknologi canggih membutuhkan keterampilan atau performa yang baik untuk memudahkan sebagian pekerjaan di era modern, yaitu dengan menggunakan pendekatan machine learning. Bidang machine learning telah mengalami perubahan yang impresif dengan adanya kemunculan Artificial Neural Network (ANN). Model komputasi ini terinspirasi oleh jaringan saraf biologis yang telah melampaui bentuk kecerdasan buatan pada machine learning pada umumnya. Salah satu arsitektur Artificial Neural Network (ANN) yang paling unggul yaitu Convolutional Neural Network (CNN). CNN pada umumnya digunakan untuk memecahkan masalah pengenalan pola berbasis gambar yang kemudian menghasilkan output yang cukup baik dalam hal kompleksitas sederhana. Tujuan penelitian adalah untuk Menerapkan convolutional neural network yaitu U-NET dan penerapannya pada TensorFlow, pembuatan segmentasi gambar dengan deep learning yang diterapkan seperti pada Oxford-IIIT Pet Dataset, melakukan pencarian prediksi yang dilakukan dengan arsitektur U-Net untuk menghasilkan hasil yang baik atau malah sebaliknya, melihat perbandingan Predicted Mask dengan True Mask pada kelas kucing yang munculkan dalam bentuk skor IOU dan penerapannya menggunakan nilai batas bawah pada IOU. Metode penelitian adalah untuk mengenalkan machine learning, CNN, dan arsitektur U-NET yang awalnya dirancang untuk segmentasi gambar biomedis. Hasil prediksi yang dilakukan dengan arsitektur U-Net menghasilkan hasil yang baik, perbandingan Predicted Mask dengan True Mask pada kelas kucing yang mendapatkan skor IOU sebesar 0.933. Pada penerapan ini menggunakan batas bawah 0.5 pada IOU sehingga model ini dapat berjalan dengan baik

Kata Kunci: Artificial Neural Network, ANN, Convolutional Neural Network, Deep Learning, Machine Learning, Segmentasi Gambar

Abstract

Advanced technology requires good skills or performance to facilitate some work in the modern era, namely using a machine learning approach. The field of machine learning has undergone impressive changes with the emergence of Artificial Neural Network (ANN). This computational model is inspired by biological neural networks that have surpassed the form of artificial intelligence in machine learning in general. Convolutional Neural Network (CNN) is one of the

most superior Artificial Neural Network (ANN) architectures. Convolutional Neural Networks (CNNs) are generally used to solve image-based pattern recognition problems that then produce quite good output in terms of simple complexity. The purpose of the study is to apply convolutional neural network namely U-NET and its application to TensorFlow, making image segmentation with deep learning applied as in the Oxford-IIIT Pet Dataset, perform a prediction search carried out with the U-Net architecture to produce good results or vice versa, see the comparison of Predicted Mask with True Mask in the cat class that appears in the form of an IOU score and its application using the lower limit value on the IOU. The research method was to introduce machine learning, CNN, and U-NET architectures originally designed for biomedical image segmentation. The prediction results made with the U-Net architecture produced good results, comparing Predicted Mask with True Mask in the cat class which received an IOU score of 0.933. In this implementation using a lower bound of 0.5 on the IOU so that this model can run properly

Keywords: Artificial Neural Network, Convolutional Neural Network, Deep Learning, Machine Learning, image segmentation

PENDAHULUAN

Salah satu cabang dari kecerdasan buatan dan ilmu komputer, *Machine Learning* (ML) memiliki cara kerja berfokus pada penggunaan data dan algoritma untuk meniru cara manusia belajar. *Machine learning* merupakan komponen penting dari bidang ilmu tentang perkembangan data sebagai kecerdasan buatan yang memungkinkan komputer untuk berpikir dan belajar sendiri. *Machine learning* dikembangkan agar dapat memodifikasi komputer agar dapat mempelajari data untuk mencapai akurasi yang lebih, di mana akurasi diukur dari hasil tindakan belajar sendiri [1].

