

Sistem Pengendalian Kecepatan Kipas Angin Menggunakan Isyarat Tangan Berbasis Convolutional Neural Network

Luthfi Aliananto¹, Wiwien Widyastuti^{*2}, Martanto³

¹Universitas Sanata Dharma, Yogyakarta, Indonesia

²Universitas Sanata Dharma, Yogyakarta, Indonesia

³Universitas Sanata Dharma, Yogyakarta, Indonesia

E-mail: luthfialiananto@gmail.com¹, wiwien@usd.ac.id², martanto@usd.ac.id³

Abstrak. Perkembangan teknologi yang cepat menuntut manusia untuk melakukan segala hal secara cepat dan efektif. Salah satu tren saat ini adalah pengendalian alat dengan menggunakan teknologi kecerdasan buatan. Dengan menggunakan bantuan dari kecerdasan buatan, pengendalian dapat dilakukan secara lebih cepat, efektif, intuitif dan ramah pengguna. Salah satu aplikasi teknologi kecerdasan buatan untuk pengendalian adalah untuk mengendalikan kecepatan kipas angin. Sistem dibangun menggunakan *convolutional neural network* (CNN). Ada empat tahap yang dilakukan yaitu pra-pemrosesan citra, pelatihan, pengujian dan penerapan pada alat. Data pelatihan yang digunakan berjumlah 160 data foto isyarat tangan dari 10 orang yang berbeda-beda. Data tersebut telah mencakup keempat gambar isyarat tangan yang digunakan untuk mengendalikan kecepatan kipas angin. Hasil pelatihan CNN dengan nilai akurasi terbaik dipilih untuk diaplikasikan dengan sistem pengendali kipas secara real-time. Hasil prediksi isyarat selanjutnya dikirimkan menuju ke Arduino UNO sebagai pengendali relai yang digunakan untuk memilih mode kecepatan kipas angin. Penelitian ini memperoleh akurasi terbaik sebesar 90% pada proses pelatihan, dan akurasi sebesar 81% pada proses pengujian. Persentase keberhasilan dari alat ini adalah sebesar 92,5%.

Kata kunci: *Convolutional Neural Network* ; isyarat tangan ; kecepatan kipas ; Arduino UNO

Abstract. Rapid technological developments require humans to do everything quickly and effectively. One of the current trends is controlling devices using artificial intelligence technology. By using artificial intelligence, control can be done faster, more effectively, intuitively and user-friendly. One application of artificial intelligence technology for control is to control the speed of a fan. The system is built using a convolutional neural network (CNN). There are four stages carried out, namely image pre-processing, training, testing and application to the device. The training data used amounted to 160 hand gesture photo data from 10 different people. The data has included the four hand gesture images used to control the speed of the fan. The results of the CNN training with the best accuracy value were selected to be applied with a real-time system of fan controller. The hand gesture prediction results are then sent to the Arduino UNO as a relay controller used to select the fan speed mode. This study obtained the best accuracy of 90% in the training process, and an accuracy of 81% in the testing process. The success percentage of this system is 92.5%.

Keywords: Convolution Neural Network ; hand gesture ; fan speed ; Arduino UNO

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Salah satu teknologi yang berkembang pesat di zaman ini adalah teknologi kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*). Umat manusia begitu terbantu dalam melakukan segala hal dengan adanya teknologi ini. Selain kecerdasan buatan atau AI, teknologi yang sedang dikembangkan oleh manusia saat ini adalah *Computer Vision*. Kedua teknologi ini, dirancang untuk saling bersinergi dalam rangka mencapai tujuan utama *Internet of Things* (IoT). Hal ini selaras dengan semangat revolusi industri 4.0, yaitu membuka batas-batas manusia untuk melakukan segala sesuatu. Manusia tidak lagi merasa disulitkan dalam melakukan segala hal yang dinilai mustahil sebelumnya.

Kecerdasan buatan atau *Artificial Intelligence* adalah usaha untuk memodelkan proses berpikir manusia dan mendesain mesin agar dapat menirukan perilaku manusia [1]. Kecerdasan buatan atau *Artificial Intelligence* adalah sebuah studi tentang bagaimana untuk membuat komputer dapat melakukan hal-hal yang pada saat ini dapat dilakukan lebih baik oleh manusia [2]. Maka, dapat disimpulkan bahwa kecerdasan buatan merupakan sebuah usaha untuk memodelkan pola pikir manusia asli, dan merepresentasikan pola berpikir tersebut melalui mesin. Pada aplikasinya, kecerdasan buatan membutuhkan proses pelatihan agar sistem dapat mengenali objek masukan yang akan diproses, disebut juga *Machine Learning*. Pelatihan dilakukan guna menciptakan sebuah model jaringan syaraf tiruan, untuk kemudian ditanamkan pada sistem.

