

Deep Learning

Implementasi Algoritma Convolutional Neural Network dalam Mengidentifikasi Dini Penyakit pada Mata Katarak

Fanny Ramadhani¹, Andy Satria², Salamah³

¹ Fakultas Ilmu Pengetahuan Alam, Program Studi Ilmu Komputer, Universitas Negeri Medan, Medan, Indonesia

² Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Program Studi Teknologi Informasi, Universitas Dharmawangsa, Medan, Indonesia

³ Fakultas Kedokteran, Program Studi D3 Keperawatan, Universitas Malikussaleh, Lhokseumawe, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Diterima Redaksi: 27 November 2023

Revisi Akhir: 20 Desember 2023

Diterbitkan Online: 24 Desember 2023

KATA KUNCI

Mata; Katarak; Deep Learning; Convolutional Neural Network; Classification

KORESPONDENSI

Phone: +62 822 8057 531

E-mail: Fannyr@unimed.ac.id

A B S T R A K



Katarak adalah kekeruhan pada lensa mata yang disebabkan oleh kalsifikasi fibrosa pada kapsul lensa atau bahan lensa. WHO memperkirakan sekitar 18 juta orang mengalami kebutaan pada kedua matanya akibat katarak, yang mencakup total 47,8% dari seluruh penyebab kebutaan mata. Katarak dapat diobati dengan mendeteksi penyakit sejak dini untuk mengurangi kerusakan akibat penyakit tersebut dengan bantuan dokter spesialis mata. Di Indonesia sendiri, akses terhadap dokter spesialis mata terkadang cukup sulit ditemukan, terutama di wilayah pedesaan Indonesia. Oleh karena itu penelitian ini akan membangun model klasifikasi yang digunakan untuk mendeteksi dini penyakit katarak dengan menggunakan bantuan machine learning menggunakan metode Convolutional Neural Network. Berdasarkan hasil penelitian ditemukan bahwa model yang dibangun dengan metode CNN dapat mendeteksi penyakit katarak dengan baik dibuktikan dengan tingkat akurasi sebesar 92,5%. Dengan demikian model ini dapat digunakan untuk mendeteksi penyakit katarak secara dini, kemudian model tersebut dapat diintegrasikan ke dalam berbagai platform seperti aplikasi berbasis mobile untuk memudahkan penggunaan.

PENDAHULUAN

Katarak adalah kekeruhan pada lensa mata yang disebabkan oleh kalsifikasi fibrosa pada kapsul lensa atau bahan lensa. Kondisi ini dapat menyebabkan hilangnya penglihatan pada mata [1]. Katarak dapat menyebabkan terganggunya mekanisme kontrol keseimbangan air dan elektrolit sehingga menyebabkan denaturasi protein atau kombinasi keduanya. sekitar 90% dari kejadian Katarak berkaitan dengan usia; alasan lain bersifat bawaan dan traumatis [2]. Definisi kebutaan menurut WHO adalah visus <3/60 pada mata terbaik dengan koreksi terbaik. WHO memperkirakan sekitar 18 juta orang mengalami kebutaan pada kedua matanya akibat katarak. Angka ini hampir separuh (47,8%) dari seluruh kebutaan akibat penyakit mata di dunia. Penyebab kebutaan lainnya antara lain kelainan refraksi yang tidak terkoreksi, glaukoma, Degenerasi Makula Terkait Usia, retinopati DM, kebutaan pada masa kanak-kanak, trachoma, onchocerciasis, dan lain-lain. Indonesia mempunyai prevalensi kebutaan tertinggi di Asia Tenggara sebesar 1,5%, 50% di antaranya disebabkan oleh katarak. Jumlah ini diperkirakan akan terus meningkat seiring dengan pesatnya pertumbuhan penduduk dan peningkatan angka harapan hidup di Indonesia. Katarak yang tidak diobati akan menyebabkan gangguan penglihatan serius yang berujung pada kebutaan total. Akses ke dokter spesialis mata juga terkadang sulit ditemukan di beberapa wilayah Indonesia, terutama di daerah pedesaan.

