DETEKSI PERGERAKAN BOLA MATA MENGGUNAKAN METODE *HAAR CASCADE* BERBASIS REGION DAN *KERNELIZED CORRELATION FILTER TRACKER*

TESIS

Untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Magister Komputer

Disusun oleh:
Renaldi Primaswara Prasetya
NIM: 156150100011014

PROGRAM STUDI MAGISTER ILMU KOMPUTER
JURUSAN TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2018

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

PENGESAHAN

DETEKSI PERGERAKAN BOLA MATA MENGGUNAKAN METODE HAAR CASCADE BERBASIS REGION DAN KERNELIZED CORRELATION FILTER TRACKER

TESIS

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Magister Komputer

Disusun Oleh :
Renaldi Primaswara Prasetya
NIM: 156150100011014

Tesis ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
14 Februari 2018
Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Dosen Pembimbing I	Dosen Pembimbing II
Fitri Utaminingrum, Dr. Eng., S.T, M.T	Wayan Firdaus Mahmudy, S.Si, M.T, Ph.D
NIP. 19820710 200812 2 001	NIP. 19720919 199702 1 001

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Informatika

Tri Astoto Kurniawan, S.T., M.T., Ph.D
NIP. 19710518 200312 1 001

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya, di dalam naskah Tesis ini 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 disitasi dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila ternyata didalam naskah tesis ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur plagiasi, saya bersedia tesis ini digugurkan dan gelar akademik yang telah saya peroleh (magister) dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, Pasal 25 ayat 2 dan Pasal 70)

Malang, 26 Februari 2018

Renaldi Primaswara Prasetya

NIM. 156150100011007

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

KATA PENGANTAR

Puji syukur yang sebesar-besarnya penulis panjatkan kepada Allah Subḥānahu wa ta'alā yang telah memberikan karunia, rahmat, dan petunjuk-Nya kepada penulis sehingga tesis yang berjudul "Deteksi Pergerakan Mata Menggunakan Metode *Haar Cascade* Berbasis *Region* dan *Kernelized Correlation Filter Tracker*" dapat diselesaikan dengan baik. Tesis ini merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan studi dan memperoleh gelar Magister Komputer di Universitas Brawijaya. Tesis ini tidak dapat diselesaikan tanpa peran serta berbagai pihak. Untuk itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada banyak pihak yang telah memberikan bantuan baik pikiran maupun tenaga dan waktu, sehingga tesis ini dapat diselesaikan. Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Ibu dan Ayah sebagai orang tua yang selalu memberikan semangat serta doa yang tiada henti-hentinya.
2. Ibu Dr. Eng. Fitri Utaminingrum, S.T., M.T, selaku pembimbing pertama yang telah memberikan bimbingan dan masukan dalam menyusun tesis ini.
3. Bapak Wayan Firdaus Mahmudy, S.Si., M.T., Ph.D, selaku pembimbing kedua yang telah memberikan bimbingan dan masukan dalam menyusun tesis ini.
4. Bapak Tri Astoto Kurniawan, S.T., M.T., Ph.D, selaku penguji pertama proposal tesis, penguji sidang tesis, dan selaku ketua Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Brawijaya yang telah memberikan kritik dan saran dalam menyusun tesis ini.
5. Bapak Dr. Eng. Fitra A. Bachtiar, S.T., M.Eng, selaku penguji kedua proposal tesis, sidang tesis, dan selaku Ketua Program Studi Magister Ilmu Komputer, Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Brawijaya, yang telah memberikan kritik dan saran dalam menyusun tesis ini.
6. Segenap bapak dan ibu dosen yang telah mendidik dan mengajarkan ilmunya kepada penulis selama menempuh studi di Magister Ilmu Komputer, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Brawijaya.
7. Segenap bapak dan ibu dosen Grup Riset Computer Vision yang telah memberikan bantuan dan semangat selama menempuh studi di Magister Ilmu Komputer, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Brawijaya.
8. Teman-teman sejawat Magister Ilmu Komputer yang telah memberikan bantuan dan semangat selama menempuh studi di Magister Ilmu Komputer, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Brawijaya.
9. Dan semua pihak yang telah membantu dalam menyusun tesis ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Penulis sangat menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam tesis ini. Oleh karena itu, penulis membuka kesempatan yang seluas-luasnya untuk memperoleh kritik dan saran yang sifatnya membangun demi penulisan tesis yang lebih baik dan penelitian yang berkelanjutan pada masa mendatang. Semoga tesis ini dapat memberikan manfaat yang sebesar-besarnya untuk semua pihak.

Malang, 26 Februari 2018

Renaldi Primaswara Prasetya

renaldipp@gmail.com

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

ABSTRAK

Perkembangan teknologi yang semakin pesat memudahkan para penyandang disabilitas cacat kaki dalam melakukan aktifitas mereka sehari-hari. Selain secara manual menggunakan tangan, alat bantu pergerakan para penyandang disabilitas seperti kursi roda yang dilengkapi dengan joystick ataupun remote, seringkali bermanfaat bagi mereka dalam melakukan mobilitas secara mandiri. Namun hal ini tidak berlaku bagi penyandang disabilitas yang mengalami lebih dari satu keterbatasan fisik seperti cacat tangan dan kaki, sehingga perlu dikembangakan suatu cara lain untuk berinteraksi dengan suatu perangkat yang tidak menimbulkan permasalahan fisik, salah satunya yaitu dengan menggunakan pergerakan bola mata. Metode deteksi pergerakan bola mata dengan memperhatikan perubahan posisi koordinat *x* dan *y*, memiliki sensitifitas yang tinggi tanpa memberikan range pergerakan yang sesuai, dimana sedikit perubahan pada posisi titik tengah bola mata telah terdeteksi sebagai sebuah pergerakan. Sedangkan deteksi pergerakan bola mata melalui perhitungan dan perbandingan jumlah piksel bola mata membutuhkan waktu komputasi yang cukup lama. Metode deteksi pergerakan bola mata lainnya dengan menggunakan besar nilai sudut yang terbentuk antara *sclera* dan pupil mata, dapat memungkinkan besar nilai sudut yang sama tanpa memberikan nilai *threshold* yang tepat serta dibutuhkan proses *training* untuk menentukan nilai *threshold* yang sesuai, sehingga akurasi yang dihasilkan cukup rendah. Dalam penelitian ini, deteksi pergerakan bola mata secara *real time* dikembangkan dengan merancang suatu kotak region yang diperoleh dari metode *Haar Cascade* dan *Kernelized Correlation Filter* (KCF) *tracker* yang dibagi menjadi beberapa bagian secara horizontal dan vertikal. Kemudian arah pergerakan bola mata akan terdeteksi dengan melakukan pengecekan posisi pupil atau titik tengah bola mata pada setiap bagian kotak Haar. Melalui teknik tersebut, permasalahan akurasi, senstifitas, serta waktu komputasi dalam proses deteksi pergerakan bola mata yang ditimbulkan dari beberapa penelitian terdahulu dapat diperbaiki oleh metode yang diusulkan. Berdasarkan hasil pengujian, rata-rata akurasi deteksi pergerakan bola mata dengan empat tipe arah pergerakan menggunakan metode Haar berbasis region dan KCF *tracker* mencapai 90% dibandingkan dengan metode berbasis nilai sudut yang mencapai 47,5%. Sedangkan rata-rata akurasi menggunakan metode yang diusulkan dengan arah pergerakan ke kanan dan ke kiri mencapai 95%, dibandingkan dengan metode berbasis jumlah piksel dan koordinat yang mencapai masing masing 72,5% dan 85%. Akurasi arah pergerakan ke depan yang menunjukkan sensitifitas pergerakan bola mata menggunakan metode yang diusulkan juga memiliki akurasi yang lebih baik yaitu mencapai 90% dibandingkan dengan metode berbasis koordinat yang hanya mencapai 15%.

Kata kunci: disabilitas, deteksi pergerakan bola mata, kotak region, *haar cascade*, *kernelized correlation filter tracker*

repository.ub.ac.id

ABSTRACT

The rapid development of technology makes it easier for people with disabilities in their daily activities. Besides using their hands, the movement aids for people with disabilities such as wheelchairs that equipped with joysticks or remote are often useful for them in performing their own mobility. However, this type can not be applied to people with disabilities who has more than one physical limitations such as people with hand-foot impairment. Thus, it is necessary to develop another way to interact with an automatic device that does not cause physical problems, one of them is by using the movement of the eyeball. The method of detecting the eyeball movement by observing the x and y coordinate positions to determine the direction of the eyeball movement, has a high sensitivity without providing the appropriate range of movement, where slight changes of the eyeball position have been detected as a movement. While, the detection of eyeball movement through the calculation and comparison of the pixels number of the eyeball takes a long computational time. Another method of detecting the eyeball movement is by using the angle value formed between the sclera and the pupil of eye, but this method can produce the same angular value without giving the proper threshold value and training process is needed to determine the appropriate threshold value, so that it generated a quite low accuracy. In this research, a reliable method for detecting the eyeball movement in real time condition was developed using the design of the eye region box produced by the Haar Cascade method and the Kernelized Correlation Filter (KCF) tracker which has been divided into several parts either vertically and horizontally. The eyeball movement will be detected by checking the existence of the pupil or eyeball midpoint position in one of all parts of the region box to determine the direction of eyeball movement. By using these techniques, the issues of accuracy, sensitivity, and computation time in the process of eye movement detection that generated from some previous research can be improved by the proposed method. Based on the experimental results, the accuracy average of the eyeball movement detection with four types of direction using the Haar-based region method and KCF tracker reached 90% compared with the angle value-based method that reached 47,5%. While, the accuracy average using the proposed method with two types of movement direction (to the right and to the left) reached 95%, compared with the method based on the number of pixels and the coordinates that reached respectively 72.5% and 85%. The accuracy of the front gaze that indicating the sensitivity level of the eyeball movement using the proposed method also has a better accuracy of 90% compared to the coordinate-based method which only reached 15%.

Keywords: *disability, eye movement detection, region box, haar cascade, kernelized correlation filter tracker*

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

DAFTAR ISI

PENGESAHAN ii
PERNYATAAN ORISINALITAS iii
KATA PENGANTAR iv
ABSTRAK vi
ABSTRACT vii
DAFTAR ISI viii
DAFTAR TABEL x
DAFTAR GAMBAR xi
DAFTAR LAMPIRAN xiii
BAB 1 PENDAHULUAN 1
1.1 Latar belakang 1
1.2 Rumusan masalah 3
1.3 Tujuan 4
1.4 Manfaat 4
1.5 Batasan masalah 4
1.6 Sistematika pembahasan 5
BAB 2 LANDASAN KEPUSTAKAAN 6
2.1 Populasi Disabilitas di Indonesia 6
2.2 Penelitian Terkait 7
2.3 Mata 9
2.3.1 Teknologi Menggunakan Organ Mata 10
2.4 Deteksi Area Mata 10
2.4.1 Haar Cascade Classifier 11
2.4.2 Tracking Objek 14
2.5 Pengolahan Citra Digital 15
2.5.1 Morfologi 15
2.6 Konversi Citra Berwarna 17
2.7 Resize 17
BAB 3 METODOLOGI 18
3.1 Tahapan Penelitian 18

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

3.1.1 Data Penelitian 18
3.1.2 Studi Literatur 19
3.1.3 Perancangan 19
3.1.4 Skenario Pengujian 22
3.1.5 Analisis Hasil Pengujian 26
3.1.6 Kesimpulan dan Saran 26
BAB 4 PERANCANGAN 27
4.1 KCF *Tracker* 27
4.2 Pemodelan Region *Haar Cascade* 28
4.3 Penentuan titik tengah bola mata 32
4.4 Deteksi Pergerakan Bola Mata 33
4.5 Skenario Pengujian 33
4.5.1 Pengujian Registrasi Pembagian Region 33
4.5.2 Pengujian Jarak Pada Akurasi Deteksi Pergerakan Bola Mata 34
4.5.3 Pengujian Komparasi Metode 34
BAB 5 HASIL DAN PEMBAHASAN 36
5.1 Spesifikasi Pengujian 36
5.2 Jarak kamera terhadap deteksi mata dan bola mata. 36
5.3 Registrasi pembagian region mata 40
5.4 Deteksi pergerakan bola mata terhadap jarak 42
5.5 Precision dan Recall metode Haar berbasis region 44
5.6 Komparasi Metode 46
5.6.1 Waktu Komputasi 57
BAB 6 PENUTUP 59
6.1 Kesimpulan 59
6.2 Saran 60
DAFTAR PUSTAKA 61
LAMPIRAN 64

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Disabilitas dengan kesulitan fungsional tangan dan kaki 6
Tabel 3.1 Pengujian registrasi metode *Haar* berbasis region 24
Tabel 3.2 Pengujian akurasi terhadap jarak 24
Tabel 3.3 Pengujian *multiclass classification* pada matriks konvolusi 25
Tabel 5.1 Spesifikasi perangkat keras 36
Tabel 5.2 Spesifikasi perangkat lunak 36
Tabel 5.3 Hasil pengujian deteksi area mata 37
Tabel 5.4 Hasil pengujian deteksi area bola mata 40
Tabel 5.5 Hasil pengujian registrasi pembagian region *haar* 41
Tabel 5.6 Hasil pengujian *multiclass classification* 45
Tabel 5.7 Tingkat *precision* dan *recall* 45
Tabel 5.8 Hasil pengujian komparasi metode 46
Tabel 5.9 Hasil pengujian komparasi waktu komputasi 58

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Anatomi mata secara sederhana 9
Gambar 2.2 Macam-macam fitur *Haar* 11
Gambar 2.3 Ilustrasi area *integral image* 12
Gambar 2.4 *Summed Area Table* sebagai perhitungan *integral image* 12
Gambar 2.5 Ilustrasi deteksi region mata menggunakan *Haar Cascade* 13
Gambar 2.6 Diagram alir *Haar Cascade Classifier* 13
Gambar 2.7 Morfologi citra melalui proses *opening* 15
Gambar 2.8 Ilustrasi proses erosi pada citra bola mata 16
Gambar 2.9 Ilustrasi proses dilasi pada citra bola mata 16
Gambar 2.10 Proses *filtering* citra mata 16
Gambar 2.11 Citra hasil proses *resize* 17
Gambar 3.1 Diagram alir tahap penelitian 18
Gambar 3.2 Perancangan proses metode 20
Gambar 3.3 Diagram Alir proses deteksi bola mata 21
Gambar 3.4 Ilustrasi pembagian area region mata 21
Gambar 3.5 Skenario pengujian 23
Gambar 4.1 Ilustrasi *tracking* area mata 27
Gambar 4.2 Diagram alir proses *tracking* metode KCF 28
Gambar 4.3 Diagram alir proses pembagian region *Haar* 29
Gambar 4.4 Ilustrasi proses registrasi pembagian region 30
Gambar 4.5 Diagram alir proses pembagian region *Haar* 31
Gambar 4.6 Proses penentuan titik tengah bola mata 32
Gambar 4.7 Diagram alir proses deteksi pergerakan bola mata 33
Gambar 5.1 Akurasi deteksi pergerakan ke kanan pada tiap jarak 42
Gambar 5.2 Akurasi deteksi pergerakan ke kiri pada tiap jarak 42
Gambar 5.3 Akurasi deteksi pergerakan ke atas pada tiap jarak 43
Gambar 5.4 Akurasi deteksi pergerakan ke bawah pada tiap jarak 43
Gambar 5.5 Rata-Rata akurasi deteksi pergerakan bola mata terhadap jarak .. 44
Gambar 5.6 Sensitifitas deteksi pergerakan arah bola mata data uji ke-1 48
Gambar 5.7 Sensitifitas deteksi pergerakan arah bola mata data uji ke-2 48

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Gambar 5.8 Sensitifitas deteksi pergerakan arah bola mata data uji ke-3 49
Gambar 5.9 Sensitifitas deteksi pergerakan arah bola mata data uji ke-4 49
Gambar 5.10 Sensitifitas deteksi pergerakan arah bola mata data uji ke-5 50
Gambar 5.11 Sensitifitas deteksi pergerakan arah bola mata data uji ke-6 50
Gambar 5.12 Sensitifitas deteksi pergerakan arah bola mata data uji ke-7 51
Gambar 5.13 Sensitifitas deteksi pergerakan arah bola mata data uji ke-8 51
Gambar 5.14 Sensitifitas deteksi pergerakan arah bola mata data uji ke-9 52
Gambar 5.15 Sensitifitas deteksi pergerakan arah bola mata data uji ke-10 52
Gambar 5.16 Sensitifitas deteksi pergerakan bola mata metode Berbasis Haar Region data uji ke-1 53
Gambar 5.17 Sensitifitas deteksi pergerakan bola mata metode berbasis Haar Region data uji ke-2 53
Gambar 5.18 Sensitifitas deteksi pergerakan bola mata metode Berbasis Haar Region data uji ke-3 54
Gambar 5.19 Sensitifitas deteksi pergerakan bola mata metode Berbasis Haar Region data uji ke-4 54
Gambar 5.20 Sensitifitas deteksi pergerakan bola mata metode Berbasis Haar Region data uji ke-5 55
Gambar 5.21 Sensitifitas deteksi pergerakan bola mata metode Berbasis Haar Region data uji ke-6 55
Gambar 5.22 Sensitifitas deteksi pergerakan bola mata metode Berbasis Haar Region data uji ke-7 56
Gambar 5.23 Sensitifitas deteksi pergerakan bola mata metode Berbasis Haar Region data uji ke-8 56
Gambar 5.24 Sensitifitas deteksi pergerakan bola mata metode Berbasis Haar Region data uji ke-9 57
Gambar 5.25 Sensitifitas deteksi pergerakan bola mata metode Berbasis Haar Region data uji ke-10 57

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A. Hasil Data Uji Metode Haar Berbasis Region 64
Lampiran B. Pengujian Jarak Terhadap Deteksi Pergerakan Bola Mata 67
Lampiran C. Hasil Data Uji Metode Berbasis Koordinat 75
Lampiran D. Hasil Data Uji Metode Berbasis Besar Sudut 78
Lampiran E. Hasil Data Uji Metode Berbasis Jumlah Piksel 82
Lampiran F. Data Uji Sensitivitas Metode Berbasis Koordinat 85
Lampiran G. Data Uji Sensitivitas Metode Berbasis *Haar* Region 98

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Menurut sensus dan survei yang dilakukan beberapa lembaga seperti Badan Pusat Statistik (BPS), Survei Sosial Ekonomi Nasional (SUSENAS) pada tahun 2012, disebutkan bahwa penyandang disabilitas di Indonesia telah mencapai 2,45 persen atau 6.515.500 juta jiwa dari jumlah penduduk di Indonesia. Disabilitas yang dimaksud didefinisikan sebagai ketidakmampuan melaksanakan sesuatu aktivitas atau kegiatan tertentu sebagaimana layaknya orang normal (Buletin Kemenkes RI, 2014). Sementara berdasarkan Survei Penduduk Antar Sensus (SUPAS), jumlah penduduk di Indonesia diatas usia 10 tahun yang mengalami disabilitas meningkat hingga berjumlah 44.763.760 jiwa (Katalog BPS, 2015). Dalam jumlah survei tersebut, keterbatasan yang dialami oleh para penyandang terdiri atas beberapa jenis keterbatasan diantaranya adalah penyandang yang mengalami kesulitan dalam berjalan/naik tangga sebesar 7.808.377 dan kesulitan dalam menggerakan tangan/jari sebesar 2.718.290. Berdasarkan data tersebut, maka para penyandang disabilitas khususnya penyandang disabilitas cacat tangan dan kaki perlu mendapatkan perhatian khusus agar memiliki ruang atau tempat khusus dalam kehidupan sosial serta mereka dengan mudah dapat melakukan mobilitas secara mandiri.

Dengan semakin pesatnya perkembangan teknologi sebagai media pengendali otomatis, tentunya hal ini dapat bermanfaat bagi para penyandang disabilitas dalam melakukan pekerjaan ataupun aktivitas mereka sehari hari. Alat bantu mobilitas para penyandang disabilitas seperti kursi roda masih terbatas pada media navigasi berupa joystick, remote, ataupun secara manual menggunakan tangan, yang diperuntukan bagi disabilitas cacat kaki. Namun bagaimana bila kondisi penyandang disabilitas tersebut tidak hanya memiliki cacat kaki saja, akan tetapi juga mengalami cacat pada tangannya atau bahkan lumpuh, sedangkan organ yang bisa digerakkkan dan berfungsi normal hanyalah bola mata saja. Sehingga penyandang disabilitas yang mengalami lebih dari satu keterbatasan membutuhkan cara lain untuk berinteraksi dengan suatu perangkat, salah satunya adalah dengan mendeteksi pergerakan bola mata.

Gerakan mata pengguna dapat memberikan sumber masukan yang bersifat mudah, alami, dan *bandwidth tinggi* (cepat). Dengan melacak arah pandang pengguna, kemudahan komunikasi dari pengguna ke perangkat otomatis dapat ditingkatkan. Deteksi pergerakan bola mata secara umum diawali dengan proses mendeteksi area mata terlebih dahulu yang dilanjutkan dengan mendeteksi bola mata yang merupakan objek utama yang akan dideteksi pergerakannya. Tidak seperti fase pendeteksian area mata dan bola mata, fase deteksi pergerakannya masih perlu untuk dikembangkan, mengingat proses ini menjadi bagian yang penting jika diterapkan sebagai media pengendali suatu perangkat otomatis.

Deteksi pergerakan mata diawali oleh pendeteksian area mata pada wajah terlebih dahulu agar membatasi ruang lingkup pada proses selanjutnya. Metode

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

deteksi objek seperti mata yang sering digunakan adalah *Haar Cascade Classifier*. *Haar Cascade Classifier* merupakan metode yang terbukti handal dalam membedakan objek yang ingin dikenali dengan objek lain yang tidak ingin dikenali (Viola & Jones, 2001). Haar memiliki fitur hitam putih yang digunakan untuk mendeteksi objek secara terperinci dengan melakukan *scaning* pada seluruh bagian citra. Haar telah banyak dimanfaatkan untuk mendeteksi area mata atau area wajah sebagai media pengendali pergerakan suatu perangkat seperti yang dilakukan oleh Gao et al. (2008). Studi lain menyebutkan metode Haar juga mampu digunakan untuk mendeteksi objek pejalan kaki dimana dalam sebuah citra, objek pejalan kaki memiliki fitur yang cukup kompleks seperti struktur pemandangan disekitarnya, pencahayaan, dan jenis pakaian yang beragam (Zhang, 2014). Namun metode *Haar Cascade* memiliki kekurangan jika diterapkan secara *real time* untuk mendeteksi sebuah objek seperti mata, yang proses deteksinya dilakukan secara berulang ulang pada tiap frame sehingga region mata yang dihasilkan tidak stabil dan cenderung berubah-ubah yang dapat mempengaruhi proses penentuan kondisi awal pergerakan mata. Sehingga perlu dikembangkan dengan menambahkan metode lain yaitu metode *tracking*. Proses *tracking* merupakan proses pencarian objek tertentu yang bergerak pada gambar digital dalam suatu urutan frame (Yilmaz et al. 2006). Dengan kata lain, dalam kasus ini deteksi mata hanya dilakukan sekali dan melakukan pelacakan daerah mata yang relevan dalam urutan frame sehingga tidak perlu dilakukan pada tiap frame.