Ruang lingkup pengembangan jaringan syaraf tiruan sangat luas. Berbagai macam objek permasalahan dapat menjadi umpan masukan dari kecerdasan buatan. Salah satunya adalah alat yang akan diwujudkan dalam makalah ini, yaitu sistem pengendalian dengan menggunakan isyarat tangan. Isyarat merupakan salah satu cara komunikasi secara non-verbal yang paling efektif [3]. Salah satu bentuk komunikasi isyarat yang paling mudah dilakukan adalah isyarat tangan. Dengan menggunakan bantuan dari jaringan syaraf tiruan, isyarat tangan akan dikenali sebagai pola tertentu, yang digunakan sebagai masukan dari sistem. Penelitian yang telah dilakukan oleh M. Irsyad Awaludin dalam rangka pembangunan sistem pengenalan isyarat tangan dengan menggunakan jaringan syaraf tiruan, telah membuktikan bahwa dengan menggunakan jaringan syaraf tiruan, komunikasi antara manusia dengan mesin dapat dilakukan hanya dengan memberikan isyarat berupa bahasa isyarat tangan [3]. Hal ini dinilai dapat memberikan ruang lingkup yang sangat luas, khususnya bagi mereka yang menyandang kekurangan fisik, karena dapat dilakukan oleh mereka yang mampu secara fisik, ataupun mereka yang memiliki kekurangan secara fisik [3].

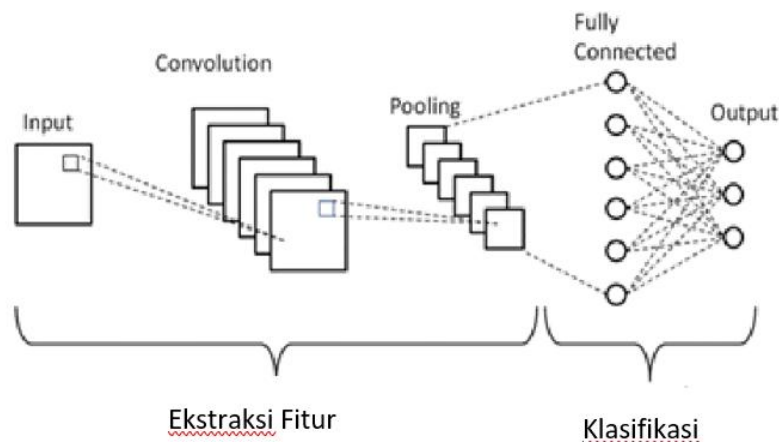
Convolutional neural network (CNN) adalah salah satu metode jaringan saraf tiruan yang ampuh dan efisien untuk pengenalan citra. CNN dapat mengekstraksi fitur pada citra masukan sehingga ukurannya lebih kecil. Kemudian citra hasil ekstraksi diumpankan ke lapisan jaringan saraf tiruan. Dengan Demikian beban komputasi menjadi lebih kecil.

Makalah ini akan membahas penelitian tentang pembuatan sistem untuk mengendalikan kecepatan kipas angin dengan masukan berupa gestur tangan yang dikenali dengan CNN. Hasil pengenalan akan diteruskan ke Arduino UNO untuk mengaktifkan relai yang akan memilih mode kecepatan pada kipas angin.

1.2. Convolutional Neural Network

Convolutional neural network (CNN) atau disebut juga convnet adalah salah satu kelas deep neural network yang banyak digunakan di bidang analisis/pengenalan citra. *Convolutional Neural* menggunakan jenis metode yang sangat khusus yang dikenal sebagai konvolusi (*convolutional*). Definisi matematis konvolusi adalah operasi matematika yang diterapkan pada dua fungsi yang menghasilkan output dalam bentuk fungsi ketiga yang menunjukkan bagaimana bentuk satu fungsi dipengaruhi, dimodifikasi oleh fungsi lainnya..

Arsitektur dasar CNN dapat dilihat pada Gambar 1. Arsitektur CNN terdiri dari dua komponen utama. Komponen pertama adalah sebuah alat konvolusi yang memisahkan dan mengidentifikasi fitur yang berbeda dari sebuah gambar untuk analisis dalam proses yang dikenal sebagai Ekstraksi Fitur. Komponen kedua adalah lapisan terhubung penuh (*fully connected layer*) yang mengambil keluaran dari proses konvolusi dan memprediksi kelas citra berdasarkan fitur yang diambil sebelumnya.