Maka dari itu membangun sebuah aplikasi sistem bantuan deteksi dini mata katarak yang mudah diakses merupakan salah satu solusi untuk mengatasi permasalahan tersebut. Menurut Badan Pusat Statistik (BPS) terdapat 89,45% rumah tangga yang mampu mengoperasikan telepon seluler atau smartphone. Maka dari itu membangun sebuah

aplikasi smartphone yang mampu mendeteksi katarak secara dini merupakan solusi yang tepat untuk mengatasi permasalahan pada penelitian ini.

Untuk membangun sebuah aplikasi yang dapat mendeteksi mata katarak secara dini diperlukan teknik klasifikasi berbasis gambar. Klasifikasi adalah proses mengidentifikasi ciri-ciri suatu objek dan kemudian mengelompokkan ciri-ciri tersebut ke dalam banyak kelas. Ada banyak teknik klasifikasi yang umum digunakan untuk membangun klasifikasi citra, salah satunya adalah Convolutional Neural Network (CNN). CNN merupakan bagian dari deep learning yang bekerja dengan cara mendeteksi dan kemudian mengelompokkan objek pada gambar secara otomatis dengan menerima input data berukuran $m \times n$. [3]. CNN sendiri mempunyai akurasi yang tinggi dalam mengklasifikasikan gambar, hal ini dibuktikan dengan beberapa penelitian: klasifikasi gambar daging sapi dan babi dengan tingkat akurasi terbesar yaitu 97.56%. [4], klasifikasi data teks dengan akurasi paling besar sekitar 85-92% [4][5], klasifikasi emosi pada wajah dengan akurasi rata-rata 80,7% [6] Dari beberapa penelitian tersebut CNN mampu memberikan hasil akurasi yang sangat baik sehingga metode tersebut diasumsikan dapat menghasilkan akurasi yang baik pada penelitian ini.

Pada penelitian ini klasifikasinya akan dibagi menjadi dua kelas yaitu katarak terdeteksi dan katarak tidak terdeteksi. Hasil akhir dari penelitian ini adalah sebuah model machine learning yang dapat digunakan untuk mendeteksi dini katarak dengan cara mengambil sampel foto yang akan diolah oleh model, kemudian model tersebut akan memberikan hasil deteksi berdasarkan gambar yang dijadikan masukan bagi model tersebut. Kinerja model yang dibangun pada penelitian ini akan diukur menggunakan nilai akurasi, presisi dan skor f-1 untuk mengevaluasi keberhasilan aplikasi ini dalam mengklasifikasikan penyakit katarak dengan benar.

TINJAUAN PUSTAKA

Deep Learning

Deep Learning merupakan suatu subset khusus dari Machine Learning yang berdasarkan pada penggunaan Neural Network dalam meniru perilaku aktivitas otak. Pembelajaran ini disebut sebagai deep karena dalam proses pemodelan dan data yang dimanipulasi oleh sejumlah lapisan tersembunyi. Dalam jenis pemodelan ini informasi yang spesifik akan dikumpulkan dari setiap lapisan. Misalnya, pada satu lapisan tertentu menemukan tepi gambar sementara lapisan lainnya menemukan rona pada citra yang diidentifikasi [7]-[10]. Salah satu metode deep learning yang sedang berkembang yaitu Convolutional Neural Network.