Beberapa metode yang digunakan untuk mendeteksi pergerakan mata salah satunya adalah dengan menggunakan metode *Electrooculography* (EOG) seperti yang dilakukan oleh Bulling (2011) dimana metode EOG mendeteksi sensor gerakan otot yang ditempelkan pada area sekitar wajah, namun metode ini tidak nyaman bagi penggunanya karena harus memasangkan elektroda pada wajah penyandang disabilitas dan membutuhkan biaya yang relatif cukup mahal. Pendekatan lain yaitu deteksi pergerakan bola mata dengan memperhatikan posisi koordinat *x* dan *y* dari iris mata seperti yang dilakukan oleh Utaminingrum (2016). Metode tersebut diawali oleh proses kalibrasi untuk menentukan posisi awal tatapan mata, kemudian penentuan perubahan gerakan bola mata diperoleh apabila posisi koordinat *x* dan *y* berubah dari posisi awalnya. Metode tersebut mampu mendeteksi pergerakan ke kanan dan ke kiri secara *real time* dan cukup optimal namun memiliki sensitifitas yang cukup tinggi tanpa memberikan range pergerakan yang tepat, sehingga dapat menghasilkan arah pergerakan yang ambigu dan dapat menjadi hambatan apabila diterapkan sebagai pengendali sebuah perangkat.

Metode lain adalah melalui perbandingan jumlah piksel bola mata pada tiap pergerakan seperti yang dilakukan oleh Singh et al. (2015). Pendekatan tersebut merubah citra mata menjadi citra biner hitam putih dan membagi region mata yang telah terdeteksi menjadi tiga bagian yang sama, kemudian penentuan arah pandangan mata dilihat berdasarkan jumlah piksel warna hitam yang ada pada tiap sektor region, apabila jumlah piksel pada sektor tertentu memiliki jumlah lebih banyak dari pada bagian region yang lain maka dianggap sebagai pergerakan

mata ke kanan atau ke kiri. Namun metode ini hanya terbatas pada dua tipe arah pergerakan yaitu ke kanan dan ke kiri, selain itu dengan memanfaatkan citra biner pada bola mata secara utuh, dapat memungkinkan ukuran piksel yang berbeda pada tiap jaraknya, sehingga memungkinkan terjadinya kesalahan deteksi pergerakan mata.

Metode lain dalam mendeteksi pergerakan bola mata yaitu metode yang dikembangkan oleh Arai dan Murdiyanto (2011) melalui perhitungan besar sudut. Pendekatan metode ini mendeteksi pergerakan berdasarkan perubahan besar sudut yang terbentuk antara titik tengah bola mata dan bagian *sclera* atau bagian putih pada mata dan dihitung menggunakan persamaan sudut segitiga. Apabila nilai sudut baru yang terbentuk mengalami perubahan dari nilai *threshold* sudut yang telah ditentukan, maka akan terdeteksi adanya suatu pergerakan bola mata. Namun metode ini memungkinkan proses pelatihan untuk mengetahui nilai *threshold* yang sesuai, dan nilai *threshold* yang ditetapkan harus dapat bersifat adaptif untuk tiap tipe bola mata yang berbeda-beda. Sehingga memungkinkan kesalahan pendeteksian pergerakan bola mata dan mengurangi tingkat akurasi. Selain itu metode ini juga memiliki permasalahan sensitifitas tanpa memberikan range *threshold* yang sesuai.

Berdasarkan permasalahan yang telah dijelaskan, maka perlu dikembangkan suatu metode yang dapat mengakomodasi arah pergerakan bola mata dengan memanfaatkan region mata yang dihasilkan oleh metode *Haar Cascade*, mengingat metode tersebut memiliki kemampuan yang handal dalam mendeteksi objek mata. Metode yang diusulkan diharapkan dapat dijadikan sebagai alternatif cara yang mampu mengatasi permasalahan sensitifitas dan handal terhadap perubahan jarak deteksi pergerakan, serta menghasilkan akurasi maksimal yang dapat diterapkan sebagai media pengontrol pergerakan suatu perangkat otomatis secara *real time* bagi para penyandang disabilitas berkebutuhan khusus.

1.2 Rumusan masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, rumusan masalah yang dapat dijabarkan adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana metode *Haar Cascade* berbasis region dan *Kernelized Correlation Filter tracker* yang dikembangan untuk mendeteksi pergerakan bola mata secara *real time*?
2. Bagaimana tingkat akurasi deteksi mata dan bola mata terhadap jarak?
3. Bagaimana proses registrasi pembagian region yang digunakan dalam mendeteksi pergerakan bola mata?
4. Bagaimana tingkat akurasi deteksi pergerakan bola mata terhadap jarak menggunakan pembagian region yang telah dirancang secara adaptif?
5. Bagaimana tingkat akurasi yang dihasilkan oleh metode berbasis haar region dibandingkan dengan metode berbasis koordinat, metode berbasis besar sudut, dan metode berbasis perhitungan jumlah piksel?
6. Bagaimana analisis waktu komputasi tiap arah pergerakan bola mata secara *real time*?

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

1.3 Tujuan

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Merancang model metode *Haar Cascade* berbasis region dan KCF *tracker* yang dapat digunakan untuk mendeteksi arah pergerakan bola mata secara *real time*.
2. Mengetahui pengaruh jarak pengguna dengan kamera terhadap akurasi deteksi area mata dan bola mata.
3. Merancang proses registrasi penentuan *range* region yang dihasilkan oleh metode berbasis *Haar Cascade* dan KCF *tracker* secara horizontal maupun vertikal sehingga proses deteksi pergerakan bola mata berjalan secara optimal.
4. Mengetahui pengaruh jarak pengguna dengan kamera terhadap akurasi yang dihasilkan dari metode Haar berbasis region yang dirancang secara adaptif pada proses deteksi pergerakan bola mata.
5. Menguji tingkat akurasi deteksi pergerakan bola mata yang dihasilkan oleh metode pembagian region berbasis Haar dibandingkan dengan metode berbasis koordinat, perhitungan jumlah piksel, dan metode berbasis besar nilai sudut.
6. Menghitung dan menganalisis waktu komputasi tiap arah pergerakan bola mata secara *real time*.

1.4 Manfaat

Manfaat yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah memperoleh metode deteksi pergerakan bola mata yang dapat digunakan sebagai alternatif media kendali pergerakan suatu perangkat otomatis sehingga memudahkan aktivitas para penyandang disabilitas berkebutuhan khusus dalam melakukan kegiatan sehari hari.

1.5 Batasan masalah

Agar penelitian yang dilakukan tidak menyimpang dari akar permasalahan serta dapat dilakukan secara terarah sesuai dengan perencanaan dibutuhkan batasan masalah untuk membatasi ruang lingkup permasalahan yaitu sebagai berikut:

1. Metode diperuntukan bagi pengguna (data uji) yang tidak memakai kacamata.
2. Proses deteksi pergerakan bola mata dilaksanakan pada kondisi pencahayaan yang terang di dalam suatu ruangan.
3. Wajah pengguna berada di depan kamera dengan posisi tegak lurus terhadap kamera.
4. Arah pergerakan bola mata yang digunakan sebagai media kendali yaitu arah ke kanan, kiri, atas, bawah, dan ke depan.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

5. Tidak membahas analisis hardware, dan hanya memberikan gambaran umum saja.
6. Jarak mata terhadap kamera yang diujikan dimulai pada jarak 30 cm dengan perubahan kelipatan jarak tiap 5 cm agar terlihat pengaruhnya secara signifikan.

1.6 Sistematika pembahasan

Keseluruhan penelitian ini dibahas secara sistematis untuk mempermudah pembaca dengan susunan sebagai berikut:

BAB 1 Pendahuluan

Berisi gambaran umum tentang penelitian yang akan diajukan yang meliputi: latar belakang, rumusan masalah, tujuan, manfaat, batasan masalah dan sistematika pembahasan.

BAB 2 Landasan Kepustakaan

Membahas penelitian terkait tentang metode deteksi pergerakan mata yang dimanfaatkan dan dikembangkan dalam berbagai bidang teknologi khususnya sebagai alat bantu para penyandang disabilitas. Selain itu dalam bab ini juga dibahas tentang literatur dan teori yang dibutuhkan dalam proses pengembangan metode deteksi pergerakan bola mata seperti metode *Haar Cascade* untuk deteksi objek mata pada wajah, proses *tracking*, pendukung dalam pemrosesan citra, *preprocessing*, serta fase *filtering* citra.

BAB 3 Metodologi

Berisi tahapan penelitian yang meliputi review literatur, perancangan metode dan skenario pengujian, implementasi, analisis hasil pengujian, serta kesimpulan dan saran. Bab ini juga membahas gambaran umum metode pembagian area region mata untuk dapat digunakan sebagai media pengendali perangkat otomatis bagi penyandang disabilitas.

BAB 4 Perancangan

Berisi mengenai langkah kerja dalam mengimplementasikan metode pembagian region berbasis *Haar Cascade Classifier* dan *Kernelized Correlation Filtering tracker*, untuk mendeteksi pergerakan bola mata sebagai media kendali suatu perangkat otomatis.

BAB 5 Hasil dan Pembahasan

Berisi hasil implementasi dari perancangan pengujian dan pembahasan terhadap sistem yang telah direalisasikan serta hasil pengujian tersebut.

BAB 6 Penutup

Berisi kesimpulan dari hasil dan pembahasan pengujian yang didapatkan dari deteksi pergerakan bola mata sebagai media kendali perangkat otomatis serta potensi penelitian selanjutnya.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

BAB 2 LANDASAN KEPUSTAKAAN

Dalam bab ini, akan dibahas beberapa penelitian terkait yang menggunakan proses pendeteksian gerakan bola mata dengan metode-metode tertentu, yang digunakan sebagai media kontrol perangkat otomatis. Selain itu, bab ini juga membahas beberapa literatur dan teori yang dibutuhkan untuk menghasilkan pendeteksian gerakan mata secara optimal.

2.1 Populasi Disabilitas di Indonesia

Dikutip dari konvensi PBB tahun 2007, secara umum disabilitas dapat diartikan sebagai sebuah konsep yang menjelaskan hasil dari interaksi antara individu-individu yang mempunyai keterbatasan fisik atau mental/intelektual dengan sikap dan lingkungan yang menjadi penghambat kemampuan mereka berpartisipasi di masyarakat secara penuh atau bersama dengan orang-orang lainnya (Buletin Kemenkes RI, 2014). Penyandang disabilitas merupakan kelompok minoritas tertinggi di dunia. Di Indonesia jumlah total penyandang disabilitas di atas 10 tahun mencapai 44.763.760 juta jiwa (Katalog BPS, 2015). Penyandang disabilitas tersebut memiliki jenis ketebatasan dan kesulitan fungsional yang beragam dikarenakan kecacatan pada anggota tubuh mereka. Dalam melakukan aktivitas sehari hari, organ tangan dan kaki secara langsung menjadi bagian penting agar dapat melakukan kegiatan serta mobilitas secara mudah. Namun hal ini menjadi kesulitan tersendiri bagi penyandang disabilitas yang mengalami cacat tangan serta kaki. Kesulitan-kesulitan tersebut diantaranya kesulitan untuk berjalan atau naik tangga dan kesulitan menggunakan tangan/jari dengan jumlah yang cukup tinggi seperti yang ditampilkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Disabilitas dengan kesulitan fungsional tangan dan kaki

Jenis Disabilitas	Jumlah Total
Kesulitan berjalan atau naik tangga	
Sepenuhnya butuh bantuan orang lain	672.757
Memakai alat bantu dan bantuan orang	329.659
Memakai alat bantu	1.092.448
Tidak memakai alat bantu	5.713.513
Kesulitan menggunakan/menggerakkan tangan/jari	
Sama sekali tidak bisa	129.959
Banyak	526.048
Sedikit	2.062.283

Sumber: Badan Pusat Statistik (2015)

Perlu disadari bahwa pemenuhan hak-hak penyandang disabilitas masih jauh dari perhatian masyarakat maupun pemerintah. Mereka dianggap tidak memiliki peran dalam kegiatan kemasyarakatan ditambah lagi dengan kesulitan dalam mengurus diri sendiri. Sehingga dengan memberikan fasilitas, media serta

dukungan yang memadai bagi penyandang disabilitas, diharapkan mampu menghilangkan keterbatasan dan hambatan yang ada.

2.2 Penelitian Terkait

Terdapat beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dengan memanfaatkan bagian mata sebagai media kontrol atau penggerak sebuah perangkat otomatis di berbagai bidang. Dalam bab ini, akan dibahas beberapa penelitian terkait yang menggunakan proses pendeteksian mata dan gerakan bola mata dengan beberapa metode tertentu, yang digunakan sebagai media kontrol perangkat otomatis ataupun yang digunakan dalam penerapan lainnya.

1) Metode menggunakan *Electrooculography* (EOG) dan perhitungan jumlah piksel.

Penelitian yang dilakukan oleh Singh et al. (2015) membahas tentang pergerakan bola mata dengan mengintegrasikan metode EOG dan kamera sebagai interface untuk mendeteksi pergerakan bola mata. Metode EOG merupakan metode yang menggunakan elektroda dan diletakkan pada permukaan kulit sekitar mata. Elektroda diperkuat dan diproses menggunakan instrumen amplifier yang menghasilkan tegangan dan kemudian akan mengirimkan sinyal pada mikrokontroler untuk dapat menentukan pergerakan kursi roda. Pada awalnya, user harus melihat ke arah depan untuk mendapatkan nilai sinyal referensi, kemudian user dapat menggerakkan bola matanya dan menghasilkan sinyal untuk dibandingkan dengan sinyal referensi awal yang terdaftar di mikrokontroler pada saat inisialisasi program. Sementara untuk pendeteksian menggunakan sensor kamera, terdapat proses merubah image RGB pada mata menjadi image binary atau hitam putih. Proses pendeteksian pergerakan dilakukan dengan membagi area mata menjadi tiga sektor dan membandingkan jumlah piksel hitam dan putih yang ada pada tiap sektor. Apabila piksel hitam dan putih pada sektor tertentu mengalami perubahan, maka dapat dikatakan bahwa terjadi pergerakan bola mata ke kanan atau ke kiri dan perintah dalam menggerakkan kursi roda. Sementara untuk perintah berjalan dan berhenti, berdasarkan kedipan mata.

Pada penelitian ini, kedua pendekatan tersebut digabungkan pada satu gate mikrokontroler dengan kondisi apabila keputusan yang dihasilkan oleh kedua sensor tersebut identic, maka sinyal akan dikirimkan ke motor kursi roda. Namun apabila keputusan yang dihasilkan tidak sama, maka sistem akan melakukan set ulang kondisi awal baik pada metode sensor kamera maupun metode *Electrooculogram* (EOG). Kombinasi metode yang diterapkan cukup baik dalam meningkatkan akurasi pendeteksian bola mata dibandingkan apabila menerapkan tiap metode secara mandiri. Selain itu, metode EOG tidak dipengaruhi oleh sudut atau posisi menghadap pengguna. Namun pendekatan menggunakan metode EOG berbasis sensor pergerakan otot terkendala oleh beberapa noise seperti otot muka, otot pergerakan badan, pergerakan kepala, dan aktivitas berbicara. Dengan meletakkan elektroda di sekitar mata atau kepala ditambah dengan interface kamera yang diletakkan tepat di depan

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

mata dapat mengganggu kenyamanan pengguna dan cukup membutuhkan biaya lebih. Selain itu, perintah pergerakan hanya terbatas pada arah kiri dan kanan serta pendeteksian berdasarkan piksel memungkinkan nilai piksel yang sama pada tiap sektor dikarenakan citra piksel bola mata tidak terbentuk secara utuh dan memiliki ukuran berbeda pada tiap kondisi pencahayaan.

2) Metode berdasarkan posisi koordinat *x* dan *y*

Selain melalui pendekatan EOG dengan menggunakan elektroda, salah satu metode yang digunakan untuk mendeteksi gerakan mata adalah berdasarkan posisi koordinat iris bola mata (Utaminingrum 2016) sebagai media pengendali motor pintar. Pergerakan ke arah kanan atau kiri terdeteksi apabila posisi koordinat *x* berubah dari posisi awal sedangkan posisi koordinat *y* tetap. Apabila koordinat *y* berubah sementara posisi koordinat *x* tetap, maka terdeteksi sebagai pergerakan ke arah atas atau bawah. Pendekatan dengan metode posisi koordinat cukup cepat dan mudah, namun pendekatan ini memiliki tingkat sensitifitas yang cukup tinggi tanpa memberikan range pergerakan yang sesuai, sehingga sedikit perubahan posisi koordinat sudah dianggap sebagai pegerakan. Hal ini secara langsung dapat mempengaruhi akurasi pendeteksian pergerakan bola mata. Selain itu, proses deteksi region mata tidak diikuti oleh proses *tracking*, sehingga mempengaruhi proses kalibrasi yang akan berdampak pada kondisi atau referensi posisi awal. Dalam penelitian ini, arah pergerakan hanya terbatas pada 2 jenis pergerakan yaitu kanan dan kiri.

3) Deteksi pergerakan mata menggunakan metode Convolution Neural Network (CNN)

Metode ini menghasilkan deteksi pergerakan mata yang cukup detail dengan memperhatikan kondisi *saccade* (perubahan atau pergeseran pergerakan mata), dan *fixation* (titik awal posisi mata), serta dibandingkan dengan kondisi *ground truth* (Hoppe & Bulling 2016). Deteksi pergerakan mata didapatkan dengan memperhatikan perubahan komponen sinyal yang dihasilkan oleh pixel citra pergerakan mata. Fitur sinyal pergerakan mata diuraikan dalam bentuk lain menjadi komponen frekuensi menggunakan Fast Fourier Transform (FFT). Kemudian fitur tersebut akan dikenali menggunakan metode CNN untuk mengklasifikasikan jenis pergerakan bola mata.

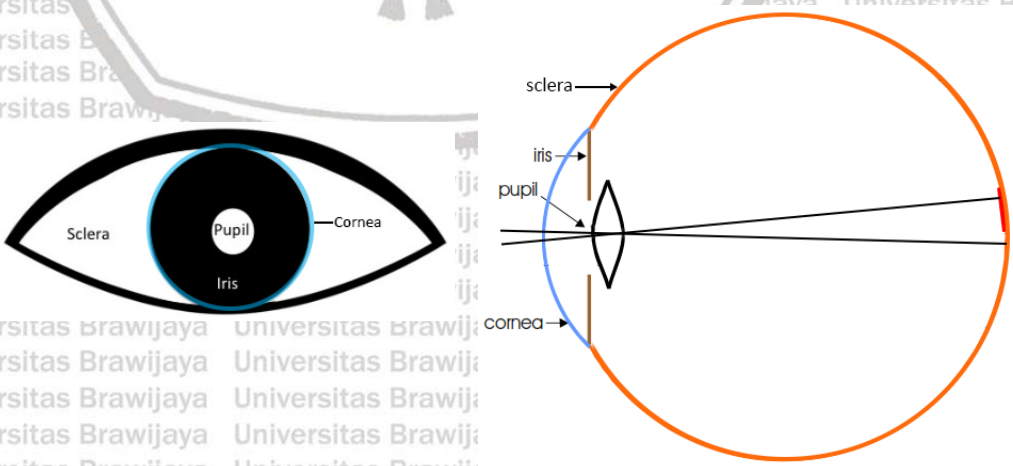
Pendekatan dengan menggunakan FFT dan CNN sebagai algoritma *deep learning* menghasilkan deteksi pergerakan yang cukup detail namun tentunya membutuhkan waktu yang relatif lama. Selain itu dalam penelitian ini metode tersebut belum diimplementasikan ke dalam sebuah sistem sehingga masih memungkinkan ketidakcocokan apabila dimanfaatkan dalam sebuah sistem secara *real time*.

4) Metode deteksi pergerakan berdasarkan titik tengah iris mata relatif terhadap titik sudut mata

Pendekatan lain untuk mendeteksi pergerakan bola mata yaitu dengan melihat *key point* atau titik utama dari area mata. Proses diawali dengan deteksi area mata kemudian menandai titik titik koordinat seluruh bagian mata termasuk posisi sudut mata menggunakan pendekatan edge detection. Sementara itu, deteksi bola mata dilakukan dengan menggunakan metode *Hough Circle*. Kemudian pergerakan mata akan terdeteksi apabila koordinat titik tengah mata/iris mata berubah terhadap posisi koordinat titik sudut mata. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Ghani et al. (2013), pergerakan mata digunakan sebagai kendali pergerakan pointer mouse. Namun sama seperti pendekatan koordinat *x* dan *y*, proses deteksi area mata tidak diikuti oleh proses *tracking*, sehingga berdampak pada kondisi penentuan koordinat iris mata dapat berubah dan relatif tidak stabil, hal ini juga menimbulkan sensitifitas pendeteksian pergerakan. Selain itu beberapa noise yang ada di sekitar mata dapat menimbulkan kesalahan penentuan titik koordinat sudut mata ataupun kesalahan deteksi bola mata yang dapat mempengaruhi koordinat iris mata.

2.3 Mata

Sebagai salah satu ciri wajah manusia yang paling menonjol, mata dan gerakan mereka memainkan peran penting dalam mengekspresikan keinginan, kebutuhan, proses kognitif seseorang, keadaan emosional, dan hubungan interpersonal (Underwood, 2005). Konstruksi mata manusia terdiri dari 4 bagian utama yang memiliki tugas masing-masing seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1, yaitu iris mata merupakan komponen yang mengatur *aperture* atau ukuran pupil sehingga dapat membatasi banyak sedikitnya cahaya yang masuk ke dalam mata. Kemudian terdapat lubang pada iris yang disebut pupil dengan ukuran yang bervariasi dalam merespon intensitas cahaya dan memfokuskan sebuah objek. Iris dan pupil ditutupi oleh kornea yang bening dan tembus pandang dan terletak paling luar pada mata. Selain itu terdapat *sclera* yang merupakan dinding bola mata (Sobotta, 2004).