Gambar 1. Arsitektur Dasar CNN

CNN terdiri dari tiga jenis lapisan: lapis konvolusi, lapis pooling, dan lapis *fully-connected* (FC) [4].

- Lapis konvolusi adalah lapisan paling pertama di CNN yang bertanggung jawab untuk mengekstraksi berbagai fitur dari gambar masukan. Operasi matematis konvolusi dilakukan antara gambar input dan filter dengan ukuran $M \times M$ tertentu.
- Lapisan *pooling* bertugas untuk mengurangi ukuran (spasial) dari Fitur Konvolusi. Terdapat 2 jenis *pooling* yaitu *average-pooling* dan *max-pooling*. Lapisan *pooling* biasanya diterapkan setelah lapisan konvolusi. Tujuan utama lapisan ini adalah untuk menurunkan ukuran peta fitur yang dikonvolusi untuk mengurangi biaya komputasi. Ada banyak jenis operasi *pooling*, tergantung pada mekanisme yang digunakan.
- Lapisan FC : Keluaran dari lapis *pooling* berupa beberapa lapis *array* 2 dimensi sehingga membentuk *array* 3 dimensi. Lapis FC mengubah lapis 3 dimensi menjadi 1 dimensi

1.3. Confusion Matrix dan Clasification Report

Matriks kebingungan (*Confusion Matrix*) merupakan peralatan analitik prediktif yang dapat menampilkan dan membandingkan antara nilai yang sebenarnya (nilai aktual), dengan nilai yang dikeluarkan oleh sistem jaringan syaraf tiruan (nilai prediksi) [5]. Hasil perbandingan dari matriks kebingungan digunakan untuk membuat laporan pengukuran performa dari sistem jaringan syaraf tiruan [5]. Hasil perbandingan dari matriks kebingungan dijabarkan menjadi 4 poin, yaitu:

- True Positive (TP): jumlah data positif dan diprediksi sebagai hasil positif
- True Negative (TN): jumlah data negatif dan diprediksi sebagai hasil negatif
- False Positive (FP): jumlah data negatif tetapi diprediksi sebagai hasil positif
- False Negative (FN): jumlah data positif tetapi diprediksi sebagai hasil negative

Hasil perbandingan dari matriks kebingungan digunakan untuk menghitung 4 parameter, yang disebut *classification report*. Parameter *classification report* meliputi:

- Accuracy
- Precision
- Recall
- F1-Score

1.4. Arduino UNO

Arduino UNO merupakan salah satu jenis pengendali mikro berbasis ATmega328, yang bersifat sumber terbuka, sehingga dapat memudahkan dalam pengendalian di bidang teknik elektronika. Keunggulan dari Arduino UNO yaitu fleksibel dan mudah untuk digunakan, karena dalam aplikasinya, Arduino UNO menggunakan bahasa pemrograman C sebagai bahasa pemrograman utamanya [6]. Arduino UNO digunakan untuk mengendalikan kecepatan kipas angin, dengan menerjemahkan kode dari kondisi isyarat tangan yang diberikan dari sistem jaringan syaraf tiruan, menjadi perintah yang

digunakan untuk menentukan kondisi relai pemilih kecepatan kipas angin sesuai dengan tuntutan yang diberikan. Gambar 2 merupakan bentuk dari modul pengendali mikro Arduino UNO.



Gambar 2. Pengendali mikro Arduino UNO

1.5. Modul Relai

Relai (*Relay*) merupakan sebuah saklar elektronik, yang digunakan untuk menghubungkan atau memutus aliran arus listrik, pada sebuah rangkaian elektronik. Relai memiliki tiga bagian penting, yaitu bagian pemacu atau penggerak, bagian pegas dan bagian kontaktor. Bagian pemacu relai merupakan sebuah lilitan kabel tembaga, yang akan menghasilkan medan magnet jika dialiri oleh arus (elektromagnetik). Gambar 3 merupakan bentuk dari modul relai.