Keberhasilan *deep learning* sebagai salah satu metode implementasi machine learning baru-baru ini telah menjadi motivasi untuk pengembangan algoritma pembelajaran efisien yang dapat dibuktikan dalam berbagai bidang. *Neural Network* adalah teknik pembelajaran mesin (ML) yang terinspirasi oleh dan menyerupai sistem saraf manusia dan struktur otak. Jaringan saraf tiruan merupakan

suatu system pemroses informasi yang mempunyai karakteristik hampir sama dengan kinerja jaringan saraf manusia [2]. Jaringan Saraf Tiruan dapat digunakan dalam berbagai masalah termasuk pengenalan pola, klasifikasi, pengelompokan, pengurangan dimensi, visi komputer, pemrosesan bahasa alami (NLP), regresi, analisis prediktif dan lain-lain [3]. Tujuan penelitian adalah untuk Menerapkan *convolutional neural network* yaitu *U-NET* dan penerapannya pada *TensorFlow*, pembuatan segmentasi gambar dengan *deep learning* yang diterapkan seperti pada *Oxford-IIIT Pet Dataset*, melakukan pencarian prediksi yang dilakukan dengan arsitektur U-Net untuk menghasilkan hasil yang baik atau malah sebaliknya, melihat perbandingan *Predicted Mask* dengan *True Mask* pada kelas kucing yang munculkan dalam bentuk skor IOU dan penerapannya menggunakan nilai batas bawah pada IOU

Dalam bidang klasifikasi, *Convolutional Neural Networks (CNN)* telah melakukan terobosan besar dengan

pencapaian yang signifikan di mana label kelas tunggal sebagai output gambar. Namun, dalam banyak tugas visual terutama dalam pemrosesan gambar seperti self-driving car dan pemrosesan gambar biomedis, label kelas telah ditetapkan untuk setiap pikselnya dengan output yang diinginkan harus mencakup lokalisasi. Keberhasilan *Convolutional Neural Networks (CNN)* sebagian besar dipengaruhi oleh faktor komputasi seperti parameter-parameter, *hyperparameter*, dan kemampuan ekspresi yang kaya, serta teknik untuk melatih jaringan yang lebih dalam (Ian Goodfellow, Bengio, & Courville, 2016). Kemampuan yang terdapat pada algoritma *Convolutional Neural Networks (CNN)* menjadikan *Convolutional Neural Networks (CNN)* sebagai model untuk memecahkan permasalahan terbaik terhadap *object recognition dan object detection*.

Penggunaan dan penerapannya pun sudah digunakan diberbagai bidang baik di penelitian maupun di aplikasi komersil [4]. Sementara *Convolutional Neural Networks (CNN)* sudah ada cukup lama, keberhasilannya terbatas karena ukuran *training set* yang tersedia dan kemampuan *hardware* yang kurang memumpuni untuk melakukan pelatihan yang intensif. Oleh sebab itu penggunaan metode yang diusulkan adalah *Convolutional Neural Networks (CNN)* yang berfungsi untuk memprediksi kemungkinan kesalahan yang muncul (Firmansyah, Sardjono and Mardiyanto, n.d.,2023), selain itu diikuti dengan model *machine learning* dan

arsitektur U-NET yang awalnya dirancang untuk segmentasi gambar biomedis. *Convolutional Neural Networks (CNN)* telah membuat terobosan besar dalam beberapa tahun ini, terlebih lagi *Convolutional Neural Networks (CNN)* telah berhasil mendapatkan pencapaian hasil yang sangat signifikan dalam bidang klasifikasi. Pencapaian ini menghasilkan keluaran di mana output gambar adalah label kelas tunggal. Penggunaan *Convolutional Neural Networks (CNN)* dalam tugas visual terutama dalam hal pemrosesan gambar seperti *self-driving car* dan pemrosesan gambar biomedis, output yang diinginkan harus mencakup lokalisasi, yaitu label kelas seharusnya ditetapkan untuk setiap piksel. Segmentasi gambar adalah teknik mempartisi gambar menjadi bagian-bagian sub penyusun, sangat homogen dalam fitur dan proses ini mengakui untuk mengekstrak beberapa informasi yang berguna [6]

Arsitektur jaringan saraf yang dirancang terutama untuk segmentasi gambar dikenal dengan nama *U-net* [7]. Arsitektur ini dipengaruhi oleh faktor komputasi dan berbagai parameter, *hyperparameter*, serta kemampuan ekspresi, sekaligus teknik untuk melatih jaringan yang lebih dalam. Hyperparameters merupakan preset numerik yang nilainya ditetapkan sebelum dimulainya proses pembelajaran [8].

