

KENDALI ROBOT BERODA DENGAN GERAK ISYARAT TANGAN BERBASIS IMAGE PROCESSING

WHEELED ROBOT CONTROL WITH HAND GESTURE BASED IMAGE PROCESSING

Theodore Bismo Waskito¹, Dr. Sony Sumaryo, S.T., M.T.², Casi Setianingsih, S.T., M.T.³

Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹theodorewaskito@gmail.com, ²sony.sumaryo@yahoo.co.id, ³setiacasie@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Computer vision didasarkan pada pengenalan bentuk yang memiliki banyak potensi dalam interaksi manusia dan komputer. Isyarat tangan dapat dijadikan simbol interaksi manusia dengan komputer seperti halnya pada penggunaan berbagai isyarat tangan pada bahasa isyarat. Berbagai isyarat tangan dapat digunakan untuk menggantikan fungsi *remote control*, untuk mengendalikan robot, dan sebagainya. Proses mengolah gambar atau citra tangan dengan menggunakan *computer vision* ini dinamakan *image processing*.

Pada tugas akhir ini dibuat sistem kendali robot beroda yang dapat bergerak sesuai dengan perintah isyarat tangan yang diberikan. Ada 6 bentuk isyarat tangan yang dijadikan sebagai input, dan setiap isyarat tangan memberikan satu perintah pergerakan robot beroda. Metode yang digunakan untuk melakukan klasifikasi tiap isyarat, yaitu *Convolutional Neural Network* (CNN). CNN adalah salah satu cabang dari Jaringan Syaraf Tiruan (JST) yang dapat melakukan ekstraksi fitur dan membuat kategori yang diinginkan. Hasil klasifikasi akan diproses dan dikirimkan secara *wireless* ke dalam robot untuk menjalankan suatu pergerakan.

Hasil dari sistem ini yaitu pergerakan robot beroda sesuai dengan isyarat tangan yang diberikan. Variabel yang mempengaruhi sistem ini adalah parameter pelatihan atau *training data* dan parameter lingkungan yang meliputi besar intensitas cahaya, jarak, dan sudut kemiringan. Adapun tingkat akurasi seluruh sistem yang diperoleh adalah 91,33%.

Kata Kunci : *digital image processing, robot, Convolutional Neural Network*

Abstract

Computer vision based on shape recognition has a lot of potential in human and computer interaction. Hand gestures can be used as symbols of human interaction with computers which are preferred in the use of various hand gestures in sign language. Various tasks can be used to set remote control functions, to control robots, and so on. The process of processing images or hand drawings using computer vision is called image processing.

In this final project, a wheeled robot control system can be moved according to the given hand gesture commands. There are 6 forms of hand gestures that are made as input, and each hand gesture gives one command for the movement of a wheeled robot. The method used to classify each gesture, namely Convolutional Neural Network (CNN). CNN is a branch of the Artificial Neural Network (ANN) that can perform extraction features and create desired classification. The results of the classification will be carried out and sent to a wireless robot to run a movement.

The result of this system is the movement of the wheeled robot in accordance with the given hand gestures. Variables that affect this system are training parameters and environmental parameters which include the amount of light intensity, distance, and tilt angle. The accuracy of the entire system obtained is 91,33%.

Keywords : *digital image processing, robot, Convolutional Neural Network*

1. PENDAHULUAN

Dengan semakin meningkatnya penggunaan komputer dalam kehidupan sehari-hari, maka muncul tantangan baru bagaimana memberikan kenyamanan dan kemudahan dalam menggunakan komputer, salah satunya adalah kebutuhan akan metode interaksi dan komunikasi yang lebih alami antara pengguna dan komputer. Penggunaan isyarat tangan merupakan salah satu solusi untuk memenuhi kebutuhan manusia dalam

interaksi manusia dan komputer yang lebih intuitif, cepat, dan sejalan dengan fungsi natural anggota tubuh manusia. Mulai dikembangkannya teknologi ini karena manusia ingin melakukan segala sesuatunya secara mudah, tanpa perlu panduan yang sulit lagi untuk mengendalikan suatu teknologi baru. Tangan dapat menghasilkan beragam isyarat, setiap isyarat memiliki maksud dan makna tersendiri sesuai dengan kesepakatan umum ataupun kesepakatan diantara yang melakukan komunikasi. Oleh karena itu isyarat tangan dapat digunakan untuk menggantikan fungsi *controller* lain yang menggunakan tombol seperti remote control dan mouse untuk mengontrol gerak robot, dan sebagainya.