Gambar 3. Modul Relai

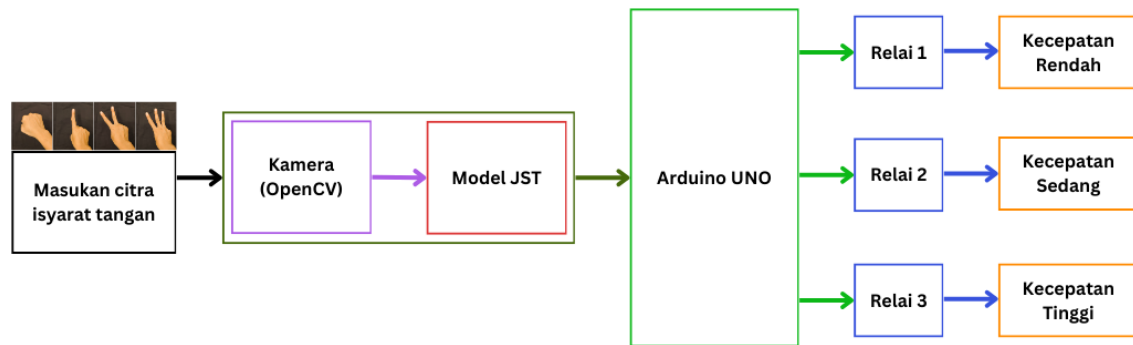
2. Metode

Metode penelitian yang dilakukan terdiri dari tahap berikut :

- Merancang diagram blok atau merancang sub system perangkat keras.
- Merancang diagram alir program dan arsitektur CNN
- Mengumpulkan data set isyarat tangan
- Pembuatan program pelatihan dan pengujian CNN
- Pembuatan sub system perangkat keras.
- Pengambilan data dan Analisa

2.1. Merancang Diagram Blok

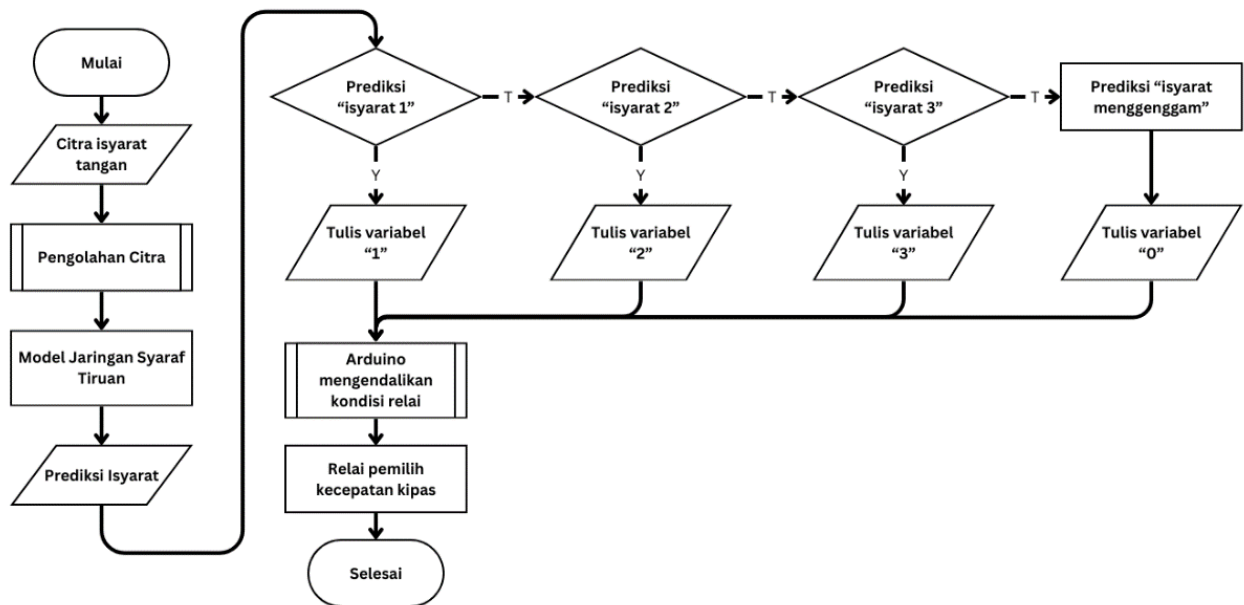
Diagram blok sistem keseluruhan dapat dilihat pada gambar 4. Masukan sistem berupa isyarat tangan yang ditangkap oleh kamera (laptop). Kemudian citra tangkapan kamera akan dilakukan pemrosesan awal dan digunakan sebagai masukan model CNN hasil pelatihan. Hasil prediksi dari CNN akan diteruskan ke Arduino untuk menentukan relai yang akan diaktifkan untuk mengatur kecepatan dari kipas angin.