Kemampuan yang terdapat pada *algorithm Convolutional Neural Networks (CNN)* diakui sebagai model terbaik dalam

memecahkan suatu permasalahan object recognition dan *object detection*. Walaupun dalam proses pelatihan model prosesnya masih terbilang lama namun dengan semakin berkembangnya perangkat keras (*hardware*), hal tersebut dapat diatasi dengan menggunakan teknologi *GPU (Graphical Processing Unit)*.

METODE PENELITIAN

Segmentasi citra adalah metode di mana gambar digital dipecah menjadi berbagai sub kelompok yang disebut segmen gambar yang membantu dalam mengurangi kompleksitas untuk membuat pemrosesan lebih lanjut atau analisis gambar menjadi lebih sederhana. Segmentasi singkatnya adalah menetapkan label ke piksel. Semua elemen gambar atau piksel yang termasuk dalam kategori yang sama memiliki label umum yang telah ditetapkan masing-masing, sehingga menimbulkan beberapa perbedaan antara segmentasi gambar dengan deteksi objek yang dapat diamati pada Gambar 1. Perbedaan Segmentasi Gambar dan Deteksi

Objek. Penelitian ini dilakukan untuk membangun model segmentasi Gambar dengan Arsitektur *U-Net* menggunakan *Framework Tensorflow* dan *Hyperparameter Convolutional Neural Network*. Sedangkan untuk membangun model segmentasi gambar dapat digunakan algoritma *Convolutional Neural Network (CNN)* dan model arsitektur *U-NET*.

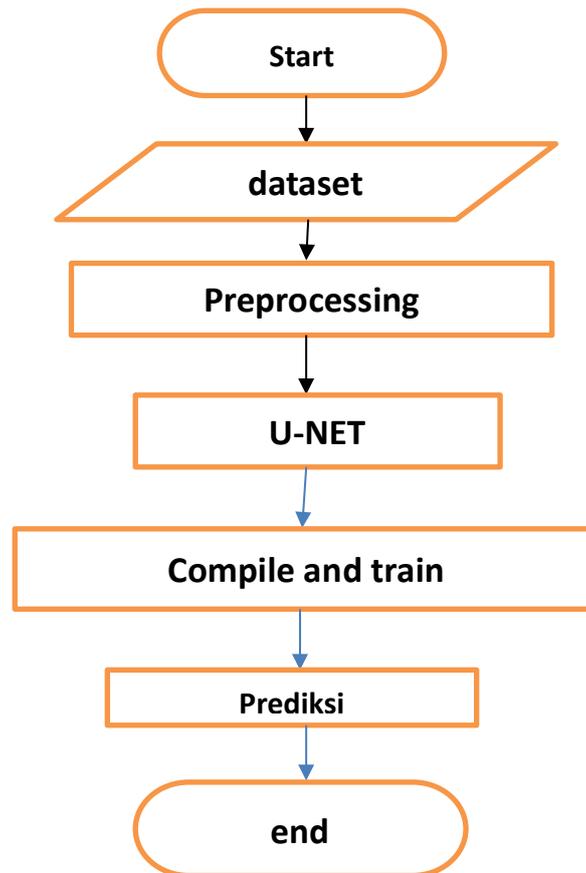
1. Alur Penelitian

Penelitian ini menggunakan algoritma *Convolutional Neural Network* dan model arsitektur *U-NET*. Data yang digunakan merupakan data pada *Oxford-IIIT Pet Dataset* untuk penggunaan klasifikasi. Terdapat kumpulan data hewan peliharaan 37 kategori dengan sekitar 200 gambar untuk setiap kelas. Gambar memiliki variasi besar dalam skala, pose, dan pencahayaan. Semua gambar memiliki anotasi kebenaran dasar terkait segmentasi pada pixel setiap gambarnya lalu menjadikan gambar sebagai input pada model *U-NET*. Gambar 2 merupakan diagram alur penelitian yang dilakukan.