Pengendalian suatu robot sering kita temui dalam suatu pabrik menggunakan switch atau beberapa tombol untuk menggerakannya. Namun saat ini mulai berkembang dimana manusia dapat mengendalikan suatu robot hanya menggunakan gerakan tubuh. Hal ini dapat diwujudkan jika kita melakukan pengolahan data suatu citra atau gambar dari gerakan tubuh manusia.

Salah satu teknik yang paling terkenal dalam menangani masalah ini adalah teknik klasifikasi Jaringan Syaraf Tiruan (JST). Jaringan syaraf tiruan adalah jaringan dari sekelompok unit pemroses kecil yang dimodelkan berdasarkan jaringan syaraf manusia. Salah satu metode JST yang dapat memproses citra dengan baik adalah Convolutional Neural Network (CNN). CNN terinspirasi oleh korteks mamalia visual sel sederhana dan kompleks. Model ini dapat mengurangi sejumlah parameter bebas dan dapat menangani deformasi gambar input seperti translasi, rotasi dan skala[1]. Berdasarkan penjelasan mengenai CNN, dapat diambil kesimpulan bahwa CNN memiliki kemampuan klasifikasi yang diperuntukkan untuk data gambar sehingga pada tugas akhir ini model CNN akan digunakan sebagai pengenalan citra isyarat tangan untuk menggerakkan robot beroda secara real time.

1.1. Tujuan

1. Membuat sistem pengenalan bentuk isyarat tangan dengan melakukan klasifikasi setiap isyarat tangan.
2. Membuat desain dan implementasi kendali navigasi robot beroda.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Isyarat Tangan

Isyarat menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI) adalah segala sesuatu (gerakan tangan, anggukan kepala, dan sebagainya) yang dipakai sebagai tanda atau alamat[2]. Gestur tangan sendiri dapat diklasifikasikan menjadi beberapa kategori, seperti gestur untuk percakapan, gestur kontrol, gestur manipulatif, dan gestur untuk komunikasi.

2.2. Robot

Robot merupakan mesin yang dapat melaksanakan fungsi tertentu yang dapat menggantikan atau mempermudah pekerjaan manusia. Istilah robot berasal bahasa Ceko "*robot*" yang berarti pekerja atau kuli yang tidak mengenal lelah atau bosan. Robot biasanya digunakan untuk tugas yang berat, berbahaya, pekerjaan yang berulang dan kotor. Dalam melakukan tugasnya, robot diperintahkan oleh manusia sesuai dengan program yang telah dimasukkan. Di bidang robotika industri, interaksi antara manusia dan mesin biasanya terdiri dari pemrograman dan pemeliharaan mesin oleh operator manusia [3].

2.3. Computer Vision

Computer Vision adalah kemampuan mesin atau komputer dalam melihat hingga mampu meng-ekstrak informasi dari sebuah gambar. Salah satu bidang yang berkaitan dengan *Computer Vision* adalah Pengolahan Citra atau biasa disebut *Image Processing*[9].

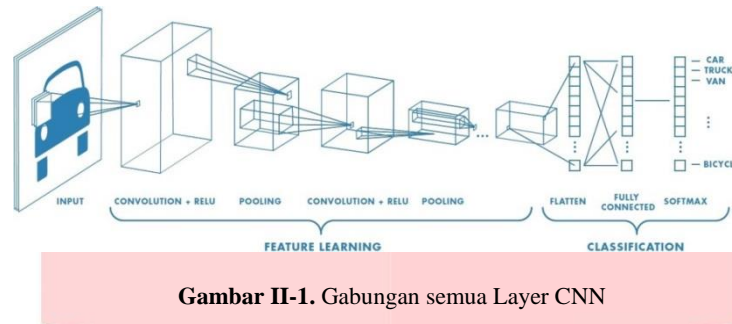
2.4. Digital Image Processing

Digital Image Processing adalah teknik suatu bentuk pengolahan atau pemrosesan sinyal oleh komputer dengan input berupa citra (gambar). Manfaat dari *Image Processing* diantaranya adalah memperbaiki atau meningkatkan kualitas tampilan citra, mereduksi atau mengurangi ukuran file citra namun tetap mempertahankan citra, memulihkan atau memperbaiki citra ke kondisi semula, dan mengekstraksi ciri atau fitur tertentu dari citra untuk dianalisis. Secara matematis, citra merupakan fungsi kontinu (*continue*) dengan intensitas cahaya pada bidang dua dimensi. Agar dapat diolah dengan komputer digital, maka suatu citra harus dipresentasikan secara numeric dengan nilai-nilai diskrit[7].