Convolutional Neural Network

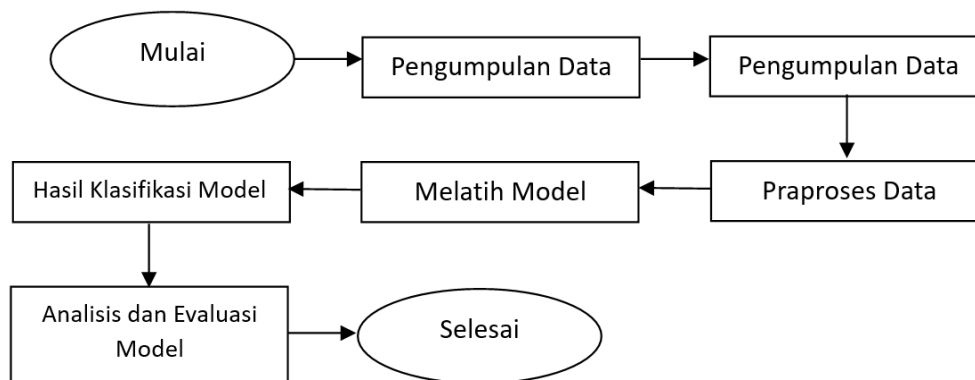
Convolutional Neural Network (CNN) adalah salah satu jenis neural network yang biasa digunakan pada data gambar yang digunakan untuk mendeteksi dan mengenali objek. Convolutional Neural Network (CNN) dirancang untuk melakukan pekerjaan dalam memproses data ke dalam bentuk array, misalnya gambar berwarna yang terdiri dari tiga 2D array yang memiliki intensitas piksel di tiga saluran warna, Convolutional Neural Network memanfaatkan sifat nature signals yaitu koneksi lokal, share weights, pooling, dan penggunaan banyak lapisan. Terdapat empat model dalam proses pengolahan citra, yaitu Convolution Layer, Pooling Layer, Dropout Layer, Fully Connected Layer [8][11]. Dengan empat bagian ini citra yang akan diproses akan dilakukan filter, citra akan direduksi dimana bagian ini akan mengambil nilai terbesar dari setiap grid dan kemudian mengurangi dimensi data, kemudian dilakukan pencegahan over-fitting dan setelah itu ditransformasi pada dimensi data agar dapat diklasifikasikan. Setiap model ini harus memiliki data pelatihan yang baik agar proses dalam klasifikasi dapat mendapatkan hasil yang akurat. Ada beberapa layer pada Convolutional neural network yaitu 1) Convolutional Layer. Pada lapisan konvolusi ini menggunakan filter untuk mendeteksi karakter dari suatu objek atau citra yang menghasilkan hasil linear dari citra input yang sesuai. Dalam proses ini terdapat parameter untuk memodifikasi setiap lapisan diantaranya ada filter, stride, dan padding. Pada stride berguna untuk mengontrol bagaimana proses filter pada data input dimana setiap pergerakan di sepanjang ukuran piksel yang telah ditentukan. Pada parameter padding terdapat penambahan ukuran piksel dengan nilai tertentu disekitar data yang diinput agar hasil yang didapatkan tidak terlalu kecil sehingga tidak banyak informasi yang akan hilang. [9] [12]. 2) ReLu Layer. ReLu (Rectification Linear Unit) adalah lapisan yang berguna untuk mengenalkan nonlinearitas ke jaringan serta meningkatkan representasi dari suatu model dimana output yang dihasilkan berupa peta fitur yang telah diperbaiki. 3) Pooling. Lapisan Pooling merupakan lapisan dalam

mengambil data untuk mengurangi dimensi pada fitur. Fitur yang telah diperbaiki akan melewati lapisan penggabungan untuk menghasilkan fitur yang telah digabungkan. 4) Fully Connected Layer Pada lapisan ini terhubung secara penuh pada setiap neurons yang memiliki koneksi penuh pada setiap aktivasi yang telah dilakukan pada lapisan sebelumnya.

METODOLOGI

Diagram Kerja Sistem

Pada gambar 1 merupakan diagram kerja sistem untuk memperlihatkan secara garis besar alur proses kerja dari sistem yang di bangun dalam penelitian ini.



Gambar 1. Diagram Kerja Sistem

Diagram kerja sistem yang dimaksudkan untuk mengevaluasi setiap langkah yang terlibat dalam proses identifikasi foto penyakit mata katarak menggunakan arsitektur Convolutional Neural Network disajikan pada Gambar 1. Setiap langkah prosedur yang akan digunakan dalam pembangunan sistem ini akan dijelaskan secara rinci sehingga sistem dapat menggunakan arsitektur jaringan saraf konvolusional untuk identifikasi.

Untuk memulai prosedur identifikasi, pengguna harus mengunggah file gambar mata normal atau katarak terlebih dahulu. Gambar yang dimasukkan akan diubah skalanya selama langkah pra-pemrosesan, yang akan memudahkan sistem untuk melakukan tugas selanjutnya, yaitu memperkenalkan ekstraksi fitur. Hal ini dilakukan untuk mengambil suatu ciri atau pola suatu objek yang menggambarkan sifat-sifat objek gambar. penglihatan.