Gambar 2.1 Anatomi mata secara sederhana
Sumber: Utaminingrum (2016), Drewes (2002)

Dalam penelitian ini difokuskan pada bagian pupil mata atau titik tengah bola mata untuk mendeteksi pergerakan bola mata, bukan pada area iris mata, Pemrosesan citra digital yang berorientasi pada kontur warna piksel yang dipengaruhi oleh kondisi pencahayaan dan parameter *threshold* nilai piksel, menghasilkan pupil mata atau dapat disebut sebagai titik tengah bola mata dengan ukuran yang tetap, sedangkan penggunaan area iris mata memungkinkan hasil hasil citra bola mata yang tidak sempurna/utuh. Sehingga proses deteksi pergerakan mata akan lebih maksimal apabila menggunakan pupil mata.

2.3.1 Teknologi Menggunakan Organ Mata

Selain sebagai indra penglihatan, mata adalah indra terbaik yang dimiliki oleh manusia yang dapat menggambarkan perspektif manusia secara visual (Rahayifeh, 2013). Bahkan saat ini telah banyak dikembangkan sebuah teknologi yang menginginkan agar komputer juga dapat melihat seperti layaknya manusia yang dapat melihat. Dalam dunia *science* dan teknologi, analisis gerakan mata bahkan dapat bermanfaat di berbagai bidang dari medis hingga human-interface. Salah satu aplikasi pemanfaatan mata dalam dunia ilmu komputer adalah *eye tracking*. Berdasarkan Duchowski (2010), hirarki area teknologi dan aplikasi yang memanfaatkan teknik pelacakan mata dapat dibedakan menjadi 2, yaitu :

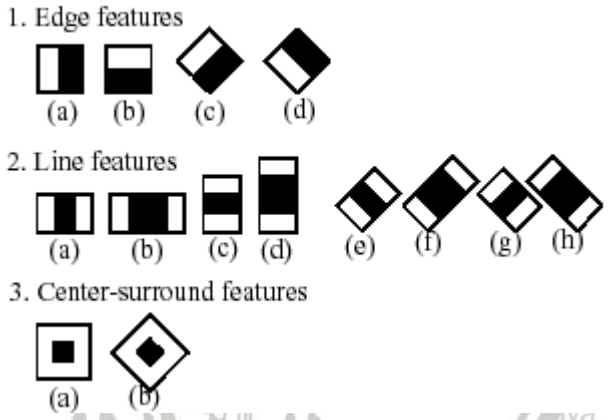
1. Deteksi dan pelacakan mata untuk teknologi yang bersifat interaktif dan *assistive*: sebagai media pengontrol kursi roda elektrik, sebagai media pengganti *chanel* televisi, sebagai media penggerak pointer mouse.
2. Deteksi dan pelacakan mata untuk teknologi yang bersifat diagnosis dan analisis: sebagai media analisis atensi pengguna (*user experience*), sebagai media analisis dalam dunia *e-commerce*, sebagai *car assistant driver* untuk mendeteksi kantuk pada pengendara mobil, sebagai media analisis dalam dunia kesehatan seperti deteksi vertigo.

2.4 Deteksi Area Mata

Proses deteksi pergerakan bola mata didahului oleh proses pendeteksian region area mata. Hal ini dilakukan dan dirasa perlu untuk mengurangi area citra negatif yang tidak berhubungan dengan deteksi pergerakan bola mata agar proses citra hanya terfokus pada area mata sehingga membutuhkan waktu yang lebih cepat dan mengurangi tingkat kesalahan dalam pendeteksian pergerakan mata. Untuk itu metode pendeteksian sebuah objek seperti mata telah banyak dikembangkan oleh para peneliti salah satunya adalah metode *Haar Cascade Classifier*. Metode ini memilki kehandalan dan tingkat akurasi yang tinggi dan telah banyak diterapkan pada beberapa penelitian. Sub-bab berikut membahas pendekatan dalam pemrosesan region area mata dengan algoritma *Haar Cascade* maupun pendeteksian area bola mata dengan proses segmentasi citra, serta metode lain yang mendukung penelitian ini.

2.4.1 Haar Cascade Classifier

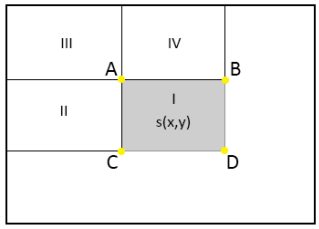
Metode *Haar Cascade* memiliki proses pengenalan sebuah objek yang handal dan akurasi yang cukup tinggi, dikarenakan metode tersebut menggabungkan proses supervised dan unsupervised learning (Viola & Jones, 2001). *Haar Cascade* memiliki dataset yang cukup besar baik itu data positif (objek yang ingin dikenali) maupun data negatif (objek lain yang tidak ingin dikenali) yang digunakan pada proses *training* sehingga dapat mengenali objek secara akurat. Beberapa penelitian telah menerapkan metode *Haar Cascade* untuk mendeteksi sebuah objek salah satunya yang dilakukan oleh Zhang et al. (2014), yang digunakan untuk mendeteksi objek pejalan kaki, dimana objek tersebut memiliki ciri fitur yang begitu kompleks. Selain itu, metode tersebut juga diterapkan sebagai sub proses untuk mengendalikan sebuah mouse pointer. Metode berbasis haar juga telah banyak dikembangkan guna mengoptimalkan proses pendeteksian seperti yang dilakukan oleh Gao et al. (2008) dan Utamingrum et al. (2016). Dalam proses pengenalan sebuah objek, algoritma *Haar Cascade* menggunakan template fitur haar dalam pengklasifikasian bertingkat (*cascade classifier*) dengan dimensi tertentu yang dijalankan di dalam sebuah sliding window berbentuk kotak pada seluruh bagian citra seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4(a).



Gambar 2.2 Macam-macam fitur *Haar*
Sumber: Lienhart et al. (2002)

Dalam perhitungan nilai fitur haar, digunakan teknik komputasi dengan representasi citra baru yang disebut Integral Image. Integral Image digunakan mengingat perhitungan fitur yang cukup banyak pada tiap piksel citra menyebabkan proses pendeteksian menjadi lambat sehingga dengan menggunakan integral image, perhitungan untuk memperoleh nilai fitur Haar dapat berjalan dengan waktu yang cepat. Dengan menggunakan perhitungan Integral Image, maka daerah yang diarsir yang ditunjukkan pada Gambar 2.3, dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.1, dimana nilai piksel citra *s(x,y)* diperoleh dengan menjumlahkan nilai piksel *s(D)* dengan nilai piksel ketetanggan *s(A)*, dikurangi dengan nilai piksel ketetanggan *s(B)* dan *s(C)*.

$$s(x,y) = s(D) + s(A) - s(B) - s(C) \quad (2.1)$$



Gambar 2.3 Ilustrasi area *integral image*

0	0	0	0	0	0
0	5	2	3	8	1
0	1	5	4	5	3
0	2	2	1	3	4
0	3	5	6	7	5
0	4	1	3	2	6

(a)

0	0	0	0	0	0
0	5	7	10	18	19
0	6	13	20	33	37
0	8	17	25	41	49
0	11	25	39	62	75
0	15	30	47	72	91

(b)

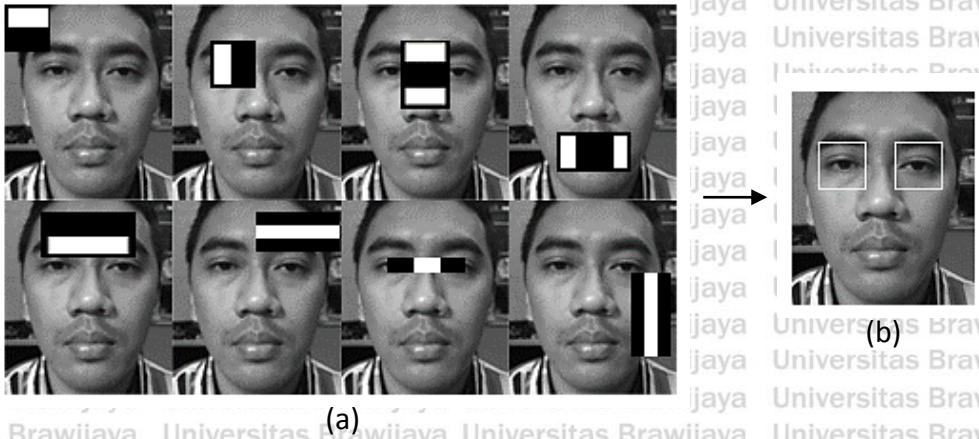
Gambar 2.4 *Summed Area Table* sebagai perhitungan *integral image*

Sebagai contoh pada gambar 2.4(a) merupakan nilai pixel dari sebuah citra asli dan gambar 2.4(b) merupakan nilai piksel dari integral image, ketika terdapat kotak fitur Haar hitam putih maka nilai fitur tersebut dapat diperoleh melalui Persamaan 2.2 dengan cara menghitung selisih antara jumlah nilai-nilai piksel gray level dalam daerah kotak hitam dan daerah kotak putih.

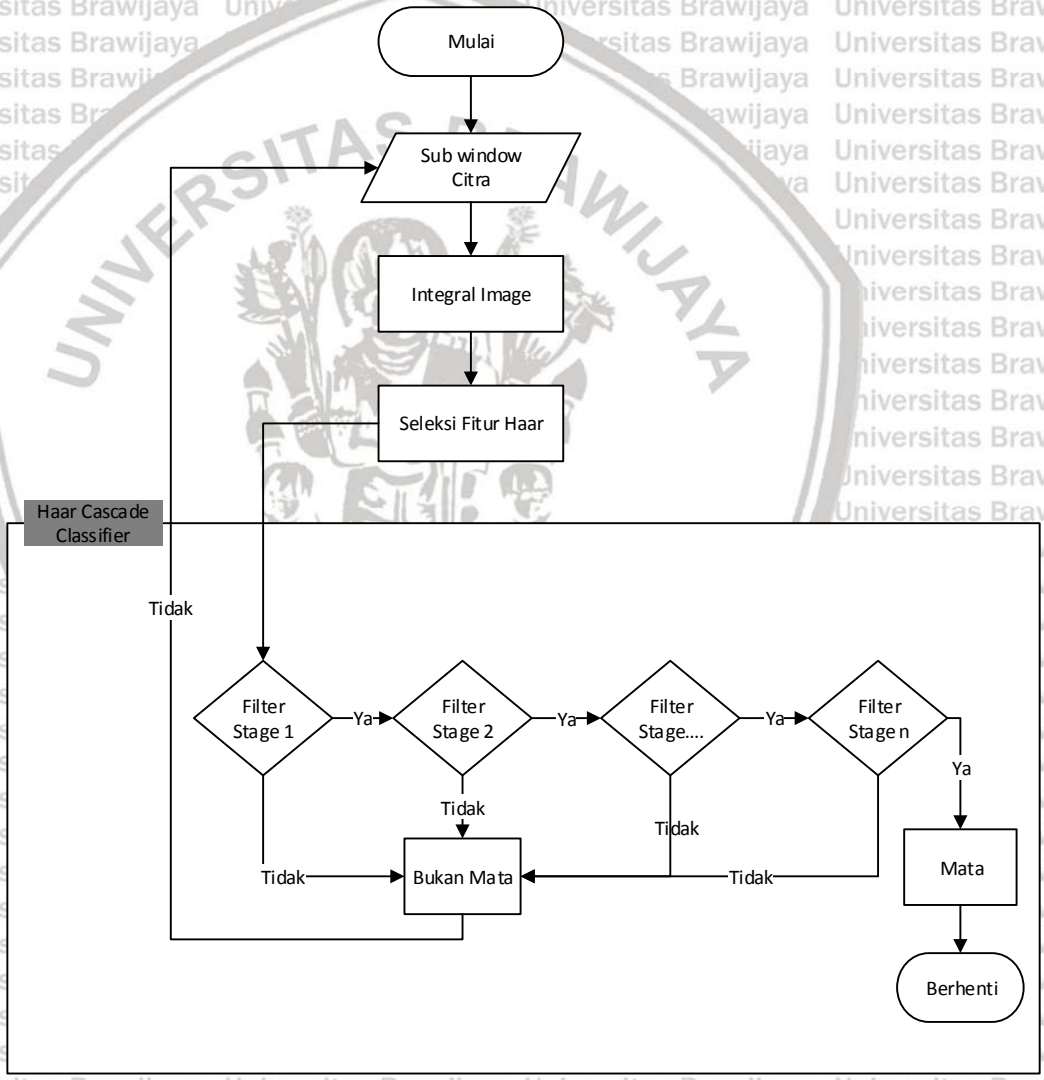
$$Nilai\ Fitur = \sum kotakhitam - \sum kotakputih \tag{2.2}$$

Sehingga nilai fitur Haar pada citra asli adalah |(3+8+4+5+1+3)-(5+2+1+5+2+2)| = 7, yang perhitungannya membutuhkan 12 kali proses perhitungan. Sementara itu, nilai fitur yang diperoleh pada *integral image* yaitu: |(41+0-0-17)-(17+0-0-0)| = 7, hanya membutuhkan 8 kali proses perhitungan.

Selanjutnya, dengan menerapkan tingkatan klasifikasi, apabila didalam kotak *sliding window* nilai fitur berada di bawah nilai ambang yang telah ditentukan, maka disimpulkan objek tidak dapat dikenali. Namun apabila nilai fitur Haar dalam kotak sliding window memenuhi kualifikasi nilai ambang yang telah ditentukan maka akan diteruskan pada tingkatan berikutnya hingga tingkatan yang terakhir sampai ditentukan bahwa terdapat objek yang dikenali dalam suatu inputan citra, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.5 (b) dalam mendeteksi objek mata. Sebelumnya, citra yang akan diproses menggunakan metode *Haar Cascade* telah diubah menjadi citra *grayscale*. Diagram alir pada Gambar 2.6 akan mempermudah penjelasan tentang proses deteksi objek menggunakan metode *Haar Cascade Classifier*.



Gambar 2.5 Ilustrasi deteksi region mata menggunakan *Haar Cascade*



Gambar 2.6 Diagram alir *Haar Cascade Classifier*

Penggunaan metode *Haar Cascade* dalam proses deteksi mata secara *real time* memiliki kekurangan yaitu *bounding box* area mata yang terdeteksi relatif tidak stabil dan berubah ubah. Hal ini dikarenakan deteksi area mata dilakukan secara

berulang dalam setiap urutan *frame*, sehingga diperlukan proses *tracking* agar kotak region yang dihasilkan menjadi stabil.

2.4.2 *Tracking* Objek

Proses *tracking* merupakan proses mendeteksi posisi objek yang bergerak dalam suatu urutan frame. Dalam sistem yang berjalan secara *real time*, proses *tracking* menjadi elemen penting karena dapat mengambil properti penting dari objek bergerak di dalam video, mengabaikan noise, dan objek bergerak lain yang tidak diperlukan (Smeulders 2014). Pemanfaatan *tracking* objek saat ini merupakan sebuah teknologi yang penting bagi sejumlah aplikasi yang bisa menguntungkan dalam penerapannya, seperti *traffic monitoring*, *automated surveillance*, *sistem navigasi*, dan berbagai aplikasi lainnya. Pemrosesan citra digital pada sebuah video sama seperti pemrosesan citra pada sebuah gambar dengan berbagai macam metode image processing, karena pada dasarnya video terdiri atas beberapa gambar yang saling berganti atau biasa disebut frame. Secara sederhana proses *tracking* objek dapat dilakukan dengan melakukan subtraksi terhadap gambar saat ini dengan gambar sebelumnya. Kemudian hasil substraksi akan dianalisis untuk menemukan pergerakan objek (Piccardi 2004).

2.4.2.1 *Kernelized Correlation Filter* (KCF)

Metode *tracking* KCF yang di tawarkan oleh Henriques et al. (2014), menjadi standart tolak ukur dalam pelacakan visual dan menempati peringkat ketiga dalam kompetisi *Visual Object Tracking* (VOT) 2014. KCF merupakan metode *tracking* yang mengembangkan metode *tracking Multi Instance Learning* (MIL). MIL merupakan metode *tracking* yang memiliki konsep *supervised learning* (Dietterich, 1997). Namun tidak seperti standart supervised learning biasanya, dalam MIL yang diberi label adalah cukup sekelompok sampel atau instance (yang disebut juga *bag*), dan bukanlah memberikan label pada setiap instance (Babenko, 2009). Dalam metode MIL sekelompok sampel diberikan sebagai label sampel positif apabila paling tidak salah satu point dalam bag berada pada bagian *target box*. Dan jika *instance* berada di luar target *box* maka dianggap sebagai label negatif. Kemudian satu set kumpulan instance positif akan mengalami proses *training* melalu *classifier* untuk menentukan objek yang diinginkan.

KCF memecahkan masalah pelacakan dengan pendekatan *regresi* linier sederhana dan regresi non-linear melalui data pelatihan dalam bentuk filter ganda, yang memungkinkan penggunaan fitur multi-dimensi seperti Histogram Gradient (HOG) dan kernel nonlinier seperti Gaussian Filter. Sama seperti pelacak berbasis deteksi lainnya, KCF dapat dilatih menggunakan satu set variasi template pelatihan dengan memanfaatkan pemodelan *cyclic shift*. Kemudian untuk meningkatkan kecepatan pemrosesan dari berbagai variasi template, KCF memanfaatkan sifat matrik sirkular. Metode pelacak ini dirancang dengan menggunakan fakta bahwa beberapa sampel positif yang digunakan pada pelacak MIL memiliki daerah overlapping yang terlalu besar sehingga diperbaiki oleh metode KCF (Henrique, 2012).

2.5 Pengolahan Citra Digital

Pengolahan citra digital merupakan sebuah disiplin ilmu yang mempelajari tentang teknik-teknik mengolah citra secara digital yang dipresentasikan secara numeric dengan tujuan memperbaiki kualitas citra, dan mengekstrasi informasi ciri atau fitur pada sebuah citra (McAndrew, 2004)

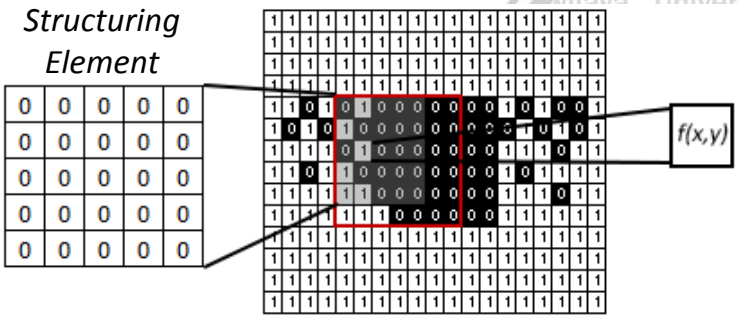
2.5.1 Morfologi

Dalam pengolahan citra digital, proses morfologi menjadi proses yang dibutuhkan untuk menganalisis dan mengidentifikasi bentuk dalam citra dengan cara memperbaiki objek hasil segmentasi, sehingga fitur-fitur citra yang dihasilkan menjadi lebih jelas (Yuille, 1992). Proses morfologi sering diterapkan pada citra biner. Dalam morfologi terdapat dua operasi fundamental yaitu closing dan opening. Closing merupakan proses dilasi suatu citra *f(x,y)* yang dilanjutkan dengan proses erosi berdasarkan *Structuring Element* (SE) yang digunakan atau dapat disebut sebagai *mask*, yang ditunjukkan pada Persamaan 2.3, dimana hasilnya berfungsi menutup lubang-lubang kecil pada sebuah objek, menggabungkan objek tersebut, dan membuat batasan objek tersebut menjadi lebih halus tanpa merubah area objek dari kondisi awalnya secara signifikan (Gonzales, 2008).

Sementara opening merupakan kebalikan dari proses closing yaitu proses erosi citra *f(x,y)* yang dilanjutkan dengan proses dilasi berdasarkan *Structuring Element* (SE) yang digunakan atau dapat disebut sebagai *mask*, yang dapat dilihat pada Persamaan 2.4, dimana hasilnya menghilangkan objek-objek kecil, memecah objek yang berdekatan, membuat batasan objek tersebut menjadi lebih halus tanpa merubah area objek dari kondisi awalnya secara signifikan. Keduanya memiliki peran dalam menghilangkan noise dalam pengolahan citra digital.

$$f(x,y) \bullet \mathrm{SE} = (f(\mathrm{x,y}) \oplus SE) \ominus SE \qquad (2.3)$$

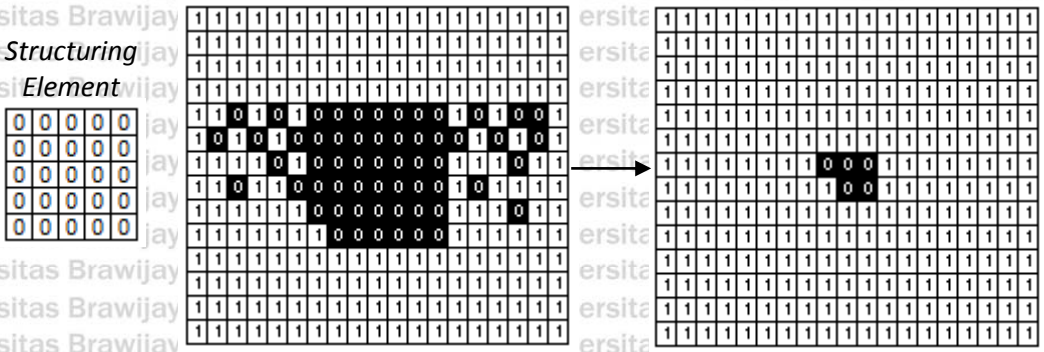
$$f(x,y) \circ \mathrm{SE} = (f(\mathrm{x,y}) \ominus SE) \oplus SE \qquad (2.4)$$



Gambar 2.7 Morfologi citra melalui proses *opening*

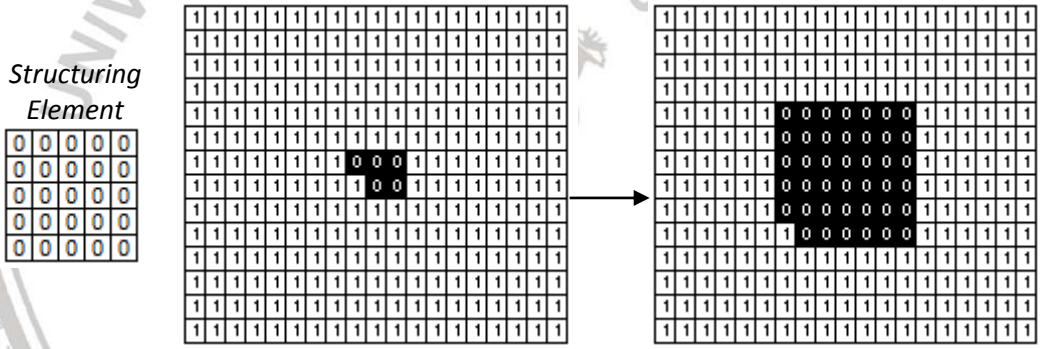
Untuk setiap nilai piksel citra hasil erosi *f(x,y)* diperoleh dengan memparsing *Structuring Element* (SE) pada setiap bagian elemen citra mata *g(x,y)*. Proses parsing erosi dilakukan melalui operasi fit. Dalam operasi Fit, apabila semua nilai pada tiap *Structuring Element* (SE) sesuai dengan setiap nilai pada citra *g(x,y)* maka

f(x,y) akan bernilai 0, selain itu maka akan bernilai 1 seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.8



Gambar 2.8 Ilustrasi proses erosi pada citra bola mata

Sebaliknya, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.9, untuk setiap nilai piksel citra hasil dilasi *f(x,y)* diperoleh dengan memparsing *Structuring Element* (SE) pada setiap bagian elemen citra mata *g(x,y)*. Proses parsing dilasi dilakukan melalui operasi Hit. Dalam operasi Hit, apabila salah satu nilai pada tiap *Structuring Element* (SE) sesuai dengan nilai pada citra *g(x,y)* maka *f(x,y)* akan bernilai 0, selain itu maka akan bernilai 1.



