

# IMPLEMENTASI SISTEM PENGGOLONGAN BENDA BERDASARKAN BENTUK DAN MUTU MELALUI PENGOLAHAN CITRA DIGITAL MENGGUNAKAN ALGORITMA JARINGAN SYARAF TIRUAN BACKPROPAGATION

## IMPLEMENTATION OF SHAPE AND GRADE OBJECTS CLASSIFICATION SYSTEM THROUGH DIGITAL IMAGE PROCESSING USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORK BACKPROPAGATION

Arief Yulian Prabowo<sup>1</sup>, Erwin Susanto,S.T., M.T., Ph.D.<sup>2</sup>, Ramdhan Nugraha,S.Pd., M.T.<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Telkom

<sup>1</sup>[arief.yepe@gmail.com](mailto:arief.yepe@gmail.com)

### Abstrak

Penggunaan tenaga manusia dalam proses pemilahan barang pada industri masih banyak digunakan saat ini. Berbagai teknik digunakan dalam pemilahan barang, salah satunya menggunakan pengolahan citra. Pada proposal tugas akhir ini, sistem akan dirancang menggunakan algoritma jaringan syaraf tiruan backpropagation. Webcam digunakan sebagai indera penglihatan, yang berfungsi menangkap gambar benda. Kemudian dilakukan pengolahan citra untuk menghilangkan noise. Nilai pixel dari hasil pengolahan citra tersebut akan diambil dan digunakan sebagai data masukan. Algoritma jaringan syaraf tiruan backpropagation memiliki dua tahap, yaitu tahap pelatihan dan tahap pengujian. Pada tahap pelatihan akan dihasilkan nilai bobot baru dari masing-masing bentuk yang selanjutnya digunakan pada tahap pengujian untuk menentukan bentuk benda. Pengolahan citra dan jaringan syaraf tiruan dilakukan di pengendali mikro Raspberry Pi menggunakan bahasa python. Sistem bekerja dengan baik dan dapat menentukan bentuk benda dengan performansi 87,5%.

Kata kunci: pattern recognition, image processing, neural network, Raspberry Pi

### Abstract

The uses of manpower in the sorting process on industrial goods are still widely used today. Various techniques are used in the sorting of goods, one of them using image processing. At this final project proposal, the system will be designed using artificial neural network backpropagation algorithm. Webcams are used as the senses of sight, which serves to capture images of objects as it passes through an infrared sensor. Then do the image processing to remove noise. Pixel values from image processing result will be taken and used as input data. Artificial neural network backpropagation algorithm has two phases, training phase and testing phase. This training stage will produce a new weight value of each shape which used in the testing phase to determine shape of the objects. Microcontroller Raspberry Pi is used as conveyor and servo motor control, and performs digital image processing. The system works well and can determine the shape of objects with a performance of 87,5%.

Keyword: pattern recognition, image processing, neural network, Raspberry Pi

### 1. Pendahuluan

#### 1.1. Latar Belakang Masalah

Perkembangan teknologi sangat berpengaruh terhadap kemajuan industri. Saat ini masih banyak industri yang menggunakan tenaga manusia dalam pemilahan barang. Walaupun karakteristik dan standard kualitas barang sudah ditentukan, namun setiap manusia mempunyai kemampuan yang berbeda dalam mengolah informasi barang tersebut. Sehingga penggunaan tenaga manusia dalam pemilahan barang dirasa kurang efektif dan efisien.

Pengolahan citra merupakan salah satu bagian penting pada industri moderen. Pengolahan citra biasanya digunakan dalam pemilihan jenis dan kualitas dari suatu produk. Produk berupa dadu dan kelereng. Dengan pengolahan citra diharapkan produk dapat dipilih sesuai dengan karakteristiknya. Karakteristik tersebut berupa bentuk.