2.5. Jaringan Saraf Tiruan (*Neural Network*)

Jaringan syaraf tiruan (JST) atau yang secara umum disebut neural network (NN) adalah jaringan dari sekelompok unit pemroses kecil yang dimodelkan berdasarkan sistem syaraf manusia. Jaringan syaraf tiruan salah satu representasi buatan dari otak manusia yang selalu mencoba untuk mensimulasikan proses pembelajaran pada otak manusia tersebut. Istilah buatan disini digunakan karena jaringan syaraf ini diimplementasikan dengan menggunakan program komputer yang mampu menyelesaikan sejumlah proses perhitungan[5].

2.6. *Convolution Neural Network (CNN)*



Convolutional Neural Network (CNN) adalah variasi dari *Multi Layer Perceptron (MLP)* yang dideasin secara khusus untuk mengidentifikasi *image/gambar* dua dimensi. CNN meniru cara kerja otak manusia untuk mengenali objek yang dilihatnya. Dengan bantuan CNN, kini komputer dapat melihat dan membedakan berbagai objek. Secara umum jenis *layer* pada CNN dibedakan menjadi dua yaitu *layer* ekstraksi fitur gambar dan *layer* klasifikasi[8].

2.7. Arduino Uno

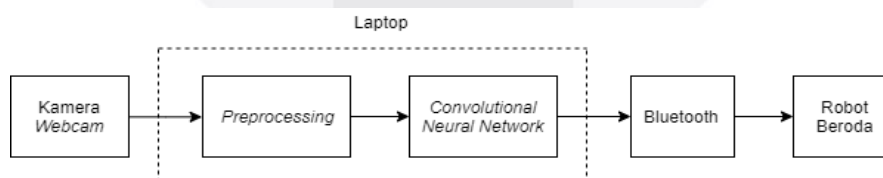
Arduino Uno adalah salah satu jenis dari berbagai macam Arduino. Arduino adalah nama keluarga papan mikrokontroler yang awalnya dibuat oleh perusahaan Smart Projects. Papan ini merupakan perangkat keras yang bersifat “open source” sehingga boleh dibuat oleh siapa saja. Arduino dibuat dengan tujuan untuk memudahkan eksperimen atau perwujudan pelbagai peralatan yang berbasis mikrokontroler[4].

2.8. Bluetooth

Bluetooth merupakan nama yang diberikan untuk teknologi baru yang beroperasi dalam frekuensi 2,4 GHz dengan menggunakan *short-range radio links* untuk menggantikan koneksi kabel portable atau alat elektronik lainnya seperti ponsel dan komputer. Tujuannya adalah mengurangi kompleksitas, *power* serta biaya[6].

3. PERANCANGAN SISTEM

3.1. Gambaran Umum Sistem



Prinsip alat ini adalah akan dibuat sistem pengenalan citra dalam bentuk isyarat tangan yang akan di ditangkap oleh kamera *webcam*, yang kemudian akan di proses di dalam komputer. Citra yang diproses di dalam komputer akan diekstrasi fiturnya dan diklasifikasikan sesuai dengan dataset yang telah diberikan menggunakan salah satu metode Jaringan Saraf Tiruan (JST) yaitu *Convolutional Neural Network (CNN)*. Output dari hasil klasifikasi tersebut akan dikirim secara *wireless* (tanpa kabel) oleh *transmitter* Bluetooth yang tertanam di dalam laptop. Output diterima oleh modul Bluetooth yang terpasang di dalam robot, dan berubah menjadi input robot untuk menggerakkan roda robot.