Gambar 1. Perbedaan Segmentasi Gambar dan Deteksi Objek

Gambar 2. Diagram alur penelitian



2. Dataset

Sebagai langkah awal dalam alur penelitian pemilihan *dataset* dilakukan dengan cara menyesuaikan kondisi pada saat pengambilan gambar saat pengumpulan data serta pengujian di lapangan [9]. Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data *The Oxford-IIIT Pet Dataset* dari Universitas Oxford yang terdapat 37 kategori hewan dan sekitar 200 gambar pada setiap kategorinya [10]. Gambar 3 berikut adalah contoh gambar untuk *dataset*.

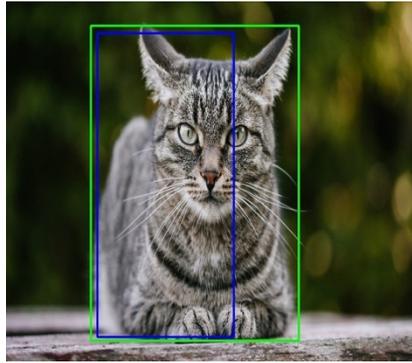
3. Preprocessing

Proses selanjutnya adalah *preprocessing*, dimana *Pre-processing* ini adalah tahap untuk

melakukan transformasi data agar sesuai dengan format seharusnya dan dapat diproses. Tahap – tahap *pre-processing* ada beragam tergantung pada kebutuhan [11].

Pada penelitian ini, *preprocessing* yang dilakukan adalah proses menyiapkan data mentah dan membuatnya sesuai untuk kebutuhan model *machine learning*.

Proses yang dilakukan adalah membagi gambar digital dipecah menjadi berbagai subkelompok yang disebut segmen gambar yang membantu dalam mengurangi kompleksitas untuk membuat pemrosesan lebih lanjut atau analisis gambar menjadi lebih sederhana. Segmentasi singkatnya adalah menetapkan label ke piksel.



Gambar 3. Contoh Dataset

```

parma — conda install tensorflow tensorflow-datasets — 84x24
tensorflow          conda-forge/osx-arm64::tensorflow-2.8.1-cpu_py310h6ecea76_0
tensorflow-base    conda-forge/osx-arm64::tensorflow-base-2.8.1-cpu_py310hbd06b1c_0
tensorflow-dataset~ conda-forge/noarch::tensorflow-datasets-4.3.0-pyhd8ed1ab_0
tensorflow-estima~ conda-forge/osx-arm64::tensorflow-estimator-2.8.1-cpu_py310hb683137_0
tensorflow-metada~ conda-forge/noarch::tensorflow-metadata-1.2.0-pyhd8ed1ab_0
termcolor          conda-forge/noarch::termcolor-1.1.0-py_2
tk                 conda-forge/osx-arm64::tk-8.6.12-he1e0b03_0
tqdm               conda-forge/noarch::tqdm-4.64.0-pyhd8ed1ab_0
typing_extensions  conda-forge/noarch::typing_extensions-4.3.0-hd8ed1ab_0
typing_extensions  conda-forge/noarch::typing_extensions-4.3.0-pyha770c72_0
tzdata             conda-forge/noarch::tzdata-2022a-h191b570_0
urllib3            conda-forge/noarch::urllib3-1.26.9-pyhd8ed1ab_0
werkzeug           conda-forge/noarch::werkzeug-2.1.2-pyhd8ed1ab_1
wheel              conda-forge/noarch::wheel-0.37.1-pyhd8ed1ab_0
wrapit             conda-forge/osx-arm64::wrapit-1.14.1-py310h02f21da_0
xz                 conda-forge/osx-arm64::xz-5.2.5-h642e427_1
yarl               conda-forge/osx-arm64::yarl-1.7.2-py310hf8d0d8f_2
zipp               conda-forge/noarch::zipp-3.8.0-pyhd8ed1ab_0
zlib               conda-forge/osx-arm64::zlib-1.2.12-ha287fd2_1

Proceed ([y]/n)? █

```

Gambar 4. TensorFlow dan TensorFlow Datasets

4. U-NET

Pada tahap ini, yang dilakukan adalah membangun U-NET dengan menggunakan fungsi- fungsi yang telah dibuat yaitu *encoder*, *bottleneck*, dan *decoder*. Hal ini berguna untuk mengurangi kode program yang berulang.