Gambar 4. Diagram Blok Sistem Keseluruhan

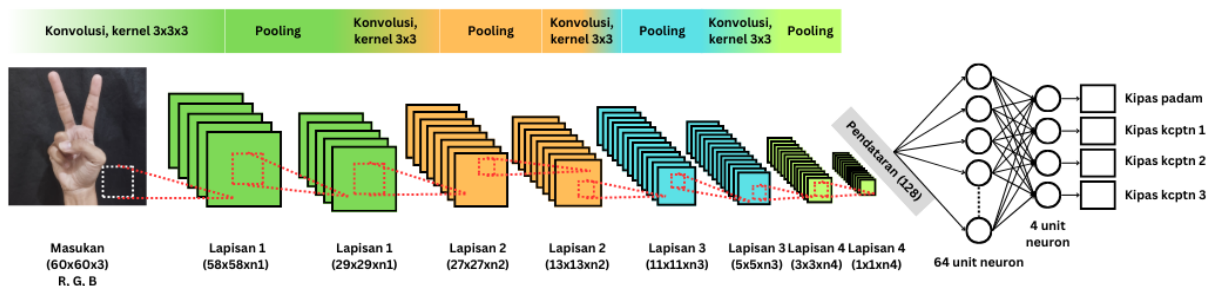
2.2. Merancang Diagram Alir dan Arsitektur CNN

Diagram alir dari sistem dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Diagram alir Sistem Keseluruhan

Untuk membuat model CNN, arsitektur jaringan yang akan digunakan dirancang seperti gambar 6.



Gambar 6. Arsitektur Jaringan CNN

Masukan jaringan berupa citra berwarna 60x60. Lapisan berikutnya terdiri dari 4 lapisan konvolusi dan maxpooling. Konvolusi 1 dengan ukuran kernel 3x3 dan lapisan max pooling 1 dengan ukuran 2x2, lapisan konvolusi 2 dengan ukuran kernel 3x3 lapisan max pooling 2 dengan ukuran 2x2, konvolusi 3 dengan ukuran kernel 3x3 dan lapisan max pooling 3 dengan ukuran 2x2, Konvolusi 4 dengan ukuran kernel 3x3 dan lapisan max pooling 4 dengan ukuran 2x2. Kemudian keluaran dari lapisan max pooling didatarkan menjadi 1 dimensi sebagai masukan untuk lapisan *fully connected* dengan 64 neuron. Jaringan menggunakan fungsi aktivasi Rectified Linear Unit. Jaringan mempunyai 4 keluaran yang mewakili kondisi kipas padam, kipas kecepatan 1, kipas kecepatan 2, kipas kecepatan 3.

2.3. Mengumpulkan Data Set Isyarat Tangan

Data set masukan yang dibutuhkan pada sistem ini adalah data citra isyarat tangan. Jenis isyarat tangan yang digunakan yaitu, isyarat jari telunjuk (1) untuk kecepatan rendah, isyarat jari telunjuk dan jari tengah (2) untuk kecepatan sedang, isyarat jari telunjuk jari tengah dan jari manis (3) untuk kecepatan tinggi, dan isyarat tangan menggenggam (0) untuk memadamkan kipas angin. Data isyarat jari tangan yang digunakan adalah isyarat jari tangan kanan dan kiri, serta isyarat tangan menghadap depan dan belakang. Citra isyarat jari tangan diambil dari 10 orang yang berbeda-beda, sehingga dalam satu set data terdapat 160 data citra isyarat tangan. Gambar 7 merupakan contoh set data isyarat tangan.