Gambar 2.9 Ilustrasi proses dilasi pada citra bola mata

Dalam proses deteksi area bola mata, citra mata mengalami proses segmentasi dan diubah menjadi citra biner sehingga hanya tersisa citra bola mata yang menjadi objek utama. Selanjutnya digunakan proses opening untuk memperjelas objek lingkaran bola mata dan menghilangkan noise yang ada di sekitar citra bola mata.

Gambar 2.10 Proses *filtering* citra mata diawali dengan (a) merubah menjadi citra biner, kemudian dilanjutkan dengan (b) proses *opening*

2.6 Konversi Citra Berwarna

Dalam pemrosesan citra digital, proses awal yang sering dilakukan adalah merubah citra berwarna atau citra *Red*, *Green*, *Blue* (RGB) menjadi citra yang memiliki derajat keabuan atau disebut citra grayscale. Dalam proses deteksi mata, metode *Haar Cascade* juga menggunakan citra grayscale. Representasi nilai grayscale dari nilai RGB pada suatu citra, dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.5.

$$\text{Grayscale} = (0.2989 \text{ x } R) + (0.5870 \text{ x } G) + (0.1140 \text{ x } B) \quad (2.5)$$

2.7 Resize

Resize merupakan proses merubah ukuran citra digital melalui sebuah operasi geometri yang memberikan pengaruh untuk memperbesar (*zoom-in*) atau memperkecil (*zoom-out*) ukuran citra input berupa *width* dan *height* sesuai dengan nilai variabel penskalaan yang ditentukan. Seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.11, citra mata mengalami proses *resizing* dari citra awal berukuran 400 x 200 piksel diperkecil menjadi citra berukuran 200 x 100 piksel. Persamaan yang digunakan dalam proses resize adalah :

$$w' = SW * w \quad (2.6)$$

$$h' = SH * h \quad (2.7)$$

Keterangan :

SW = faktor skala lebar

SH = faktor skala tinggi

w = lebar awal

h = tinggi awal

w' = lebar hasil skala

h' = tinggi hasil skala

400 x 200 piksel (a) 200 x 100 piksel (b)

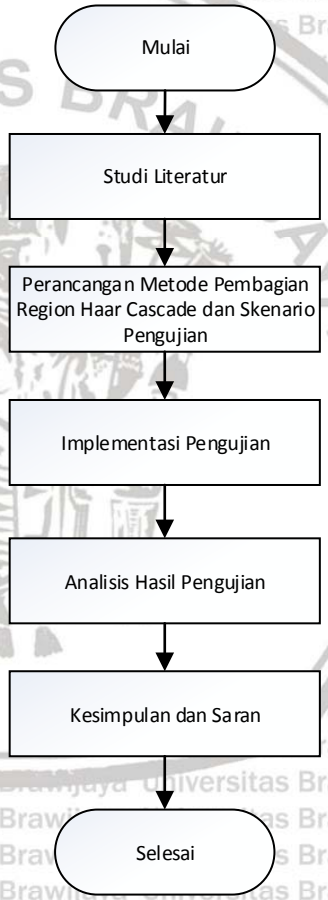
Gambar 2.11 (a) Citra awal dan (b) Citra hasil proses *resize*

BAB 3 METODOLOGI

Bab ini membahas tahapan penelitian terkait penyelesaian yang akan digunakan dalam deteksi pergerakan bola mata dengan memafaatkan metode Haar berbasis region. Bab ini tersusun dari gambaran umum tahapan penelitian yang akan dilakukan meliputi studi literatur sebagai dasar teori, data yang akan digunakan, dilanjutkan dengan perancangan metode yang akan dikembangkan, pengujian dan analisis hasil, serta pengambilan kesimpulan dan saran.

3.1 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian ini disusun agar proses penelitian dapat dilakukan secara sistematis dan terencana. Langkah-langkah yang akan dilakukan dalam penelitian ini dapat diilustrasikan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram alir tahap penelitian

3.1.1 Data Penelitian

Data penelitian yang digunakan terdiri dari data latih dan data uji. Data yang diolah dalam penelitian ini antara lain :

1. Dataset gambar wajah dan mata berupa data xml diperoleh dari library opencv yang merupakan data hasil *training* deteksi wajah dan mata, yang akan digunakan untuk mendeteksi region objek wajah dan mata pengguna.
2. Data uji pengguna diperoleh dengan melibatkan pengguna laki-laki dan perempuan dengan karakteristik mata sipit dan mata lebar berjumlah 20 orang.

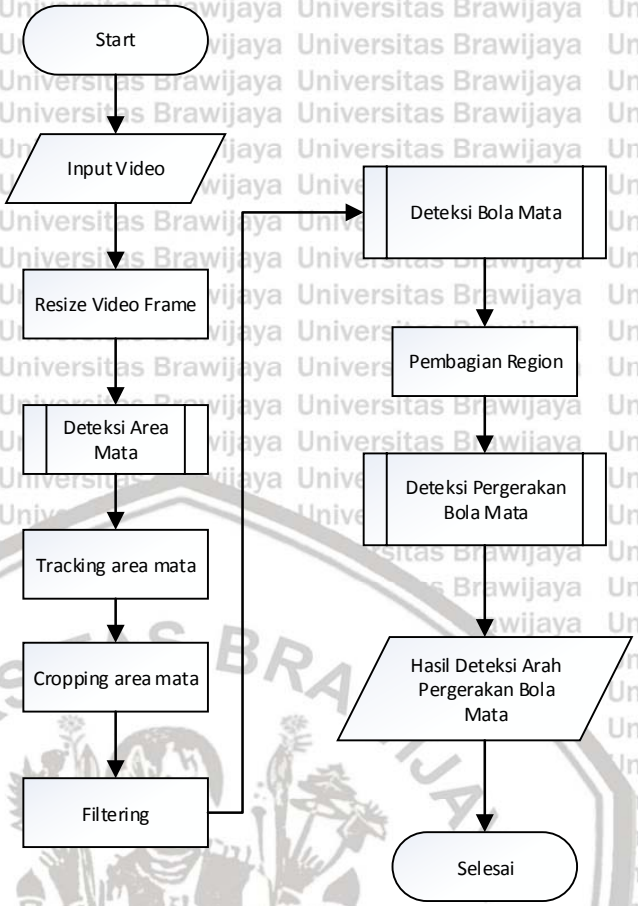
3.1.2 Studi Literatur

Tahapan penelitian dimulai dengan studi literatur terhadap berbagai referensi dari sumber-sumber seperti jurnal ilmiah nasional maupun internasional, artikel internet, ataupun buku, sebagai dasar teori yang dapat menunjang penelitian tesis ini. Adapun berdasarkan studi literatur yang telah digali, penelitian disusun berdasarkan:

- Metode pendeteksian area mata dengan *Haar Cascade Classifier*.
- Metode *Object Tracking* dengan metode *Kernelized Correlation Filtering*.
- Metode atau pendekatan lain yang mendukung dalam deteksi pergerakan bola mata.

3.1.3 Perancangan

Setelah melakukan literatur *review*, selanjutnya akan dilakukan perancangan terhadap metode deteksi pergerakan bola mata yang akan dikembangkan dengan beberapa tahapan proses. Selain itu, untuk melihat keefektifan metode tersebut, skenario pengujian perlu didefinisikan. Rancangan proses dari alur metode dapat dilihat pada Gambar 3.2

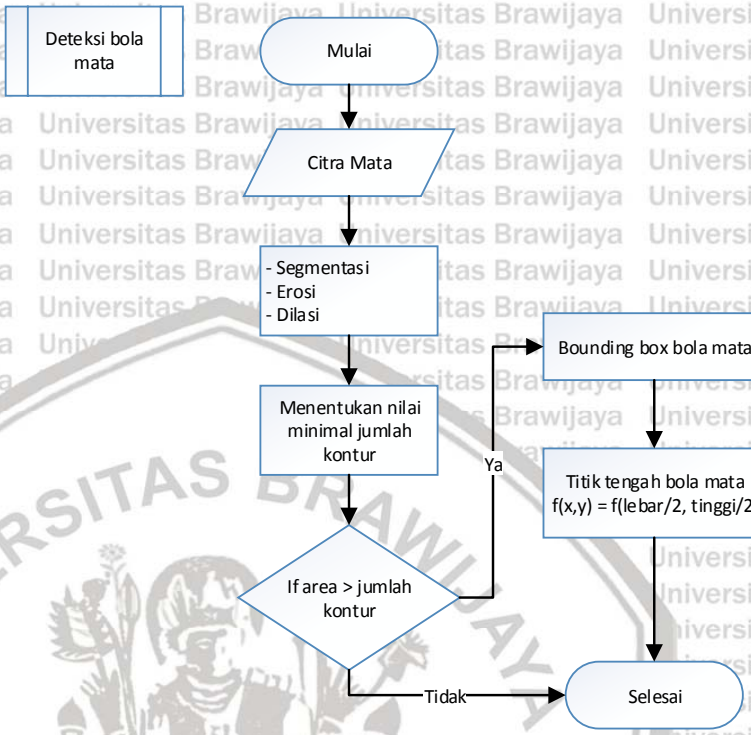


Gambar 3.2 Perancangan proses metode

Secara umum, proses deteksi pergerakan bola mata terdiri dari beberapa proses bagian utama yaitu :

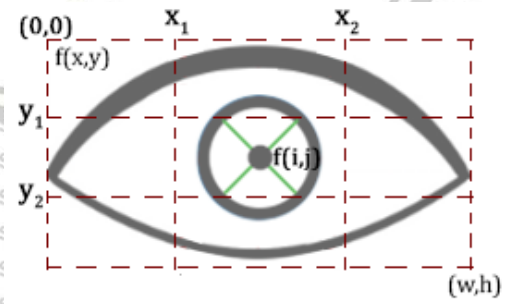
1. Proses deteksi pergerakan bola mata diawali dengan inisialisasi wajah pengguna secara *real time* yang ditangkap oleh kamera, kemudian untuk menghasilkan ukuran frame yang sama pada tiap pengguna, dilakukan resize pada ukuran frame.
2. Deteksi area mata, merupakan proses yang dilakukan untuk memperoleh region mata dengan tujuan mendapatkan fokus area utama dalam mendeteksi pergerakan bola mata. Area region yang telah diperoleh menggunakan metode *Haar Cascade Classifier* akan digunakan dalam metode pembagian region secara vertikal dan horizontal.
3. Tracking region mata. Proses *tracking* dilakukan menggunakan metode KCF untuk menghasilkan region mata yang lebih stabil. Hal ini dapat terjadi dikarenakan proses deteksi hanya dilakukan sekali pada tiap urutan frame. Setelah mendapatkan region mata, akan dilakukan proses cropping untuk memisahkan area mata dengan area lainnya dan dilanjutkan dengan beberapa proses filtering.
4. Deteksi bola mata dilakukan setelah mengalami proses perubahan citra grayscale menjadi citra biner. Kemudian dengan menggunakan

perhitungan kontur pixel warna hitam, akan terdeteksi area bola mata dan menentukan titik tengah bola mata yang diperoleh dari setengah lebar dan tinggi dari area bola mata. Diagram alir pada proses deteksi bola mata dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Diagram Alir proses deteksi bola mata

5. Deteksi pergerakan bola mata, merupakan proses untuk mengetahui arah pergerakan bola mata yang akan digunakan sebagai media pengendali suatu perangkat otomatis. Dalam proses ini penentuan arah pergerakan mata didapatkan dari hasil pengecekan posisi titik tengah bola mata pada tiap bagian region yang telah dimodelkan sebelumnya seperti yang diilustrasikan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Ilustrasi pembagian area region mata

Pergerakan bola mata terdeteksi ke arah kanan apabila posisi titik tengah bola mata *f(i,j)* berada pada wilayah dengan kondisi diantara 0 hingga x_1, lebih dari y_1 dan kurang dari y_2. Kemudian pergerakan terdeteksi ke arah kiri apabila posisi titik tengah bola mata berada pada wilayah dengan

kondisi lebih dari x_2 hingga lebar area mata (w), lebih dari y_1 dan kurang dari y_2. Pergerakan terdeteksi ke arah atas apabila posisi titik tengah bola mata berada pada wilayah dengan kondisi lebih dari x_1, kurang dari x_2 dan lebih dari 0, kurang dari y_1. Pergerakan terdeteksi ke arah bawah apabila posisi titik tengah bola mata berada pada wilayah dengan kondisi lebih dari x_1, kurang dari x_2 dan lebih dari y_2 hingga tinggi area mata (h). Sementara menghadap ke depan apabila titik tengah bola mata berada pada wilayah dengan kondisi lebih dari x_1, kurang dari x_2 dan lebih dari y_1, kurang dari y_2. Kondisi tiap arah pergerakan bola mata secara sederhana dapat dilihat pada Persamaan 3.1 sampai dengan Persamaaan 3.5.

$$Posisi\ Kanan\ (i,j) = \begin{cases} i > 0\ and\ i < x_1 \\ j > y_1\ and\ j < y_2 \end{cases} \tag{3.1}$$

$$Posisi\ Kiri\ (i,j) = \begin{cases} i > x_2\ and\ i < w \\ j > y_1\ and\ j < y_2 \end{cases} \tag{3.2}$$

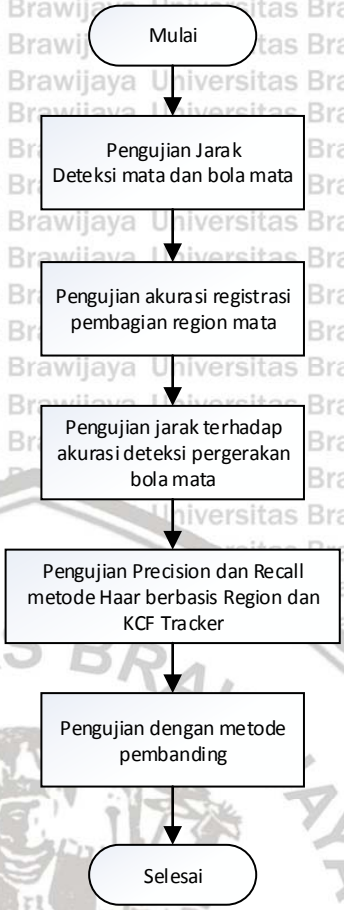
$$Posisi\ Atas\ (i,j) = \begin{cases} i > x_1\ and\ i < x_2 \\ j > 0\ and\ j < y_1 \end{cases} \tag{3.3}$$

$$Posisi\ Bawah\ (i,j) = \begin{cases} i > x_1\ and\ i < x_2 \\ j > y_2\ and\ j < h \end{cases} \tag{3.4}$$

$$Posisi\ Depan\ (i,j) = \begin{cases} i > x_1\ and\ i < x_2 \\ j > y_1\ and\ j < y_2 \end{cases} \tag{3.5}$$

3.1.4 Skenario Pengujian

Pengujian dirancang untuk mengukur tingkat kehandalan deteksi pergerakan bola mata dengan mengimplementasikan metode pembagian region mata secara vertikal dan horizontal beserta parameter dan spesifikasi yang telah ditetapkan. Pengujian yang akan dilakukan dapat dilihat lebih rinci pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Skenario pengujian

1. Pengujian jarak optimal dalam mendeteksi area mata dan bola mata. Pengujian diawali pada jarak 30 cm yang merupakan jarak baca normal atau jarak ideal ketika mata melihat sebuah objek. Proses deteksi area mata diikuti deteksi bola mata pada jarak tertentu berdasarkan nilai *threshold* yang telah ditentukan, akan mempengaruhi hasil deteksi area mata dan keutuhan bentuk bola mata yang terdeteksi. Pada jarak tertentu, area mata tidak dapat terdeteksi, dan pada jarak tertentu pula, bola mata dapat terbentuk dan terdeteksi dengan sempurna atau tidak. Penentuan jarak optimal diperoleh dengan ketentuan bahwa disekitar daerah bola mata, tidak terdapat atau sedikit terdapat noise sehingga citra bola mata dapat terbentuk mendekati utuh (Kimori 2013), berdasarkan nilai *threshold* piksel warna hitam yang telah ditentukan.
2. Pengujian akurasi registrasi pembagian region mata. Pengujian akurasi dalam proses registrasi pembagian region area mata dilakukan untuk mengetahui keberhasilan proses registrasi pembagian region haar berdasarkan akurasi tiap arah deteksi pergerakan bola mata dan kondisi awal posisi bola mata ketika menghadap ke depan. Proses registrasi dilakukan pada tiap data uji dengan jarak yang sama, kemudian pembagian region yang dihasilkan juga akan diuji dengan data uji yang sama. Dengan parameter pembagian region yang telah dilakukan kemudian akan

diketahui apakah metode registrasi dapat mendeteksi arah awal referensi mata yaitu depan, kemudian dilanjutkan dengan arah pergerakan bola mata yang lain yaitu kanan, kiri, atas, dan bawah.

Tabel 3.1 Pengujian registrasi metode *Haar* berbasis region

Registrasi Data uji	Depan	Kanan	Kiri	Atas	Bawah
1					
2					
3					
4					
5					
.					
.					
Data uji ke - n					

3. Skenario pengujian selanjutnya yaitu untuk mengetahui pengaruh jarak pengguna dengan sensor kamera yang berada di depannya terhadap hasil akurasi deteksi pergerakan bola mata dimana pembagian kotak region haar telah mengalami registrasi terlebih dahulu dan dimodelkan agar bentuk pembagian region menjadi adaptif.

Tabel 3.2 Pengujian akurasi terhadap jarak

Data uji	Jarak (cm)	Arah Pergerakan			
		Kanan	Kiri	Atas	Bawah
1	.				
2	.				
.	.				
.	.				
Data uji ke-n	.				

4. Skenario pengujian selanjutnya yaitu pengujian untuk mengetahui tingkat akurasi deteksi pergerakan bola mata secara *real time* yang dihasilkan oleh metode Haar berbasis region dan KCF *tracker* melalui pendekatan multiclass classification berupa perhitungan *precision rate* dan *recall rate*. Pengujian ini didahului oleh proses registrasi pembagion region dan parameter jarak terbaik pada deteksi area mata dan bola mata yang telah diperoleh sebelumnya).

Penjelasan lengkap mengenai perhitungan *precision* dan *recall rate* dapat dijelaskan sebagai berikut :

Perhitungan *precision* dan *recall* pada proses deteksi pergerakan bola mata dilakukan pada setiap arah pergerakan dengan menggunakan fungsi multiclass classification mengingat jumlah kelas yang dihasilkan lebih dari 2 tipe dan bervariasi (Asch, 2013). Perhitungan *precision rate* dihitung menggunakan Persamaan 3.6, sedangkan perhitungan *recall rate* dihitung menggunakan Persamaan 3.7.

$$\%\,precision = \frac{\mathrm{TP}}{\mathrm{TP+FP}} \mathrm{x}\ 100\% \tag{3.6}$$

$$\%\,recall = \frac{\mathrm{TP}}{\mathrm{TP+FN}} \mathrm{x}\ 100\% \tag{3.7}$$

Keterangan :

TP : *True Positive* bernilai 1, jika *actual class* bernilai benar dan *predicted class* bernilai benar

FP : *False Positive* bernilai 1, jika *actual class* bernilai benar dan *predicted class* bernilai salah, dan melibatkan seluruh tipe kelas data.

FN : *False Negative* bernilai 1, jika *actual class* bernilai benar dan *predicted class* bernilai salah, dan melibatkan satu tipe kelas data.

TN : total data yang tidak terjadi pada kelas data *multiclass* label.

Dimana penjelasan mengenai TP, TN, FP dan FN dapat diilustrasikan pada Tabel 3.1 sebagai berikut :

Tabel 3.3 Pengujian *multiclass classification* pada matriks konvolusi

Actual Class	Depan	**TP**	FP/FN	FP/FN	FP/FN	FP/FN	FP/FN
	Kanan	FP/FN	**TP**	FP/FN	FP/FN	FP/FN	FP/FN
	Kiri	FP/FN	FP/FN	**TP**	FP/FN	FP/FN	FP/FN
	Atas	FP/FN	FP/FN	FP/FN	**TP**	FP/FN	FP/FN
	Bawah	FP/FN	FP/FN	FP/FN	FP/FN	**TP**	FP/FN
		Depan	Kanan	Kiri	Atas	Bawah	Tidak Terdeteksi
				Predicted Class			

5. Pengujian dengan metode pembanding. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah deteksi pergerakan bola mata secara *real time* menggunakan metode pembagian haar region memiliki akurasi yang lebih baik serta untuk mengetahui waktu komputasi tiap arah pergerakan bola mata dibandingkan dengan metode sebelumnya seperti metode berbasis

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

besar nilai sudut, metode perhitungan piksel tiap sektor region, dan metode perubahan posisi koordinat *x* dan *y*. Proses komparasi metode dilakukan dengan mengukur tingkat *accuration rate* dengan menggunakan Persamaan 3.8.