5. Compile and Train

Langkah selanjutnya adalah melakukan *compile* dan *train* model. *Loss* yang akan digunakan adalah

`sparse_categorical_crossentropy` karena *network* mencoba memberi label pada setiap piksel, seperti prediksi *multi-class*.

6. Prediksi

Pada tahap ini dilakukan proses menggunakan *test set* yang telah disiapkan sebelumnya untuk memasukkan gambar *input* yang belum pernah dilihat model sebelumnya. Proses prediksi ini hampir sama dengan klasifikasi dan estimasi, kecuali

dalam prediksi nilai dari hasil yang akan datang [12].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini dijelaskan gambaran mengenai implementasi *Convolutional Neural Network (CNN)* dan membangun model dengan arsitektur *U-NET* yang dapat melakukan tugas *Semantic Image Segmentation* pada dataset *Oxford-IIIT Pet* menggunakan *framework TensorFlow*. Langkah – langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut:

3.1 Persiapan *TensorFlow* dan *Tensorflow Datasets (TFDS)*

Bagian ini melakukan instalasi *TensorFlow* dengan menjalankan perintah `'conda install tensorflow tensorflow-datasets'`.

3.2 Segmentasi gambar

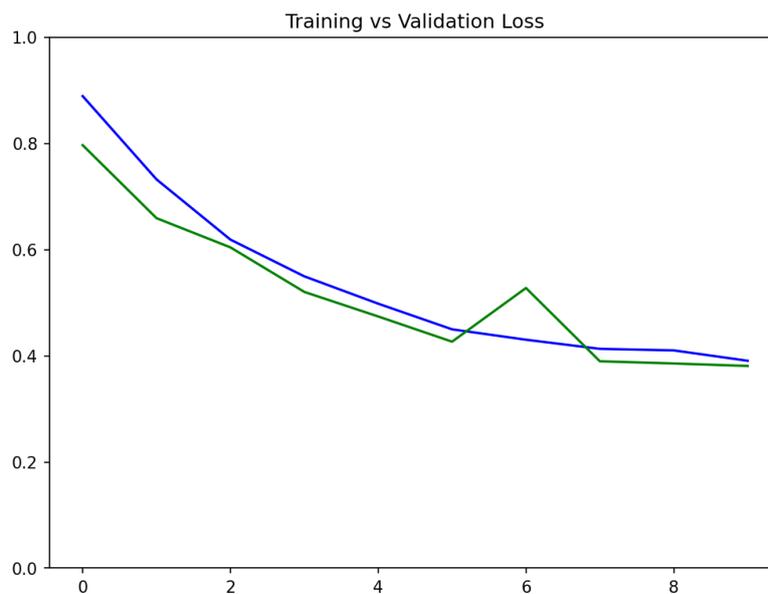
Bagian ini melakukan segmentasi gambar dengan *TensorFlow*. Pada proses kali ini, dibutuhkan *tensorflow_datasets* untuk mengunduh *Oxford dataset* untuk membuat model yang dapat mengimplementasikan segmentasi pada gambar *training* dan mengukur akurasi dengan *IoU* pada data *test*.

3.3 Mendefinisika model *U-NET*

Pada tahap ini dilakukan membangun *U-NET* dengan menggunakan fungsi- fungsi yang telah dibuat yaitu *encoder*, *bottleneck*, dan *decoder*.

3.4 *Compile* dan *Train* Model

Pada proses ini plot *train loss* dan *validation loss* untuk melihat bagaimana proses *training* berjalan. Langkah selanjutnya adalah melakuka prediksi menggunakan *test set* yang telah disiapkan sebelumnya untuk memasukkan gambar *input* yang belum pernah dilihat model sebelumnya.