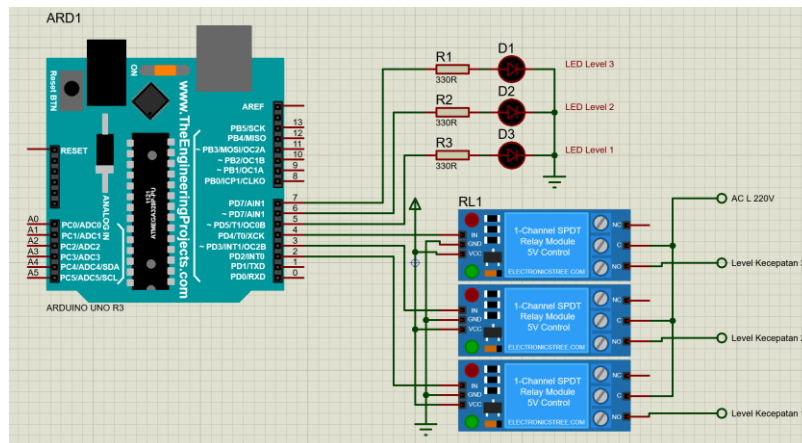
Gambar 7. Contoh citra isyarat tangan

2.4. Pembuatan program pelatihan dan pengujian CNN

Program pelatihan dan pengujian dibuat dengan Bahasa python menggunakan package cv2, numpy, tensorflow dan sklearn. Proses pelatihan dilakukan 8 kali dengan menggunakan variabel jumlah kernel yang bervariasi. Variasi jumlah kernel dapat dilihat pada tabel 1. Jaringan dilatih sebanyak 100 epoch menggunakan optimizer adam (Adaptive Moment Estimation). Dari 8 kali pelatihan, diperoleh 8 model CNN yang berbeda. Integrasi ke perangkat keras sistem akan menggunakan model dengan akurasi terbaik.

2.5. Pembuatan Sub Sistem Perangkat Keras

Rancangan rangkaian sistem pengendalian kecepatan kipas dapat dilihat pada gambar 8. Sistem pengendalian yang digunakan adalah sistem sakelar pemilih level kecepatan yang dipasang secara paralel dengan sakelar pemilih kecepatan yang telah terpasang pada kipas angin. Sistem kendali kecepatan menggunakan 3 buah relai sebagai saklar otomatis dan 3 buah LED sebagai indikator kecepatan, yang dikendalikan oleh Arduino UNO.



Gambar 8. Rangkaian Sistem Pengendalian Kecepatan Kipas Angin

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Pembuatan Model CNN

Pembuatan model CNN dilakukan dengan melatih CNN menggunakan arsitektur pada gambar 6 menggunakan Bahasa pemrograman Python. Pelatihan dilakukan dengan menggunakan data set berjumlah 160 citra isyarat tangan. Pelatihan dicoba dengan berbagai variasi jumlah filter pada lapisan-lapisan konvolusi dan pooling dan variasi jumlah neuron pada lapisan *fully connected*. Akurasi dari setiap model yang dihasilkan akan dibandingkan dan kemudian dipilih yang terbaik untuk nantinya diaplikasikan ke sistem pengendali. Ringkasan hasil pelatihan dari beberapa model dapat dilihat pada tabel 1. Dari tabel tersebut nampak bahwa model terbaik adalah model ke-7 dengan akurasi 90%. Performa lebih detail dari model ke-7 dapat dilihat dari *classification report* pada tabel 2.

Tabel 1. Hasil Pembuatan Model CNN

Model ke	Jumlah filter n1	Jumlah filter n2	Jumlah filter n3	Jumlah filter n4	Fully connected neuron	Epoch	Akurasi
1	32	128	128	64	32	100	71%
2	32	32	64	64	32	100	58%
3	64	128	256	128	32	100	77%
4	128	256	256	128	32	100	69%
5	64	128	256	256	64	100	75%
6	64	512	256	128	64	100	71%
7	64	64	128	128	64	100	90%
8	64	64	64	128	64	100	79%

Tabel 2. Clasification Report Model Terbaik

Kelas	Parameter Performa		
	Precision	Recall	F1-score
0 (Padam)	100%	90%	95%
1 (Rendah)	100%	100%	100%
2 (Sedang)	79%	92%	85%
3 (Tinggi)	83%	77%	80%
Nilai Akurasi			90%

3.2. Hasil Pembuatan Perangkat Keras

Rangkaian perangkat keras dari system pengendali yang berhasil dibuat nampak pada gambar 9. Hasil akhir produk yang sudah diintegrasikan dengan kipas angin nampak pada gambar 10.



Gambar 9. Perangkat keras system pengendali kecepatan

a) Rangkaian pengatur level kecepatan b) LED sebagai indikator kecepatan kipas angin



Gambar 10. Bentuk Hasil Akhir Produk

3.5. Pengujian Sistem Secara Real Time

Hasil pengujian secara real time dilakukan dengan tangan dari 3 responden yang berbeda dan dengan kondisi warna latar belakang yang berbeda (terang dan gelap). Contoh hasil percobaan dapat dilihat pada tabel 3. Percobaan pada tabel 3 dilakukan oleh responden C dengan latar belakang terang. Dari tabel tersebut tampak bahwa jika prediksi model CNN memberikan hasil yang sesuai maka system pasti berhasil merespon dengan level kecepatan kipas angin yang sesuai. Tetapi jika prediksinya salah maka respon dari system juga akan memberikan level kecepatan yang tidak sesuai.