Selain pengujian akurasi dan waktu komputasi dari tiap metode pembanding, proses komparasi metode juga dirancang sesusai dengan metode yang dibandingkan. Sebagai contoh pada komparasi metode berbasis koordinat, arah pergerakan yang dibandingkan yaitu arah pergerakan ke kanan dan ke kiri sesuai dengan metode berbasis koordinat yang telah dikembangkan oleh peneliti terdahulu. Selain itu, permasalahan sensitifitas metode berbasis koordinat akan dibandingkan dengan metode yang diusulkan. Pada perbandingan metode berbasis piksel, arah pergerakan yang digunakan juga melibatkan pergerakan ke kanan dan ke kiri. Sedangkan perbandingan dengan metode berbasis nilai sudut melibatkan 4 arah pergerakan yaitu kanan, kiri, atas, dan bawah.

$$\%\ accuracy = \frac{\text{TP}}{\text{Total Data}} \text{x } 100\% \tag{3.8}$$

3.1.5 Analisis Hasil Pengujian

Hasil pengujian terhadap parameter jarak pada tahap proses deteksi area mata dan bola mata akan dianalisis untuk mengetahui pengaruh jarak terhadap akurasi pendeteksian area mata dan bola mata, serta untuk mengetahui jarak optimal yang dapat digunakan. Selanjutnya akan dilakukan analisis terhadap akurasi proses registrasi pembagian region area mata apakah mampu mendeteksi pergerakan bola mata secara akurat dari tiap arah pergerakan. Setelah pembagian range region melalu proses registrasi telah ditentukan dan dirancang secara adaptif, kemudian parameter jarak pada tahap deteksi pergerakan bola mata juga akan dianalisis untuk mengetahui pengaruh jarak terhadap akurasi deteksi pergerakan bola. Selain itu seberapa efektif tingkat keberhasilan metode deteksi pergerakan bola mata menggunakan pembagian region *Haar Cascade* akan dianalisis dan dibandingkan dengan metode pendekatan berbasis koordinat, berbasis jumlah piksel dan metode berbasis besar nilai sudut.

3.1.6 Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan akhir dari penelitian yang dilakukan akan diambil setelah semua tahapan perancangan dan pengujian dari sistem telah selesai dilakukan secara keseluruhan. Pengambilan kesimpulan didasarkan pada analisis yang dilakukan terhadap data hasil penelitian dan teori-teori yang mendasari penelitian ini. Kesimpulan didapatkan dengan mencari kesesuaian antara teori dan praktek. Kesimpulan merupakan informasi akhir dari perancangan penelitian yang berisi mengenai berhasil atau tidaknya penelitian tersebut dijalankan.

Tahap terakhir dari penulisan adalah saran yang dimaksudkan untuk memperbaiki kesalahan-kesalahan yang terjadi selama penelitian serta untuk menyempurnakan tulisan.

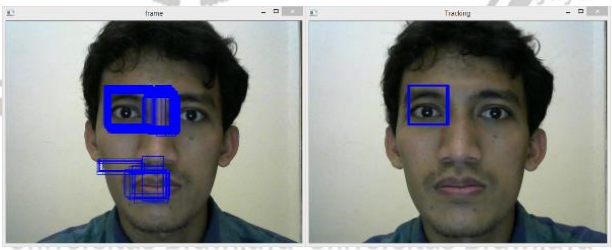
BAB 4 PERANCANGAN

Bab ini membahas secara rinci mengenai perancangan metode dalam melakukan deteksi pergerakan bola mata dengan menggunakan metode *Haar Cascade* berbasis region dan metode KCF *tracker*. Sesuai dengan pendekatan yang kami usulkan, metode deteksi pergerakan bola mata terdiri dari beberapa tahap yang akan dirancang lebih terperinci sebelum masuk pada proses utama dalam mendeteksi arah pergerakan bola mata yaitu, proses deteksi dan menstabilkan region area mata, deteksi area bola mata beserta penentuan titik tengah bola mata, penentuan model pembagian kotak region mata, dan proses deteksi pergerakan bola mata. Selain itu untuk mengetahui keakuratan metode yang diajukan melalui pembagian region berbasis *Haar Cascade*, skenario pengujian dirancang lebih rinci.

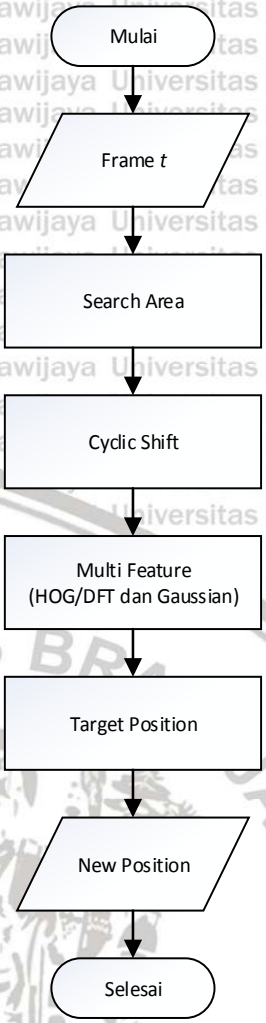
4.1 KCF *Tracker*

Proses *tracking* dilakukan agar kotak region mata yang diperoleh melalui metode *Haar Cascade* relatif tidak mengalami perubahan posisi dan ukuran sehingga menjadi lebih stabil sesuai dengan pendekatan yang diajukan. Metode KCF *tracker* dipilih karena memiliki kemampuan dalam aspek *motion change* dan *region noise*.

Berdasarkan pendekatan metode yang diusulkan dimana membutuhkan kotak region pada area mata secara *real time*, maka kotak region yang dihasilkan harus memiliki kestabilan terhadap perubahan pergerakan agar deteksi pergerakan bola mata menjadi lebih akurat. Pada ilustrasi Gambar 4.1, dapat dilihat bahwa dengan memanfaatkan metode KCF *tracker*, maka distribusi kotak region akan lebih fokus dan tidak menyebar seperti proses deteksi tanpa diikuti dengan proses *tracking*. Secara umum, diagram alir *tracking* objek pada metode KCF dapat dijabarkan pada Gambar 4.2.



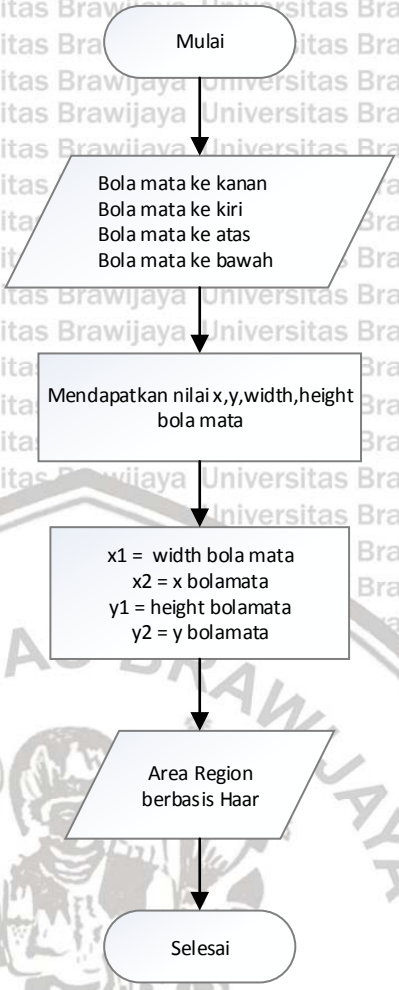
Gambar 4.1 (a) Kotak region mata tidak stabil dan tersebar ke bagian lain (b) Kotak region mata menjadi fokus



Gambar 4.2 Diagram alir proses *tracking* metode KCF

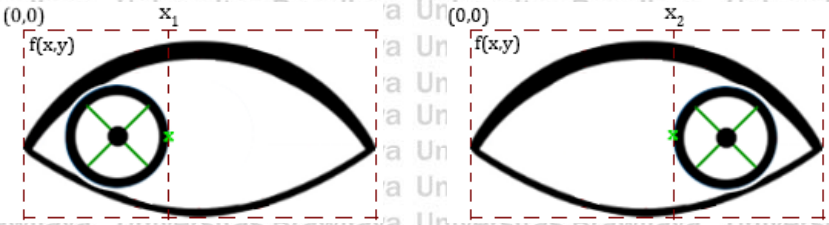
4.2 Pemodelan Region *Haar Cascade*

Sebelum mendeteksi pergerakan bola mata maka perlu dirancang suatu tahapan mengenai metode yang diusulkan yaitu melalui pembagian region haar yang ditampilkan pada diagram alir berikut.

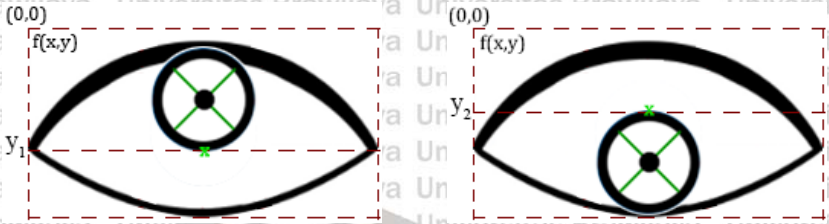


Gambar 4.3 Diagram alir proses pembagian region *Haar*

Agar deteksi pergerakan bola mata dapat digunakan sebagai media kendali pergerakan suatu perangkat secara optimal, pendekatan yang dilakukan adalah membagi region mata menjadi tiga bagian baik secara horizontal maupun secara vertikal. Penentuan batas pembagian region diperoleh melalui proses registrasi yaitu dengan melihat posisi koordinat terluar pada tiap arah pergerakan bola mata. Berdasarkan posisi koordinat tersebut, diperoleh suatu batas pembagian tiap region yang ditampilkan pada Gambar 4.4. Penggunaan koordinat terluar bola mata dilakukan agar titik tengah bola mata dapat terjangkau oleh area region sehingga meningkatkan efektifitas pendeteksian gerakan bola mata.



(a)



(b)

Gambar 4.4 Ilustrasi proses registrasi pembagian region. (a) registrasi pembagian vertikal, (b) registrasi pembagian horizontal

Untuk pembagian region secara vertikal, maka perlu ditentukan koordinat titik x_1 dan x_2. Titik koordinat x_1 diperoleh ketika user menggerakan bola mata ke arah kanan. Sedangkan titik koordinat x_2 diperoleh ketika user menggerakkan bola mata ke arah kiri, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 4.4(a). Untuk pembagian secara horizontal, maka perlu ditentukan titik koordinat y_1 dan y_2. Titik koordinat y_1 diperoleh ketika user menggerakkan bola mata ke atas, kemudian titik koordinat y_2 diperoleh ketika user menggerakkan bola mata ke bawah, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 4.4(b). Untuk nilai dari masing-masing titik koordinat diperoleh dengan melakukan pengecekan pada citra *f(x,y)*, dan dengan melihat nilai koordinat maksimum atau nilai koordinat minimum pada citra bola mata seperti yang ditampilkan pada Persamaan 4.1 sampai dengan Persamaan 4.4.

$$x_1 = \max(x \in X) \tag{4.1}$$

$$x_2 = \min(x \in X) \tag{4.2}$$

$$y_1 = \min(y \in Y) \tag{4.3}$$

$$y_2 = \max(y \in Y) \tag{4.4}$$

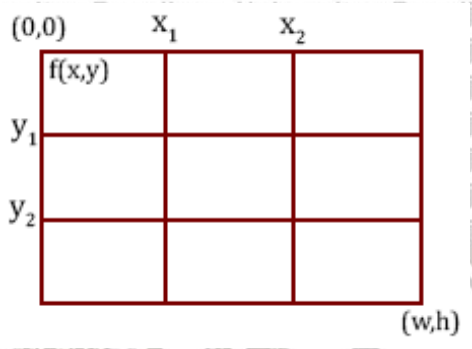
Untuk menyamakan persepsi posisi titik awal koordinat *f(x,y)*, nilai titik pusat *f(0,0)* terletak pada posisi pojok kiri atas seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.5. Untuk pergerakan ke kanan, nilai x_1 yang digunakan adalah titik koordinat *x* dengan nilai maksimum. Untuk pergerakan ke kiri, nilai x_2 yang digunakan adalah titik koordinat *x* dengan nilai minimum. Sedangkan pada pergerakan ke bawah, nilai y_1 yang digunakan adalah titik koordinat y dengan nilai minimum, dan nilai y_2 yang digunakan adalah titik koordinat y dengan nilai maksimum pada pergerakan bola mata ke atas.

$$X = \{x \mid x\ adalah\ nilai\ koordinat\ x\ pada\ citra\ f(x,y)\} \quad (4.5)$$

$$Y = \{y \mid y\ adalah\ nilai\ koordinat\ y\ pada\ citra\ f(x,y)\} \quad (4.6)$$

dimana *X* dapat dinyatakan sebagai himpunan nilai koordinat *x* pada citra bola mata *f(x,y)*, sedangkan *Y* merupakan himpunan nilai koordinat *y* pada citra bola mata *f(x,y)* seperti yang terlihat pada Persamaan 4.5 dan 4.6.

Setelah memperoleh koordinat x_1, x_2, y_1, dan y_2, maka akan terbentuk model kotak region yang diusulkan seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.5, yang nantinya akan digunakan dalam menentukan arah pergerakan bola mata.



Gambar 4.5 Diagram alir proses pembagian region *Haar*

Setelah mendapatkan model pembagian kotak region mata, agar pembagian kotak yang dihasilkan dapat bersifat adaptif yang dipengaruhi oleh jarak pengguna terhadap kamera, maka perlu dirancang sebuah proses agar pembagian region dapat memiliki kemampuan adaptif dan mampu mengatasi perubahan jarak pengguna. Ukuran kotak region beserta pembagian region yang dihasilkan pertama kali ketika proses registrasi akan dijadikan acuan untuk menentukan perubahan pembagian region.

Apabila ukuran kotak region berubah, maka parameter x_1, x_2, y_1, dan y_2 yang digunakan dalam pembagian region juga akan berubah.

$$L1 = \frac{x_1}{width\ awal} \quad (4.7)$$

$$x_1\ baru = L1\ x\ width\ baru \quad (4.8)$$

$$L2 = \frac{x_2 - x_1}{width\ awal} \quad (4.9)$$

$$x_2\ baru = L2\ x\ width\ baru \quad (4.10)$$

L1 dan *L2* merupakan variabel yang akan bertindak sebagai variabel independen yang akan digunakan untuk memperoleh nilai x_1 dan x_2 yang baru seperti yang dituliskan pada Persamaan 4.8 dan 4.10. *Width* awal merupakan lebar kotak

region pada kondisi awal ketika melakukan registrasi, sedangkan *width* baru merupakan lebar dari kotak region yang terbentuk setelah proses registrasi.

$$T1 = \frac{y_1}{height\ awal} \tag{4.11}$$

$$y_1\ baru = T1\ x\ width\ baru \tag{4.12}$$

$$T2 = \frac{y_2 - y_1}{height\ awal} \tag{4.13}$$

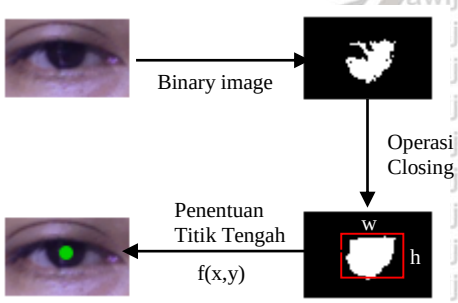
$$y_2\ baru = T2\ x\ width\ baru \tag{4.14}$$

Sama seperti pembagian region secara vertikal, *T1* dan *T2* merupakan variabel yang akan bertindak sebagai variabel independen yang akan digunakan untuk memperoleh nilai y_1 dan y_2 yang baru seperti yang dituliskan pada Persamaan 4.12 dan 4.14. *Height* awal merupakan tinggi kotak region pada kondisi awal ketika melakukan registrasi, sedangkan *height* baru merupakan tinggi dari kotak region yang terbentuk setelah proses registrasi.

4.3 Penentuan titik tengah bola mata

Proses deteksi bola mata dilakukan dengan mengubah citra RGB mata menjadi citra biner, kemudian akan dilakukan seleksi berdasarkan jumlah kontur piksel pada citra mata. Apabila jumlah kontur lebih dari *threshold* yang telah ditentukan, maka citra bola mata akan terdeteksi, yang ditandai dengan sebuah bounding box. Kemudian, penentuan koordinat titik tengah bola mata *f(x,y)* diperoleh melalui perpotongan setengah bagian lebar bounding box bola mata, dengan setengah bagian tinggi bounding box bola mata, yang dapat dituliskan pada Persamaan 4.15 berikut.

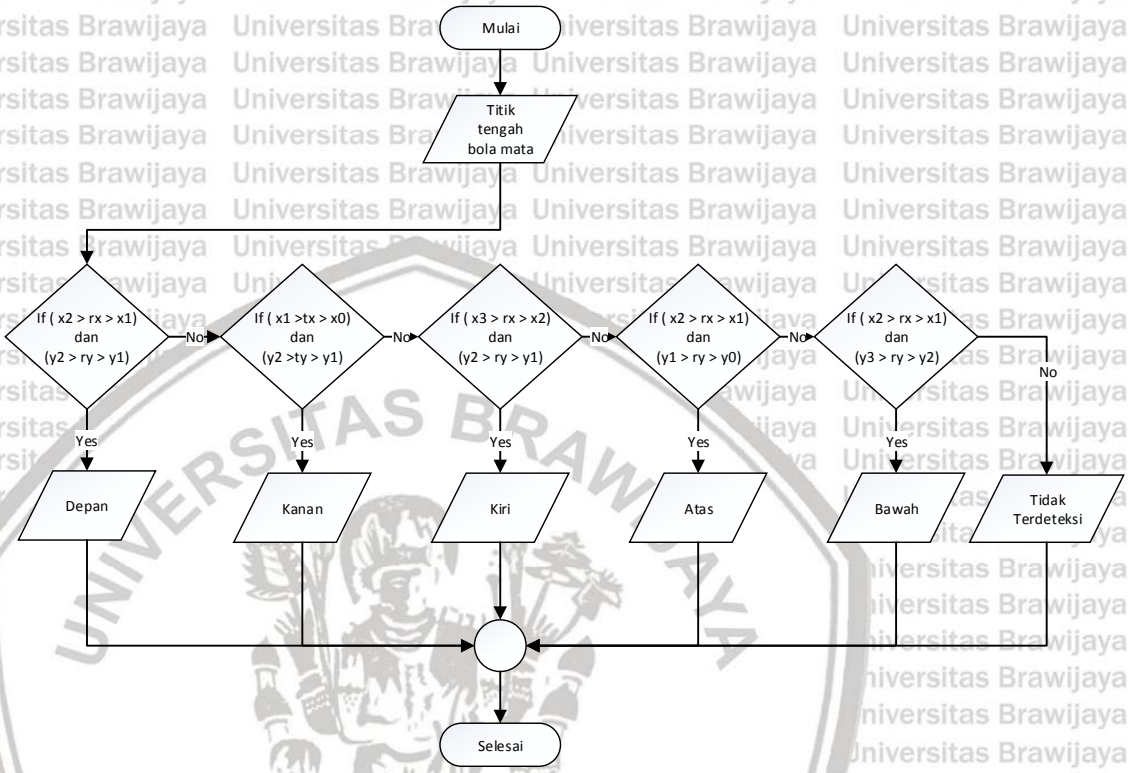
$$f(x, y) = f\left(\frac{w}{2}, \frac{h}{2}\right) \tag{4.15}$$



Gambar 4.6 Proses penentuan titik tengah bola mata

4.4 Deteksi Pergerakan Bola Mata

Setelah memperoleh nilai x_1, x_2, y_1, y_2 , yang digunakan untuk menentukan batasan pembagian region, maka selanjutnya dapat ditentukan tipe pergerakan bola mata berdasarkan posisi titik tengah bola mata terhadap tiap area pembagian region. Alur deteksi pergerakan dapat dilihat pada Gambar 4.9 berikut.



Gambar 4.7 Diagram alir proses deteksi pergerakan bola mata

4.5 Skenario Pengujian

Beberapa skenario pengujian yang melibatkan secara langsung metode yang diusulkan perlu dirancang lebih rinci untuk mengetahui kemampuan metode pembagian region dalam mendeteksi pergerakan bola mata terhadap beberapa tipe pengujian.

4.5.1 Pengujian Registrasi Pembagian Region

Pengujian pembagian region melalui proses registrasi dilakukan dengan melibatkan 20 data uji baik pria maupun wanita dengan tipe bola mata yang berbeda, sehingga dapat memenuhi atau mewakili sebagian besar karakteristik pada bola mata pengguna. Proses registrasi diawali dengan urutan pergerakan bola mata ke kanan, kiri, atas, dan ke bawah dan dilakukan pada jarak optimal sesuai skenario pengujian pengaruh jarak. Kriteria bahwa pembagian region melalui proses registrasi berjalan dengan tepat, diperoleh melalui rata-rata nilai akurasi keberhasilan deteksi tiap arah pergerakan bola mata dari 20 data uji yang

terlibat, dan terdeteksinya kondisi menghadap depan yang merupakan referensi awal deteksi pergerakan bola mata.

4.5.2 Pengujian Jarak Terhadap Akurasi Deteksi Pergerakan Bola Mata

Pengujian pegaruh jarak terhadap akurasi deteksi pergerakan bola mata diawali pada jarak optimal yang diperoleh dari skenario pengujian pengaruh jarak terhadap area mata dan bola mata, kemudian secara berurutan jarak akan berubah lebih kecil atau lebih besar dari posisi jarak awal sesuai dengan hasil skenario pengujian sebelumnya. Agar pengaruh yang dihasilkan lebih nampak secara langsung, maka perubahan jarak akan bertambah dan berkurang sebesar 5 cm. Berdasarkan hasil pengujian dengan melihat jumlah keberhasilan deteksi arah pergerakan bola mata, maka akan diketahui bahwa perubahan posisi jarak pengguna berpengaruh atau tidak mempengaruhi akurasi deteksi pergerakan bola mata menggunakan model pembagiaan kotak haar yang telah dirancang secara adaptif.