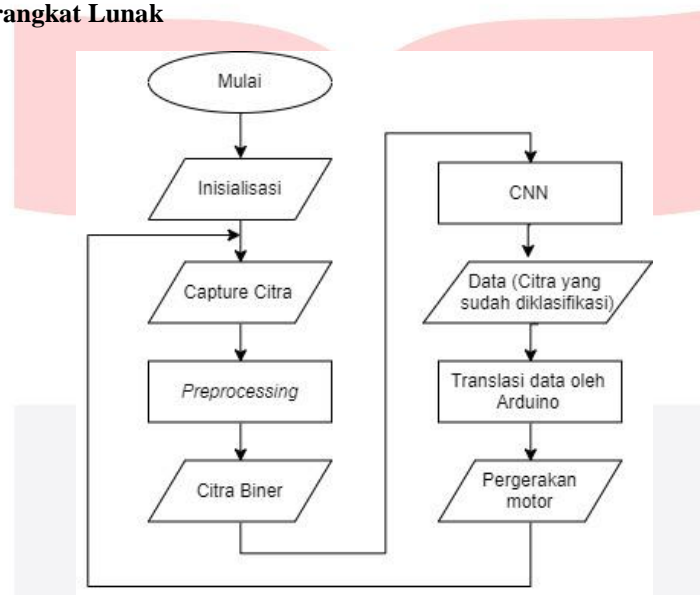
3.2. Perancangan Perangkat Keras

Berikut perangkat keras yang digunakan.

1. Kamera *Webcam* Logitech C525
2. Laptop ASUS X550J
3. Modul Bluetooth HC-05
4. Arduino Uno
5. *Driver* Motor L298N
6. Motor DC 6V dan *Gearbox*

Webcam Logitech C525 akan disambungkan ke laptop ASUS X550J menggunakan kabel *type-A* ke *connector* usb pada laptop. Beberapa perangkat keras lain akan dipasangkan ke dalam kerangka robot. Perangkat keras lain tersebut adalah modul 4emperatu HC-05, Arduino Uno, *driver* motor L298N, motor DC 6v dan *gearbox*.

3.3. Perancangan Perangkat Lunak



Gambar III-2. Flowchart perancangan perangkat lunak

Proses pertama yang dilakukan setelah menangkap citra adalah melakukan *preprocessing*. Hasil dari *preprocessing* adalah citra dalam bentuk *threshold* (citra hitam dan putih). Citra *threshold* akan diproses lagi di dalam CNN untuk ekstraksi fitur dan diklasifikasikan. Pada metode CNN akan berusaha membuat klasifikasi citra semirip mungkin dengan *dataset* yang dimiliki. Setelah citra diklasifikasi akan mengirimkan jenis klasifikasi bentuk gestur dalam bentuk data yang akan diterima oleh arduino. Arduino akan merubah data yang masuk menjadi pergerakan motor.

3.3.1 Pengumpulan Data Gambar

Sebelum masuk ke tahap *training* perlu namanya pengumpulan data – data apa saja yang akan dimasukkan ke tahap *training*. Pengumpulan *dataset* dilakukan dengan merekam dan menangkap gambar pergerakan tangan saya sesuai kelas atau bentuk yang diinginkan dengan menggunakan kamera *webcam*. Ada 2 jenis folder yang akan dimasukkan yaitu data set dan data validasi.

