

**PENGENALAN POLA POSISI IRIS PADA SKLERA MATA DENGAN
METODE JARINGAN SARAF KONVOLUSIONAL**

SKRIPSI

TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI REKAYASA KOMPUTER

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



NARDO GOLAN
NIM. 135060300111014

UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2018



repository.ub.ac.id

LEMBAR PENGESAHAN
PENGENALAN POLA POSISI IRIS PADA SKLERA MATA DENGAN
METODE JARINGAN SARAF KONVOLUSIONAL

SKRIPSI

TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI REKAYASA KOMPUTER

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

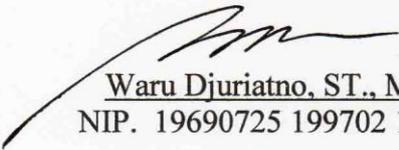


NARDO GOLAN
NIM. 135060300111014

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 20 Desember 2018

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II


Waru Djuriatno, ST., MT.
NIP. 19690725 199702 1 001


Angger A Razak, S.T., M.T., M.Eng., Ph.D
NIK. 201201 8507161001

Mengetahui,
Ketua Jurusan



Hadi Suyono, ST., MT., Ph.D., IPM.
NIP. 19730520 200801 1 013





JUDUL SKRIPSI :

**PENGENALAN POLA POSISI IRIS PADA SKLERA MATA DENGAN
METODE JARINGAN SARAF KONVOLUSIONAL**

Nama Mahasiswa : NARDO GOLAN
NIM : 135060300111014
Program Studi : TEKNIK ELEKTRO
Konsentrasi : REKAYASA KOMPUTER

Komisi Pembimbing :

Ketua : Waru Djuriatno, S.T., M.T

Anggota : Angger A Razak, S.T., M.T., M.Eng., Ph.D

Tim Dosen Penguji :

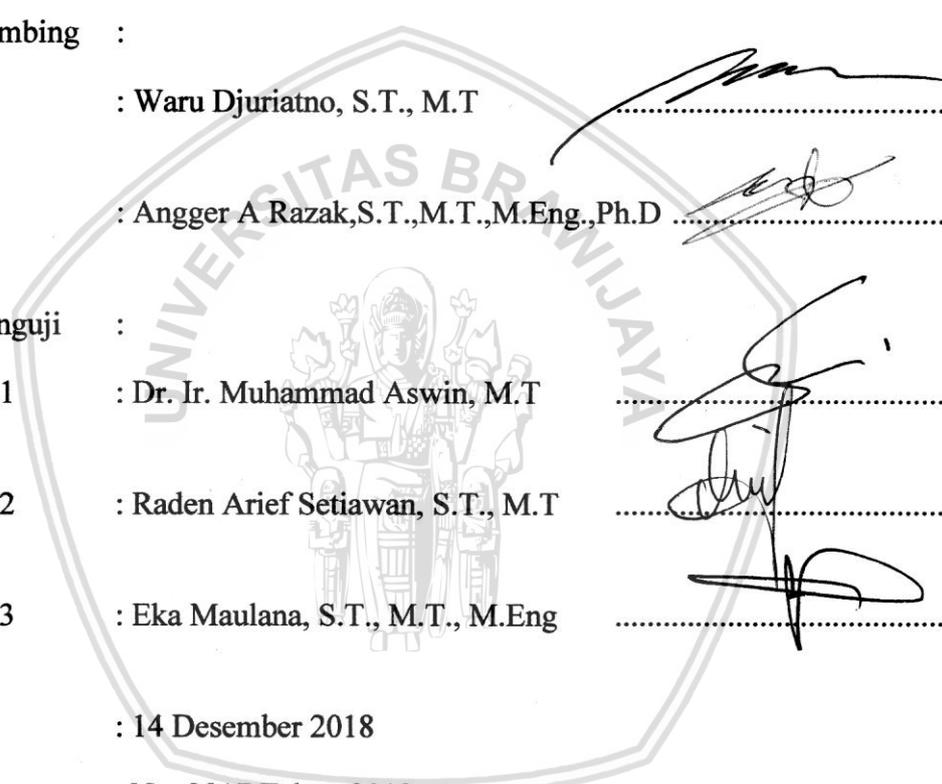
Dosen Penguji1 : Dr. Ir. Muhammad Aswin, M.T

Dosen Penguji2 : Raden Arief Setiawan, S.T., M.T

Dosen Penguji3 : Eka Maulana, S.T., M.T., M.Eng

Tanggal Ujian : 14 Desember 2018

SK Penguji : No. 2817 Tahun 2018



This block contains four handwritten signatures in black ink, each positioned to the right of a corresponding name and title. The signatures are written over horizontal dotted lines. The first signature is for the Chairman, Waru Djuriatno. The second is for the Member, Angger A Razak. The third is for the Examiner 1, Dr. Ir. Muhammad Aswin. The fourth is for the Examiner 3, Eka Maulana.





PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 14 Desember 2018

Mahasiswa



Nardo Golan

NIM. 135060300111014







Teriring Ucapan Terima Kasih kepada:

Ayahanda dan Ibunda tercinta





RINGKASAN

Nardo Golan, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Desember 2018, Pengenalan Pola Posisi Iris Pada Sklera Mata dengan Metode Jaringan Saraf Konvolusional, Dosen Pembimbing: Waru Djuriatno dan Angger Abdul Razak.

Teknologi komputer saat ini sudah menjadi kebutuhan hidup manusia, salah satunya adalah *Computer Vision*. *Computer Vision* merupakan teknik menduplikasi kemampuan manusia dalam memahami informasi citra, agar komputer dapat mengenali objek pada citra selayaknya manusia. Saat melihat objek berupa gambar kucing, manusia normal dapat memahami dengan mudah, sedangkan komputer tidak demikian. Karena komputer hanya melihat citra tersebut sebagai deretan nilai piksel dan data-data piksel tersebut baru bisa diproses oleh komputer menggunakan teknik pembelajaran. Salah satu metode yang sedang berkembang saat ini adalah metode jaringan saraf konvolusional atau *Convolutional Neural Network* (CNN).

Pada penelitian ini CNN digunakan untuk mengklasifikasikan posisi iris pada sklera yang selanjutnya diimplementasikan dalam sistem kunci keamanan. *Datasets* yang ditetapkan dalam penelitian ini adalah data citra iris berjumlah 120 citra yang diambil dari 10 subjek (manusia) dan dibagi menjadi 2 jenis kelas, diantaranya iris posisi kanan dan iris posisi kiri. Selanjutnya dilakukan proses *Resize* atau mengubah ukuran citra menjadi 16×32 piksel. Kemudian dilakukan konversi warna ke dalam format *Grayscale*. CNN dirancang menggunakan dua *layer* konvolusi dengan *filter sharpening* dan *blurring* berukuran 3×3 diikuti dengan aktivasi ReLU, dua proses *Max-Pooling Layer* 2×2 , dan dilakukan proses *Fully Connected Layer* dengan jumlah 2 *hidden layer* dan 10 neuron disetiap *layer*.

Hasil klasifikasi posisi iris pada sklera mata menggunakan metode jaringan saraf konvolusional memiliki akurasi rata-rata 93%. Hasil tersebut didapatkan dari 15 kali pengujian dengan jumlah data latih 20, 40, 60, 80, dan 100 citra iris. Sedangkan *value filter sharpening* yang digunakan untuk pengujian diantaranya $[0 \ -1 \ 0; -1 \ 5 \ -1; 0 \ -1 \ 0]$, $[-1 \ -1 \ -1; -1 \ 9 \ -1; -1 \ -1 \ -1]$, dan $[-2 \ -2 \ -2; -2 \ 18 \ -2; -2 \ -2 \ -2]$. Jumlah data latih dan *value* dari *filter* yang bervariasi berpengaruh terhadap tingkat akurasi hasil klasifikasi. Implementasi hasil klasifikasi posisi iris pada sklera mata berdasarkan pola untuk sistem kunci keamanan juga dapat dilakukan dengan baik. Kunci selenoid, led, dan alarm dapat berfungsi sesuai dengan pola iris yang diberikan.

Kata kunci : *Convolutional Neural Network* (CNN), *Filter*, Iris.



SUMMARY

Nardo Golan, *Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Brawijaya University, December 2018, Recognition of Iris Position Patterns on Eye Sclera with Convolutional Neural Network Methods, Academic Supervisor: Waru Djuriatno and Angger Abdul Razak.*

Computer technology in this era become a human life adequate technology, one of the outstanding technology is Computer Vision. Computer Vision is a technique to duplicate human ability to understand image information, so that computer can recognize objects in the image as humans. When viewing objects in the form a pictures of cats, normal humans can understand easily, while computers are not. It's because computers only see the image as a row of pixel values and the pixel data can only be processed by a computer using learning techniques. One of this method that is currently developed is the Convolutional Neural Network (CNN).

In this research, CNN was used to classify the position of iris on the sclera which was subsequently implemented in a security lock system. The datasets that specified in this study were iris image data totaling 120 images taken from 10 subjects (humans) and divided into 2 types of classes, including right iris position and left iris position. Then, resize the image into 16x32 pixels. Next the color conversion is done in Grayscale format. CNN is designed using two layers of convolution with 3x3 sharpening and blurring filters accompanied by ReLU activation, two 2x2 Max-Pooling Layer processes, and Fully Connected Layer process with 2 hidden layers and 10 neurons in each layer.

The results of the classification of the iris position in the eye sclera using the CNN method have an average accuracy 93%. These results were obtained from 15 tests with the number of training data 20, 40, 60, 80, and 100 images of iris. While the value of sharpening filters used for testing are $[0 -1 0; -1 5 -1; 0 -1 0]$, $[-1 -1 -1; -1 9 -1; -1 -1 -1]$, and $[-2 -2 -2; -2 18 -2; -2 -2 -2]$. The amount of training data and the variation of the filter value affects the accuracy of the classification results. The implementation of the iris position classification results on the eye sclera based on the pattern for the security lock system can also be done well. Selenoid key, led, and alarm can function according to the iris pattern given.

Keywords: *Convolutional Neural Network (CNN), Filter, Iris.*



PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena atas segala pertolongan dan perlindunganNya skripsi berjudul “Pengenalan Pola Posisi Iris Pada Sklera Mata dengan Metode Jaringan Saraf Konvolusional” dapat diselesaikan. Penulis menghaturkan rasa terimakasih dan apresiasi yang sebesar-besarnya atas bantuan dalam penyelesaian skripsi ini kepada:

- Keluarga tercinta, ayah yang selalu mengingatkan, memberi semangat serta motivasi, ibu yang selalu mendoakan dan memberi semangat penulis dalam segala kondisi,
- Kementerian Riset Teknologi dan Pendidikan Tinggi atas bantuan beasiswa BDIKMISI selama delapan semester,
- Bapak Ir. Hadi Suyono, ST., MT., Ph.D., IPM. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya,
- Ibu Ir. Nurussa’adah, MT. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Teknik Elektro Universitas Brawijaya,
- Bapak Ali Mustofa, ST., MT. selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Elektro Universitas Brawijaya,
- Bapak Adharul Muttaqin, ST., MT. selaku Ketua Kelompok Dosen Keahlian Konsentrasi Rekayasa Komputer atas segala bimbingan, pengarahan, bantuan, serta kritik dan saran dalam kelancaran studi maupun skripsi,
- Bapak Dwi Fadila Kurniawan, ST., MT. selaku Dosen Pembimbing Akademik atas segala bimbingan, pengarahan, bantuan, serta kritik dan saran dalam kelancaran studi,
- Bapak Waru Djuriatno ST., MT. selaku Dosen Pembimbing I atas segala bimbingan, pengarahan, serta kritik dan saran dalam penyelesaian skripsi,
- Bapak Angger Abdul Razak, S.T., M.T., M.Eng., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing II atas segala bimbingan, pengarahan, serta kritik dan saran dalam penyelesaian skripsi,
- Seluruh Dosen Pengajar dan Staff Recording Teknik Elektro Universitas Brawijaya,
- Teman- teman Spectrum angkatan 2013,
- Rekan- rekan seperjuangan Edy Setiawan, Satria Dhaniswara, Syamsu dan Asrori terimakasih atas niat, semangat, dan motivasi, dan bantuan yang diberikan dalam proses pengerjaan skripsi.