Langkah kedua dari prosedur ini melibatkan pelatihan gambar yang akan diproses. Desain jaringan saraf konvolusional, yang memiliki banyak lapisan termasuk lapisan masukan, tersembunyi, dan keluaran, digunakan untuk melaksanakan pelatihan ini. Setelah itu, model yang dibangun disimpan, yang berguna untuk langkah selanjutnya. Data katarak dan gambar normal akan menjadi angka setelah menjalani prosedur pelatihan, dan proses ini selanjutnya dilakukan pada tahap klasifikasi atau prediksi. Katarak yang teridentifikasi atau mata yang normal merupakan hasil dari klasifikasi atau prediksi tersebut.

Data yang Digunakan

Data yang digunakan untuk melatih model klasifikasi diambil dari website penyedia open dataset Kaggle [10]. Terdapat 612 file gambar yang terdiri dari katarak dan mata normal. Dataset yang digunakan telah membagi gambar menjadi dua bagian yaitu untuk pelatihan dan tes. Gambar pada bagian pelatihan terdiri dari 245 gambar mata katarak dan 246 gambar mata normal. Sedangkan untuk bagian pengujian, gambar terdiri dari 61 gambar mata katarak dan 60 gambar mata normal. Contoh masing-masing jenis mata dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Contoh Mata Normal (Kiri) dan Mata Katarak (Kanan)

Data Preprocessing

Sebelum data digunakan oleh model, dilakukan preprocessing data. Dalam machine learning, data preprocessing merupakan tahapan yang digunakan untuk memastikan bahwa data yang digunakan memiliki kualitas yang baik yang selanjutnya akan digunakan pada model machine learning yang akan dibangun. [11]. Pada penelitian ini karena dataset yang digunakan sudah dibagi menjadi dua bagian (pelatihan dan pengujian) maka tahap preprocessing data yang dilakukan adalah normalisasi resolusi gambar yang digunakan (resize) agar model yang dibangun mempunyai akurasi yang baik.

Building The Model

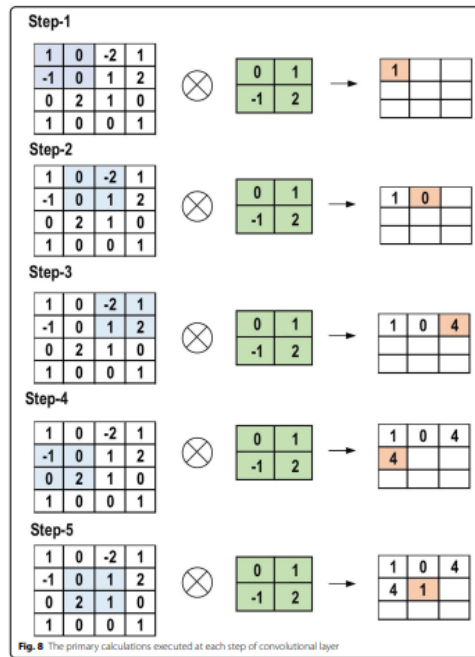
Tahapan pertama dalam membangun model machine learning adalah melatih model yang akan dibangun. Tahap ini menggunakan data latih atau training set yang akan digunakan CNN untuk mengenali suatu objek. Gambar yang diproses oleh CNN melewati beberapa lapisan sebelum akhirnya mengenali suatu objek, adapun lapisan tersebut adalah lapisan Konvolusi, Lapisan ReLU, Lapisan Penggabungan dan Akhirnya Lapisan Terhubung Sepenuhnya. [12].