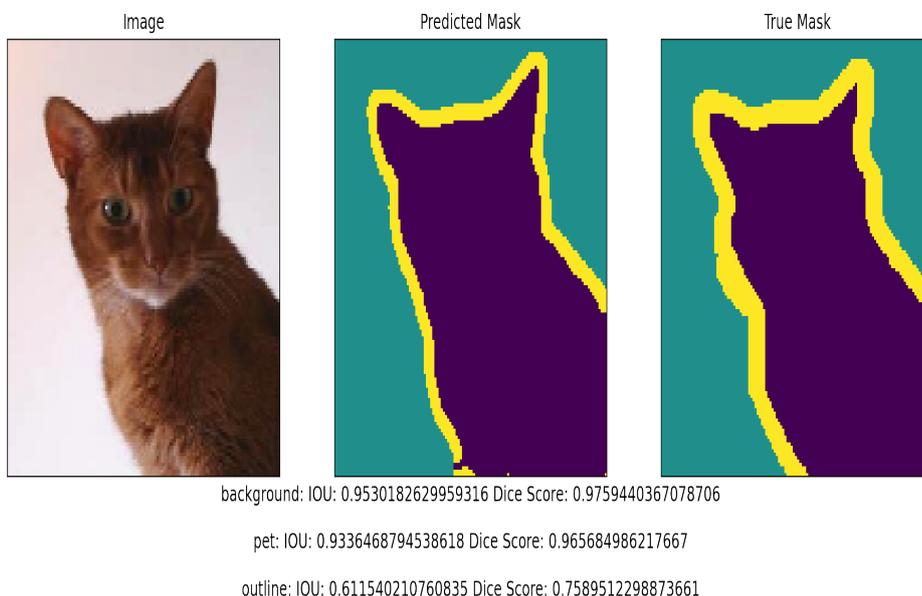


Gambar 5. Plot Training vs. Validation Loss

Dari perhitungan prediksi menggunakan model didapat hasil nilai akurasi. Nilai tersebut berasal dari jumlah hasil prediksi yang benar berbanding dengan jumlah semua data untuk dijadikan sebagai tingkat keberhasilan dari model yang sebelumnya sudah dibuat. Sedangkan parameter dari tingkat keyakinan suatu sistem dalam memprediksi hasil yang salah dinamakan *Loss*[16]. Dari table 1. Nilai Hasil Evaluasi terlihat bahwa hasil prediksi yang dilakukan dengan arsitektur *U-Net* menghasilkan perbandingan *Predicted Mask* dengan *True Mask* pada kelas kucing yang mendapatkan skor *IOU* sebesar 0.933 dengan menggunakan batas bawah 0.5 pada *IOU*

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan Hasil penelitian yang diuji maka dapat ditunjukkan kesimpulannya bahwa hasil prediksi yang dilakukan dengan arsitektur *U-Net* adalah menunjukkan hasil dengan perbandingan *Predicted Mask* dengan *True Mask* pada kelas kucing yang mendapatkan skor *IOU* sebesar 0.933 dengan skala batas bawah 0.5. Penelitian kedepannya disarankan pada dunia *Generative Adversarial Networks (GAN)* agar dapat berkembang dengan metode yang lebih *advance* dengan kemampuan komputasi dan waktu training yang tak terbatas.



Gambar 6. Hasil Prediksi U-NET

Tabel 1. Nilai Hasil Evaluasi

Epoch	Loss	Accuracy	Validation loss	Validation Accuracy
1	0.3831	0.6878	0.6091	0.6508
2	0.1887	0.7664	0.2083	0.7656
3	0.1660	0.7741	0.1764	0.7731
4	0.1550	0.7778	0.1682	0.7768
5	0.1444	0.7816	0.1628	0.7787
6	0.1400	0.7839	0.1607	0.7800
7	0.1336	0.7854	0.1580	0.7802
8	0.1266	0.7877	0.1529	0.7828
9	0.1225	0.8992	0.1542	0.7821
10	0.1290	0.1905	0.1680	0.7769
11	0.1116	0.8928	0.1503	0.7830
12	0.1076	0.8943	0.1578	0.7809
13	0.1038	0.8958	0.1563	0.7829
14	0.1975	0.8983	0.1487	0.7855
15	0.1974	0.8981	0.1466	0.7858
16	0.1904	0.8008	0.1595	0.7867
17	0.0851	0.8028	0.1721	0.7776
18	0.0830	0.8035	0.0610	0.6665
19	0.0729	0.7924	0.0509	0.5554
20	0.0619	0.6813	0.1498	0.4443
21	0.0508	0.7923	0.1387	0.3432
22	0.0497	0.8812	0.1276	0.3543
23	0.0386	0.8101	0.0154	0.2432
24	0.0275	0.8090	0.0142	0.1321
25	0.0012	0.9330	0.1031	0.0110

DAFTAR PUSTAKA

[1] J. Alzubi, A. Nayyar, and A. Kumar, "Machine Learning from Theory to Algorithms: An Overview," in *Journal of Physics: Conference Series*, Institute of Physics Publishing, Nov. 2018. doi: 10.1088/1742-6596/1142/1/012012.