Rekapitulasi hasil pengujian secara real time dari 3 responden dapat dilihat pada tabel 4. Perbandingan keberhasilan antara latar belakang terang dan gelap dapat dilihat pada tabel 5. Dari tabel tersebut terlihat bahwa presentasi keberhasilan prediksi lebih baik jika menggunakan latar belakang terang dari pada gelap walaupun perbedaannya tidak signifikan. Rata-rata keberhasilan sistem adalah 92,5%

Tabel 3. Contoh hasil pengujian sistem secara Real Time

No	Jenis isyarat masukan	Percobaan	Hasil prediksi sistem	Kecepatan angin (m/s)	Posisi tangan	Status keberhasilan
1	Isyarat “0” (tangan menggenggam)	1	“kecepatan : 0”	0	Kanan depan	Berhasil
2		2	“kecepatan : 0”	0	Kanan belakang	Berhasil
3		3	“kecepatan : 0”	0	Kiri depan	Berhasil
4		4	“kecepatan : 0”	0	Kiri belakang	Berhasil
5	Isyarat “1” (jari telunjuk)	1	“kecepatan : 1”	2,7	Kanan depan	Berhasil
6		2	“kecepatan : 1”	2,8	Kanan belakang	Berhasil
7		3	“kecepatan : 1”	2,7	Kiri depan	Berhasil
8		4	“kecepatan : 1”	2,6	Kiri belakang	Berhasil
9	Isyarat “2” (jari telunjuk dan jari tengah)	1	“kecepatan : 3”	4,3	Kanan depan	Gagal
10		2	“kecepatan : 2”	3,5	Kanan belakang	Berhasil
11		3	“kecepatan : 2”	3,6	Kiri depan	Berhasil
12		4	“kecepatan : 2”	3,6	Kiri belakang	Berhasil
13	Isyarat “3” (jari telunjuk, jari tengah dan jari manis)	1	“kecepatan : 3”	4,3	Kanan depan	Berhasil
14		2	“kecepatan : 3”	4,4	Kanan belakang	Berhasil
15		3	“kecepatan : 3”	4,3	Kiri depan	Berhasil
16		4	“kecepatan : 3”	4,4	Kiri belakang	Berhasil

Tabel 4. Rekapitulasi hasil pengujian secara real time dari 3 responden

Percobaan ke	Responden	Jenis latar belakang	Persentase Keberhasilan
1	Penulis	Terang	91,6%
2	Penulis	Gelap	95,8%
3	Ayah dari penulis	Terang	100%
4	Ayah dari penulis	Gelap	93,7%
5	Ibu dari penulis	Terang	93,7%
6	Ibu dari penulis	Gelap	81,25%

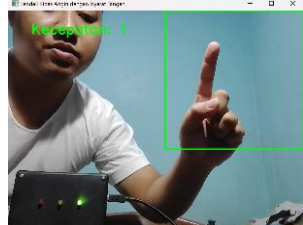
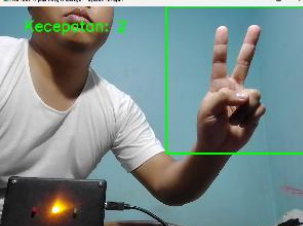
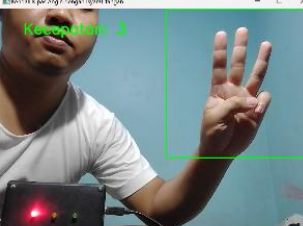
Tabel 5. Perbandingan keberhasilan latar belakang terang dan gelap

Parameter	Jenis latar belakang	
	Terang	Gelap
Jumlah seluruh percobaan	80	80
Percobaan gagal	5	7
Percobaan berhasil	75	73
Rata-rata keberhasilan	93,75%	91,25%

Contoh hasil pendeteksian dan pengenalan isyarat tangan dan keluaran kecepatan angin dari kipas angin yang dihasilkan dapat dilihat pada tabel 6. Dari tabel tersebut nampak bahwa sistem telah dapat mendeteksi otomatis masukan isyarat tangan dan memprediksi dengan baik. Sistem juga telah mampu merespon prediksi dengan baik dengan menghasilkan level kecepatan yang sesuai.

Secara keseluruhan, system pengendali kecepatan kipas angin dengan CNN dapat bekerja dengan baik. Keakuratan prediksi model CNN sebesar 92,5% menyebabkan juga keberhasilan system secara keseluruhan sebesar 92,5%.