Algoritma jaringan syaraf tiruan backpropagation banyak digunakan untuk memecahkan berbagai macam masalah. Karena kemampuan algoritma tersebut yang menyerupai jaringan syaraf manusia maka banyak bidang yang menggunakan algoritma ini, salah satunya dibidang pengolahan citra.

Berdasarkan permasalahan tersebut maka dibutuhkan suatu alat yang dapat mendeteksi suatu objek berdasarkan karakteristiknya menggunakan algoritma jaringan syaraf tiruan backpropagation agar efektif dan efisien. Alat tersebut menggunakan Raspberry Pi sebagai microcontroller, dan webcam sebagai penangkap gambar.

#### 1.2. Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah merancang dan mengimplementasikan prototipe sistem penggolongan benda berdasarkan bentuk dan mutunya. Membangun sistem antar muka pengolahan citra digital dan algoritma jaringan syaraf tiruan backpropagation pada microcontroller Raspberry Pi dengan webcam. Melakukan analisis

keakuratan sistem mendeteksi jenis bentuk dan mutu benda berdasarkan algoritma jaringan syaraf tiruan backpropagation.

2. Dasar Teori

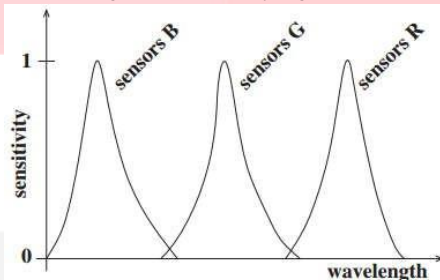
2.1. Citra

Citra merupakan suatu fungsi intensitas cahaya 2D,  $I(x, y)$ , dimana  $x$  dan  $y$  adalah koordinat spasial dan nilai pada  $(x, y)$  sebagai tingkat kecerahan tempat pada  $(x, y)$ . Citra digital adalah sebuah citra  $(x, y)$  yang telah mengalami perubahan diskrit baik dalam koordinat spasial dan kecerahan. Citra digital digambarkan dalam 2D integer array, atau suatu rangkaian 2D array. Nilai kecerahan yang sudah menjadi nilai digital disebut grey level. Setiap elemen pada array disebut pixel atau pel, diambil dari istilah "elemen gambar". Biasanya, ukuran array adalah ratusan pixel dengan ratusan pixel dan terdapat beberapa kemungkinan grey level yang berbeda. Jadi, citra digital dapat terlihat seperti berikut

$$I(x, y) = \begin{pmatrix} I(x,1) & I(x,2) & \dots & I(x,N) \\ I(1,y) & I(2,y) & \dots & I(N,y) \end{pmatrix} \quad (2.1)$$

dengan  $0 \leq I(x, y) \leq 255$ , dimana biasanya  $N$  dan  $G$  berisi nilai integer positif ( $N = 2^m, G = 2^n$ ).

Di dalam citra digital terdapat istilah pita warna. Pita warna adalah jarak panjang gelombang dari spektrum elektromagnetik, dimana sensor yang akan digunakan untuk menangkap gambar memiliki sensitivitas nonzero. Warna citra pada umumnya memiliki tiga pita warna. Itu berarti warna citra ditangkap oleh tiga set sensor yang berbeda, setiap set dibuat untuk memiliki fungsi sensitivitas yang berbeda.



Gambar 2. 1 Spektrum Cahaya yang Mencapai Sensor Dikalikan dengan Fungsi Sensitivitas Sensor dan Direkam oleh Sensor

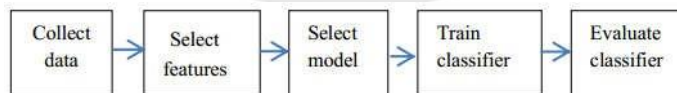
2.2. Pengenalan Pola

Pengenalan pola digambarkan sebagai suatu pembelajaran bagaimana mesin dapat mengamati lingkungan, mempelajari berbagai macam pola dari latar belakang, dan melakukan tindakan yang masuk akal berdasarkan pola.