- Tim Sijar dan Sanbav Bung Muhammad Nur Azis, Azis Yasir Naufal, Vita, Fauzi, Efendi, Aisyah dan Sofie atas pengalaman yang sangat berharga dan tak terlupakan selama mengikuti ajang perlombaan ilmiah nasional maupun internasional.
- Keluarga besar di Malang Mbah Kung, Alm. Mbah Uti, Pakde Puji, Rara, Meme dan yang tidak bisa disebutkan,
- Seluruh anggota keluarga besar Workshop Divisi Mikrokontroler Teknik Elektro Universitas Brawijaya atas pengalaman berharga selama masa jabatan menjadi anggota,
- Seluruh anggota keluarga besar Al-Hadiid Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Habib, Arsyil, dan khususnya angkatan 2013 yang tidak bisa disebutkan atas pengalaman berharga selama masa jabatan menjadi anggota,
- Teman-teman Konsentrasi Rekayasa Komputer angkatan 2013, Nararya Andika, Erza, Huda, Muslichin, Dian, dan yang tidak bisa disebutkan,
- Teman-teman yang bersedia membantu dalam pengambilan citra iris Mas Alin, Fahrizal, Novan, Indradianto, Lina Fauziah, Anabella, Bagas Priyo, termasuk yang sudah disebutkan,
- Keluarga besar Proteksi Indonesia Pak Biin, Syamsul Huda, Bulek Sulikah, Rizal, Mas Aris yang selama ini membantu dalam mensukseskan ilmu Teknik Elektro,
- Rekan seperjuangan Rizka Sisna Riyanti yang sering membantu dalam bidang akademik maupun non-akademik selama diperkuliahan,
- Dan seluruh pihak yang telah membantu, yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu, terimakasih atas bantuan dan dukungannya.

Semoga Allah SWT mencatat segala bantuan dari semua pihak yang turut membantu dalam penyelesaian skripsi ini sebagai amalan ikhlas yang akan bermanfaat kelak. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih perlu banyak perbaikan. Penulis sangat mengharapkan kritik dan saran agar kedepannya skripsi ini dapat dikembangkan lebih lanjut. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi serta bagi masyarakat.

Malang, 14 Desember 2018

Penulis

DAFTAR ISI

RINGKASAN	i
SUMMARY	iii
PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan	3
1.5 Manfaat	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Iris, Pupil dan Sklera	5
2.2 Citra Digital.....	6
2.3 Resolusi Pikel.....	7
2.4 Konversi Warna RGB ke <i>Grayscale</i>	7
2.5 Klasifikasi Citra	8
2.6 Machine Learning	9
2.7 Deep Learning	10
2.8 Convolutional Neural Network.....	10
2.8.1 Operasi Konvolusi.....	11
2.8.2 <i>Filter/Kernel</i> Konvolusi	12
2.8.3 Fungsi Aktivasi ReLU (<i>Rectified Linear Units</i>)	13
2.8.4 <i>Pooling Layer</i>	13
2.8.5 <i>Backpropagation Learning</i>	14
2.8.6 <i>Fully Connected Layer</i>	15
2.8.7 <i>Dropout Regularization</i>	15
2.8.8 <i>Softmax Classifier</i>	16
2.9 Modul Mikrokontroler Arduino Nano	16
2.10 Kunci Solenoid 12VDC	17
BAB III METODE PENELITIAN	19
3.1 Pengumpulan Data dan Pemberian Label	19
3.2 <i>Preprocessing Data</i>	20
3.3 Perancangan CNN dan Perancangan Kunci Keamanan.....	20
3.3.1 Perancangan CNN.....	20
3.3.2 Perancangan Kunci Keamanan	21
3.4 Pengujian Sistem.....	23

3.5 Hasil Klasifikasi Citra dan Implementasi Sistem23

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....25

4.1 Klasifikasi Posisi Iris dengan CNN25

4.2 Pengujian Sistem Kunci Keamanan.....28

BAB V PENUTUP.....29

5.1 Kesimpulan29

5.2 Saran29

DAFTAR PUSTAKA31

LAMPIRAN.....33



DAFTAR TABEL

Tabel 2.7	Perbedaan <i>Deep Learning</i> dan <i>Machine Learning</i>	10
Tabel 2.9	Spesifikasi Arduino Nano	17
Tabel 2.10	Spesifikasi Kunci Solenoid	18
Tabel 3.2	<i>Datasets</i> Pelatihan Satu Subjek	20
Tabel 4.1	Klasifikasi Posisi Iris dengan CNN	26
Tabel 4.2	Pengujian Sistem Kunci Keamanan	28





DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Iris, Pupil, dan Sklera	6
Gambar 2.3	Piksel	7
Gambar 2.8	Arsitektur CNN	11
Gambar 2.8.1	Contoh Konvolusi 2-D Tanpa Membalik- <i>Kernel</i>	12
Gambar 2.8.3	Contoh Grafik ReLU	13
Gambar 2.8.4	Contoh Operasi <i>Max Pooling</i>	14
Gambar 2.8.5	Model <i>Perceptron</i> .	14
Gambar 2.8.6	Struktur <i>Fully Connected Layer</i> 2 Lapisan.	15
Gambar 2.8.7	Contoh Struktur <i>Dropout Regularization</i>	15
Gambar 2.9	Modul Arduino Nano	16
Gambar 2.10	Kunci Solenoid	17
Gambar 3.	Diagram Alir Metode Penelitian	19
Gambar 3.3.1	Diagram Alir Perancangan CNN	21
Gambar 3.3.2.1	Diagram Blok Rangkaian Kunci Keamanan	22
Gambar 3.3.2.2	Diagram Alir Sistem Kunci Keamanan	22
Gambar 4.1.1	Hasil Fitur Ekstrasi 1	25
Gambar 4.1.2	Hasil Fitur Ekstrasi 2	25
Gambar 4.1.3	Hasil Fitur Ekstrasi 3	26
Gambar 4.1.4	Kurva Perbandingan Jumlah Data Latih dan Persentase Akurasi	27
Gambar 4.1.5	Kurva Perbandingan Jumlah Data Latih dan Waktu Pelatihan	27
Gambar 4.1.6	Diagram Perbandingan <i>Value Filter Sharpening</i>	27



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	<i>Datasets</i> Pelatihan	33
Lampiran 2.	Listing Program	38
Lampiran 3.	Hasil Klasifikasi Iris dan Implementasi	45





BAB I

PENDAHULUAN

Bagian pendahuluan merupakan bab pertama dari skripsi. Pembahasan bab ini meliputi latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, dan manfaat.

1.1 Latar Belakang

Teknologi komputer saat ini sudah menjadi kebutuhan hidup manusia. Mulai dari bidang pendidikan, bidang kesehatan, bidang keamanan dan berbagai bidang lainnya sangat bergantung dengan teknologi komputer. Salah satunya adalah sistem kunci keamanan. Sistem kunci keamanan berbasis teknologi yang banyak beredar saat ini diantaranya menggunakan teknologi kartu, menggunakan teknologi sidik jari, dan menggunakan tombol dengan kode pin. Salah satu yang sedang dikembangkan oleh banyak peneliti adalah sistem kunci keamanan berbasis *Computer Vision*.

Computer Vision merupakan teknik menduplikasi kemampuan manusia dalam memahami informasi citra, agar komputer dapat mengenali objek pada citra selayaknya manusia. Saat melihat objek berupa gambar kucing, manusia normal dapat memahami dengan mudah itu adalah gambar kucing, sedangkan komputer tidak demikian. Karena komputer hanya melihat citra tersebut sebagai deretan nilai piksel dan data-data piksel tersebut baru bisa diproses oleh komputer menggunakan *Machine Learning* sebagai salah satu teknik pembelajaran.

Machine Learning adalah kecerdasan buatan yang dimiliki komputer dimana komputer dapat mempelajari suatu data tertentu tanpa harus diberikan perintah lebih dulu oleh manusia. Tetapi teknik *Machine Learning* masih belum cukup untuk mengatasi masalah klasifikasi citra yang memiliki data kompleks dan bervariasi. Perbedaan bentuk dan pola setiap citra membuat fitur pelatihan menjadi besar sehingga sulit untuk mendapatkan hasil yang baik. Dalam penelitian ini digunakan *datasets* berbagai gambar mata manusia dimana setiap bagiannya memiliki pola yang hampir sama. Posisi antara iris dan sklera pada kondisi mata yang berbeda akan sulit di klasifikasi sehingga dapat menyebabkan kesalahan dalam memprediksi. Maka perlu diterapkan model pembelajaran dengan konsep jaringan saraf tiruan menggunakan teknik *Deep Learning*.

Deep Learning merupakan salah satu sub bidang dari *Machine Learning* dimana algoritma yang dipakai terinspirasi dari bagaimana otak manusia bekerja. Beberapa orang mungkin lebih mengenalnya dengan jaringan saraf tiruan. Pada dasarnya *Deep Learning*

adalah implementasi konsep dasar *Machine Learning* yang mengadaptasikan algoritma jaringan saraf tiruan dengan banyak lapisan tersembunyi, berupa lapisan masukan dan lapisan keluaran. Dalam beberapa tahun terakhir *Deep Learning* telah menunjukkan performa yang luar biasa. Hal ini sebagian besar dipengaruhi faktor komputasi yang lebih kuat, *datasets* yang besar dan teknik untuk melatih jaringan yang lebih dalam (Goodfellow, dkk, 2016).

Salah satu metode *Deep Learning* yang sedang berkembang saat ini adalah metode Jaringan saraf konvolusional atau *Convolutional Neural Network* (CNN). Jaringan saraf konvolusional dikhususkan untuk memproses data yang memiliki struktur *grid*. Jaringan saraf ini mirip dengan *Multi Layer Perceptron* (MLP) atau jaringan saraf biasa, namun setiap neuron direpresentasikan dalam bentuk dua dimensi tidak seperti MLP yang hanya satu dimensi. CNN memiliki lapisan khusus yang dinamakan dengan lapisan konvolusi, dimana sebuah citra masukan akan diolah berdasarkan filter yang sudah ditentukan. Dari setiap lapisan akan dihasilkan sebuah pola yang nantinya akan lebih mudah untuk diklasifikasi. Teknik ini dapat membuat fungsi pembelajaran citra menjadi lebih efisien untuk diimplementasikan.

Tujuan penelitian ini yaitu mengklasifikasikan posisi iris pada sklera mata menggunakan metode jaringan saraf konvolusional. Dari hasil klasifikasi yang didapat nantinya akan diimplementasikan ke tahap selanjutnya, salah-satunya adalah merancang sistem kunci keamanan berdasarkan pola posisi iris pada sklera mata.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dapat disusun rumusan masalah sebagai berikut:

- 1) Bagaimana proses *preprocessing* data, penetapan kelas iris dan penetapan jumlah *datasets* yang digunakan?
- 2) Bagaimana penentuan tipe filter dan penetapan jumlah lapisan konvolusi yang digunakan pada proses fitur ekstraksi?
- 3) Bagaimana penetapan jumlah *neuron* dan penetapan jumlah *hidden layer* yang digunakan pada proses klasifikasi?
- 4) Bagaimana hasil klasifikasi posisi iris pada sklera mata dengan metode jaringan saraf konvolusional menggunakan tipe filter dengan *value* yang berbeda berdasarkan jumlah data latih dan data uji yang bervariasi?
- 5) Bagaimana hasil implementasi pola posisi iris pada sklera mata berdasarkan pola untuk sistem kunci keamanan?

1.3 Batasan Masalah

Dengan mengacu pada permasalahan yang telah dirumuskan, maka hal-hal yang berkaitan dengan penelitian akan diberi batasan sebagai berikut:

- 1) Klasifikasi citra dilakukan dengan satu mata (kiri/kanan bergantian).
- 2) Klasifikasi citra harus dilakukan tanpa memakai kacamata/kontak lensa.
- 3) Klasifikasi citra dilakukan pada kondisi cahaya cukup.
- 4) Pola posisi iris pada sklera mata hanya ditetapkan 2 kelas, yaitu: iris posisi kiri dan iris posisi kanan.

1.4 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dari pelaksanaan tugas akhir ini adalah:

- 1) Menetapkan proses *preprocessing* data, menetapkan kelas iris, dan menetapkan jumlah *datasets* yang digunakan.
- 2) Menentukan nilai filter dan menetapkan jumlah lapisan konvolusi yang digunakan pada proses fitur ekstraksi.
- 3) Menetapkan jumlah *neuron* dan menetapkan jumlah *hidden layer* yang digunakan pada proses klasifikasi.
- 4) Mendapatkan hasil klasifikasi posisi iris pada sklera mata dengan metode jaringan saraf konvolusional menggunakan tipe filter dengan *value* yang berbeda berdasarkan jumlah data latih dan data uji yang bervariasi.
- 5) Mengimplementasikan hasil klasifikasi posisi iris pada sklera mata berdasarkan pola untuk sistem kunci keamanan.