Convolutional Neural Network

CNN adalah salah satu algoritma pembelajaran mendalam yang paling populer digunakan karena keandalannya dalam mendeteksi objek tanpa pengawasan dari manusia atau pengguna. [13]. Struktur algoritma ini terinspirasi dari cara kerja neuron pada otak hewan dan manusia, khususnya pada otak kucing dimana korteks visualnya bekerja dengan membentuk rangkaian sel yang kompleks, rangkaian sel tersebut disimulasikan oleh CNN [14]. Ada beberapa kelebihan atau manfaat dalam penggunaan CNN, kelebihan pertama adalah adanya fitur pembagian bobot untuk mengurangi jumlah parameter jaringan pelatihan yang akan membantu untuk menghindari generalisasi yang menyebabkan overfitting, kelebihan lainnya adalah setiap lapisan ekstraksi fitur dan klasifikasi dipelajari atau diproses secara bersamaan, hal ini menyebabkan keluaran model sangat terorganisir dan sangat bergantung pada fitur yang diekstraksi [12].

Convolutional Layer

Arsitektur pada CNN terdiri dari beberapa lapisan, salah satu lapisan pada CNN adalah Convolutional Layer. Convolutional Layer adalah lapisan yang terdiri dari beberapa filter konvolusi atau kernel yang digunakan untuk menghasilkan peta fitur keluaran. Masukan berupa gambar yang dimasukkan ke dalam proses akan diproses pada tahap ekstraksi fitur. Gambar akan dibagi menjadi beberapa bagian sesuai piksel yang ditentukan oleh parameter tertentu. Konvolusi ini akan menghasilkan gambar yang lebih kecil atau gambar dengan ukuran yang sama namun tingkat kedalaman gambar akan berbeda. [15]. Proses konvolusi pada gambar dapat dilihat pada gambar 3 [12]:



Gambar 3. Proses Convolutional dalam Convolutional Layer

Pooling Layer

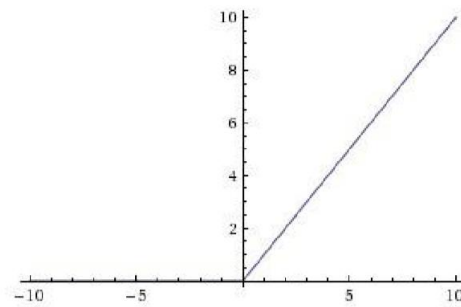
Pooling Layer adalah lapisan yang digunakan untuk menghasilkan sub-sampel peta fitur yang dihasilkan pada lapisan sebelumnya. Lapisan ini digunakan untuk mengetahui apakah suatu fitur tersedia atau tidak pada gambar yang dijadikan masukan. Ada beberapa metode pooling yang dapat digunakan pada pooling layer, beberapa diantaranya adalah max pooling, min pooling, global average pooling (GAP) dan global max pooling.[12].

Loss Function

Loss Function adalah onsep yang digunakan untuk mengukur perbedaan atau penyimpangan antara karakteristik kualitas sebenarnya suatu produk dengan target atau nilai nominalnya. Sekalipun penyimpangannya sangat kecil, kerugian tetap akan terjadi. Semakin besar penyimpangan karakteristik kualitas dari nilai target, maka nilai kerugiannya akan semakin tinggi. Kerugian yang ditimbulkan dapat dikatakan sebagai “kerugian masyarakat” karena mencerminkan biaya sosial yang ditimbulkan akibat adanya variasi karakteristik kualitas produk antara produsen dan konsumen. Fungsi kerugian digunakan untuk mengevaluasi kinerja karakteristik kualitas dalam mencapai target yang ditetapkan, dengan mengukur sejauh mana variasi yang terjadi di sekitar nilai target.

Rectified Linear Unit (ReLU)

ReLU merupakan transformasi nonlinier yang dapat digunakan untuk mengubah masukan menjadi keluaran. Fungsi aktivasi yang akan digunakan adalah Rectified Linear Unit (ReLU) yang merupakan fungsi aktivasi yang dapat meningkatkan kecepatan proses pelatihan.[16]. Sedangkan menurut [17] Rectified Linear Unit (ReLU) merupakan fungsi aktivasi dengan kemampuan dalam perhitungan sederhana, melalui ReLU proses maju dan mundur dapat dilakukan hanya dengan menggunakan kondisi jika saja. Jika elemennya negatif maka nilainya dapat diatur atau dikembalikan ke 0, tidak ada operasi perkalian atau pembagian seperti halnya pada operasi eksponensial. Persamaan rumus fungsi aktivasi Rectified Linear Unit (ReLU) dapat dilihat pada gambar 4 [18].