Ada tiga langkah dalam sistem pengenalan pola, antara lain:

- a. Pengumpulan dan pengolahan data:  
Disini data dari lingkungan sekitar diambil dan diberikan ke sistem pengenalan pola. Data yang masih kasar tersebut kemudian diolah dengan menghilangkan noise atau mengekstraksi pola yang menjadi acuan dari latar belakang agar dapat terbaca sebagai masukan sistem.
- b. Ekstraksi ciri:  
Ciri-ciri relevan dari data yang telah diproses kemudian dikeluarkan. Bentuk ciri-ciri relevan dikumpulkan untuk bisa dikenali atau digolongkan.
- c. Pembuatan keputusan:  
Disini pengenalan atau pengelompokan operasi yang diinginkan sudah diputuskan

Ada beberapa teknik atau model yang berbeda yang digunakan dalam pelaksanaan tiga langkah tersebut. Teknik atau model yang digunakan akan menegaskan karakteristik algoritma dalam pengenalan pola.

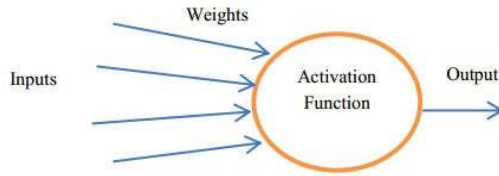


Gambar 2. 2 Model Dasar Pengenalan Bentuk

Gambar diatas merupakan dasar desain siklus pengenalan pola. Pada tugas akhir ini, teknik atau model yang akan digunakan adalah jaringan syaraf tiruan.

2.3. Jaringan Syaraf Tiruan

Jaringan syaraf tiruan (JST) adalah sebuah jaringan yang saling terhubung diantara sekelompok neuron tiruan. Jaringan syaraf tiruan merupakan model perhitungan yang terinspirasi oleh neuron alami yang ada pada otak manusia. Neuron biasanya terdiri dari masukan (seperti synapses), kemudian dikalikan dengan parameter yang disebut dengan bobot (kekuatan masing-masing sinyal), dan kemudian dihitung dengan fungsi matematis yang menentukan aktifasi dari neuron. Setelah itu masih ada fungsi lain yang menghitung keluaran neuron tiruan. Hingga syaraf tiruan terbentuk dengan menggabungkan neuron tiruan untuk memproses informasi.

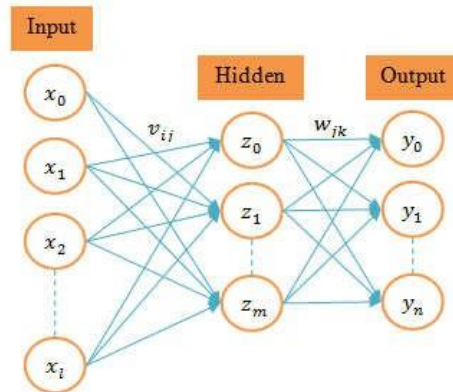


Gambar 2. 3 Neuron Tiruan

Kita dapat melatih JST untuk membandingkan solusi yang paling baik, JST dapat melakukan pencocokan fuzzy dan memberikan solusi yang optimal. Model ini termasuk dalam pembelajaran terawasi (supervised learning) dimana awalnya mempelajari dari kumpulan data pelatihan kemudian menggolongkan data yang akan diuji menggunakan pengetahuan yang telah dipelajari.

2.4. Algoritma Backpropagation

Jaringan multi layer perceptron dilatih menggunakan algoritma backpropagation. Jaringan terdiri dari tiga lapisan, yaitu lapisan masukan, lapisan keluaran, dan lapisan menengah seperti lapisan tersembunyi. Lapisan tersebut terdiri dari neuron yang terhubung di seluruh jaringan. Nilai bobot dihitung berdasarkan sinyal masukan dan fungsi error yang tersebar kembali ke lapisan masukan. Peran lapisan tersembunyi adalah untuk mengganti nilai bobot yang baru pada hubungan berdasarkan sinyal masukan dan sinyal error.