1.5 Manfaat

Diharapkan hasil dari penulisan tugas akhir ini dapat digunakan sebagai bahan kajian untuk menyelesaikan permasalahan jaringan saraf konvolusional dibidang *Computer Vision*.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Telah banyak kajian yang dilakukan oleh banyak peneliti terkait *Computer Vision*. Dengan menerapkan metode jaringan saraf konvolusional, komputer dapat mengenali bagian mata dengan tingkat akurasi yang tinggi. Beberapa diantaranya adalah sebagai berikut:

Penelitian oleh Adam Czajka, dkk pada *IEEE TRANSACTIONS ON INFORMATION FORENSICS AND SECURITY* dalam papernya yang berjudul “*Recognition of Image-Orientation-Based Iris Spoofing*” mengenai pengenalan otomatis gambar iris untuk mengetahui bagian kanan atau kiri dan posisinya tegak atau terbalik. Diberikan *datasets* 20.750 gambar iris dari 103 subjek menggunakan 4 sensor, sedangkan untuk pengujian digunakan 1.939 gambar iris dari 32 subjek. Melakukan pendekatan 2 metode, dengan hasil klasifikasi metode *Support Vector Machine* (SVM) memiliki tingkat akurasi rata-rata 95%, sedangkan klasifikasi dengan metode *Convolutional Neural Network* (CNN) memiliki tingkat akurasi 99%.

Berikutnya Penelitian oleh Chunming Meng dan Xuepeng Zhao dari Departemen Teknik Elektro Universitas Nankai dengan judul “*Webcam-Based Eye Movement Analysis Using CNN*” mengenai akurasi pelacakan mata dan analisis gerakan mata menggunakan video *webcam*. Digunakan *datasets* 4.225 detik video berisi 0,5 juta frame, diujikan untuk 200 klip video dengan 10 kali perulangan menghasilkan tingkat presisi yang tinggi rata-rata mencapai 87,5%.

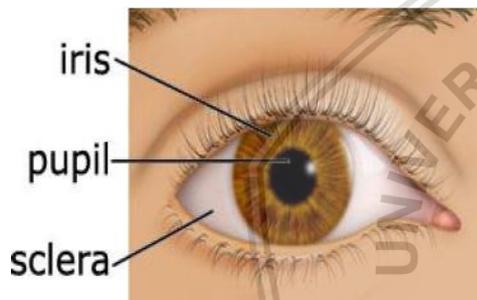
Dari dua pemaparan diatas menunjukkan bahwa dengan metode jaringan saraf konvolusional, komputer dapat mengenali suatu objek dengan tingkat akurasi tinggi. Dalam pembuatan tugas akhir ini dilakukan metode yang serupa agar mendapatkan hasil yang baik. Untuk itu diperlukan teori pendukung untuk menyelesaikannya.

2.1 Iris, Pupil dan Sklera

Mata merupakan bagian dari organ tubuh manusia yang berfungsi sebagai alat pelinghatan. Mata bekerja dengan cara memfokuskan suatu objek dan memvisualisasikannya. Beberapa bagian dari mata yang akan dijadikan objek untuk tugas akhir ini diantaranya iris, pupil, dan sklera. Berikut merupakan penjelasan iris, pupil, dan sklera menurut Dr. Johan A. Hutauruk dan Dr. Sharita R. Siregar dalam bukunya dengan judul “*Katarak*”.

- 1) Iris: Terletak diantara lensa mata dan kornea, iris merupakan jaringan mata yang terdiri dari serat otot dan berfungsi mengatur lebar pupil, agar cahaya yang masuk tidak terlalu banyak atau sedikit, sehingga ketajaman pandangan kita menjadi optimal. Warna iris pada setiap orang dapat berbeda-beda.
- 2) Pupil: Terletak di tengah iris, pupil merupakan celah yang mengatur intensitas cahaya yang masuk ke dalam bola mata. Ketika cahaya yang datang terlalu terang, pupil akan mengecil, sedangkan bila cahaya yang datang terlalu redup, pupil akan membesar. Membesar dan mengecilnya pupil diatur oleh iris.
- 3) Sklera: Sklera adalah bagian putih mata yang berfungsi mempertahankan bentuk bola mata.

Ketiga bagian mata tersebut dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Iris, Pupil, dan Sklera

Sumber: <http://staff.uny.ac.id/sites/default/files/Ophthalmologi.pdf>

2.2 Citra Digital

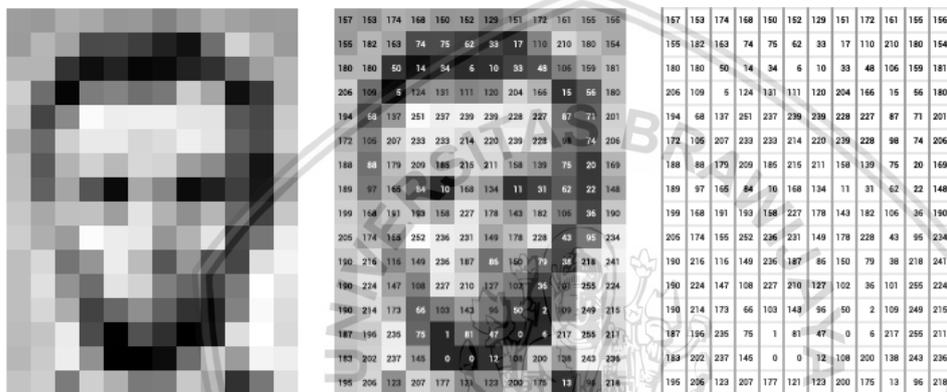
Citra adalah representasi, kemiripan atau imitasi dari suatu objek atau benda. Secara matematis, citra dinyatakan sebagai suatu fungsi kontinu dari intensitas cahaya pada bidang dua dimensi. Citra yang terlihat merupakan cahaya yang direfleksikan dari sebuah objek. Citra dibedakan menjadi dua yaitu citra kontinu diperoleh dari sistem optik yang menerima sinyal analog (mata manusia dan kamera analog) dan citra diskrit (digital) dihasilkan melalui proses digitalisasi terhadap citra kontinu (Zufar dan Setiyono, 2016, p.A-73).

Proses digitalisasi pada citra digital dibagi menjadi dua proses yakni sampling dan kuantisasi. Proses sampling merupakan proses pengambilan nilai diskrit koordinat ruang (x,y) secara periodik dengan periode sampling T . Proses kuantisasi merupakan proses pengelompokan nilai tingkat keabuan citra kontinu kedalam beberapa level atau merupakan proses membagi skala keabuan $(0,L)$ menjadi G buah level yang dinyatakan dengan suatu harga bilangan bulat (integer), dinyatakan sebagai $G=2^m$, dengan G adalah derajat keabuan dan m adalah bilangan bulat positif.

Dengan demikian citra digital dapat didefinisikan suatu matriks A berukuran M (baris) $\times N$ (kolom) dimana indeks baris dan kolomnya menyatakan suatu titik pada citra tersebut dan elemen matriksnya menyatakan tingkat keabuan pada titik tersebut.

2.3 Resolusi Piksel

Sebuah gambar dalam komputer sesungguhnya adalah kumpulan dari bagian-bagian yang sangat kecil dan pada tiap-tiap bagian tersebut memiliki nilai yang memperlihatkan warna tertentu. Bagian-bagian itulah yang disebut piksel. Setiap piksel mewakili tidak hanya satu titik dalam sebuah citra, melainkan sebuah bagian berupa kotak yang merupakan bagian terkecil (sel). Nilai dari sebuah piksel haruslah dapat menunjukkan nilai rata-rata yang sama untuk seluruh bagian dari sel tersebut (Putra, 2010).



Gambar 2.3 Piksel

Sumber:

https://openframeworks.cc/ofBook/chapters/image_processing_computer_vision.html

Resolusi piksel merupakan perhitungan jumlah piksel dalam citra digital. Sebuah citra dengan tinggi N piksel dan lebar M piksel berarti memiliki resolusi $M \times N$. Resolusi piksel akan memberikan dua buah angka integer yang secara berurutan akan mewakili lebar dan tinggi jumlah piksel dari sebuah citra. Semakin tinggi resolusi piksel yang dimiliki sebuah citra, maka semakin bagus pula kualitas citra yang dihasilkan.

Pengertian lain dari resolusi piksel adalah hasil perkalian lebar jumlah piksel dan tingginya. Sebagai contoh sebuah citra yang dihasilkan kamera digital memiliki lebar 2048 piksel dan tinggi 1536 piksel maka akan memiliki total piksel sebanyak $2048 \times 1536 = 3.145.728$ piksel atau 3,1 mega piksel. Perhitungan lainnya menyatakan dalam satuan piksel per inchi. Satuan ini menyatakan banyaknya piksel yang ada sepanjang 1 inchi baris dalam citra.

2.4 Konversi Warna RGB ke Grayscale

Dalam pengertian umum, warna merupakan hasil persepsi dari warna cahaya dalam spectrum wilayah yang terlihat oleh retina mata, dengan panjang gelombang antara 400nm

sampai dengan 700n/m. Ruang warna atau yang sering juga disebut sebagai model warna merupakan sebuah cara atau metode untuk menentukan, membuat, dan memvisualisasikan warna (Wijaya, 2018, p.6).

Pada citra digital, terdapat beberapa format warna citra:

- 4) *Monochrome*: Format citra dimana untuk setiap piksel diwakili dengan biner 1 bit
- 5) *Grayscale*: Format citra dimana untuk setiap piksel diwakili dengan biner 8 bit
- 6) *RGB* : Format citra dimana untuk setiap piksel diwakili dengan biner 24 bit. Terdiri dari tiga kombinasi warna dasar (*Red*, *Green*, *Blue*). *Red*(8bit), *Green*(8bit), *Blue*(8bit).
- 7) Jenis *color depth* lain (1bit, 8bit, 24bit, 32bit, 64bit).

Perubahan model warna RGB ke nilai *Grayscale* biasanya dilakukan untuk mempermudah saat melakukan pemrosesan citra digital. Terdapat beberapa rumus yang dapat digunakan untuk mengubah model warna RGB ke nilai *Grayscale*. Dua persamaan yang umum dipakai untuk melakukan konversi ini antara lain (Kanan dan Cottrell, 2012) :

Averaging

Metode *Average* merupakan metode yang paling sederhana dalam hal mengubah nilai RGB menjadi nilai *Grayscale*. Dengan metode ini, nilai *Grayscale* didapatkan dari mencari rata-rata nilai dari R, G, dan B atau sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (2.1).

$$G_{Average} = \frac{R+G+B}{3} \quad (2-1)$$

Luminance

Metode *Luminance* dirancang untuk menyamakan dengan kecerahan yang diterima manusia dengan menggunakan kombinasi berbobot dari nilai komponen RGB. Metode ini telah umum digunakan dalam ilmu *Computer Vision*. Persamaan untuk metode ini ditunjukkan pada Persamaan (2.2).

$$G_{Average} = 0.299 * R + 0.587 * G + 0.114 * B \quad (2-2)$$

2.5 Klasifikasi Citra

Klasifikasi citra merupakan pekerjaan untuk memasukkan sebuah citra kedalam kelas atau kategori yang diminati. Contoh klasifikasi citra adalah area yang dibangun, jasad perairan, tumbuhan hijau, tanah kosong, area berbatu, awan, bayangan, dan lain-lain (Bhattacharya, 2011, p.2).

Secara umum klasifikasi citra adalah proses memetakan angka menjadi simbol.

$$f(x): x \rightarrow \Delta; x \in R^n, \Delta = \{ C_1, C_2, \dots, C_L \} \quad (2-3)$$

jumlah berkas : n ;

jumlah kelas : L ;

$f(x)$ adalah fungsi yang menugaskan vektor piksel x ke satu kelas dalam himpunan kelas.

Untuk mengklasifikasikan satu set data ke dalam berbagai kelas atau kategori, hubungan antara data dan kelas yang diklasifikasikan harus dipahami dengan baik. Agar komputer dapat mencapainya diperlukan suatu pelatihan. Salah satu model pembelajaran klasifikasi citra adalah teknik *Deep Learning*.

2.6 Machine Learning

Machine Learning adalah pemrograman komputer untuk mencapai kriteria/peforma tertentu dengan menggunakan sekumpulan data *training* atau sekumpulan data di masa lalu. *Machine Learning* mempelajari teori agar komputer mampu “belajar” dari data. Pembelajaran yang dilakukan melibatkan berbagai disiplin ilmu seperti statistika, ilmu komputer, matematika, bahkan neurologi. Model dapat bersifat predictive (untuk memprediksi masa depan), descriptive (untuk memperoleh pengetahuan dari data), atau gabungan dari keduanya. Dapat disimpulkan bahwa *Machine Learning* adalah bagaimana membuat komputer dapat menyelesaikan berbagai persoalan dan dapat belajar sendiri seperti manusia belajar sesuatu (Primartha, 2018, pp.13-14).