[2] M. N. D. SAWITRI, I. W. SUMARJAYA, and N. K. T. TASTRAWATI, "PERAMALAN MENGGUNAKAN METODE BACKPROPAGATION NEURAL NETWORK," *E-Jurnal Matematika*, vol. 7, no. 3, p. 264, Sep. 2018, doi: 10.24843/mtk.2018.v07.i03.p213.

[3] A. Shrestha and A. Mahmood, "Review of deep learning algorithms and architectures," *IEEE Access*, vol. 7. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., pp. 53040–53065, 2019. doi: 10.1109/ACCESS.2019.2912200.

[4] T. Yu and H. Zhu, "Hyper-Parameter Optimization: A Review of Algorithms and Applications," Mar. 2020, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2003.05689>

[5] R. A. Firmansyah, T. A. Sardjono, and R. Mardiyanto, "Peningkatan Akurasi Adaptive Monte Carlo Localization Menggunakan Convolutional Neural Network".

- [6] K. K. D. Ramesh, G. Kiran Kumar, K. Swapna, D. Datta, and S. Suman Rajest, "A review of medical image segmentation algorithms," *EAI Endorsed Trans Pervasive Health Technol*, vol. 7, no. 27, 2021, doi: 10.4108/eai.12-4-2021.169184.
- [7] N. Siddique, S. Paheding, C. P. Elkin, and V. Devabhaktuni, "U-net and its variants for medical image segmentation: A review of theory and applications," *IEEE Access*, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3086020.
- [8] X. Dong, J. Shen, W. Wang, Y. , Liu, L. Shao, and F. Porikli, "Hyperparameter Optimization for Tracking with Continuous Deep Q-Learning." [Online]. Available: <https://github.com/>
- [9] R. Imantiyar, ; Dhomas, and H. Fudholi, "Kajian Pengaruh Dataset dan Bias Dataset terhadap Performa Akurasi Deteksi Objek," vol. 14, no. 2, 2021, doi: 10.33322/petir.v14i2.1150.
- [10] O. M. Parkhi, A. Vedaldi, A. Zisserman, and C. V Jawahar, "Cats and Dogs."
- [11] S. Shevira, I. Made, A. D. Suarjaya, and P. Wira Buana, "Pengaruh Kombinasi dan Urutan Pre-Processing pada Tweets Bahasa Indonesia," 2022.
- [12] Y. Arie Wijaya, "ANALISA DATASET SOFTWARE DEFINED NETWORK INTRUSION MENGGUNAKAN ALGORITMA DEEP LEARNING H2O," 2022.
- [13] F. Zola, G. W. Nurcahyo, and J. Santony, "JARINGAN SYARAF TIRUAN MENGGUNAKAN ALGORITMA BACKPROPAGATION UNTUK MEMPREDIKSI PRESTASI SISWA," vol. 1, no. 1, 2018.
- [14] R. M. #1, S. Saidah, K. Caecar, P. #3, A. Trisnamulya, and P. #4, "JEPIN (Jurnal Edukasi dan Penelitian Informatika) Klasifikasi Tutupan Lahan Melalui Citra Satelit SPOT-6 dengan Metode Convolutional Neural Network (CNN)".
- [15] I. Made, A. Darma Putra, M. Dendi Maysanjaya, M. Windu, and A. Kesiman, "PENDEKATAN BERBASIS U-NET UNTUK SEGMENTASI HARD EXUDATE DALAM CITRA FUNDUS RETINA," *INSERT: Information System and Emerging Technology Journal*, vol. 4, no. 1, 2023.
- [16] A. Anindyo Abhinowo, R. Rizal Isnanto, and D. Eridani, "PEMILIHAN MODEL TERBAIK ALGORITMA CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK UNTUK KLASIFIKASI JENIS BENCANA ALAM The Best Model Selection Of Convolutional Neural Network Algorithm For Natural Disaster Classification," *Jurnal Teknik Komputer*, vol. 1, no. 4, pp. 199–208, 2023, doi: 10.14710/jtk.v1i4.37656.