Gambar 2. 4 Model Jaringan Syaraf Tiruan

Algoritma backpropagation dilakukan dalam dua tahap, tahap pelatihan dan tahap pengujian. Pada tahap pelatihan, contoh data pelatihan diberikan pada lapisan masukan dengan maksud untuk melatih jaringan dengan sekelompok data yang sudah diketahui.

Setiap unit pada lapisan masukan;  $(i = 0, 1, \dots, n)$  menerima sinyal masukan dan menyebarkannya ke seluruh unit pada lapisan tersembunyi yang berbobot  $(v_{ij}, i = 0, 1, \dots, m)$  termasuk unit bias pada lapisan tersembunyi akan menjumlahkan sinyal-sinyal masukan yang berbobot  $(v_{ij}, i = 0, 1, \dots, m)$  termasuk unit bias. (2.2)

Kemudian menghitung sinyal output dari lapisan tersembunyi menggunakan fungsi aktifasi yang telah ditentukan.

$$z_j = \sum_{i=0}^n v_{ij} x_i \quad (2.3)$$

Hasil perhitungan sinyal output dari lapisan tersembunyi disebar sebagai unit masukan ke setiap unit pada lapisan keluaran. Setiap unit keluaran;  $(j = 0, 1, \dots, n)$  akan menjumlahkan sinyal-sinyal masukan yang berbobot  $(w_{jk}, k = 0, 1, \dots, m)$  termasuk unit bias. (2.4)

Kemudian menghitung sinyal output dari lapisan keluaran menggunakan fungsi aktifasi yang telah ditentukan.

$$y_k = \sum_{j=0}^m w_{jk} z_j \quad (2.5)$$

Setiap unit keluaran yang dihasilkan  $(y_k)$  akan dibandingkan dengan target keluaran yang diharapkan  $(t_k)$ .

$$e_k = t_k - y_k \quad (2.6)$$

Faktor  $\delta_k$  digunakan untuk menghitung koreksi error  $(\delta_k)$  dan pada bias  $(x_0)$  untuk memperbarui nilai bobot dan bias.

$$\delta_k = e_k \cdot f'(y_k) \quad (2.7)$$

$$\delta_k = e_k \cdot f'(y_k) \quad (2.8)$$

Kemudian melakukan penyebaran kembali (backpropagation) dengan mengirim faktor  $\delta_k$  ke lapisan di depannya. Setiap unit tersembunyi menjumlahkan faktor  $\delta_k$  yang sudah berbobot.

$$\delta_j = \sum_{k=0}^n w_{jk} \delta_k \quad (2.9)$$

Hasilnya akan dikalikan dengan turunan fungsi aktifasi untuk menghasilkan faktor koreksi error  $\delta_j$ .

$$\delta_j = \delta_j \cdot f'(z_j) \quad (2.10)$$

Faktor digunakan untuk menghitung koreksi error ( ) dan koreksi error pada bias ( ) untuk memperbarui nilai bobot dan .

$$v = \alpha \delta x \quad (2.11)$$

$$v = \alpha \delta \quad (2.12)$$

Nilai bobot yang baru dapat dihitung setelah nilai koreksi error untuk setiap bobot diketahui.

$$w (\text{baru}) = w (\text{lama}) + w \quad (2.13)$$

$$v (\text{baru}) = v (\text{lama}) + v \quad (2.14)$$

Keluaran yang diinginkan sudah diketahui pada jaringan. Untuk itu, apabila keluaran yang telah dihitung tidak sesuai dengan keluaran yang diinginkan maka hasil yang berbeda disebarkan kembali ke lapisan masukan, sehingga bobot pada perceptron akan dibetulkan untuk mengurangi error. Proses akan terus berlangsung sampai error berkurang sampai nilai terkecil.