Secara umum algoritma *Machine Learning* dikelompokkan menjadi 3 kategori, yaitu:

- 1) *Supervised Learning* : Memandu dan mengajari komputer agar menghasilkan keluaran yang diharapkan. Algoritma ini mempelajari *mapping function* antara *input* dengan *output*. Berbagai kemungkinan *output* sudah diketahui dan data-data yang digunakan untuk latihan (*training*) sudah diberi label dengan jawaban yang benar. *Supervised Learning* dapat bermanfaat untuk memprediksi sesuatu dengan bantuan *training datasets*.
- 2) *Unsupervised Learning* : Mengandalkan data yang belum dilatih sebelumnya. Algoritma ini menggunakan *unlabeled training datasets* untuk memodelkan struktur dari data. *Unsupervised Learning* bermanfaat untuk kasus-kasus dimana kita ingin menemukan relasi implisit dari *unlabeled datasets* yang disediakan. Jadi algoritma ini tidak memprediksi masa depan, karena *input variable x* tidak memiliki relasi dengan *output variable y*.
- 3) *Reinforcement Learning (RL)* : Metode learning yang dipengaruhi oleh feedback dari lingkungan dengan teknik pembelajaran yang interative (berulang-ulang) dan adaptive (menyesuaikan). RL dipercaya mendekati cara belajar manusia. Pada RL tidak ada *training datasets*. Data-data diperoleh berdasarkan pengalaman. Algoritma ini tidak

memiliki tujuan eksplisit, sebagai gantinya algoritma dipaksa untuk belajar menemukan nilai optimal melalui kegiatan *trial* dan *error*.

2.7 Deep Learning

Deep Learning merupakan salah satu bidang dari *Machine Learning* yang memanfaatkan jaringan saraf tiruan untuk implementasi permasalahan dengan *datasets* yang besar. Teknik *Deep Learning* memberikan arsitektur yang sangat kuat untuk *supervised learning*. Dengan menambahkan lebih banyak lapisan maka model pembelajaran tersebut bisa mewakili data citra berlabel dengan lebih baik (Danukusumo, 2017, pp.13-14).

Pada *Machine Learning* terdapat teknik untuk menggunakan ekstraksi fitur dari data pelatihan dan algoritma pembelajaran khusus untuk mengklasifikasi citra maupun untuk mengenali suara. Namun, metode ini masih memiliki beberapa kekurangan baik dalam hal kecepatan dan akurasi. Dengan *Deep Learning* yang menerapkan konsep jaringan saraf tiruan dengan banyak lapisan dapat membuat komputer bisa belajar dengan kecepatan, akurasi, dan skala yang besar. Prinsip ini terus berkembang hingga *Deep Learning* semakin sering digunakan pada komunitas riset dan industri untuk membantu memecahkan banyak masalah data besar seperti *Computer Vision*, *speech recognition*, dan *natural language processing*. Perbedaan antara *Machine Learning* dan *Deep Learning* dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2.7 Perbedaan *Deep Learning* dan *Machine Learning*

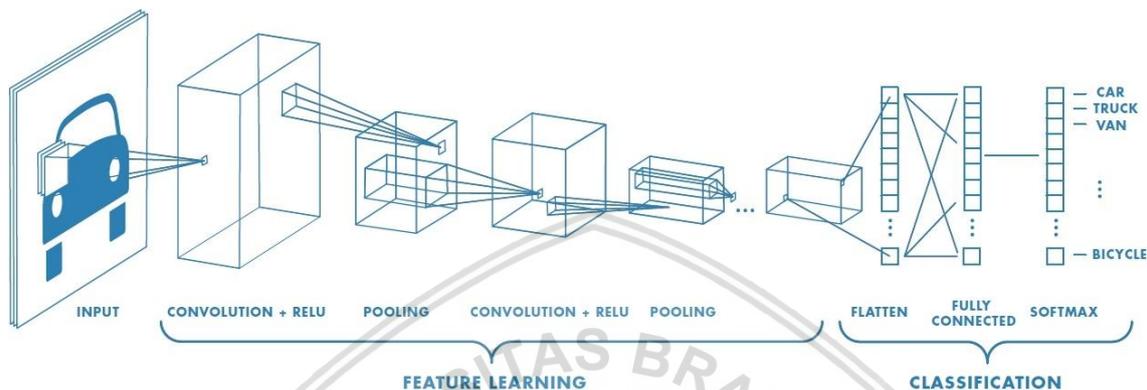
<i>Machine Learning</i>	<i>Deep Learning</i>
+ Hasil bagus dengan <i>datasets</i> sedikit	— Membutuhkan <i>datasets</i> yang banyak
+ Melatih model dengan cepat	— Komputasi secara intensif
— Perlu mencoba berbagai fitur dan klasifikasi manual untuk mendapatkan hasil terbaik	+ Mempelajari fitur dan pengklasifikasi otomatis
— Tingkat akurasi tinggi	+ Akurasi tidak terbatas

Sumber: The MathWorks, Inc (2017, p.10)

2.8 Convolutional Neural Network

Convolutional Neural Network merupakan jaringan saraf yang dikhususkan untuk memproses data yang memiliki struktur *grid*. Sebagai contoh dasarnya adalah berupa citra dua dimensi. Nama konvolusi sendiri merupakan operasi aljabar linear yang mengkalikan matriks dari filter pada citra yang akan diproses. Proses ini disebut dengan lapisan konvolusi dan merupakan salah satu jenis dari banyak lapisan yang bisa dimiliki dalam satu jaringan (Goodfellow, dkk, 2016, pp.330).

Cara kerja Jaringan saraf ini mirip dengan *Multi Layer Perceptron* (MLP) atau jaringan saraf biasa, namun setiap neuron direpresentasikan dalam bentuk dua dimensi tidak seperti MLP yang hanya satu dimensi. Pada CNN terdapat *Feature Extraction Layer*, dimana terjadi proses *Encoding* dari sebuah citra gambar menjadi *Feature* yang memiliki ciri tertentu berupa angka-angka yang merepresentasikan citra tersebut. Berikut gambaran umum arsitektur CNN:



Gambar 2.8 Arsitektur CNN

Sumber: <https://www.mathworks.com/solutions/deep-learning/convolutional-neural-network.html>

Berdasarkan gambar diatas, Tahap pertama pada arsitektur CNN adalah tahap konvolusi. Tahap ini dilakukan dengan menggunakan sebuah filter/*kernel* dengan ukuran tertentu. Perhitungan jumlah *kernel* yang dipakai tergantung dari jumlah fitur yang dihasilkan. Kemudian dilanjutkan menuju fungsi aktivasi, biasanya menggunakan fungsi aktivasi ReLU (*Rectifier Linear Unit*), Selanjutnya setelah keluar dari proses fungsi aktivasi kemudian melalui proses *Pooling*. Proses ini diulang beberapa kali sampai didapatkan peta fitur yang cukup untuk dilanjutkan ke *Fully Connected Neural Network*, dan keluaran yang dihasilkan setelah proses *Fully Connected Neural Network* adalah klasifikasi citra.

2.8.1 Operasi Konvolusi

Operasi konvolusi adalah operasi pada dua fungsi argumen bernilai nyata (Goodfellow, dkk, 2016, p.331). Operasi ini menerapkan fungsi output sebagai *Feature Map* dari *input* citra. *Input* dan *output* ini dapat dilihat sebagai dua argumen bernilai riil. Secara formal operasi konvolusi dapat ditulis dengan rumus berikut:

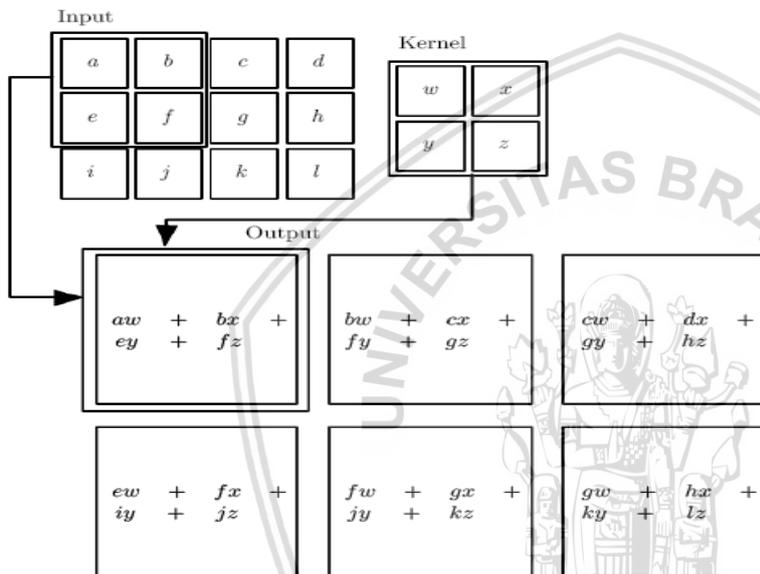
$$s(t) = (x * w) (t) \quad (2-4)$$

Fungsi $s(t)$ memberikan output tunggal berupa *Feature Map*, argument pertama adalah *input* yang merupakan x dan argument kedua w sebagai *kernel* atau filter. Jika kita melihat *input* sebagai citra dua dimensi, maka kita bisa mengasumsikan t sebagai pixel dan

menggantinya dengan i dan j . Operasi untuk konvolusi ke $input$ dengan lebih dari satu dimensi dapat ditulis sebagai berikut:

$$S(i, j) = (K * I)(i, j) = \sum_m \sum_n I(i - m, j - n)K(m, n) \quad (2-5)$$

Persamaan di atas merupakan perhitungan dasar dalam operasi konvolusi dimana i dan j adalah piksel dari citra. Perhitungannya bersifat komunikatif dan muncul saat K sebagai $kernel$ (filter), I sebagai $input$ dan $kernel$ yang relative dapat dibalik terhadap $input$. Sebagai alternatif, operasi konvolusi dapat dilihat sebagai perkalian matriks antaran citra masukan dan $kernel$ dimana keluarannya dapat dihitung dengan $dot product$. Berikut merupakan contoh ilustrasi proses konvolusi pada citra:



Gambar 2.8.1 Contoh Konvolusi 2-D Tanpa Membalik-Kernel

Sumber: Goodfellow, dkk (2016, p.334).

Pada gambar di atas proses konvolusi menggunakan citra berukuran 4 x 3 dikonvolusi dengan menggunakan $kernel$ berukuran 2 x 2. Citra yang dihasilkan adalah berukuran 3 x 2. Elemen pertama pada citra hasil konvolusi adalah merupakan jumlah dari perkalian bobot $kernel$ dengan nilai citra yang bersangkutan.

2.8.2 Filter/Kernel Konvolusi

Setiap operasi konvolusi memiliki $kernel$ berupa matriks yang lebih kecil dari tinggi dan lebar gambar aslinya. Setiap kernel berguna untuk tugas tertentu, seperti *sharpening*(mempertegas), *blurring*(menghaluskan), *edge detection*(deteksi tepi), dan masih banyak lagi (Guru, Machine Learning, 2017, pp.1). Sebagai contoh $kernel$ *sharpening*:

$$Kernel\ Sharpening = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 5 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \quad (2-6)$$

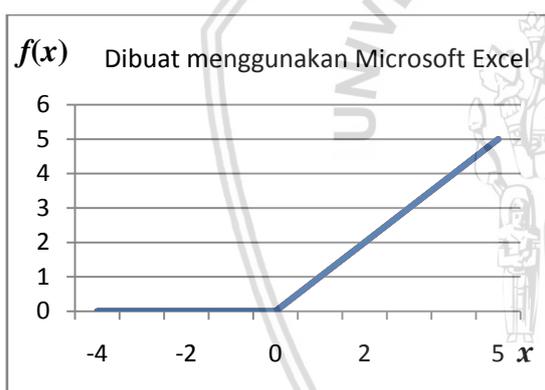
Penggunaan *kernel* pada lapisan konvolusi menyesuaikan kebutuhan. Biasanya dalam beberapa kasus *Deep Learning* menggunakan *kernel default* dari program yang digunakan.