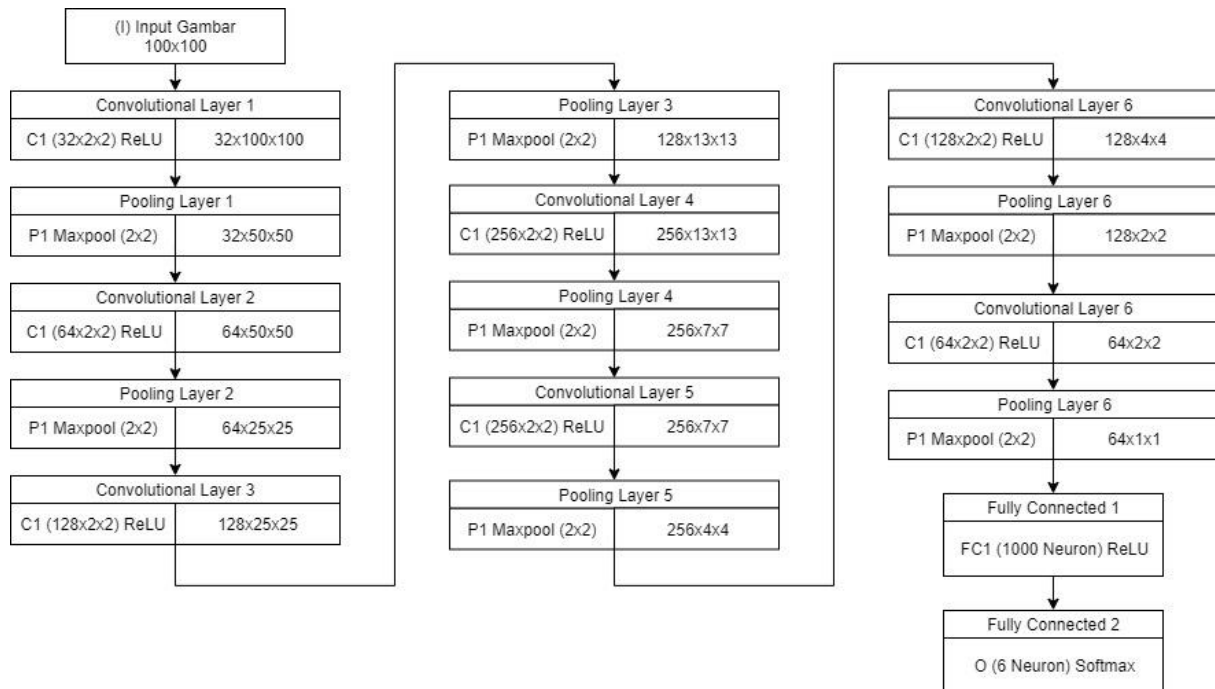
3.3.2 Image Preprocessing

Berikut adalah tahapan – tahapan *image preprocessing* :

1. Tahap *Resizing* atau *Scaling* terjadi proses mengubah ukuran citra digital yaitu citra tangan, hal ini perlu dilakukan agar semua citra digital memiliki ukuran yang sama dan dapat masuk sebagai input CNN. Ukuran citra yang diambil oleh kamera adalah sebesar 330x330 pixel akan di *reize* menjadi 100x100 pixel.
2. Citra digital tangan yang telah melalui proses penskalaan kemudian diubah menjadi citra dua warna atau menjadi *gray* dengan proses *grayscale*.
3. Dalam *thresholding* terjadi konversi citra hitam – putih ke citra biner dilakukan dengan cara mengelompokkan nilai derajat keabuan setiap pixel kedalam 2 kelas, hitam dan putih. Di mana putih memiliki nilai 1 dan hitam memiliki nilai 0.

3.3.3 Desain Convolutional Neural Network

Arsitektur CNN dalam tugas akhir ini dirancang dengan kedalaman 17 layer model konvolusi. Berikut arsitektur dari layer CNN yang digunakan.



Gambar III-3. Arsitektur Convolution Neural Network

3.4. Proses Training

Training atau proses melatih yang dimaksud adalah *training data*. Data gambar yang telah disimpan di dalam folder akan dimasukkan ke dalam proses *training CNN*. Ada parameter – parameter yang menjadi variabel tetap dan juga ada variabel yang akan diuji. Variabel yang akan diuji adalah jumlah epoch dan besarnya *learning rate*. Variabel – variabel tetap meliputi jenis *optimizer*, banyak data input dan ukuran input data. Pada proses *training* akan ada proses *forward pass* dan *backward pass*. Pada proses *forward pass* yaitu saat input masuk ke dalam layer – layer secara urut dan keluar dari layer terakhir (*fully connected layer 2*) sebagai output.

3.5. Proses Penangkapan Gambar secara Langsung

Setelah dilakukannya *training data*, akan dilakukan pengujian data gestur tangan secara *real time*. Proses ditangkapnya gambar gestur tangan sampai keluar menjadi klasifikasi output terjadi secara cepat dengan melakukan proses *preprocessing* setelah itu masuk ke proses metode CNN.