Jika terdapat sebanyak p data pelatihan, maka untuk menghitung Mean Square Error digunakan persamaan berikut.

$$MSE = 0,5\{(t - y) + (t - y) + \dots + t - y \} \quad (2.15)$$

Setelah tahap pelatihan selesai maka dilakukan tahap pengujian. Langkah-langkah pada tahap pengujian hampir sama dengan tahap pelatihan. Yang membedakan adalah bobot yang digunakan dalam perhitungan adalah bobot yang baru, v (baru) dan w (baru), dan tidak ada penyebaran kembali.

Kelebihan dari algoritma ini adalah penggunaannya sederhana dan cocok dalam memberikan solusi untuk pola-pola yang kompleks. Selain itu, penerapan algoritma ini lebih cepat dan efisien, tergantung dari jumlah masukan dan keluaran data yang ada pada tiap lapisan.

2.5. Raspberry Pi

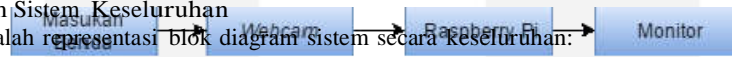
Raspberry Pi merupakan salah satu contoh dari microcontroller. Raspberry Pi merupakan mini-computer karena ukurannya yang kecil, seukuran kartu kredit, dan dapat digunakan untuk berbagai macam keperluan. Kelebihan Raspberry Pi dibandingkan dengan microcontroller lain adalah dapat ditanam sistem operasi didalamnya.

Pada tugas akhir ini akan digunakan Raspberry Pi 2 model B, karena spesifikasi model ini lebih baik dibandingkan dengan model sebelumnya.

3. Perancangan dan Implementasi Sistem

3.1. Blok Diagram Sistem Keseluruhan

Berikut ini adalah representasi blok diagram sistem secara keseluruhan:



Gambar 3. 1 Blok Diagram Sistem Keseluruhan

Sistem yang dirancang akan dapat digolongkan berdasarkan bentuk dan mutunya. Gambar 3.1 merupakan gambar blok diagram sistem keseluruhan yang akan dijelaskan pada poin-poin berikut:

- a. Masukan
 

Pada sistem ini masukan yang akan diproses adalah berupa gambar benda. Benda yang akan digunakan adalah dadu dan kelereng. Benda akan diletakkan di bawah webcam.
- b. Sensor Webcam
 

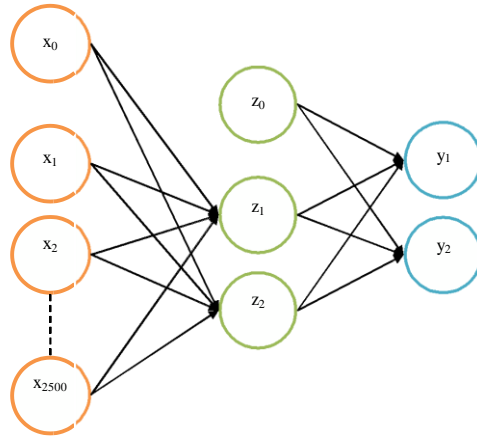
Webcam digunakan sebagai sensor dan mengambil data masukan berupa foto benda tersebut. Webcam dihubungkan langsung dengan Raspberry Pi melalui port USB. Webcam akan dipasang di atas dengan ketinggian tertentu dan menghadap ke bawah.
- c. Raspberry Pi
 

Raspberry Pi akan mengolah data masukan menggunakan pengolahan citra digital dan algoritma jaringan syaraf tiruan backpropagation dengan bahasa python. Data base akan disimpan di Raspberry Pi.
- d. Monitor
 

Data hasil pengolahan akan ditampilkan melalui monitor.