2.8.3 Fungsi Aktivasi ReLU (*Rectified Linear Units*)

Fungsi aktivasi atau fungsi transfer merupakan fungsi non-linier yang memungkinkan sebuah jaringan untuk dapat menyelesaikan permasalahan *nontrivial*. Setiap fungsi aktivasi mengambil sebuah nilai dan melakukan operasi matematika (Zufar dan Setiyono, 2016:A-74). Pada arsitektur CNN, biasanya menggunakan fungsi aktivasi ReLU. Fungsi aktivasi ReLU terletak pada perhitungan akhir keluaran *feature map* atau sesudah proses perhitungan konvolusi atau pooling untuk menghasilkan suatu pola fitur. Persamaan dari fungsi aktivasi ini adalah sebagai berikut:

$$f(x) = \max(0, x) \quad (2-7)$$

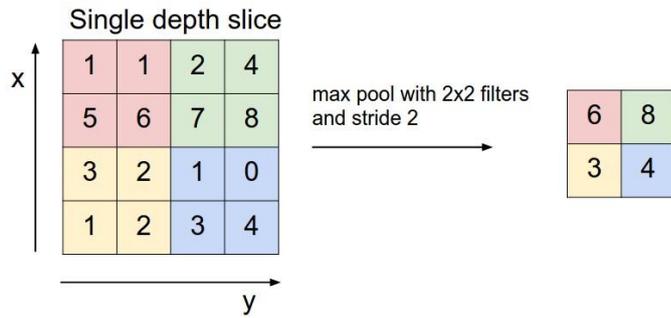
Pada persamaan di atas menunjukkan, jika x bernilai kurang dari nol atau bernilai negatif maka nilai $f(x)$ dinyatakan sebagai nol. Jika x bernilai lebih dari atau sama dengan nol maka nilai $f(x)$ sama dengan nilai x . Berikut contoh grafik dari ReLU:



Gambar 2.8.3 Contoh Grafik ReLU

2.8.4 Pooling Layer

Pooling atau *Subsampling* adalah lapisan yang menggunakan fungsi dengan *Feature Map* sebagai masukan dan mengolahnya dengan berbagai macam operasi statistik berdasarkan nilai piksel terdekat. *Pooling* bertujuan untuk pengurangan ukuran matriks, perhitungan dalam jaringan, dan mengendalikan *Overfitting*. Pada model CNN, terdapat dua macam *Pooling* yang sering dipakai yaitu *Average Pooling* dan *Max Pooling*. Dalam *Average Pooling*, nilai yang diambil adalah nilai rata-rata, sementara pada *Max Pooling*, nilai yang diambil adalah nilai terbesar. Berikut merupakan contoh operasi *Max Pooling*:



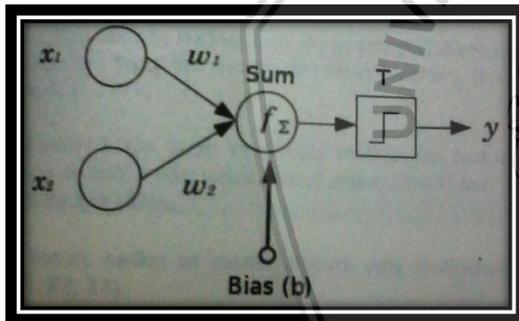
Gambar 2.8.4 Contoh Operasi *Max Pooling*.

Sumber: <http://cs231n.github.io/convolutional-networks/#pool>

Output dari proses *Pooling* adalah matriks dengan dimensi yang lebih kecil dibanding dengan matriks awal. Pada Gambar 2.8.1 menunjukkan citra dengan ukuran *input* 4x4 dilakukan operasi *Max Pooling* menghasilkan *output* dengan ukuran baru 2x2.

2.8.5 Backpropagation Learning

Perceptron merupakan pengembangan dari *artificial neuron* yang memiliki fungsi agar komputer dapat menirukan cara kerja *neuron* otak manusia yang sangat kompleks. Fungsi matematika *perceptron* diilustrasikan dalam bentuk model diagram berikut:



Gambar 2.8.5 Model *Perceptron*.

Sumber: Promartha, Rifkie (2018, p.317).

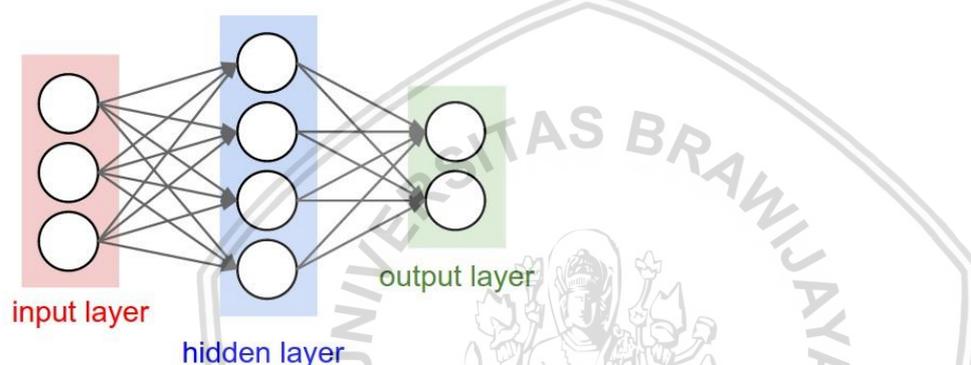
Dimana x_1 dan x_2 adalah *input*, w_1 dan w_2 adalah *weight* / bobot, *sum* adalah penjumlahan bobot, T adalah *threshold*, y adalah *output*, dan b adalah *bias*. *Neuron* dapat menerima beberapa *input* secara bersamaan (pararel). Setiap *input* diberi bobot kemudian dihubungkan dengan *hidden layer* secara *fully connected*. Masing-masing *input* yang telah diberi bobot dijumlahkan. Penjumlahan tersebut dilakukan pada setiap *node hidden layer*. Hasil penjumlahan tersebut kemudian ditransformasikan menggunakan sebuah fungsi nonlinear yang disebut *activation function*. Sebelum pada akhirnya diteruskan ke *layer* berikutnya. Sedangkan fungsi *bias* adalah untuk mengubah pergeseran grafik aktivasi fungsi, jika tanpa *bias* hanya nilai w yang bisa berubah-ubah.

Pada tahap *training*, dilakukan proses *Forward Pass* dimana data dari *input* dibawa melewati tiap neuron pada *hidden layer* sampai pada *output layer* yang nanti akan dihitung

nilai *error*-nya. Berikutnya dilakukan proses *Backward Pass* atau *Backpropagation* dimana setiap bobot dan *bias* pada tiap neuron akan diperbarui terus menerus hingga *output* mendapatkan nilai *error* sekecil mungkin dari target yang telah ditetapkan.

2.8.6 Fully Connected Layer

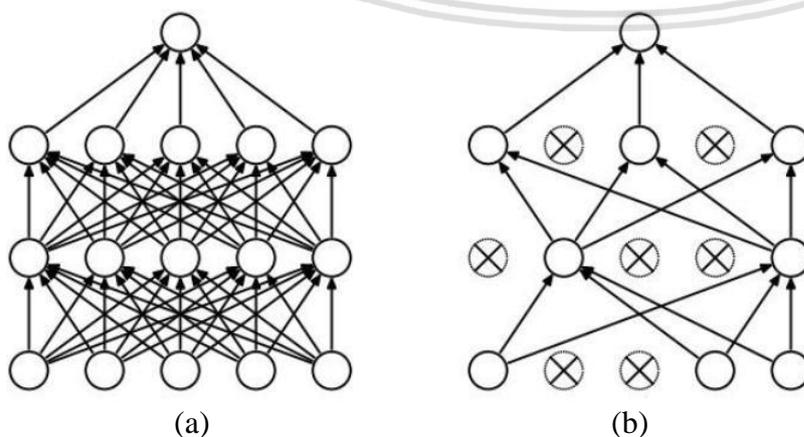
Fully Connected Layer disebut juga dengan *Multi Layer Perceptron* (MLP) adalah lapisan dimana semua neuron aktivasi dari lapisan sebelumnya terhubung dengan neuron pada lapisan selanjutnya. Setiap aktivasi dari lapisan sebelumnya perlu diubah menjadi data satu dimensi sebelum dapat dihubungkan ke semua neuron di *Fully Connected Layer*. Lapisan ini bertujuan untuk mengolah data sehingga bisa diklasifikasikan. Berikut merupakan struktur dari *Fully Connected Layer*:



Gambar 2.8.6 Struktur *Fully Connected Layer* 2 Lapisan.
Sumber: <http://cs231n.github.io/neural-networks-1/#layers>

2.8.7 Dropout Regularization

Dropout merupakan sebuah teknik regulasi jaringan syaraf yang bertujuan memilih beberapa neuron secara acak dan tidak dipakai selama proses pelatihan, dengan kata lain neuron-neuron tersebut dibuang secara acak. Berikut merupakan contoh struktur *Dropout Regularization*:



Gambar 2.8.7 Contoh Struktur *Dropout Regularization*.
Sumber: Srivastava, dkk (2014, p.1930).

Pada gambar 2.8.1, (a) menunjukkan jaringan saraf biasa dengan dua lapisan tersembunyi. Sedangkan (b) menunjukkan jaringan saraf yang telah diterapkan teknik Regularisasi *Dropout* dimana ada beberapa neuron aktivasi yang tidak dipakai lagi. Teknik ini sangat mudah diimplementasikan pada model CNN dan akan berdampak pada performa pelatihan model serta mengurangi *Overfitting*.

2.8.8 Softmax Classifier

Softmax Classifier merupakan bentuk lain dari algoritma *Logistic Regression* yang dapat kita gunakan untuk pengklasifikasian. Standar klasifikasi yang biasa dilakukan oleh algoritma *Logistic Regression* adalah tugas untuk klasifikasi kelas biner (Danukusumo, 2017:20). Fungsi persamaan dari *Softmax* adalah sebagai berikut:

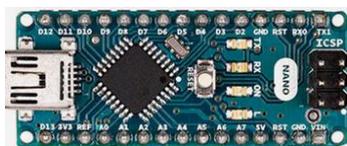
$$f_j(z) = \frac{e^{z_j}}{\sum_k e^{z_k}} \quad (2-8)$$

Notasi f_j menunjukkan hasil fungsi untuk setiap elemen ke j pada vektor keluaran kelas. Argumen z adalah hipotesis yang diberikan oleh model pelatihan agar dapat diklasifikasi oleh fungsi *Softmax*.

Softmax juga memberikan hasil yang lebih intuitif dan juga memiliki interpretasi *probabilistic* yang lebih baik dibanding algoritma klasifikasi lainnya. *Softmax* memungkinkan kita untuk menghitung probabilitas untuk semua label. Dari label yang ada akan diambil sebuah vektor nilai bernilai riil dan merubahnya menjadi vektor dengan nilai antara nol dan satu yang bila semua dijumlahkan bernilai satu.

2.9 Modul Mikrokontroler Arduino Nano

Arduino Nano adalah salah satu papan pengembangan mikrokontroler yang berukuran kecil, lengkap dan mendukung penggunaan breadboard. Arduino Nano diciptakan dengan basis mikrokontroler ATmega328 (untuk Arduino Nano versi 3.x) atau ATmega 168 (untuk Arduino versi 2.x).



Gambar 2.9 Modul Arduino Nano

Sumber: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-nano>

Arduino Nano kurang lebih memiliki fungsi yang sama dengan Arduino Duemilanove, tetapi dalam paket yang berbeda. Arduino Nano tidak menyertakan terminal DC berjenis Barrel Jack, dan dihubungkan ke komputer menggunakan port USB Mini-B. Arduino Nano

dirancang dan diproduksi oleh perusahaan Gravitech. Spesifikasi dari arduino nano ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 2.9 Spesifikasi Arduino Nano

Mikrokontroler	Atmel ATmega168 atau ATmega328
Tegangan Operasi	5V
<i>Input Voltage</i>	7-12V
<i>Input Voltage</i> (limit)	6-20V
Pin Digital I/O	14 (6 pin digunakan sebagai <i>output</i> PWM)
Pin Input Analog	8
Arus DC per pin I/O	40 mA
Flash Memory	16KB (ATmega168) atau 32KB (ATmega328) 2KB digunakan oleh Bootloader
SRAM	1 KB (ATmega168) atau 2 KB (ATmega328)
EEPROM	512 byte (ATmega168) atau 1KB (ATmega328)
Clock Speed	16 MHz
Ukuran	1.85cm x 4.3cm

Sumber: Arduino Project's Foundation (2018, p.2)

2.10 Kunci Solenoid 12VDC

Solenoid pada dasarnya adalah elektromagnetik. Solenoid terbuat dari kumparan kawat tembaga (sebuah logam dari metal) ditengah. Ketika kumparan diberi tegangan, logam tertarik ke pusat kumparan. Ini membuat solenoid mampu menarik satu ujungnya.