Tabel 6. Hasil pendeteksian masukan dan keluaran dari alat

No	Jenis Isyarat Tangan	Foto Hasil Akhir	Kecepatan angin (m/s)
1	Isyarat "1"		
2	Isyarat "2"		
3	Isyarat "3"		
4	Isyarat tangan menggenggam		

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengamatan Analisa, dapat ditarik beberapa Kesimpulan sebagai berikut :

- Secara umum, sistem dapat bekerja dengan baik dengan keberhasilan sebesar 92,5%. Keberhasilan dari system sangat dipengaruhi oleh kemampuan prediksi dari model CNN.
- Penggunaan latar belakang warna terang pada citra isyarat tangan menghasilkan persentase keberhasilan lebih baik dibanding dengan penggunaan latar belakang warna gelap, yaitu 93,75% dibanding 91,25%.

Daftar Pustaka

- [1] H. Dhingra dan G. B. Prakashan, *A Textbook of Artificial Intelligence for Class IX (A.Y. 2023-24) Onward*. dalam A Textbook of Artificial Intelligence. Goyal Brothers Prakashan, 2023. [Daring]. Tersedia pada: <https://books.google.co.id/books?id=bGXEEAAAQBAJ>
- [2] E. Rich dan K. Knight, *Artificial Intelligence*. dalam Artificial Intelligence Series. McGraw-Hill, 1991. [Daring]. Tersedia pada: <https://books.google.co.id/books?id=6P6jPwAACAAJ>

- [3] M. I. Awaludin, "Pengenalan Gerakan Tangan Menggunakan Fuzzy-Logic dengan Algoritma Jaringan Syaraf Tiruan Backpropagation," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 2, no. 3, hlm. 67–71, 2020.
- [4] M. Krichen, "Convolutional Neural Networks: A Survey," *Computers*, vol. 12, no. 8, 2023, doi: 10.3390/computers12080151.
- [5] L. Afifah, "Apa itu Confusion Matrix di Machine Learning?," <https://ilmudatapy.com/>. Diakses: 27 Maret 2024. [Daring]. Tersedia pada: <https://ilmudatapy.com/apa-itu-confusion-matrix/>
- [6] D3TT, "Apa Itu Arduino UNO dan Kegunaannya," <https://dte.telkomuniversity.ac.id/>. Diakses: 19 Maret 2024. [Daring]. Tersedia pada: <https://dte.telkomuniversity.ac.id/apa-itu-arduino-uno-dan-kegunaannya/>
- [7] A. P. Ismail, F. A. A. Aziz, N. M. Kasim, dan K. Daud, "Hand gesture recognition on python and opencv," *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, vol. 1045,
- [8] R. Yamashita, M. Nishio, R. K. G. Do, dan K. Togashi, "Convolutional neural networks: an overview and application in radiology," *Insights Imaging*, vol. 9, no. 4, hlm. 611–629, 2018, doi: 10.1007/s13244-018-0639-9.
- [9] G. Hand, "Apa itu bahasa Python?," <https://diskominfo.kedirikab.go.id/>. Diakses: 19 Maret 2024. [Daring]. Tersedia pada: <https://diskominfo.kedirikab.go.id/baca/apa-itu-bahasa-python>
- [10] A. Muhandian, "Memahami: Apa itu Numpy pada Python?," <https://www.petanikode.com/>. Diakses: 19 Maret 2024. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.petanikode.com/python-numpy/>
- [11] H. A. Sidharta, "Introduction to Open CV," <https://binus.ac.id/>. Diakses: 19 Maret 2024. [Daring]. Tersedia pada: <https://binus.ac.id/malang/2017/10/introduction-to-open-cv/>
- [12] "Belajar Python Mengenal Pandas dan Series untuk Meningkatkan Kompetensi Data," <https://dqlab.id/>. Diakses: 19 Maret 2024. [Daring]. Tersedia pada: <https://dqlab.id/belajar-python-mengenal-pandas-dan-series-untuk-meningkatkan-kompetensi-data>
- [13] "Scikit Learn Tutorial," <https://www.tutorialspoint.com/>. Diakses: 19 Maret 2024. [Daring]. Tersedia pada: https://www.tutorialspoint.com/scikit_learn/index.htm
- [14] M. Ma & H. Liu, "Hand Gesture Recognition with Convolutional Neural Networks", IEEE / Semantic Scholar, 2016T.
- [15] N. Nguyen, dkk, "Control Home Appliances Using Hand Gesture Recognition based on Convolutional Neural Network", *Journal of Robotics and Control (JRC)*, 2023.
- [16] Fakhrudin, dkk, "Kontrol Level Kecepatan Kipas Melalui Deteksi Gestur Jari Tangan Secara Otomatis Berbasis Deep Learning", *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer (JTIIK) / Journal of Innovation Research and Knowledge*, 2023