3.2. Desain Jaringan Syaraf Tiruan Backpropagation

Berikut ini merupakan desain jaringan syaraf tiruan backpropagation yang digunakan:



Gambar 3. 2 Desain Jaringan Syaraf Tiruan Backpropagation yang Digunakan

Jaringan syaraf tiruan yang digunakan memiliki 1 lapisan masukan, 1 lapisan tersembunyi, dan 1 lapisan keluaran. Lapisan masukan memiliki 2500 unit masukan ( $x_1$  sampai  $x_{2500}$ ) dan 1 unit bias masukan ( $x_0$ ). 2500 unit masukan berasal dari data nilai pixel gambar dan  $x_0$  bernilai 1. Lapisan tersembunyi memiliki 2 unit tersembunyi ( $z_1$  dan  $z_2$ ) dan 1 unit bias tersembunyi ( $z_0$ ).  $z_0$  bernilai 1. Lapisan keluaran memiliki 2 unit keluaran ( $y_1$  dan  $y_2$ ). Besar iterasi yang digunakan adalah sebanyak 30 kali, learning rate sebesar 0,5, dan target MSE <0,01. Target keluaran untuk dadu adalah  $t_1=0$ ,  $t_2=1$ , dan target keluaran koin adalah  $t_1=1$ ,  $t_2=0$ .

3.3. Diagram Alir Pengolahan Citra Digital

Pada tahap pengambilan dan penyimpanan data masukan terdapat dua proses pengolahan citra digital. Proses pengolahan citra digital 1 bertujuan untuk memudahkan pendeteksian keberadaan benda, dan proses pengolahan citra digital 2 bertujuan untuk memperkecil jarak dalam pengambilan ciri-ciri benda.



Gambar 3. 3 Diagram Alir Pengolahan Citra Digital 1

Proses dimulai dengan inisialisasi gambar pada webcam. Gambar yang diambil melalui webcam masih berupa video. Video dirubah ukurannya mejadi 320x240 pixel agar dalam pengolahan selanjutnya tidak terlalu berat. Video dirubah warnanya dari RGB ke binarize. Tahap ini merubah warna gambar menjadi hitam dan putih. Kemudian membalikkan warnanya.



Gambar 3. 4 Diagram Alir Pengolahan Citra Digital 2

Proses dimulai dengan inisialisasi gambar yang sudah ditangkap sebelumnya. Gambar dideteksi batas vertikal dan horisontalnya. Posisi batas vertikal dan horisontal akan disimpan sebagai acuan untuk proses pemotongan gambar. Gambar dipotong sesuai area batas vertikal dan horisontal. Gambar yang sudah dipotong masih belum memiliki ukuran standar, maka dari itu gambar dirubah ukurannya menjadi 50x50 pixel.

4. Pengujian dan Analisa

4.1. Pengambilan Gambar

Tujuan dari pengujian ini yaitu untuk mengetahui berapa jarak yang sesuai antara sensor webcam dengan benda, dan mengetahui tingkat cahaya yang sebaiknya digunakan supaya memperoleh data masukan dari gambar dengan tepat. Berikut ini adalah rangkaian blok diagram alat yang digunakan untuk melakukan pengujian pengambilan gambar.

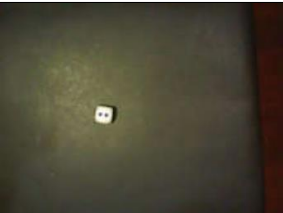
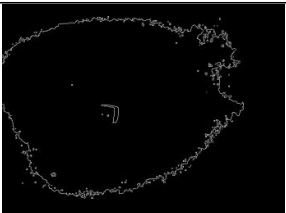
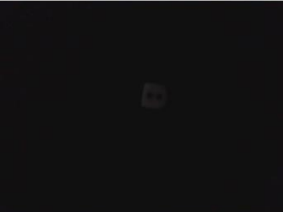
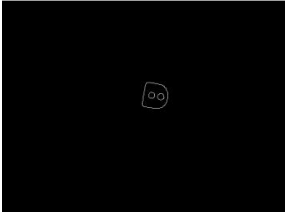