Gambar 4. ReLu Activation Function

Confusion Matrix

Evaluasi dari hasil klasifikasi mata normal/ katarak dilakukan dengan *confusion matrix*. Metode ini merepresentasikan hasil klasifikasi menggunakan matriks yang dapat dilihat pada Tabel 1. [19][20]

Tabel 1. Confusion Matrix

		Actual Value	
		TP	FP
Predicted Value	TP		
	FN		
		FN	TN

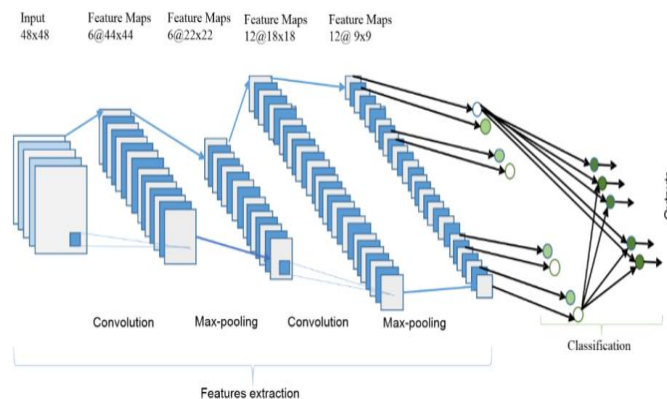
$$\text{Akurasi} = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} * 100\% \tag{1}$$

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

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

HASIL DAN PEMBAHASAN

Langkah pertama dalam penelitian ini adalah data preprocessing, dimana data gambar yang diperoleh melalui dataset diubah ukurannya agar seragam. Pada penelitian ini, ukuran gambar diubah ukurannya menjadi 55×94 piksel. Data dipisahkan menjadi dua bagian yaitu data pelatihan dan data pengujian dengan perbandingan 80:20, terdapat 245 gambar mata katarak pada bagian pengujian dan pelatihan dan terdapat 58 data mata normal pada bagian pelatihan dan pengujian. Selanjutnya data latih yang telah diperoleh diolah menggunakan model CNN dengan tahapan yang dapat dilihat pada Gambar 5.



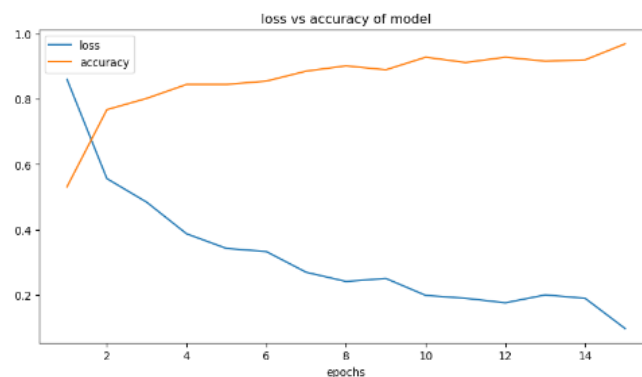
Gambar 5. Layer dari Model CNN

Pada Gambar 5 terlihat ada beberapa lapisan yang harus dilalui oleh data pelatihan sebelum model dapat melakukan klasifikasi. Pada tahap pertama data latih diolah melalui convolution layer, pooling layer, kemudian melalui flatten layer untuk mendapatkan keluaran berupa klasifikasi. Hasil pada masing-masing tahapan tersebut dapat dilihat pada Gambar 6.

Layer (type)	Output Shape	Param #
conv2d (Conv2D)	(None, 53, 92, 16)	448
max_pooling2d (MaxPooling2D)	(None, 26, 46, 16)	0
conv2d_1 (Conv2D)	(None, 24, 44, 32)	4640
max_pooling2d_1 (MaxPooling2D)	(None, 12, 22, 32)	0
flatten (Flatten)	(None, 8448)	0
dense (Dense)	(None, 128)	1081472
dense_1 (Dense)	(None, 1)	129

Gambar 6. Layer dari Model CNN

Pada penelitian ini model yang dibangun menggunakan epoch sebanyak 15 dengan batch size sebanyak 16. Setelah itu, perhitungan fungsi loss dan nilai akurasi digunakan untuk mengukur dan membandingkan hasil prediksi buruk atau baik. Perbandingan kedua nilai ini dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Perbandingan Nilai Loss dan Accuracy