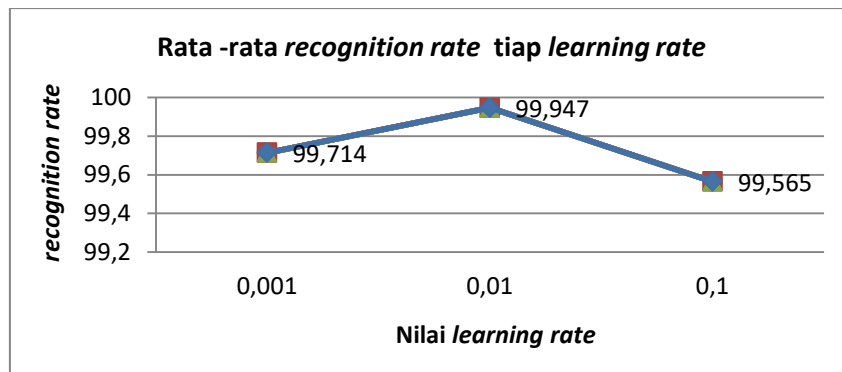
3.6 Pengiriman Sinyal Input dan Pergerakan Robot

Akan dilakukan *pairing* antara laptop dengan modul bluetooth HC-05. Port yang digunakan untuk *pairing* adalah port COM7. *Command* yang dikirimkan dari tiap gestur tangan dibuat dengan menggunakan pengiriman 1 buah huruf. Berikut *command* yang digunakan. Setiap bentuk huruf akan menjadi input untuk menggerakkan motor. Motor akan bergerak ke arah yang sesuai dengan tiap *command* huruf yang dikirim.

4. PENGUJIAN DAN ANALISIS

4.1. Observasi Besar Learning Rate

Pengujian pertama yaitu merubah besar nilai *learning rate*. Tujuannya adalah untuk menemukan nilai *learning rate* yang paling optimal. Cara menemukan nilai paling optimal adalah mencari nilai *recognition rate* terbesar. Nilai *learning rate* yang akan digunakan antara lain 0,001, 0,01, dan 0,1. Pengujian ini dilakukan dengan parameter lingkungan yang ditetapkan, yaitu dengan intensitas cahaya sebesar 22 lx, jarak dari kamera sejauh 75 cm, dan sudut kemiringan dari kamera sebesar 0°. Untuk parameter *training* yang menjadi variabel tetap antara lain dimensi input = 100x100 pixel, jumlah *dataset* = 1000, *dropout probability* = 0.75, jenis *optimizer* = SGD, dan banyak *layer* pada model CNN = 17 layer.

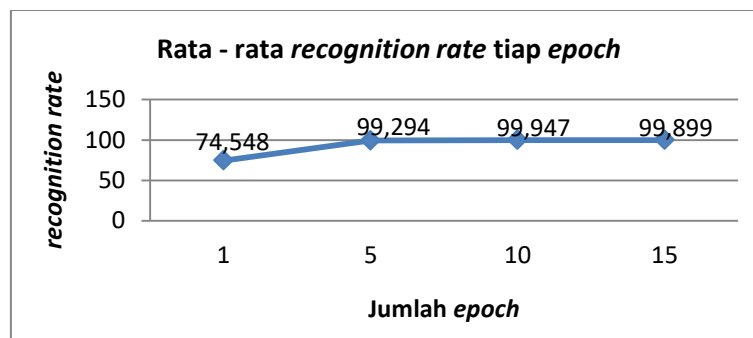


Gambar IV- 1. Grafik hasil pengujian rata – rata akurasi dari nilai *learning rate*

Dari grafik di atas menunjukkan bahwa perubahan besar nilai *learning rate* tidak berpengaruh secara signifikan. Karena hanya memberikan selisih sekitar 0,1% untuk rata – rata akurasi, dan perbedaan waktu yang sangat kecil. Menurut grafik diatas besar nilai *learning rate* yang paling optimal adalah *learning rate* dengan nilai 0,01 karena memiliki nilai *recognition rate* paling besar.

4.2. Observasi Jumlah Epoch

Pengujian kedua yaitu merubah jumlah *epoch*. Tujuannya adalah untuk menemukan besar *epoch* yang paling optimal. Cara menemukan nilai paling optimal sama dengan pengujian sebelumnya. Sama halnya dengan pengujian *learning rate*, pengujian ini dilakukan dengan parameter lingkungan dan parameter *training* yang sama dengan pengujian sebelumnya. Berikut tabel hasil pengujian dengan perubahan jumlah *epoch*.