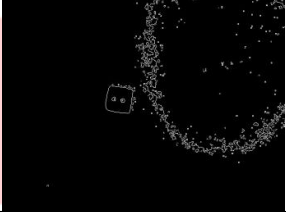

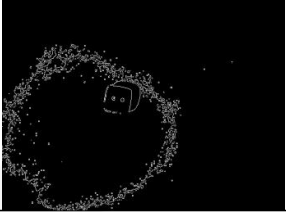
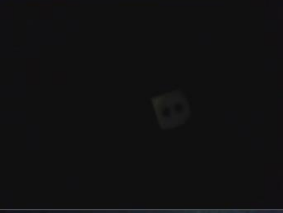
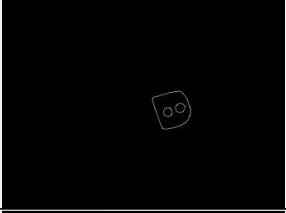

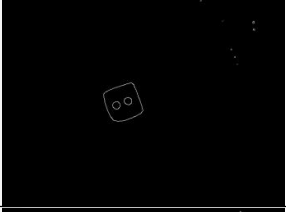

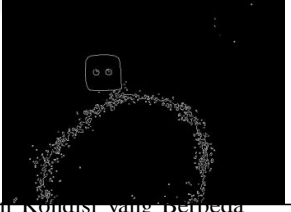


Gambar 4. 1 Blok Diagram Pengujian Pengambilan Gambar

Mikrokontroler Raspberry Pi akan memberikan perintah untuk mengaktifkan sensor webcam. Sensor webcam akan mengambil gambar benda, kemudian menyimpan data tersebut pada mikrokontroler Raspberry Pi.

Pengujian pengambilan gambar dilakukan dengan mengambil gambar benda dengan jarak yang berbeda dan dengan tingkat cahaya yang berbeda. Variasi jarak yang akan digunakan adalah 30cm, 20cm, dan 15cm. Tingkat cahaya yang digunakan adalah gelap, redup, dan terang. Berikut ini hasil pengujian pengambilan gambar dengan beberapa kondisi yang berbeda-beda:

No	Jarak	Tingkat Cahaya	Gambar Asli	Gambar Setelah Melalui Pengolahan Citra
1	30cm	Gelap		
2		Redup		

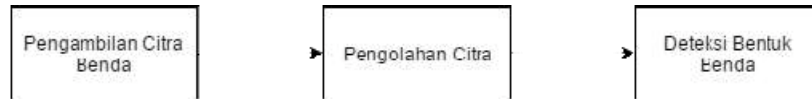
3		Terang		
4	20cm	Gelap		
5		Redup		
6		Terang		
7	15cm	Gelap		
8		Redup		
9		Terang		

Tabel 4. 1 Hasil Pengambilan Gambar dan Pengolahan Gambar dengan Kondisi yang Berbeda

Dari data pengujian diatas dapat ditentukan jarak dan tingkat cahaya yang akan digunakan. Benda terlihat kecil pada pengambilan gambar pada jarak 20cm dan 30cm. Tingkatan cahaya redup dan terang dapat memberikan noise yang berlebihan. Maka dari itu, jarak yang akan digunakan adalah 15cm dan kondisi cahaya gelap.

4.2. Deteksi Bentuk Benda

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui tingkat performansi program yang sudah dirancang untuk mendeteksi bentuk benda. Berikut ini adalah gambar blok diagram proses pendeteksian bentuk benda menggunakan pengolahan citra dan algoritma jaringan syaraf tiruan.



Gambar 4. 2 Blok Diagram Proses Deteksi Bentuk Benda

Pengujian ini dilakukan dengan mengambil gambar benda yang akan dideteksi menggunakan webcam. Kemudian gambar tersebut diolah menggunakan pengolahan citra dan bentuk benda ditentukan menggunakan algoritma jaringan syaraf tiruan. Pengujian dilakukan dengan menggunakan dua benda, yaitu dadu dan koin, dan posisi benda diubah setiap kali melakukan pengujian. Masing-masing benda dilakukan pengujian sebanyak 20 kali. Data pengujian tersebut akan dapat digunakan untuk menghitung besarnya performansi alat. Data pengujian dapat digunakan untuk menghitung besarnya performansi dan akurasi alat. Berikut ini adalah tabel hasil data pengujian yang telah dilakukan.