4.5.3 Pengujian Komparasi Metode

Pada tahap pengujian komparasi dengan metode pembanding, parameter-parameter yang terlibat dalam proses deteksi pergerakan bola mata perlu ditentukan terlebih dahulu agar terdapat kesesuaian parameter dengan metode pembanding lainnya. Parameter yang disesuaikan berupa jarak antar pengguna dengan kamera yaitu pada jarak optimal berdasarkan hasil pengujian pengaruh jarak terhadap deteksi area mata dan bola mata, beserta akurasinya. Selain itu proses pendeteksian dilakukan pada kondisi pencahayaan yang cukup terang didalam sebuah ruangan. Kemudian proses deteksi area bola mata melibatkan tiga kali proses morfologi yaitu Opening, Closing, dan Opening. Hal ini dilakukan untuk menghilangkan noise atau objek lain disekitar area mata agar objek bola mata dapat terdeteksi secara sempurna dengan tetap mempertahankan ukuran aslinya. Hasil pengujian komparasi yang dibandingkan adalah akurasi dan waktu komputasi tiap arah pergerakan.

Selain melakukan pengujian komparasi akurasi dan waktu komputasi, pengujian pada tiap metode pembanding dirancang dengan kondisi sebagai berikut. Komparasi metode dengan metode berbasis jumlah piksel melibatkan 2 tipe arah pergerakan yaitu ke kanan dan ke kiri, sedangkan metode berbasis koordinat melibatkan 3 arah pergerakan yaitu ke kanan, kiri, dan ke depan yang digunakan sebagai pengukuran tingkat sensitifitas. Sedangkan komparasi metode berbasis nilai sudut melibatkan 4 tipe arah pergerakan yaitu ke kanan, kiri, atas, dan bawah.

Metode berbasis koordinat memiliki tingkat sensitifitas yang cukup tinggi tanpa memberikan range pergerakan yang sesuai, dimana sedikit perubahan dari posisi awal referensi telah terdeteksi sebagai pergerakan. Tingkat sensitifitas pergerakan bola mata dapat direpresentasikan dengan kondisi atau jenis pergerakan mata yaitu *fixation* dan *saccade*. Fixation merupakan pergerakan mata yang static dan terfokus pada suatu bagian atau objek tertentu dan dalam waktu

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

minimal antara 100 hingga 200 ms. Sementara saccade merupakan pergerakan bola mata yang simultan dan konstan dengan adanya perubahan range titik pandang dan kecepatan yang tinggi (Salvucci & Goldberg, 2000).

$$D = [\max(x) - \min(x)] + [\max(y) - \min(y)] \tag{4.16}$$

Salah satu metode kalkulasi fixation yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *Dispersion-based*, yang menghitung sebaran titik pandang mata pada suatu batasan area dengan menjumlahkan selisih antara nilai maksimum dan minimum dari koordinat *x* dan *y* seperti yang ditunjukkan pada Persamaan 4.16. Jika nilai sebaran dibawah nilai *threshold* yang telah ditentukan, maka dapat dikategorikan sebagai kondisi *fixation*. Dalam penelitian ini, proses perhitungan sebaran koordinat *y* diabaikan dikarenakan dalam pergerakan ke kanan dan kiri, perubahan cenderung terjadi pada koordinat *x*.

BAB 5 HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas hasil serta pembahasan berdasarkan skenario pengujian yang telah diimplementasikan seperti pengujian jarak optimal dalam mendeteksi area mata dan bola mata. Pengujian pembagian range region area mata melalui proses registrasi, untuk mengetahui tingkat keberhasilan registrasi pembagian region mata agar menghasilkan akurasi deteksi pergerakan bola mata yang maksimal. Pengujian jarak antara pengguna dengan sensor kamera untuk mengetahui pengaruh jarak terhadap akurasi deteksi pergerakan bola mata dan pengujian komparasi untuk mengetahui tingkat akurasi dan waktu komputasi secara *real time* menggunakan metode deteksi yang diajukan dibandingkan dengan metode deteksi pergerakan bola mata lainnya. Selain itu, pembahasan juga terdiri dari penjelasan tentang spesifikasi pengujian.

5.1 Spesifikasi Pengujian

Pada sub bab ini menjelaskan tentang spesifikasi pengujian yang digunakan dalam menguji metode deteksi pergerakan bola mata yang diajukan, meliputi spesifikasi perangkat keras dan spesifikasi perangkat lunak. Spesifikasi perangkat keras dan perangkat lunak dapat dilihat pada tabel 5.1 dan 5.2.

Tabel 5.1 Spesifikasi perangkat keras

Processor	Intel(R) Core(TM) i5-5200U CPU @2.20GHz 2.19GHz
Memory (RAM)	4,00 GB
Camera	Logitech 720p HD

Tabel 5.2 Spesifikasi perangkat lunak

Operating System	Windows 8.1 64-bit
Programming Language	Python 3.6

5.2 Jarak kamera terhadap deteksi mata dan bola mata.

Hasil pengujian pengaruh jarak mata pada tiap data uji yang berbeda terhadap kamera, dapat dilihat pada Tabel 5.3. Dari hasil percobaan yang telah dilakukan, inisialisasi awal pendeteksian area mata rata-rata mampu terdeteksi pada jarak 15 cm hingga pada jarak 60 cm. Sedangkan hasil pengujian pengaruh jarak pada tiap karakteristik mata terhadap deteksi area bola mata ditampilkan pada Tabel 5.4. Dari hasil percobaan yang telah dilakukan, menunjukkan bahwa bola mata terdeteksi dengan bentuk relatif utuh dan sempurna pada jarak 26 hingga 35 cm. Semakin jauh jarak mata terhadap kamera, maka bentuk bola mata terdeteksi dengan bentuk yang tidak sempurna yaitu terdapat beberapa noise berupa banyak piksel hitam di sekitar area bola mata. Sedangkan apabila jarak mata terhadap kamera semakin dekat, maka area bola mata tidak terdeteksi dan tidak terbentuk

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

secara utuh dan sempurna. Sehingga range jarak 26 cm hingga 35 cm merupakan jarak yang optimal karena dapat mendeteksi area mata dan bola mata terdeteksi dengan bentuk yang relatif utuh. Maka range jarak tersebut akan digunakan pada skenario pengujian selanjutnya.

Tabel 5.3 Hasil pengujian deteksi area mata

Data Uji	Jarak (cm)	Area Mata
1	5	Tidak Terdeteksi
	10	Tidak Terdeteksi
	15	Terdeteksi
	20	Terdeteksi
	25	Terdeteksi
	30	Terdeteksi
	35	Terdeteksi
	40	Terdeteksi
	45	Terdeteksi
	50	Terdeteksi
	55	Terdeteksi
	60	Tidak Terdeteksi
2	5	Tidak Terdeteksi
	10	Tidak Terdeteksi
	15	Terdeteksi
	20	Terdeteksi
	25	Terdeteksi
	30	Terdeteksi
	35	Terdeteksi
	40	Terdeteksi
	45	Terdeteksi
	50	Terdeteksi
	55	Terdeteksi
	60	Tidak Terdeteksi
3	5	Tidak Terdeteksi
	10	Tidak Terdeteksi
	15	Tidak Terdeteksi
	20	Terdeteksi
	25	Terdeteksi
	30	Terdeteksi
	35	Terdeteksi
	40	Terdeteksi
	45	Terdeteksi
	50	Terdeteksi

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

	55	Terdeteksi
	60	Tidak Terdeteksi
4	5	Tidak Terdeteksi
	10	Tidak Terdeteksi
	15	Terdeteksi
	20	Terdeteksi
	25	Terdeteksi
	30	Terdeteksi
	35	Terdeteksi
	40	Terdeteksi
	45	Terdeteksi
	50	Terdeteksi
	55	Terdeteksi
	60	Tidak Terdeteksi
5	5	Tidak Terdeteksi
	10	Tidak Terdeteksi
	15	Terdeteksi
	20	Terdeteksi
	25	Terdeteksi
	30	Terdeteksi
	35	Terdeteksi
	40	Terdeteksi
	45	Terdeteksi
	50	Terdeteksi
	55	Terdeteksi
	60	Tidak Terdeteksi
6	5	Tidak Terdeteksi
	10	Tidak Terdeteksi
	15	Tidak Terdeteksi
	20	Terdeteksi
	25	Terdeteksi
	30	Terdeteksi
	35	Terdeteksi
	40	Terdeteksi
	45	Terdeteksi
	50	Terdeteksi
	55	Terdeteksi
	60	Tidak Terdeteksi
7	5	Tidak Terdeteksi
	10	Tidak Terdeteksi
	15	Terdeteksi
	20	Terdeteksi
	25	Terdeteksi

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

	30	Terdeteksi
	35	Terdeteksi
	40	Terdeteksi
	45	Terdeteksi
	50	Terdeteksi
	55	Tidak Terdeteksi
	60	Tidak Terdeteksi
8	5	Tidak Terdeteksi
	10	Tidak Terdeteksi
	15	Terdeteksi
	20	Terdeteksi
	25	Terdeteksi
	30	Terdeteksi
	35	Terdeteksi
	40	Terdeteksi
	45	Terdeteksi
	50	Terdeteksi
	55	Terdeteksi
	60	Tidak Terdeteksi
9	5	Tidak Terdeteksi
	10	Tidak Terdeteksi
	15	Terdeteksi
	20	Terdeteksi
	25	Terdeteksi
	30	Terdeteksi
	35	Terdeteksi
	40	Terdeteksi
	45	Terdeteksi
	50	Terdeteksi
	55	Terdeteksi
	60	Tidak Terdeteksi
10	5	Tidak Terdeteksi
	10	Tidak Terdeteksi
	15	Terdeteksi
	20	Terdeteksi
	25	Terdeteksi
	30	Terdeteksi
	35	Terdeteksi
	40	Terdeteksi
	45	Terdeteksi
	50	Terdeteksi
	55	Terdeteksi
	60	Tidak Terdeteksi

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Tabel 5.4 Hasil pengujian deteksi area bola mata

Jarak (cm)	Area Bola Mata	
5-15		
16-25		
26-35		
36-45		
46-55		
56-60		

5.3 Registrasi pembagian region mata

Berdasarkan hasil skenario pengujian sebelumnya, bahwa jarak optimal untuk mendeteksi area mata dan bola mata adalah jarak dengan range antara 26 cm sampai dengan 35 cm, maka dalam penentuan pembagian region mata akan diawali pada jarak antara range 26 cm sampai dengan 35 cm. Setelah ditentukan jarak awal, maka pengujian proses registrasi dilakukan pada jarak yang sama sesuai jarak awal yang telah ditentukan.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa deteksi pergerakan bola mata yang diawali oleh proses registrasi menghasilkan kesuksesan pendeteksian seluruh arah pergerakan bola mata pada 14 data uji, dari total 20 data uji yang terlibat dan diujikan atau mencapai rata-rata kesuksesan hingga 90%, berdasarkan keberhasilan deteksi pergerakan bola mata dari 5 tipe arah pergerakan yang ditunjukkan pada Tabel 5.5. Hal ini menunjukkan bahwa proses registrasi metode pembagian region telah cukup sesuai pada tiap data uji dan dapat mendeteksi pergerakan bola mata cukup akurat. Sementara itu deteksi pergerakan bola mata ke arah kanan dan kiri memperoleh tingkat akurasi yang tinggi dibandingkan dengan deteksi pergerakan bola mata ke atas dan kebawah yaitu mencapai 95%, sehingga proses registrasi terbaik menggunakan metode yang diusulkan, terjadi

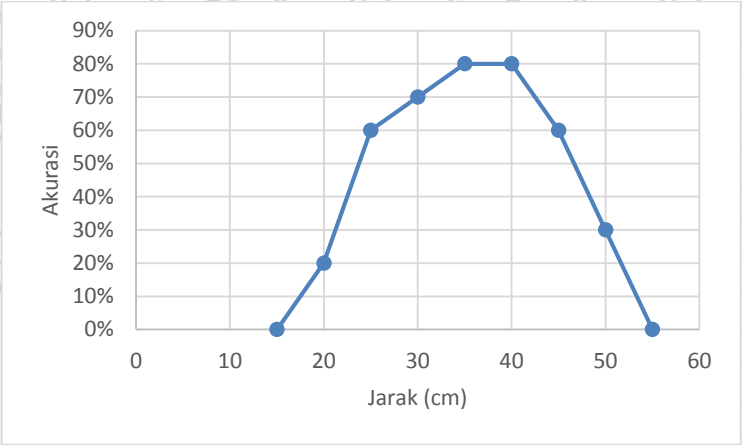
pada saat melakukan registrasi ke arah kanan dan ke kiri. Sedangkan proses registrasi ke atas dan ke bawah memiliki akurasi lebih rendah dikarenakan daerah pergerakan atau tinggi area pergerakan cukup kecil yang dapat menimbulkan kesalahan penentuan titik koordinat, selain itu pada arah pergerakan ke bawah, area bola mata dapat tertutup oleh bagian kelopak mata sehingga dapat menganggu proses registrasi.

Tabel 5.5 Hasil pengujian registrasi pembagian region *haar*

Registrasi Data Uji	Depan	Kanan	Kiri	Atas	Bawah
1	Benar	Benar	Benar	Benar	Benar
2	Benar	Benar	Benar	Benar	Salah
3	Benar	Benar	Benar	Benar	Benar
4	Benar	Benar	Benar	Benar	Benar
5	Benar	Benar	Benar	Benar	Benar
6	Benar	Benar	Benar	Benar	Benar
7	Salah	Benar	Benar	Salah	Salah
8	Benar	Benar	Benar	Benar	Benar
9	Benar	Benar	Benar	Benar	Salah
10	Benar	Benar	Benar	Benar	Benar
11	Benar	Benar	Benar	Benar	Benar
12	Benar	Benar	Benar	Salah	Benar
13	Benar	Benar	Benar	Benar	Benar
14	Benar	Benar	Benar	Benar	Benar
15	Benar	Benar	Benar	Benar	Benar
16	Salah	Salah	Salah	Benar	Benar
17	Benar	Benar	Benar	Salah	Benar
18	Benar	Benar	Benar	Benar	Benar
19	Benar	Benar	Benar	Benar	Benar
20	Benar	Benar	Benar	Benar	Benar
Akurasi	90%	95%	95%	85%	85%

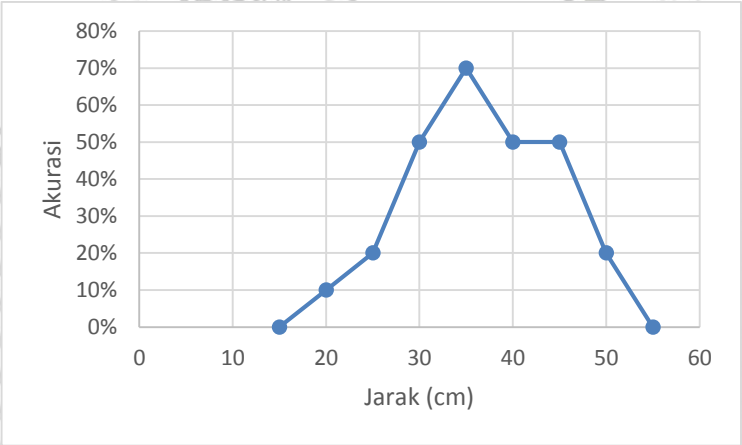
5.4 Deteksi pergerakan bola mata terhadap jarak

Setelah melakukan proses registrasi pembagian region mata dan terbentuk suatu model pembagian region kotak bola mata, maka pengujian jarak dalam mendeteksi pergerakan bola mata dapat dilakukan dengan melibatkan 10 data uji, untuk mengetahui pengaruh jarak terhadap proses deteksi pergerakan serta mengetahui keefektifan kotak region mata yang telah dibentuk secara adaptif. Hasil akurasi deteksi pergerakan bola mata ke arah kanan pada tiap perubahan jarak dari posisi semula yaitu 35 cm, dapat dilihat pada Gambar 5.1. Akurasi pendeteksian secara bertahap mengalami penurunan akurasi yaitu pada jarak kurang dari 35 cm dan juga mengalami penurunan pada saat jarak bertambah dekat atau lebih dari 40 cm.



Gambar 5.1 Akurasi deteksi pergerakan ke kanan pada tiap jarak

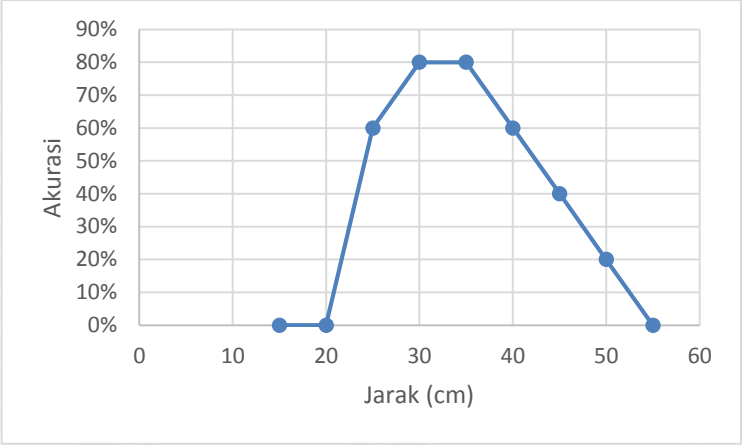
Hasil akurasi deteksi pergerakan bola mata ke arah kiri pada tiap perubahan jarak dari posisi semula yaitu 35 cm, dapat dilihat pada Gambar 5.2. Akurasi pendeteksian secara bertahap juga mengalami penurunan akurasi yaitu pada jarak kurang dari 35 cm dan pada saat jarak bertambah dekat atau lebih dari 35 cm.



Gambar 5.2 Akurasi deteksi pergerakan ke kiri pada tiap jarak

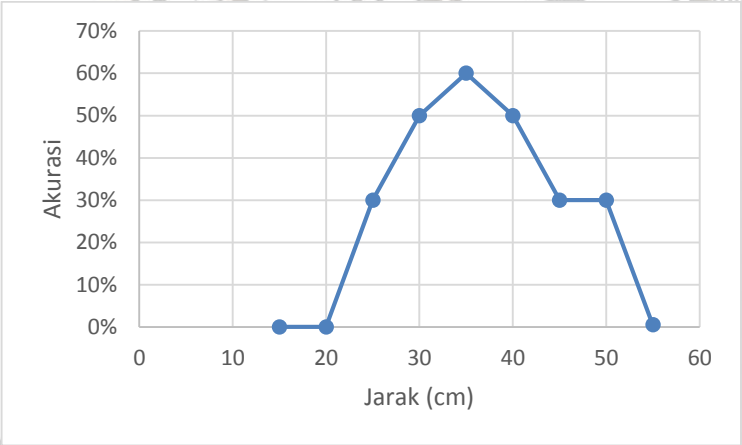
Hasil akurasi deteksi pergerakan bola mata ke arah atas pada tiap perubahan jarak dapat dilihat pada Gambar 5.3. Akurasi pendeteksian secara bertahap

mengalami penurunan akurasi dari posisi awal 35 cm, yaitu pada jarak kurang dari 30 cm dan pada saat jarak lebih dari 35 cm.



Gambar 5.3 Akurasi deteksi pergerakan ke atas pada tiap jarak

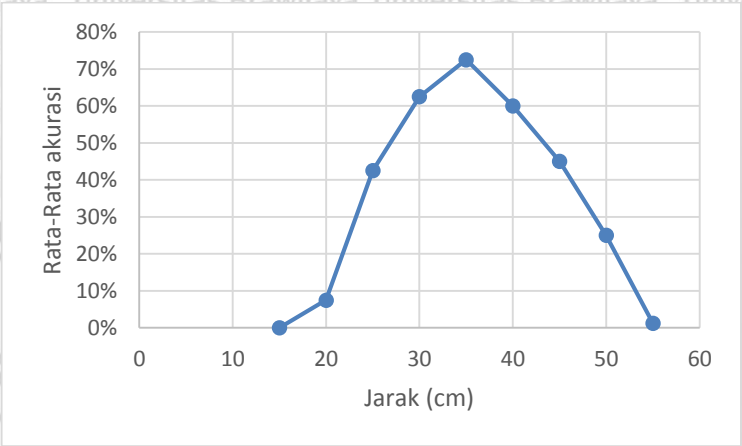
Sedangkan Hasil akurasi deteksi pergerakan bola mata ke arah atas pada tiap perubahan jarak dari posisi semula yaitu 35 cm dapat dilihat pada Gambar 5.4. Akurasi pendeteksian secara bertahap mengalami penurunan akurasi pada jarak kurang dari dan lebih dari 35 cm.



Gambar 5.4 Akurasi deteksi pergerakan ke bawah pada tiap jarak

Dari hasil akurasi tiap arah pergerakan yang telah dijabarkan diatas, penambahan jarak dan pengurangan jarak dari posisi awal dapat mempengaruhi akurasi deteksi pergerakan bola mata. Jarak 35 cm yang merupakan jarak awal dalam mendeteksi pergerakan bola mata, memperoleh rata rata akurasi yaitu mencapai 73%. Sementara itu, perubahan jarak lebih dari 35 cm dapat menyebabkan kegagalan proses deteksi pergerakan bola mata yang ditunjukkan dengan menurunnya rata-rata akurasi pendeteksian. Hal yang sama terjadi ketika deteksi pergerakan bola mata dilakukan pada jarak kurang dari 35 cm, akurasi deteksi tiap arah pergerakan bola mata juga mulai mengalami penurunan seperti yang ditampilkan pada Gambar 5.5. Secara umum, kotak region yang telah dirancang secara adaptif mampu mengatasi deteksi pergerakan bola mata yang

dipengaruhi oleh perubahan jarak. Namun, sesuai dengan yang telah dijelaskan pada skenario pengujian pertama, area bola mata tidak terdeteksi dengan sempurna pada jarak tertentu dan terdapat noise yang berada di sekitar area bola mata yang dipengaruhi oleh kondisi cahaya pada sensor kamera, sehingga mempengaruhi akurasi deteksi pergerakan bola mata. Selain itu, faktor lain yang dapat mempengaruhi akurasi deteksi pergerakan bola mata terhadap jarak adalah nilai *threshold* kontur piksel bola mata yang telah ditentukan, sehingga apabila nilai kontur piksel bola mata berada diluar nilai *threshold* maka mengakibatkan bola mata tidak dapat terdeteksi.



Gambar 5.5 Rata-Rata akurasi deteksi pergerakan bola mata terhadap jarak

5.5 *Precision* dan *Recall* Metode *Haar* berbasis region

Pada pengujian precision dan recall untuk mengukur kehandalan dari metode yang diusulkan, dilakukan dengan jarak 35 cm sesuai dengan pengujian sebelumnya dikarenakan jarak tersebut merupakan jarak optimal dalam mendeteksi area mata, bola mata, dan dalam mendeteksi pergerakan bola mata.