Gambar 2.10 Kunci Solenoid

Sumber: <https://www.adafruit.com/product/1512>

Secara khusus solenoid sangat bagus dan kuat, serta memiliki logam dengan potongan miring dan terpasang siku. Pada dasarnya kunci elektronik ini di rancang untuk lemari, brangkas dan pintu. Pada kondisi normal kunci dalam keadaan aktif sehingga pintu tidak dapat terbuka karena terhalang oleh logam solenoid. Ketika diberikan tegangan 9-12VDC, logam tertarik masuk sehingga tidak menonjol lagi dan pintu dapat dibuka. Spesifikasi dari kunci solenoid ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 2.10 Spesifikasi Kunci Solenoid

Mikrokontroler	Atmel ATmega168 atau ATmega328
Tegangan Operasi	9-12VDC (Tegangan rendah berpengaruh pada kuat lemahnya operasi)
Arus DC per pin I/O	650mA pada 12V, 500 mA pada 9V ketika aktif
Waktu aktivasi	1-10 detik
Dimensi Maksimum	41.85mm/1.64" x 53.57mm/2.1" x 27.59mm/1.08"
Dimensi	23.57mm/0.92" x 67.47mm/2.65" x 27.59mm/1.08"
Panjang Kabel	222.25mm/8.75"
Tinggi	147.71g

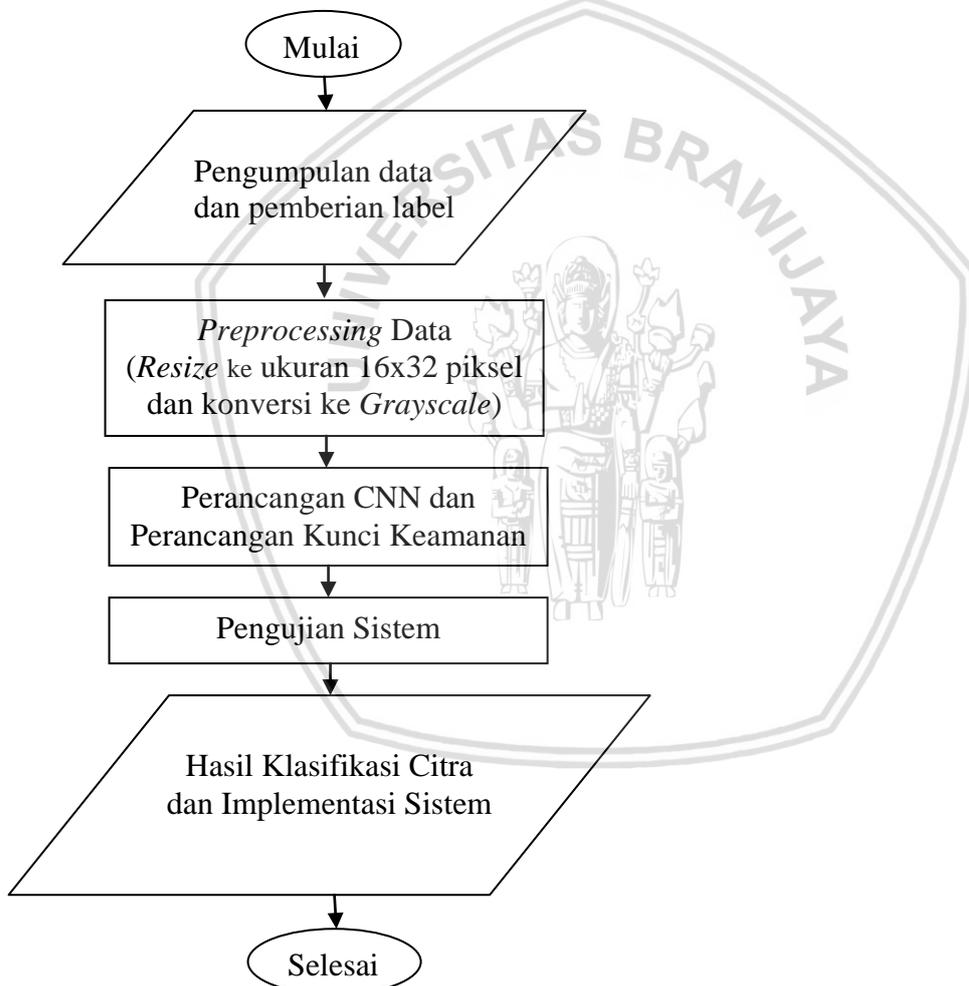
Sumber: NYC Adafruit (2018, p.1)



BAB III

METODE PENELITIAN

Bab ini membahas tentang metode yang digunakan dalam klasifikasi posisi iris pada sklera mata yang selanjutnya diimplementasikan dalam sistem kunci keamanan. Pembahasan bab ini meliputi pengumpulan data dan pemberian label, *Preprocessing* data, perancangan CNN dan perancangan kunci keamanan, pengujian sistem, serta hasil klasifikasi citra dan implementasi sistem. Berikut merupakan diagram alir metode penelitian yang akan dilaksanakan:



Gambar 3. Diagram Alir Metode Penelitian

3.1 Pengumpulan Data dan Pemberian Label

Datasets yang ditetapkan dalam penelitian ini adalah data citra iris yang diambil menggunakan kamera *handphone* dengan cara foto secara manual. *Datasets* tersebut berjumlah 120 citra yang diambil dari 10 subjek (manusia). Setiap subjek diambil 12 citra

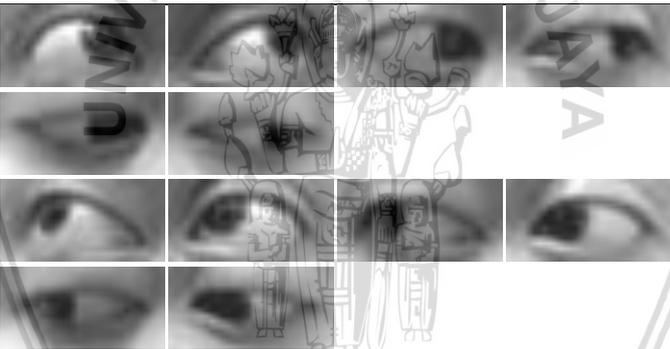
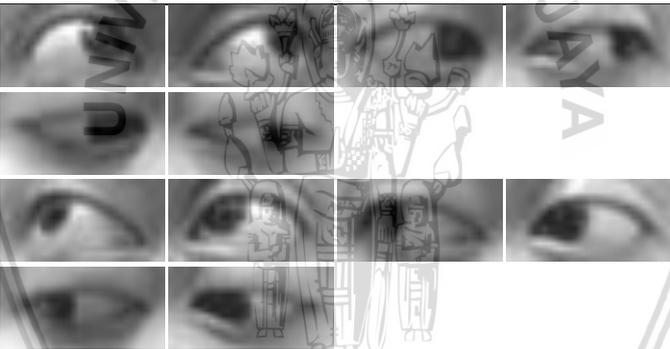


sebagai data latih maupun sebagai data uji. Mata kiri dan kanan masing-masing dengan iris pada posisi kiri atas, kiri tengah, kiri bawah, kanan atas, kanan tengah, dan kanan bawah. Data tersebut diberi label 1 dan 2 dari 2 jenis kelas, berturut-turut diantaranya iris posisi kanan dan iris posisi kiri.

3.2 Preprocessing Data

Pada tahap ini, dilakukan proses *Cropping* atau menghapus tepian dari citra sehingga menghasilkan gambar iris seperti yang terlihat pada *Tabel 3.2*. Selanjutnya dilakukan proses *Resize* atau mengubah ukuran citra menjadi 16x32 piksel. Kemudian dilakukan konversi warna ke dalam format *Grayscale* dan diberikan *Auto Contrast* agar citra lebih terang, tetapi kecerahan setiap citra tetap bervariasi. Lalu disimpan ke dalam file dalam format ".png". Proses-proses tersebut dilakukan agar data berukuran kecil, sehingga proses klasifikasi citra menjadi ringan dan lebih cepat. Berikut merupakan kategori *datasets* yang digunakan sebagai data latih maupun data uji satu subjek:

Tabel 3.2 *Datasets* Pelatihan Satu Subjek

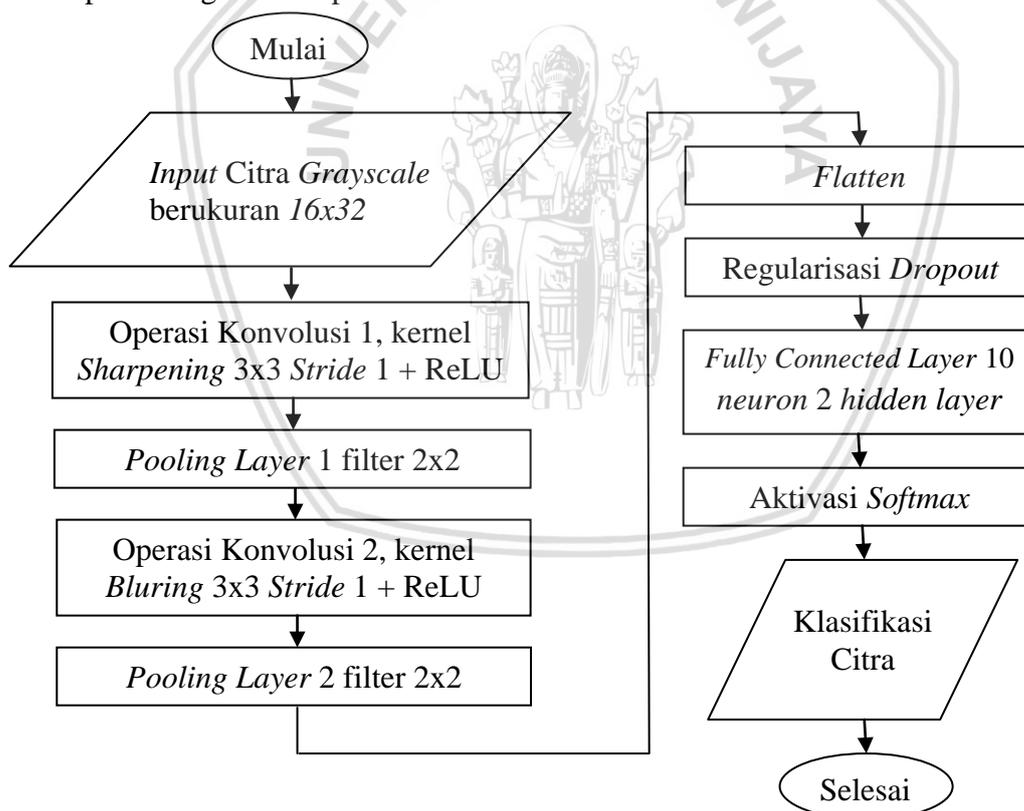
Kategori/Label	Konsep <i>Preprocessing</i> Data
Iris posisi kiri / 1	
Iris posisi kanan / 2	

3.3 Perancangan CNN dan Perancangan Kunci Keamanan

3.3.1 Perancangan CNN

Metode jaringan saraf konvolusional yang diterapkan pada penelitian ini yaitu menggunakan 2 *layer* konvolusi dengan *filter sharpening* dan *blurring* berukuran 3x3 dengan *stride* 1 yang diikuti dengan aktivasi ReLU, 2 proses *Max-Pooling Layer 2x2*, dan dilakukan proses *Fully Connected Layer* dengan jumlah 2 *hidden layer* dan 10 *neuron* disetiap *layer*. Penggunaan 2 buah *layer* konvolusi dilakukan, karena untuk melihat bagaimana kinerja model dari pengaruh *filter* konvolusi yang bervariasi. Jika menggunakan lebih dari 2 *layer*, maka dikhawatirkan parameter pelatihan terlalu sedikit sehingga hasil yang didapatkan memiliki tingkat akurasi yang rendah. Sedangkan penggunaan *layer* konvolusi yang lebih sedikit akan memperlama proses pelatihan. Sementara ukuran *filter/kernel 3x3* dengan *Stride* (pergeseran filter secara horisontal lalu

vertikal) 1 digunakan untuk mendapatkan parameter pelatihan yang lebih banyak sehingga tidak banyak mengurangi jumlah *Feature Map*. Aktivasi ReLu bertujuan untuk menjadikan proses pelatihan lebih cepat. *Pooling Layer* yang digunakan yaitu *Max Pooling* dengan ukuran 2x2 dilakukan 2 kali, setelah proses konvolusi pertama dan setelah proses konvolusi selanjutnya. Hal ini dilakukan agar ukuran input tidak berkurang secara drastis di setiap proses yang dilakukan, sehingga informasi citra input yang dimiliki masih dapat digunakan dalam proses klasifikasi. Sebelum dilanjutkan ke proses *Fully Connected Layer* terlebih dahulu dilakukan *Flatten/Reshape Feature Map* menjadi sebuah *vector* agar bisa digunakan sebagai *input* yang sebelumnya berupa *Multidimensional Array*. Setelah itu masuk ke *Fully Connected Layer* dan dilakukan regularisasi *Dropout*, dimana neuron-neuron dipilih secara acak dan beberapa diantaranya tidak digunakan selama proses pelatihan sehingga terhindar dari kompleksitas model dan tidak terjadi *Overfitting*. Terakhir digunakan *Softmax Classifier* dengan 2 pengklasifikasian *output*. Berikut diagram alir dari perancangan CNN penelitian ini:

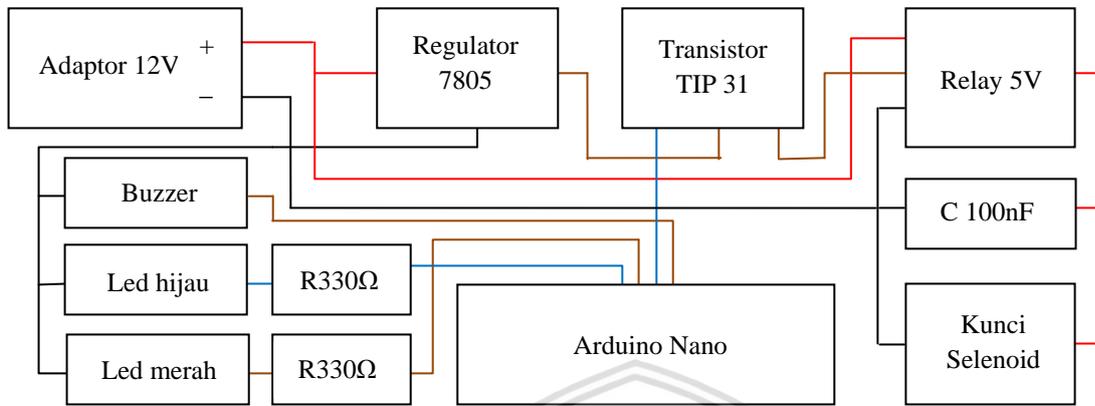


Gambar 3.3.1 Diagram Alir Perancangan CNN

3.3.2 Perancangan Kunci Keamanan

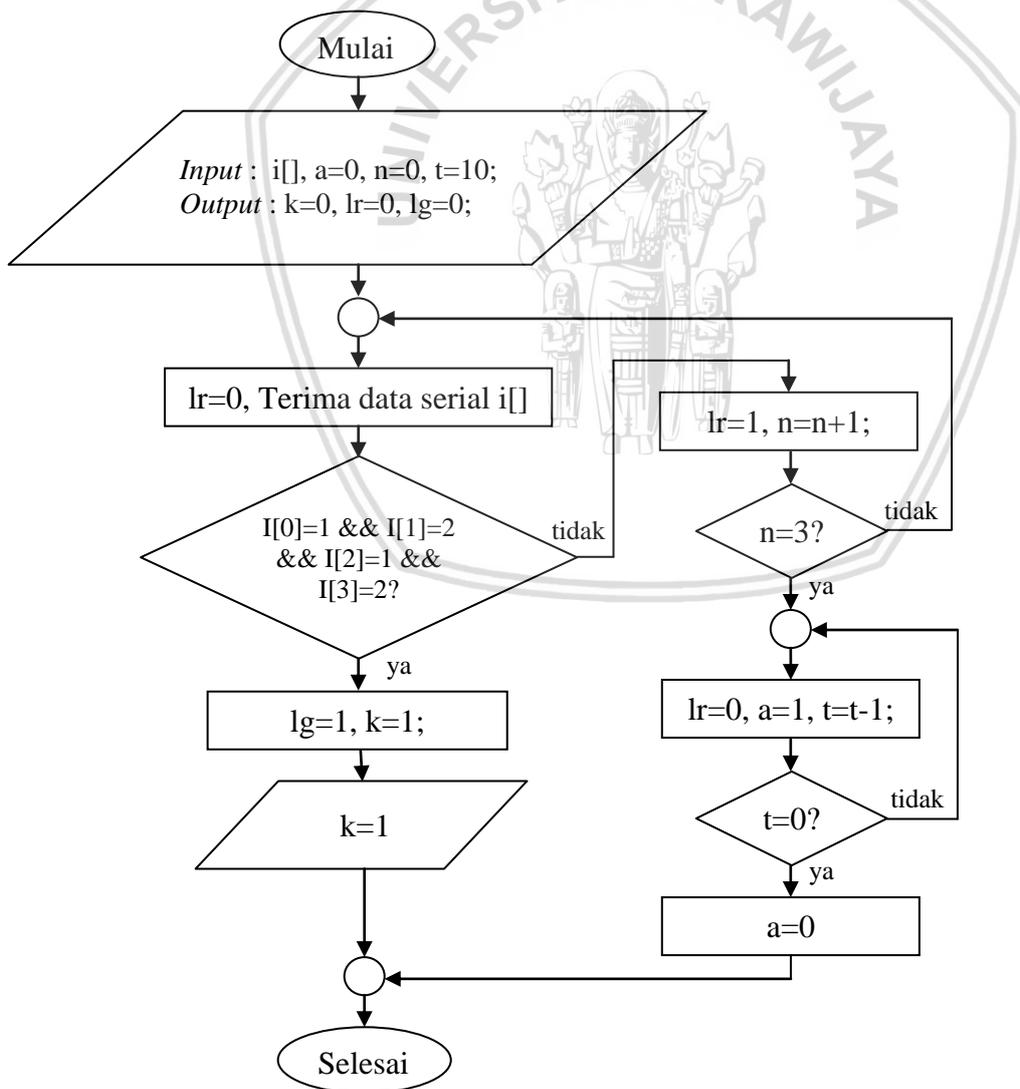
Perancangan sistem kunci keamanan menggunakan modul arduino nano yang dihubungkan sedemikian rupa dengan kunci solenoid, dengan menambahkan beberapa komponen untuk menggerakkan kumparan pada kunci solenoid. Catu daya yang digunakan

adalah adaptor 12V, untuk menyesuaikan tegangan kerja dari kunci selenoid. Sedangkan data *input* dari arduino adalah data serial. Berikut ini merupakan gambar diagram blok sistem kunci keamanan yang akan dirancang:



Gambar 3.3.2.1 Diagram Blok Rangkaian Kunci Keamanan

Sedangkan sistem kerja dari kunci keamanan ini dijelaskan dalam diagram alir berikut:



Gambar 3.3.2.2 Diagram Alir Sistem Kunci Keamanan

Keterangan :

I[] : Iris dalam <i>array</i> ;	k : Kunci;	a : Alarm;
0 : Iris tidak terlihat;	0 : Kunci <i>Lock</i> ;	0 : Alarm <i>OFF</i> ;
1 : Iris posisi tengah;	1 : Kunci <i>Open</i> ;	1 : Alarm <i>ON</i> ;
2 : Iris posisi kanan;	n : Jumlah percobaan;	lr: Led merah;
3 : Iris posisi kiri;	t : Timer hitungan mundur;	lg: Led hijau;

3.4 Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan untuk mengukur tingkat keberhasilan sistem yang telah dibuat, apakah sistem tersebut berjalan sesuai perancangan dan mencapai tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian. Maka dari itu diperlukan serangkaian pengujian, diantaranya:

- 1) Menguji data uji pada *datasets* pelatihan dengan mengubah-ubah jumlah *datasets* pelatihan dengan *value* yang bervariasi dari tipe *filter* pada *layer* konvolusi.
- 2) Menguji sistem kunci keamanan dari data uji.

Dalam pengujian yang pertama ditetapkan citra *grayscale* berukuran 16x32 piksel dengan jumlah *datasets* pelatihan sebanyak 20 citra data latih dan 100 citra data uji. *Datasets* pelatihan yang kedua yaitu 40 citra data latih dan 80 citra data uji. *Datasets* pelatihan yang ketiga, 60 citra data latih dan 60 citra data uji. Keempat, 80 citra data latih dan 40 citra data uji. Dan yang terakhir, 100 citra data latih dan 20 citra data uji. Kelima *Datasets* pelatihan tersebut diujikan menggunakan 3 *value filter sharpening* yang bervariasi. Nantinya akan didapatkan pengaruh *value* dari tipe *filter sharpening* terhadap akurasi hasil konvolusi. Setelah didapatkan hasil klasifikasi posisi iris pada sklera mata berdasarkan pola, selanjutnya diujikan pada sistem kunci keamanan dengan *input* berupa data serial.

3.5 Hasil Klasifikasi Citra dan Implementasi Sistem

Pada tahap ini diambil kesimpulan dari hasil pengujian dan analisa terhadap sistem yang dibangun. Dari hasil kesimpulan tersebut, nantinya dapat diimplementasikan dalam bentuk alat atau *prototipe* kunci keamanan berbasis *Computer Vision*. Selain itu akan dihasilkan saran yang dapat digunakan pada penelitian selanjutnya, sehingga akan bermanfaat dalam pengembangan pada tingkat pokok kajian yang lebih lanjut.



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan merupakan bab keempat dari skripsi yang berisi data-data berdasarkan hasil dari pengujian yang dilakukan. Pembahasan bab ini meliputi klasifikasi posisi iris dengan CNN dan pengujian sistem kunci keamanan.

4.1 Klasifikasi Posisi Iris dengan CNN

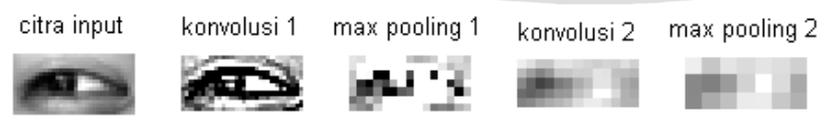
Tahap ini dilakukan untuk menguji data uji pada *datasets* pelatihan dengan mengubah-ubah jumlah *datasets* pelatihan dengan *value* yang bervariasi dari tipe *filter* pada *layer* konvolusi.

Pengujian pertama digunakan *datasets* pelatihan sebanyak 20 citra sebagai data latih dan 100 citra sebagai data uji. *Filter* pertama yang digunakan untuk lapisan konvolusi 1 adalah *filter sharpening* dengan *value* [0 -1 0;-1 5 -1;0 -1 0], sedangkan pada lapisan konvolusi 2 digunakan *filter bluring* dengan *value* [1 1 1 ; 1 1 1 ; 1 1 1]/9. Hasil satu citra yang didapat dari proses fitur ekstrasi tersebut ditunjukkan pada Gambar 4.1.1.



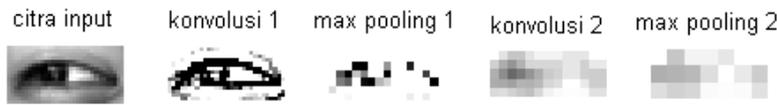
Gambar 4.1.1 Hasil Fitur Ekstrasi 1

Pengujian kedua digunakan jumlah *datasets* pelatihan yang sama dan dengan *value filter sharpening* [-1 -1 -1;-1 9 -1;-1 -1 -1] pada lapisan konvolusi 1, sedangkan pada lapisan konvolusi 2 digunakan *filter bluring* dengan *value* yang sama. Hasil satu citra yang didapat dari proses fitur ekstrasi tersebut ditunjukkan pada Gambar 4.1.2.



Gambar 4.1.2 Hasil Fitur Ekstrasi 2

Pengujian ketiga dilakukan dengan cara yang sama dengan langkah-langkah sebelumnya hanya *value filter sharpening* pada lapisan konvolusi 1 yang berbeda yaitu [-2 -2;-2 18 -2;-2 -2 -2]. Hasil satu citra yang didapat dari proses fitur ekstrasi tersebut ditunjukkan pada Gambar 4.1.3.