No.	Hasil Pengujian	
	Dadu	Koin
1	Benar	Salah
2	Benar	Salah
3	Salah	Benar
4	Benar	Benar
5	Benar	Benar
6	Benar	Benar
7	Benar	Salah
8	Benar	Benar
9	Benar	Benar
10	Benar	Benar
11	Benar	Benar
12	Benar	Benar
13	Benar	Benar
14	Benar	Benar
15	Benar	Benar
16	Benar	Benar
17	Benar	Salah
18	Benar	Benar
19	Benar	Benar
20	Benar	Benar

Tabel 4. 2 Tabel Data Hasil Pengujian

Dari tabel di atas menunjukkan bahwa proses pendeteksian bentuk benda berjalan dengan baik. Besarnya performansi dalam pendeteksian bentuk benda dapat dihitung menggunakan rumus berikut ini.

$$= \frac{\text{Jumlah Benda Benar}}{\text{Jumlah Pengujian}} \times 100\%$$

Sehingga:

$$= \frac{35}{40} \times 100\% = 87,5\%$$

Hasil tersebut dipengaruhi oleh posisi benda yang berubah dan intensitas cahaya pada ruangan bisa berbeda.

5. Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan analisa yang sudah dilakukan pada perancangan sistem penggolongan benda berdasarkan bentuk melalui pengolahan citra digital menggunakan algoritma jaringan syaraf tiruan backpropagation, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- a. Penggunaan algoritma jaringan syaraf tiruan backpropagation cocok dalam penggolongan bentuk benda, karena data yang digunakan berupa gambar yang memiliki jumlah pixel yang sangat banyak dan kompleks.
- b. Tingkat cahaya berpengaruh besar terhadap proses pengolahan citra. Pantulan sumber cahaya seperti lampu ruangan dapat menambah jumlah noise pada gambar sehingga dapat mengurangi tingkat performansi siste .
- c. Pada pengujian didapatkan tingkat performansi sistem sebesar 87,5%, sehingga sistem dapat dikatakan berjalan dengan baik.

6. Daftar Pustaka

[1] Petrou, Maria dan Petrou, Costas. 2010. Image Processing: The Fundamentals  
 [2] Laurene, Fausett. Fundamentals of Neural Networks Architectures, Algorithms, and Applications  
 [3] Pajankar, Ashwin. Mei 2015. Raspberry Pi Computer Vision Programming  
 [4] He, Jia, Kim, Chang-Su, dan Kuo, C.-C. Jay. 2013. Interactive Segmentation Techniques Algorithms and Performance Evaluation  
 [5] Hall, Douglas V. 1986. Microprocessor and Interfacing Programming and Hardware, Mc Graw-Hill Book Company



- [6] Haykin, Simon. 1998. Neural Networks: A Comprehensive Foundation (2 ed.), Prentice Hall
- [7] Chen, Li, Cooley, Donald H, dan Zhang, Jianping. Februari 1999. Possibility-based fuzzy neural networks and their application to image processing, IEEE Journal of Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, vol. 29, no. 1, pp: 119-126
- [8] Sharma, Priyanka, dan Kaur, Manavjeet. April 2013. Classification in Pattern Recognition: A Review, International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering, vol. 3, no. 4, pp: 298-306
- [9] Glorot, Xavier dan Bengio, Yoshua. 2010. Understanding the difficulty of training deep feedforward neural networks
- [10] Reswandi, Jhordy. 2014. Rancang Bangun Prototype Kendali Pintu Gerbang Parkir Berbasis Pelat Nomor Polisi dan Barcode Menggunakan Pengolahan Citra Digital