Precision menggambarkan seberapa sering suatu arah pergerakan terdeteksi sebagai arah pergerakan yang salah dalam setiap data uji. Semakin kecil nilai presisi maka tipe arah pergerakan tersebut lebih banyak terdeteksi oleh tipe arah pergerakan yang lain menggunakan metode yang diusulkan. Sedangkan recall merupakan tingkat keberhasilan deteksi tiap arah pergerakan bola mata dimana semakin tinggi nilai recall, maka semakin optimal deteksi arah pergerakan bola mata menggunakan metode haar berbasis region.

Tabel 5.6 Hasil pengujian *multiclass classification* pembagian region *Haar*

Actual Class	Depan	**18**	0	0	2	0	0
	Kanan	0	**19**	0	0	0	1
	Kiri	0	0	**19**	0	0	1
	Atas	1	0	1	**17**	0	1
	Bawah	0	0	0	0	**17**	3
		Depan	Kanan	Kiri	Atas	Bawah	Tidak Terdeteksi
		Predicted Class					

Berdasarkan pengukuran multiclass classification yang ditampilkan pada confusion matriks Tabel 5.6 maka dapat diperoleh nilai precision dan recall yang dapat dilihat pada Tabel 5.7. Nilai precision pada arah pergerakan atas lebih kecil dibandingkan dengan arah pergerakan yang lainnya, yang berarti bahwa arah pergerakan ke atas cenderung lebih banyak terdeteksi ketika proses pendeteksian pergerakan bola mata. Arah pergerakan ke atas terdeteksi ketika melakukan deteksi pergerakan ke depan. Hal ini dapat terjadi dikarenakan ketidaksesuaian nilai batas yang dihasilkan pada proses registrasi. Hal yang sama terjadi pada arah pergerakan ke depan dan kiri yang juga terdeteksi sebagai kesalahan pendeteksian namun dengan presentase yang lebih rendah.

Nilai recall tertinggi terjadi pada arah pergerakan ke kanan dan ke kiri, serta diikuti oleh arah pergerakan ke depan. Sedangkan arah pergerakan ke atas dan ke bawah memiliki nilai recall yang lebih rendah. Hal ini dapat terjadi karena kegagalan dalam proses registrasi koordinat y secara horizontal sehingga proses deteksi pergerakan ke atas dan ke bawah tidak berlangsung secara optimal.

Tabel 5.7 Tingkat *precision* dan *recall*

	Precision	**Recall**
Depan	94,7%	90%
Kanan	100%	95%
Kiri	95%	95%
Atas	89,4%	85%
Bawah	100%	85%

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

5.6 Komparasi Metode

Sebelum melakukan pengujian dengan metode pembanding, maka perlu menyamakan parameter yang diperlukan dalam proses deteksi pergerakan bola mata berdasarkan skenario pengujian yang telah dilakukan sebelumnya. Berdasarkan hasil pengujian pengaruh jarak, dimana akurasi tertinggi diperoleh pada jarak 35 cm, maka dalam pengujian komparasi metode, jarak data uji dengan kamera yang digunakan sebesar 35 cm.

Dalam pengujian komparasi metode, perbandingan metode yang diajukan dengan metode berbasis koordinat dilakukan dengan membandingkan akurasi dari tiga tipe arah pergerakan yaitu depan, kanan, dan kiri, dikarenakan metode berbasis koordinat yang telah dikembangkan hanya mendeteksi tiga arah pergerakan. Arah pergerakan ke depan akan digunakan sebagai pengukur tingkat sensitifitas yang akan dibandingkan dengan metode yang diusulkan. Seperti yang terlihat pada Tabel 5.6, metode Haar berbasis region memiliki tingkat akurasi yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan metode berbasis koordinat, dimana rata-rata akurasi dari 2 arah pergerakan ke kanan dan ke kiri metode berbasis Haar region mencapai 95% dibandingkan metode berbasis koordinat sebesar 85%. Pada pergerakan ke depan, akurasi metode berbasis koordinat hanya mencapai 15%.

Metode berbasis koordinat mendeteksi suatu pergerakan bola mata berdasarkan perubahan titik koordinat baru pupil dibandingkan dengan titik awal referensi. Apabila koordinat *x* dan *y* mengalami perubahan dari titik awal referensi koordinat *x* dan koordinat *y*, maka akan terdeteksi pergerakan ke kanan atau ke kiri. Metode ini memiliki tingkat sensitifitas yang tinggi karena tidak terdapat penetapan range yang sesuai, sehingga dapat menimbulkan arah pergerakan yang ambigu terutama pada arah pergerakan ke depan yang merupakan kondisi awal pergerakan. Sedangkan metode yang diusulkan dapat mengatasi tingkat sensitivitas dengan menghasilkan arah pergerakan yang tidak ambigu, dimana metode kami membagi kotak region mata dengan range jarak sesuai ketika proses registrasi, sehingga arah pergerakan ke depan memiliki akurasi yang tinggi mencapai 95%, dan titik tengah bola mata harus berada tepat pada tiap bagian kotak region agar terdeteksi suatu arah pergerakan lainnya.

Tabel 5.8 Hasil pengujian komparasi metode

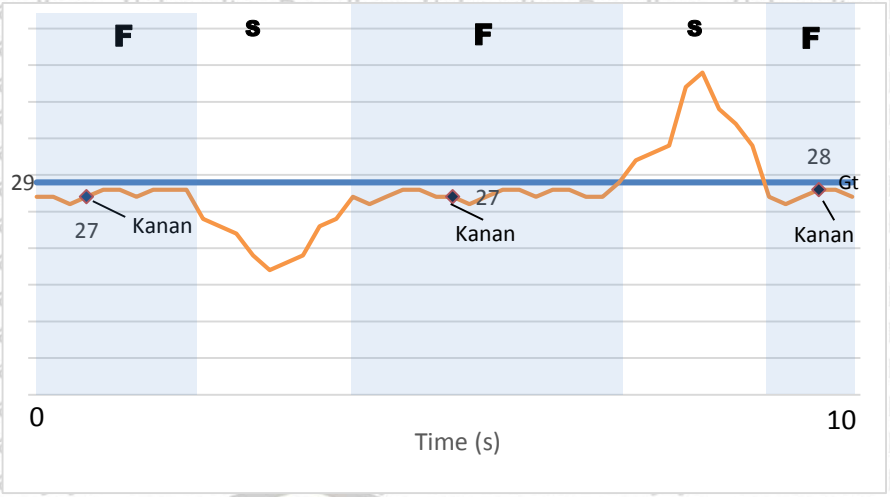
Metode	Akurasi				
	Depan	Kanan	Kiri	Atas	Bawah
Koordinat	15 %	95 %	75 %	-	-
Jumlah Piksel	-	65 %	65 %	-	-
Besar Sudut	-	30 %	25 %	60 %	75 %
Pembagian Haar Region	**90 %**	**95 %**	**95 %**	**85 %**	**85 %**

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

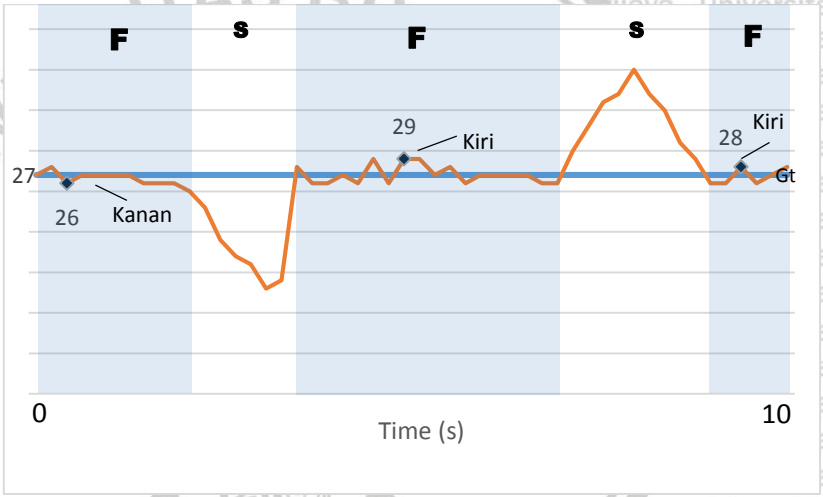
Pada perbandingan metode dengan metode berbasis perhitungan jumlah piksel, dilakukan dengan membandingkan dari 2 tipe arah pergerakan, dikarenakan metode berbasis perhitungan jumlah piksel yang telah dikembangkan, hanya mendeteksi pergerakan ke kanan dan ke kiri. Metode berbasis perhitungan jumlah piksel memiliki rata-rata tingkat akurasi sebesar 65%, yang lebih rendah dibandingkan dengan metode Haar berbasis region. Kesalahan dalam mendeteksi pergerakan bola mata pada metode berbasis jumlah piksel dapat disebabkan karena jumlah piksel pada tiap region memungkinkan nilai yang sama, sehingga arah pergerakan yang dihasilkan tidak tepat. Jumlah piksel yang sama dipengaruhi oleh faktor pencahayaan dan keutuhan bentuk citra bola mata. Metode yang kami usulkan dalam mendeteksi pergerakan bola mata, tidak bergantung pada keseluruhan bentuk citra bola mata, karena dalam mendeteksi pergerakan digunakan daerah pupil mata atau titik tengah bola mata yang secara umum memiliki bentuk yang sama dan tidak berubah. Selain itu, metode yang diusulkan tidak perlu menghitung keseluruhan piksel citra bola mata.

Hasil uji coba komparasi metode menggunakan metode berbasis besar sudut juga memiliki permasalahan akurasi sama seperti dengan metode berbasis koordinat dan metode berbasis jumlah piksel. Metode ini memiliki tingkat akurasi yang rendah pada arah pergerakan ke kanan dan kiri. Akurasi yang cukup rendah pada metode berbasis besar sudut dipengaruhi oleh nilai *threshold* yang telah ditentukan, dimana nilai *threshold* yang ditentukan untuk mendeteksi pergerakan harus berubah secara adaptif dan perlu dilakukan percobaan terlebih dahulu agar menghasilkan nilai *threshold* yang sesuai. Metode ini mendeteksi pergerakan ketika besar sudut dari pergerakan bola mata mengalami perubahan dari besar sudut posisi awal yang digunakan sebagai referensi. Sehingga metode ini memungkinkan jumlah besar sudut yang sama pada beberapa arah pergerakan khususnya pergerakan ke kanan dan ke kiri, dan mengakibatkan kesalahan arah deteksi pergerakan. Arah pergerakan ke atas dan ke bawah memiliki akurasi yang lebih baik dikarenakan perbedaan nilai *threshold* sudut antara atas dan bawah cukup berbeda dimana *threshold* pergerakan ke bawah bernilai negatif dan pergerakan ke bawah bernilai positif. Sedangkan metode yang kami usulkan mampu mengatasi permasalahan tersebut dan memiliki akurasi yang lebih tinggi.

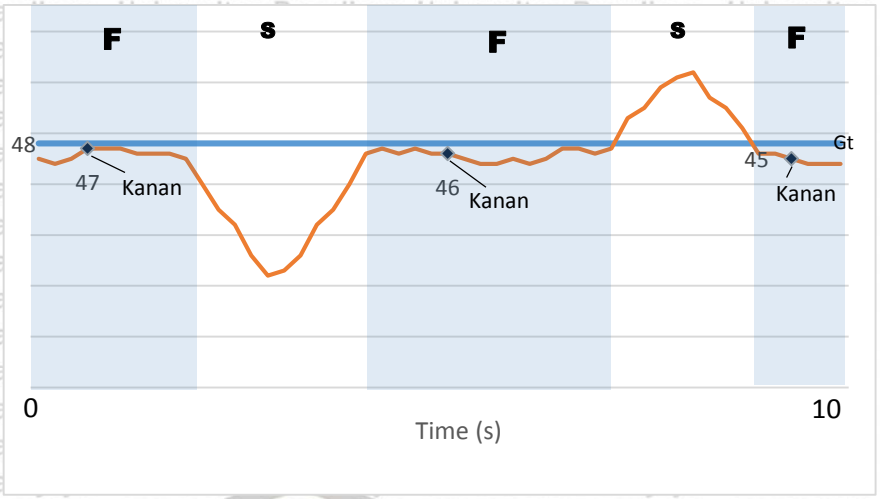
Tingkat sensitifitas yang cukup tinggi pada metode berbasis koordinat dapat dilihat dari nilai fixation yang diperoleh pada arah pergerakan ke depan. Berdasarkan 10 data uji yang telah diujikan dan berdasarkan *threshold* yang telah ditentukan, deteksi pergerakan arah ke depan memiliki nilai yang cukup dekat dengan nilai ground thruth dari arah pergerakan ke depan, namun terdeteksi sebagai pergerakan ke kanan atau ke kiri seperti yang ditampilkan pada gambar 5.6 hingga Gambar 5.15.



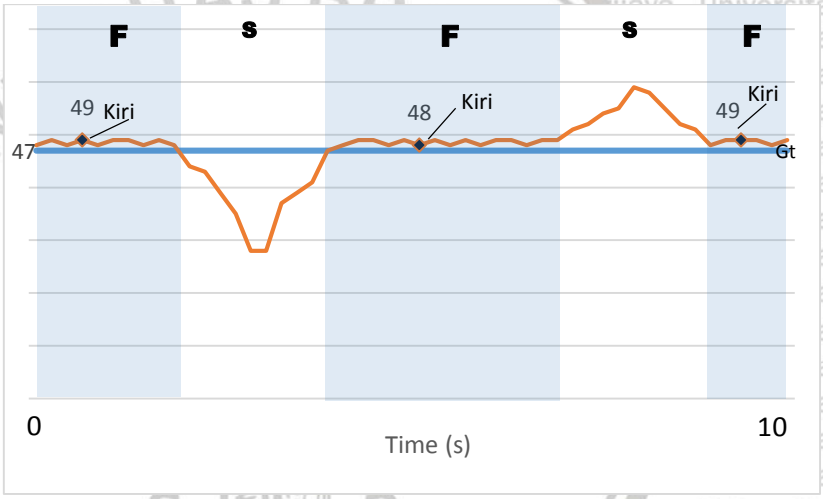
Gambar 5.6 Sensitifitas deteksi pergerakan arah bola mata berdasarkan sebaran titik tengah bola mata terhadap *ground truth* untuk data uji ke-1



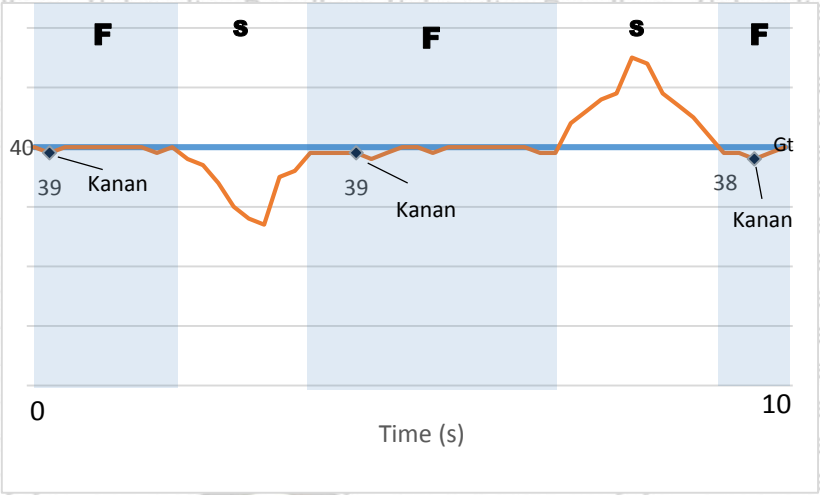
Gambar 5.7 Sensitifitas deteksi pergerakan arah bola mata berdasarkan sebaran titik tengah bola mata terhadap *ground truth* untuk data uji ke-2



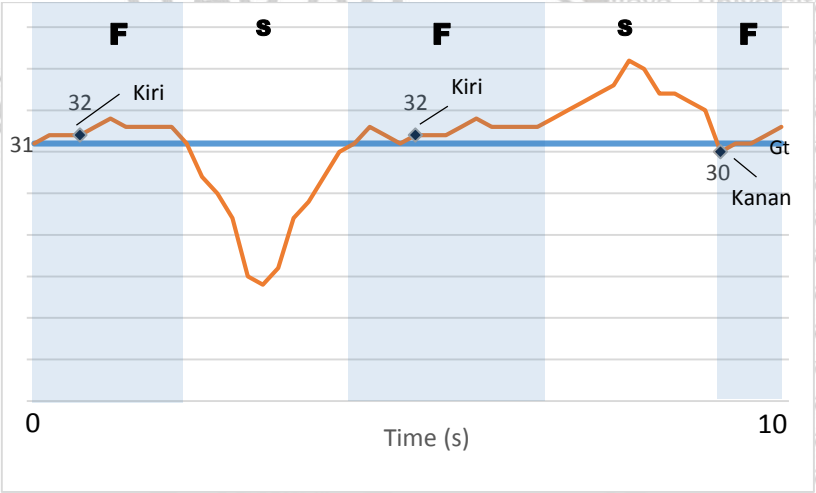
Gambar 5.8 Sensitifitas deteksi pergerakan arah bola mata berdasarkan sebaran titik tengah bola mata terhadap *ground truth* untuk data uji ke-3



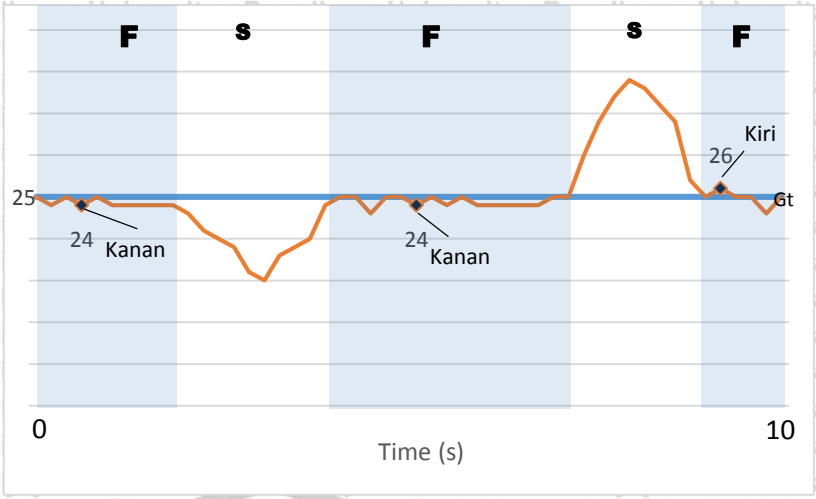
Gambar 5.9 Sensitifitas deteksi pergerakan arah bola mata berdasarkan sebaran titik tengah bola mata terhadap *ground truth* untuk data uji ke-4



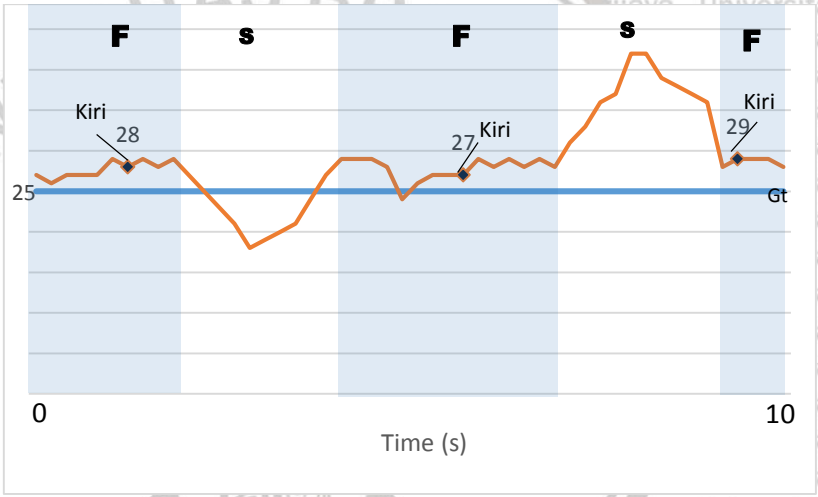
Gambar 5.10 Sensitifitas deteksi pergerakan arah bola mata berdasarkan sebaran titik tengah bola mata terhadap *ground truth* untuk data uji ke-5



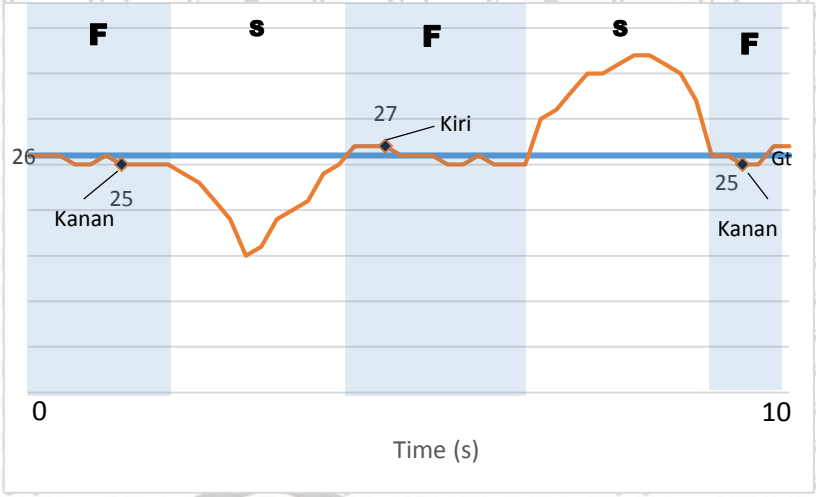
Gambar 5.11 Sensitifitas deteksi pergerakan arah bola mata berdasarkan sebaran titik tengah bola mata terhadap *ground truth* untuk data uji ke-6