Akurasi merupakan tingkat akurasi berdasarkan satu siklus epoch yang dijalankan oleh model pelatihan berdasarkan nilai bobot yang diberikan, sedangkan nilai kerugian merupakan besarnya error yang dihasilkan dari setiap proses pelatihan untuk mencari ukuran bobot yang sesuai dengan model yang dibangun. Pada gambar 5 terlihat bahwa akurasi model yang dilatih meningkat seiring dengan bertambahnya epoch pada model dengan akurasi terbesar sebesar 96% sedangkan untuk nilai loss terjadi penurunan seiring dengan bertambahnya epoch sehingga proses pelatihan terlaksana. keluar dapat dikatakan berjalan dengan baik.

Langkah selanjutnya adalah menghitung matriks konfusi untuk menghitung evaluasi kinerja model yang dibangun. Nilai akurasi, presisi, recall dan f1-score dari model yang dibangun dapat dilihat pada Gambar 8.

	accuracy	precision	recall	f1
0	0.925	0.883333	0.963636	0.921739

Gambar 8. Hasil Confusion Matrix dari model yang di Bangun

Berdasarkan gambar 7 terlihat akurasi yang dihasilkan model sebesar 92.05% dengan nilai presisi sebesar 88.43%, recall sebesar 96% dan f1-score sebesar 92%. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa model yang dibangun mampu mendeteksi penyakit katarak dengan baik

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dipaparkan peneliti mengenai klasifikasi penyakit katarak berdasarkan gambar dengan menggunakan metode CNN, maka dapat disimpulkan bahwa model yang dibangun peneliti dengan menggunakan data yang tersedia dan proses pelatihan yang dilakukan dengan baik mampu untuk mendeteksi penyakit katarak dengan baik. Dapat dikatakan hasil akurasi model mencapai 92.05%, dengan nilai presisi sebesar 88.43%, recall sebesar 96%, dan f1-score sebesar 92%.