Gambar IV- 2. Grafik hasil pengujian rata – rata akurasi dari jumlah *epoch*

Dari grafik di atas menunjukkan bahwa perubahan jumlah *epoch* kurang baik saat menggunakan jumlah 1 *epoch*. Sedangkan saat menggunakan jumlah *epoch* 5, 10 dan 15 total akurasi tidak berubah secara signifikan. Menurut grafik diatas besar nilai epoch yang paling optimal adalah epoch dengan jumlah 10 karena memiliki nilai *recognition rate* paling besar yaitu dengan nilai *recognition rate* sebesar 99,947%.

4.3. Observasi terhadap Intensitas Cahaya

Intensitas cahaya lingkungan diukur menggunakan aplikasi yang akan digunakan adalah dengan 9 lux, 22 lux, 92 lux, dan 200 lux. Parameter lingkungan lainnya yang telah ditetapkan, yaitu dengan jarak dari kamera sejauh 75 cm, dan sudut kemiringan dari kamera sebesar 0°. Pengujian dilakukan sebanyak 20 kali untuk setiap isyarat tangan.

Tabel IV- 1. Pengujian akurasi berdasarkan perubahan intensitas cahaya

Isyarat Tangan	Akurasi terhadap Intensitas Cahaya (dalam %)			
	9 lux	22 lux	92 lux	200 lux
<i>Fist</i>	100	100	100	0
<i>Palm</i>	75	100	100	40
<i>Peace</i>	100	100	100	100
<i>Kanan</i>	100	100	100	100

Isyarat Tangan	Akurasi terhadap Intensitas Cahaya (dalam %)			
	9 lux	22 lux	92 lux	200 lux
Kiri	100	100	100	100
Ok	100	100	100	100

Dari Tabel IV-1 dapat dilihat bahwa pada saat intensitas cahaya yang digunakan adalah sebesar 22 lux dan 92 lux semua isyarat tangan dapat diklasifikasikan dengan baik, karena akurasi yang diperoleh mencapai 100% untuk setiap isyarat tangan.

4.4. Observasi terhadap Jarak

Jarak yang akan digunakan adalah jarak dari kamera ke tangan yang akan ditangkap citranya. Jarak yang digunakan antara lain sejauh 50 cm, 75 cm, dan 100 cm. Parameter lingkungan lainnya yang telah ditetapkan, yaitu intensitas cahaya sebesar 22 lux, dan sudut kemiringan dari kamera sebesar 0° . Pengujian dilakukan sebanyak 20 kali untuk setiap isyarat tangan.

Tabel IV- 2. Pengujian akurasi berdasarkan perubahan jarak

Isyarat Tangan	Akurasi terhadap Jarak (dalam %)		
	50 cm	75 cm	100 cm
<i>Fist</i>	100	100	100
<i>Palm</i>	100	100	100
<i>Peace</i>	100	100	100
Kanan	100	100	100
Kiri	100	100	100
Ok	100	100	65

Dari Tabel IV-2 dapat dilihat bahwa pada saat jarak yang digunakan adalah sebesar 50 cm dan 75 cm semua isyarat tangan dapat diklasifikasikan dengan baik, karena akurasi yang diperoleh mencapai 100% untuk setiap isyarat tangan.

4.5. Pengujian Klasifikasi Isyarat Tangan

Pengujian klasifikasi isyarat tangan adalah pengujian yang dilakukan untuk membuktikan isyarat tangan yang sudah sesuai dengan klasifikasinya atau belum. Pengujian dilakukan dengan melakukan perubahan isyarat tangan secara terus menerus dengan jeda waktu sebesar 2 detik. Pengujian menggunakan skenario, yaitu dengan menggunakan 10 perubahan isyarat dan 15 perubahan isyarat. Parameter yang dijadikan variabel tetap adalah intensitas cahaya sebesar 22 lux, jarak tangan ke kamera sejauh 75 cm, sudut kemiringan tangan terhadap kamera yaitu 0° . Setiap skenario dilakukan sebanyak 6 kali.

Tabel IV- 3. Akurasi klasifikasi isyarat dengan 10 dan 15 perubahan isyarat tangan

No.	Jumlah Perubahan Isyarat Tangan	Rata-rata Akurasi (%)
1.	10	95
2.	15	97,78
Total Rata-rata Akurasi		96,67

Pada Tabel IV-3 dapat dilihat bahwa tidak semua isyarat dapat terbaca dengan benar oleh sistem. Total rata – rata akurasi klasifikasi isyarat tangan yang diperoleh adalah 96,67%.