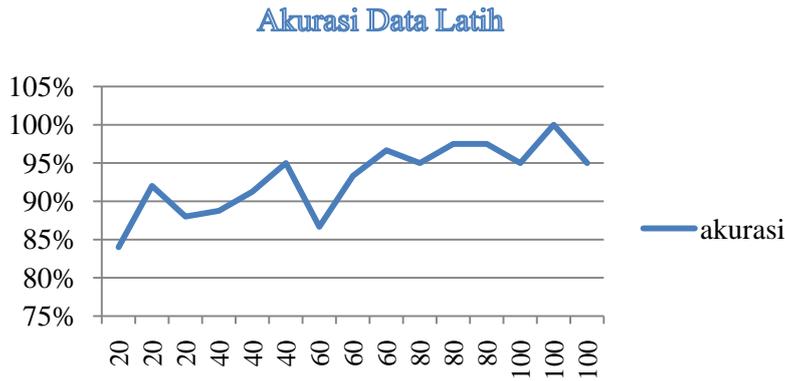
Gambar 4.1.3 Hasil Fitur Ekstraksi 3

Selanjutnya dilakukan pengujian dengan jumlah *datasets* pelatihan 40 citra sebagai data latih dan 80 citra sebagai data uji yang diujikan dengan tiga *filter sharpening* yang sama dengan langkah sebelumnya. Setelah itu dilakukan pengujian dengan jumlah *datasets* pelatihan 60 citra sebagai data latih dan 60 citra sebagai data uji yang juga diujikan dengan tiga *filter sharpening* tersebut. Berikutnya menguji dengan jumlah *datasets* pelatihan 80 citra sebagai data latih dan 40 citra sebagai data uji serta 100 citra sebagai data latih dan 20 citra sebagai data uji yang diujikan dengan ketiga *filter sharpening* tersebut. Hasil klasifikasi posisi iris yang didapat dari hasil pengujian-pengujian tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Klasifikasi Posisi Iris dengan CNN

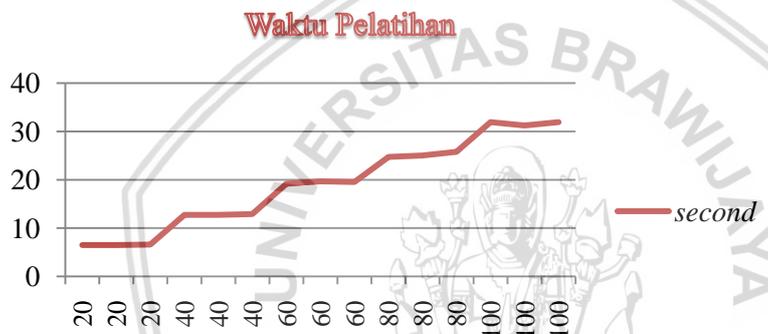
No	<i>Filter Sharpening</i>	Data Latih	<i>Training Time</i>	Data Uji	<i>Testing Time</i>	Salah	Benar	Akurasi
1	[0 -1 0;-1 5 -1;0 -1 0]	20	6.483s	100	0.046 s	16	84	84%
2	[-1 -1 -1;-1 9 -1;-1 -1 -1]	20	6.487s	100	0.038 s	8	92	92%
3	[-2 -2 -2;-2 18 -2;-2 -2 -2]	20	6.576s	100	0.032 s	12	88	88%
4	[0 -1 0;-1 5 -1;0 -1 0]	40	12.710s	80	0.040 s	9	71	89%
5	[-1 -1 -1;-1 9 -1;-1 -1 -1]	40	12.730s	80	0.036 s	7	73	91%
6	[-2 -2 -2;-2 18 -2;-2 -2 -2]	40	12.896s	80	0.026 s	4	76	95%
7	[0 -1 0;-1 5 -1;0 -1 0]	60	19.151s	60	0.034 s	8	52	87%
8	[-1 -1 -1;-1 9 -1;-1 -1 -1]	60	19.667s	60	0.041 s	4	56	93%
9	[-2 -2 -2;-2 18 -2;-2 -2 -2]	60	19.530s	60	0.020 s	2	58	97%
10	[0 -1 0;-1 5 -1;0 -1 0]	80	24.694s	40	0.029s	2	38	95%
11	[-1 -1 -1;-1 9 -1;-1 -1 -1]	80	24.992s	40	0.036 s	1	39	98%
12	[-2 -2 -2;-2 18 -2;-2 -2 -2]	80	25.757s	40	0.028 s	1	39	98%
13	[0 -1 0;-1 5 -1;0 -1 0]	100	31.904s	20	0.029 s	1	19	95%
14	[-1 -1 -1;-1 9 -1;-1 -1 -1]	100	31.217s	20	0.020 s	0	20	100%
15	[-2 -2 -2;-2 18 -2;-2 -2 -2]	100	31.893s	20	0.019 s	1	19	95%
rata-rata								93%

Dari table tersebut dapat dilihat bahwa semakin banyak jumlah data latih yang digunakan maka akurasi klasifikasi posisi iris semakin tinggi dan waktu pelatihan yang dibutuhkan semakin lama. Perbandingan antara jumlah data latih dan persentase akurasi dapat dilihat pada Gambar 4.1.4.



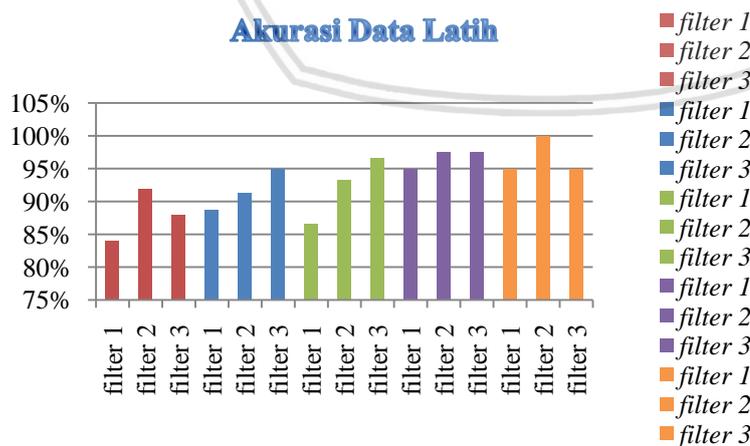
Gambar 4.1.4 Kurva Perbandingan Jumlah Data Latih dan Persentase Akurasi

Sedangkan perbandingan antara jumlah data latih dan waktu pelatihan dapat dilihat pada Gambar 4.1.5.



Gambar 4.1.5 Kurva Perbandingan Jumlah Data Latih dan Waktu Pelatihan

Pengaruh *value* dari *type filter sharpening* terhadap akurasi hasil konvolusi dapat dilihat pada Gambar 4.1.6.



Gambar 4.1.6 Diagram Perbandingan *Value Filter Sharpening*

Keterangan :

- 20 data latih
- 40 data latih
- 60 data latih
- 80 data latih
- 100 data latih

Dari diagram diatas dapat dilihat bahwa *filter 2* dan *filter 3* sama-sama memiliki tingkat akurasi yang seimbang, sedangkan pada *filter 1* memiliki tingkat akurasi yang paling rendah.

4.2 Pengujian Sistem Kunci Keamanan

Tahap ini dilakukan untuk menguji pola posisi iris terhadap sklera mata yang dihubungkan secara serial dengan sistem kunci keamanan. Empat citra iris diklasifikasi menggunakan CNN, kemudian hasil klasifikasi dikirim ke arduino secara serial. Dari hasil pembacaan pola tersebut, jika empat posisi iris sudah sesuai dengan pola yang telah ditetapkan, secara otomatis led hijau menyala dan kunci solenoid akan terbuka. Jika pola tersebut tidak sesuai dengan yang ditetapkan maka led merah menyala dan akan menambah jumlah percobaan satu kali. Jika jumlah percobaan sama dengan tiga maka alarm akan berbunyi selama 10 detik. Pola yang sudah ditetapkan adalah 1 2 1 2 (kiri kanan kiri kanan). Hasil pengujian sistem keamanan ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Pengujian Sistem Kunci Keamanan

No	<i>Input Serial</i>	Kunci	Jumlah	Timer & Alarm	Led	
	(1=kiri, 2=kanan)	(<i>Lock/Open</i>)	Percobaan	(<i>on/off</i>)	Hijau	Merah
1	1 2 1 2	<i>open</i>	0	<i>off</i>	<i>x</i>	-
2	1 1 1 1	<i>lock</i>	1	<i>off</i>	-	<i>x</i>
3	1 2 1 2	<i>open</i>	0	<i>off</i>	<i>x</i>	-
4	1 1 1 1	<i>lock</i>	1	<i>off</i>	-	<i>x</i>
5	2 1 2 1	<i>lock</i>	2	<i>off</i>	-	<i>x</i>
6	2 2 2 2	<i>lock</i>	3	<i>off</i> -> <i>on</i>	-	<i>x</i>

BAB V

PENUTUP

Penutup merupakan bab terakhir dari skripsi. Pembahasan bab ini meliputi kesimpulan dan saran. Kesimpulan berisi uraian jawaban dari rumusan masalah, sedangkan saran bertujuan untuk pengembangan ke tahap lebih lanjut.

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, pengujian, dan analisa sistem maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- 1) Hasil klasifikasi posisi iris pada sklera mata menggunakan metode jaringan saraf konvolusional memiliki akurasi rata-rata 93%.
- 2) Semakin banyak jumlah data latih yang digunakan maka akurasi klasifikasi posisi iris semakin tinggi.
- 3) Semakin banyak jumlah data latih yang digunakan akan membutuhkan waktu pelatihan yang lebih lama.
- 4) Value Filter Sharpening yang bervariasi memiliki pengaruh terhadap akurasi hasil klasifikasi.
- 5) Implementasi hasil klasifikasi posisi iris pada sklera mata berdasarkan pola untuk sistem kunci keamanan dapat dilakukan dengan baik.

5.2 Saran

Saran yang dapat digunakan dalam pengembangan sistem dapat diuraikan sebagai berikut :

- 1) Untuk mendapatkan parameter pelatihan yang lebih banyak pada preprocessing data dapat digunakan ukuran citra yang bervariasi dan menggunakan citra dengan format RGB.
- 2) Untuk mengembangkan metode jaringan saraf konvolusional yang lebih intensif dapat dilakukan dengan menambah jumlah kelas iris lebih banyak. Misalnya iris posisi kanan, kiri dan tengah.
- 3) Untuk memudahkan implementasi kunci keamanan, dapat dibuat aplikasi android atau *user interface* yang memudahkan pengguna untuk mengganti pola posisi iris sesuai keinginan.



DAFTAR PUSTAKA

- Bhattacharya, A. 2011. *Introduction to Image Classification*. India: CSRE, IITB. http://www.csre.iitb.ac.in/~avikb/GNR401/DIP/DIP_401_lecture_7.pdf. (diakses 1 Agustus 2018).
- Czajka, Adam, dkk. 2017. *Recognition of Image-Orientation-Based Iris Spoofing*. United States: *IEEE Transactions On Information Forensics and Security*, vol. 12, no. 7.
- Danukusumo, Kefin Pudi. 2017. Implementasi Deep Learning Menggunakan Convolutional Neural Network Untuk Klasifikasi Citra Candi Berbasis Gpu. *Skripsi*. Yogyakarta: Program Informatika, Universitas Atma Jaya.
- Github.io, cs231n. 2015. *CS231n: Convolutional Neural Networks for Visual Recognition*. <http://cs231n.github.io/convolutional-networks/>. (diakses 1 Agustus 2018).
- Goodfellow, Ian, dkk. 2016. *Deep Learning*, www.deeplearningbook.org.
- Guru, Machine Learning. 2017. *Image Filtering*. http://machinelearningguru.com/computer_vision/basics/convolution/image_convolution_1.html. (diakses 1 September 2018).
- Hutauruk, Johan A. dan Siregar, Sharita R. 2017. *Katarak*. Yogyakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Kanan, C. dan Cottrell, G. W. 2012. *Color-to-Grayscale: Does The Method Matter In Image Recognition?*. PLOS ONE, vol. 7, no. 1, pp. 1-7.
- Mathwork, Inc. 2017. *Introducing Deep Learning with MATLAB*. https://www.mathworks.com/content/dam/mathworks/tagteam/Objects/d/80879v00_Deep_Learning_ebook.pdf. (diakses 1 Agustus 2018).
- Meng, Chunng dan Zhao, Xuepeng. 2017. *Webcam-Based Eye Movement Analysis Using CNN*. China: Departemen Teknik Elektro, Universitas Nankai.
- NYC, Adafruit. 2011. *Lock-style Solenoid - 12VDC*. <https://www.adafruit.com/product/1512>. (diakses 1 Agustus 2018).
- Primartha, Rifkie. 2018. *Belajar Machine Learning Teori dan Praktik*. Bandung: Informatika.
- Project's Foundation, Arduino. 2007. *Arduino Nano*. <https://store.arduino.cc/usa/arduino-nano>. hal. 2 (diakses 1 Agustus 2018).
- Putra, Darma. 2010. *Pengolahan Citra Digital*. Yogyakarta: Andi.
- Srivastava, Nitish, dkk. 2014. *Dropout: A Simple Way to Prevent Neural Networks from Overfitting*. Canada: Journal of Machine Learning Research, Departemen Komputer Sains, Universitas Toronto. 1929-1958.
- Wijaya, Satria D. R. 2018. Steganografi Algoritma Penyisipan Pesan Rahasia Tanpa Mengubah Nilai Piksel pada Citra Jpeg. *Skripsi*. Tidak dipublikasikan. Malang : Teknik Elektro, Universitas Brawijaya.
- Zufar, Muhammad dan Setiyono, Budi. 2016. *Convolutional Neural Networks untuk Pengenalan Wajah Secara Real-Time*. Surabaya: Jurnal Sains dan Seni ITS, vol.5 no.2, 2337-3520.