Selain itu, dari grafik yang tersaji pada hasil pembahasan yang menunjukkan perubahan akurasi dan loss pada setiap epoch terlihat bahwa proses pelatihan yang telah dilakukan berjalan dengan sangat baik, dimana akurasi model terus berlanjut. meningkat dan kerugian terus menurun seiring bertambahnya zaman. Oleh karena itu model ini yaitu model CNN dapat diandalkan dalam mendeteksi penyakit katarak pada pasien. Oleh karena itu, peneliti menyarankan agar model yang dibangun pada penelitian ini dapat diintegrasikan ke dalam aplikasi mobile untuk memudahkan penggunaan model ini pada penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. E. Khotimah and I. W. E. Sutyawan, "Karakteristik Penderita Katarak Kongenital Di Divisi Pediatri Oftalmologi Poliklinik Mata Rsup Sanglah Denpasar Periode 1 Januari–31 Desember 2015," *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2020.
- [2] A. U. Detty, I. Artini, and V. R. Yulian, "Karakteristik Faktor Risiko Penderita Katarak," *J. Ilm. Kesehat. Sandi Husada*, vol. 10, no. 1, pp. 12–17, 2021, doi: 10.35816/jiskh.v10i1.494.
- [3] A. Desiani, M. Erwin, B. Suprihatin, S. Yahdin, A. I. Putri, and F. R. Husein, "Bi-path Architecture of CNN Segmentation and Classification Method for Cervical Cancer Disorders Based on Pap-smear Images," *IAENG Int. J. Comput. Sci.*, vol. 48, no. 3, pp. 1–9, 2021.
- [4] A. Fitrianto and B. Sartono, "Image Classification of Beef and Pork Using Convolutional Neural Network in Keras Framework," vol. 05, no. 02, pp. 5–8, 2021, [Online]. Available: <https://journal.trunojoyo.ac.id/ijseit>
- [5] S. Aich, S. Chakraborty, and H. C. Kim, "Convolutional neural network-based model for web-based text classification," *Int. J. Electr. Comput. Eng.*, vol. 9, no. 6, pp. 5185–5191, 2019, doi: 10.11591/ijece.v9i6.pp5185-5191.
- [6] Y. Achmad, R. C. Wihandika, and C. Dewi, "Klasifikasi emosi berdasarkan ciri wajah wenggunakan convolutional neural network," *J. Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 3, no. 11, pp. 10595–10604, 2019.
- [7] R. Devine and M. Pawlus, *Hands-On Deep Learning with R*. Packt Publishing, 2020.
- [8] E. N. Arrofiqoh and H. Harintaka, "Implementasi Metode Convolutional Neural Network Untuk Klasifikasi Tanaman Pada Citra Resolusi Tinggi," *Geomatika*, vol. 24, no. 2, p. 61, 2018, doi: 10.24895/jig.2018.24-2.810.
- [9] Suyanto, K. N. Ramadhani, and S. Mandala, "Deep Learning Modernisasi Machine Learning untuk Big Data," in *DEEP LEARNING Modernisasi Machine Learning untuk Big Data*, Informatika, 2019, pp. 33–41.
- [10] N. Padia, P. Siddharth, A. Hirpara, and D. Jani, "Cataract dataset." <https://www.kaggle.com/datasets/nandanp6/cataract-image-dataset>
- [11] J. Han, M. Kamber, and J. Pei, *Data mining: Data mining concepts and techniques*. 2014. doi: 10.1109/ICMIRA.2013.45.
- [12] L. Alzubaidi *et al.*, *Review of deep learning: concepts, CNN architectures, challenges, applications, future directions*, vol. 8, no. 1. Springer International Publishing, 2021. doi: 10.1186/s40537-021-00444-8.
- [13] Q. Zhang, M. Zhang, T. Chen, Z. Sun, Y. Ma, and B. Yu, "Recent advances in convolutional neural network acceleration," *Neurocomputing*, vol. 323, pp. 37–51, 2019, doi: 10.1016/j.neucom.2018.09.038.
- [14] D. H. Hubel and T. N. Wiesel, "Receptive fields, binocular interaction and functional architecture in the cat's visual cortex," *J. Physiol.*, vol. 160, no. 1, pp. 106–154, 1962, doi: 10.1113/jphysiol.1962.sp006837.

- [15] M. W. Ilahi, C. N. Apriyani, A. Desiani, N. Gofar, Y. Andriani, and M. R. Halim, "Classification of Geometric Batik Motif Typical of Indonesian Using Convolutional Neural Network," *J. Tek. Inform.*, vol. 15, no. 1, pp. 91–100, 2022, doi: 10.15408/jti.v15i1.24968.
- [16] M. W. Ilahi, C. N. Apriyani, A. Desiani, N. Gofar, Y. Andriani, and M. R. Halim, "Classification of Geometric Batik Motif Typical of Indonesian Using Convolutional Neural Network," vol. 15, no. 1, pp. 91–100, 2022.
- [17] A. K. Putra and H. Bunyamin, "Pengenalan Simbol Matematika dengan Metode Convolutional Neural Network (CNN)," vol. 2, no. November, pp. 426–433, 2020.
- [18] A. Farhah, A. L. Prasasti, and M. W. Paryasto, "Implementasi Recurrent Neural Network dalam Memprediksi Kepadatan Restoran Berbasis LSTM," *J. Media Inform. Budidarma*, vol. 5, no. 2, p. 524, 2021, doi: 10.30865/mib.v5i2.2916.
- [19] D. Normawati and S. A. Prayogi, "Implementasi Naïve Bayes Classifier Dan Confusion Matrix Pada Analisis Sentimen Berbasis Teks Pada Twitter," *J. Sains Komput. Inform. (J-SAKTI)*, vol. 5, no. 2, pp. 697–711, 2021.
- [20] D. Putra and A. Wibowo, "Prediksi Keputusan Minat Penjurusan Siswa SMA Yadika 5 Menggunakan Algoritma Naïve Bayes," vol. 2, pp. 84–92, 2020.
- [21] E. Prasetyo, *Data Mining: Konsep dan Aplikasi menggunakan Matlab*. Yogyakarta: Andi Offset-2