4.6. Pengujian Pergerakan Robot

Pengujian pergerakan robot adalah pengujian yang dilakukan untuk membuktikan isyarat tangan yang diberikan untuk menggerakkan robot beroda apakah sudah sesuai dengan klasifikasinya atau belum. Kondisi dan skenario pengujian yang dilakukan sama dengan pengujian klasifikasi isyarat tangan yaitu dilakukan dengan melakukan perubahan isyarat tangan secara terus menerus dengan jeda waktu sebesar 2 detik. Pengujian

menggunakan skenario, yaitu dengan menggunakan 10 perubahan isyarat dan 15 perubahan isyarat. Parameter yang dijadikan variabel tetap adalah intensitas cahaya sebesar 22 lux, jarak tangan ke kamera sejauh 75 cm, sudut kemiringan tangan terhadap kamera yaitu 0°. Setiap skenario dilakukan sebanyak 6 kali.

Tabel IV- 4. Akurasi gerak robot dengan 10 dan 15 perubahan isyarat tangan

No.	Jumlah Perubahan Isyarat Tangan	Rata-rata Akurasi (%)
1.	10	88,33
2.	15	93,33
Total Rata-rata Akurasi		91,33

Pada Tabel IV-4 dapat dilihat bahwa tidak semua isyarat dapat terbaca dengan benar oleh sistem Total rata – rata akurasi gerak robot yang diperoleh adalah 91,33%.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan pada tugas akhir yang dibuat oleh penulis dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Dengan model CNN 17 layer, 1000 dataset, input gambar 100x100 pixel, dan jenis *optimizer* = SGD Nilai paling optimal adalah *learning rate* dengan nilai 0,01 dan jumlah *epoch* sebanyak 10 *epoch* dengan rata – rata akurasi *recognition rate* mencapai 99,947%.
2. Metode CNN dapat mengenali dan membuat klasifikasi isyarat tangan dengan baik saat intensitas cahaya 22 lux da 92 lux, jarak kamera dengan tangan sejauh 50 cm dan 75 cm, dengan akurasi mencapai 100% untuk setiap isyarat tangan.
3. Dengan melakukan perubahan isyarat secara langsung, klasifikasi isyarat tangan yang dinyatakan benar sesuai dengan isyarat tangan yang diberikan memperoleh rata – rata akurasi sebesar 96,67%. Dan pergerakan robot beroda yang dilakukan dengan benar sesuai dengan isyarat yang diberikan memperoleh rata – rata akurasi sebesar 91,33%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] LeCun, Y., Bottou, L., Bengio, Y., dan Haffner, P. (1998), "Gradient-based Learning applied to Document Recognition." *Proceedings of the IEEE*, 86(11), 2278–2324.
- [2] Departemen Pendidikan Nasional, Kamus Bahasa Indonesia, Jakarta: Pusat Bahasa, 2008.
- [3] Theis, C., Iossifidis, I., & Steinhage, A. (2001), "Image Processing Methods for Interactive Robot Control," *IEEE International Worksop on Robot*, 424.
- [4] Kadir, Abdul, From Zero to a Pro (Edisi Revisi), Yogyakarta: Penerbit Andi, 2018.
- [5] M. Andrijasa, "Penerapan Jaringan Syaraf Tiruan Untuk Memprediksi Jumlah Pengangguran di Provinsi Kalimantan Timur Dengan Menggunakan Algoritma Pembelajaran Backpropagation," *J. Inform. Mulawarman*, vol. 5, no. 1, 2010.
- [6] Sugiantoro, Bambang, "APLIKASI TEKNOLOGI BLUETOOTH UNTUK KOMUNIKASI WIRELESS," Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi. 2005
- [7] RD., Kusumanto and Tompunu, Alan Novi. "PENGOLAHAN CITRA DIGITAL UNTUK MENDETEKSI OBYEK," *Seminar Nasional Teknologi Informasi & Komunikasi Terapan*. 2011.
- [8] M. Zufar and B. Setiyono, "Convolutional Neural Networks Untuk Pengenalan Wajah Secara Real-Time," *J. Sains dan Seni ITS*, vol. 5, no. 2, pp. 72–77, 2016.
- [9] Dorsey. Brannon, "Image Processing and Computer Vision" [Online]. Available: https://openframeworks.cc/ofBook/chapters/image_processing_computer_vision.html. [Diakses 20 Juni 2019].