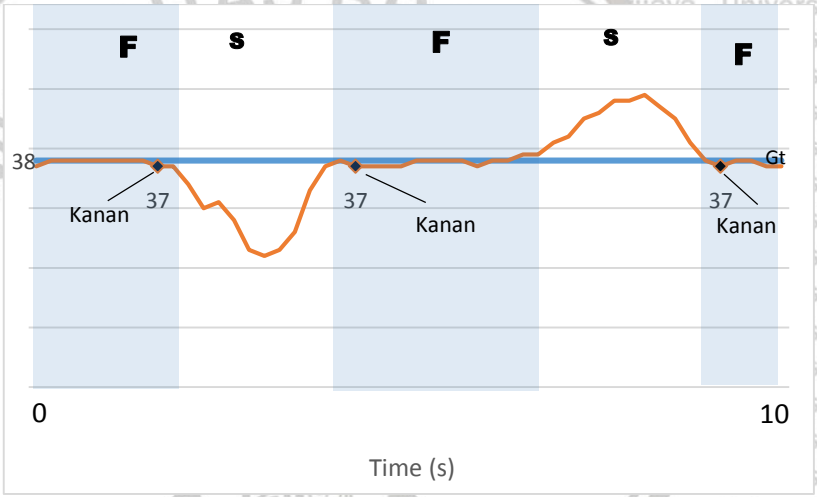
Gambar 5.12 Sensitifitas deteksi pergerakan arah bola mata berdasarkan sebaran titik tengah bola mata terhadap *ground truth* untuk data uji ke-7



Gambar 5.13 Sensitifitas deteksi pergerakan arah bola mata berdasarkan sebaran titik tengah bola mata terhadap *ground truth* untuk data uji ke-8



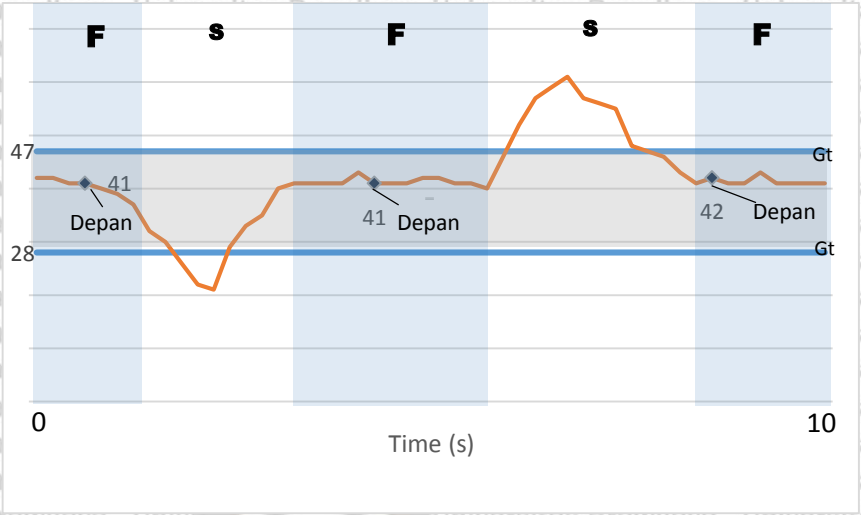
Gambar 5.14 Sensitifitas deteksi pergerakan arah bola mata berdasarkan sebaran titik tengah bola mata terhadap *ground truth* untuk data uji ke-9



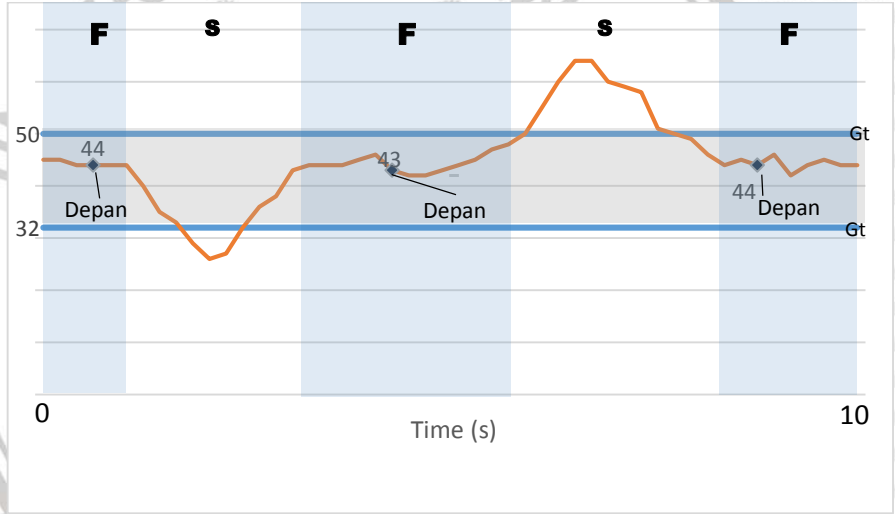
Gambar 5.15 Sensitifitas deteksi pergerakan arah bola mata berdasarkan sebaran titik tengah bola mata terhadap *ground truth* untuk data uji ke-10

Hasil pengujian sensitifitas metode berbasis koordinat menunjukkan bahwa pada kondisi fixation pergerakan ke depan, pergerakan bola mata telah terdeteksi ke arah kanan ataupun ke arah kiri. Hal ini dapat terjadi karena perubahan posisi koordinat dari posisi awal (*ground truth*) sudah terdeteksi sebagai perubahan arah pergerakan tanpa memberikan range yang sesuai.

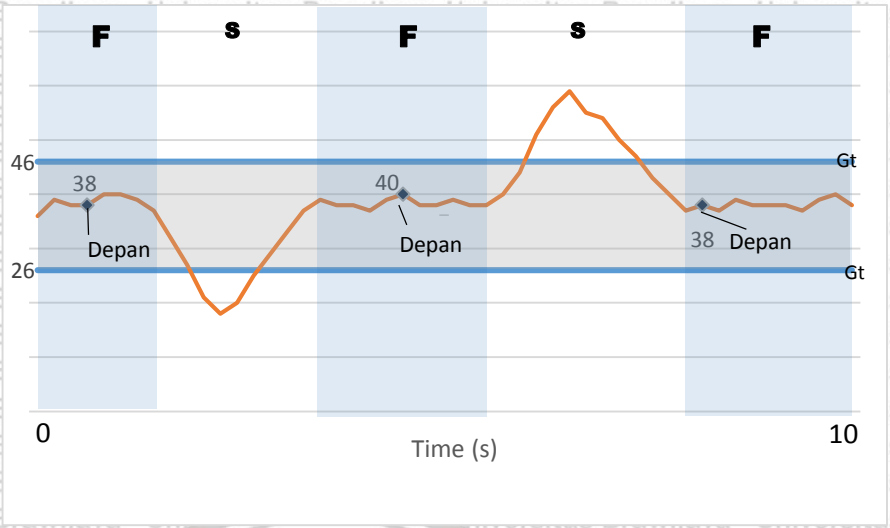
Hal yang berbeda terjadi pada metode berbasis Haar Region yang ditunjukkan pada Gambar 5.16 sampai dengan Gambar 5.25, dimana range groundtruth pada deteksi arah ke depan memiliki range pembagian yang tidak berdekatan dengan arah pergerakan ke kanan dan ke kiri. Sehingga sedikit perubahan pergerakan pada kondisi fixation masih terdeteksi sebagai arah pergerakan ke depan.



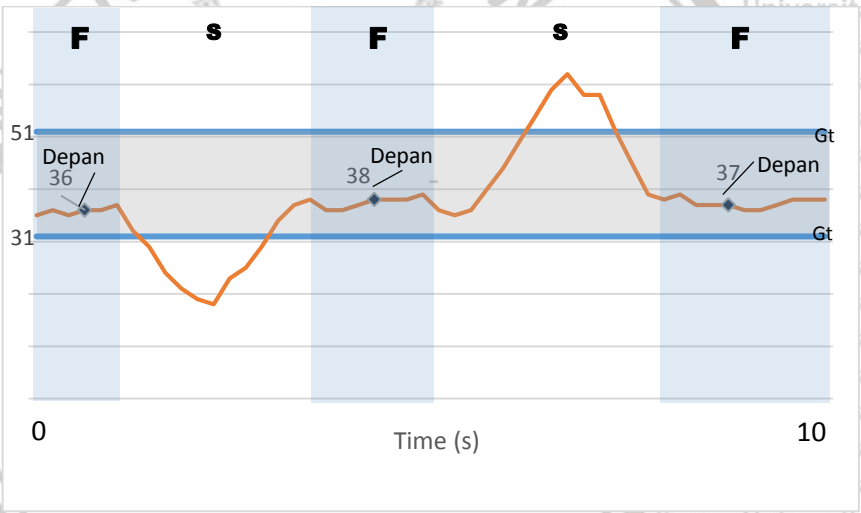
Gambar 5.16 Sensitifitas deteksi pergerakan bola mata metode Berbasis Haar Region berdasarkan sebaran titik tengah bola mata terhadap *ground truth* untuk data uji ke-1



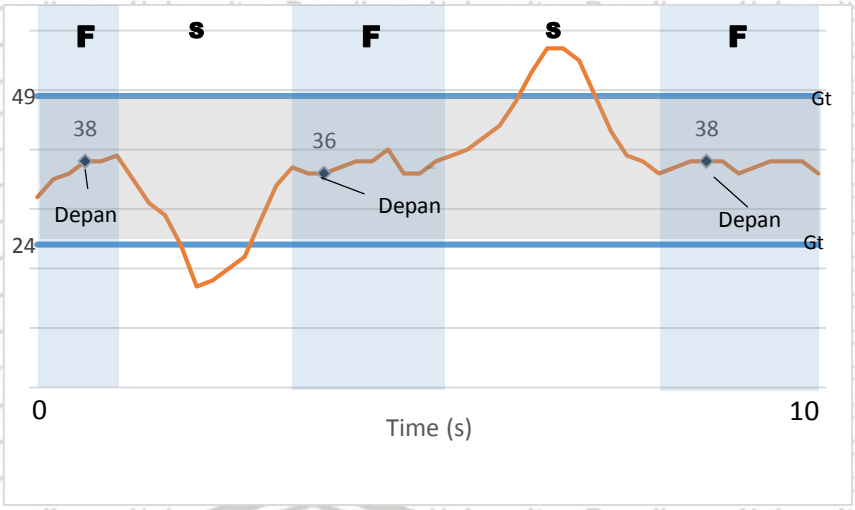
Gambar 5.17 Sensitifitas deteksi pergerakan bola mata metode berbasis Haar Region berdasarkan sebaran titik tengah bola mata terhadap *ground truth* untuk data uji ke-2



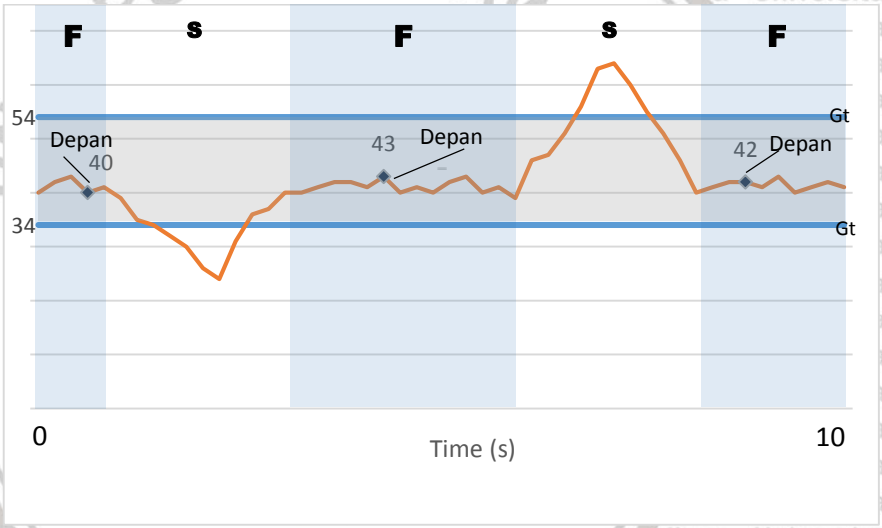
Gambar 5.18 Sensitifitas deteksi pergerakan bola mata metode Berbasis Haar Region berdasarkan sebaran titik tengah bola mata terhadap *ground truth* untuk data uji ke-3



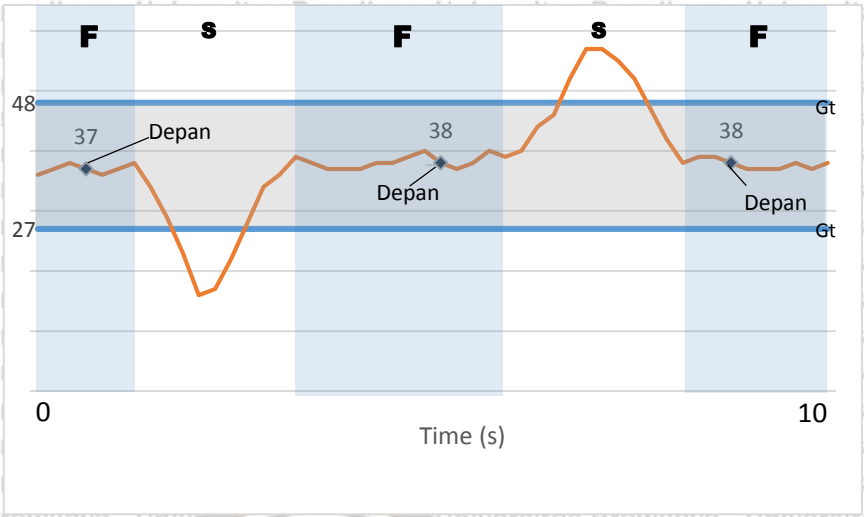
Gambar 5.19 Sensitifitas deteksi pergerakan bola mata metode Berbasis Haar Region berdasarkan sebaran titik tengah bola mata terhadap *ground truth* untuk data uji ke-4



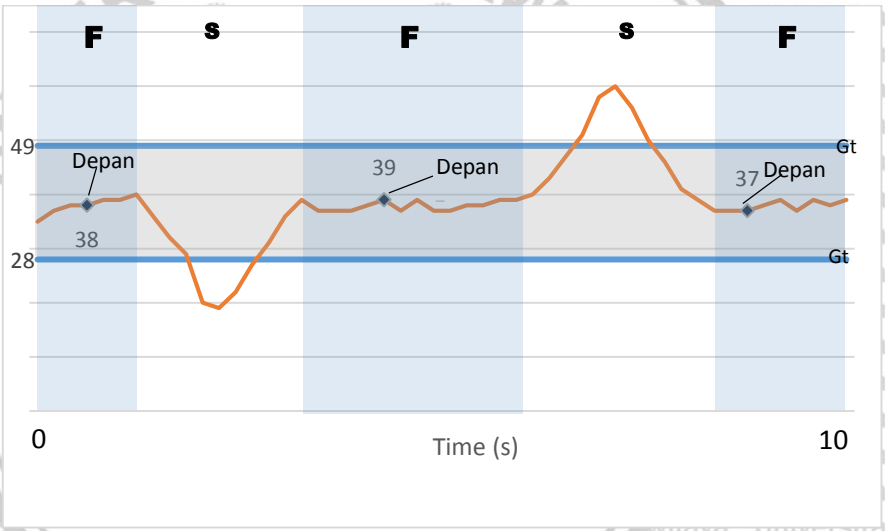
Gambar 5.20 Sensitifitas deteksi pergerakan bola mata metode Berbasis Haar Region berdasarkan sebaran titik tengah bola mata terhadap *ground truth* untuk data uji ke-5



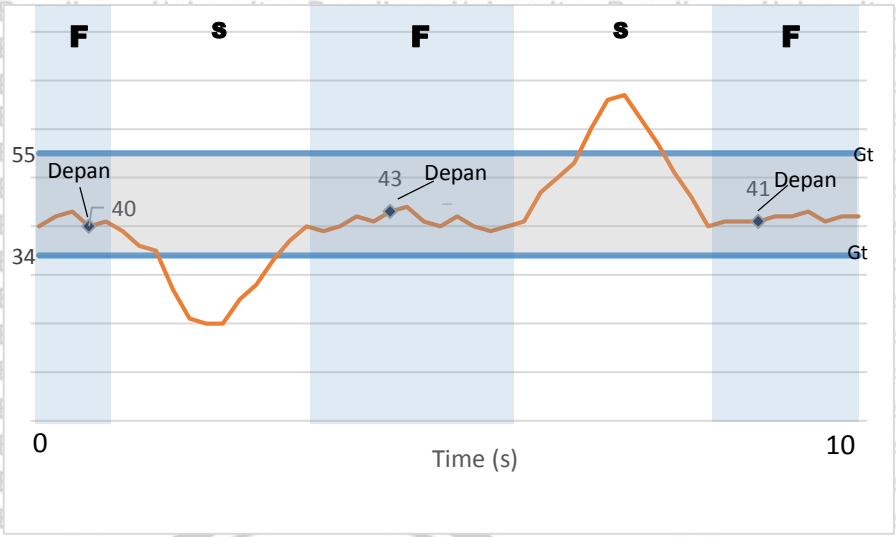
Gambar 5.21 Sensitifitas deteksi pergerakan bola mata metode Berbasis Haar Region berdasarkan sebaran titik tengah bola mata terhadap *ground truth* untuk data uji ke-6



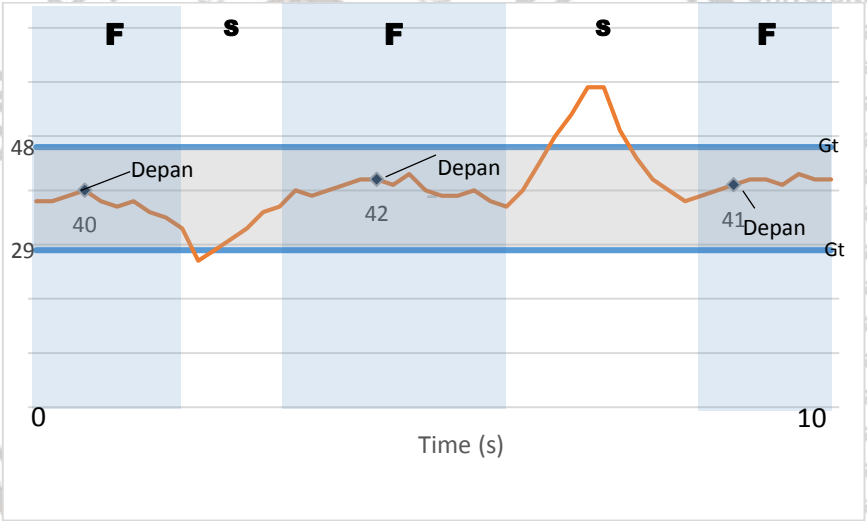
Gambar 5.22 Sensitifitas deteksi pergerakan bola mata metode Berbasis Haar Region berdasarkan sebaran titik tengah bola mata terhadap *ground truth* untuk data uji ke-7



Gambar 5.23 Sensitifitas deteksi pergerakan bola mata metode Berbasis Haar Region berdasarkan sebaran titik tengah bola mata terhadap *ground truth* untuk data uji ke-8



Gambar 5.24 Sensitifitas deteksi pergerakan bola mata metode Berbasis Haar Region berdasarkan sebaran titik tengah bola mata terhadap *ground truth* untuk data uji ke-9



Gambar 5.25 Sensitifitas deteksi pergerakan bola mata metode Berbasis Haar Region berdasarkan sebaran titik tengah bola mata terhadap *ground truth* untuk data uji ke-10

5.6.1 Waktu Komputasi

Hasil pengujian waktu komputasi dari metode yang diusulkan dibandingkan dengan metode pembanding lainnya dapat dilihat pada Tabel 5.9, dimana waktu komputasi terendah dicapai melalui metode pembagian region, metode berbasis koordinat, dan metode berbasis nilai sudut pada tiap arah deteksi pergerakan bola mata. Semakin kecil waktu komputasi yang dicapai maka semakin baik metode tersebut dalam mendeteksi pergerakan bola mata secara *real time*, namun tetap diikuti oleh tingkat akurasi yang baik pula.

Tabel 5.9 Hasil pengujian komparasi waktu komputasi

Arah Pergerakan	Metode	Rata-Rata Waktu Komputasi
Kanan	Koordinat	0.001 s
	Jumlah Piksel	0.023 s
	Besar Sudut	0.001 s
	Pembagian Haar Region	0.001 s
Kiri	Koordinat	0.001 s
	Jumlah Piksel	0.022 s
	Besar Sudut	0.001 s
	Pembagian Haar Region	0.001 s
Atas	Besar Sudut	0.001 s
	Pembagian Haar Region	0.001 s
Bawah	Besar Sudut	0.001 s
	Pembagian Haar Region	0.001 s

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 5.9, metode berbasis perhitungan jumlah piksel bola mata membutuhkan waktu komputasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode komparasi lainnya, pada pergerakan ke kanan dan ke kiri. Hal ini dapat terjadi karena didalam prosesnya, metode ini melakukan perhitungan dan perbandingan jumlah piksel pada seluruh bagian citra bola mata. Hal ini menunjukkan bahwa metode berbasis perhitungan jumlah piksel masih kurang cukup cepat dalam mendeteksi pergerakan bola mata secara *real time*, dikarenakan deteksi pergerakan secara *real time* membutuhkan waktu komputasi yang cukup cepat.

Sebaliknya, rata-rata waktu komputasi dari tiap arah pergerakan bola mata menggunakan metode region Haar memiliki waktu komputasi yang relatif lebih rendah. Hal ini dapat terjadi karena metode yang diusulkan hanya menggunakan pengecekan posisi pupil dalam kotak region yang membutuhkan perhitungan relatif lebih sederhana dibandingkan dengan metode perhitungan piksel. Sedangkan waktu komputasi menggunakan metode berbasis koordinat dan besar sudut segitiga, memiliki rata-rata waktu komputasi yang sama dengan metode yang diusulkan. Namun waktu komputasi yang rendah tanpa diikuti dengan tingkat akurasi yang tinggi akan kurang optimal apabila diterapkan dalam proses deteksi pergerakan bola mata. Sehingga metode yang diusulkan masih lebih unggul dari pada metode komparasi lainnya.

BAB 6 PENUTUP

Bab ini menjelaskan kesimpulan yang dapat dijabarkan dari hasil uji yang telah dilakukan dan dibahas pada Bab 5. Selain itu, saran untuk penelitian berikutnya akan dibahas yang dapat berkontribusi pada perbaikan metode dan menutupi kekurangan dari metode pembagian region agar dapat diimplementasikan sebagai navigasi pergerakan kursi roda secara *real time*.

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil skenario pengujian yang telah dibahas pada bab sebelumnya, metode pembagian region berbasis *Haar Cascade* dan KCF *tracker* dalam mendeteksi pergerakan bola mata dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Metode *Haar Cascade* berbasis region dan *Kernelized Correlation Filter Tracker* dikembangkan melalui pembagian region secara vertikal dan horizontal untuk menghasilkan suatu model kotak Haar yang digunakan untuk mendeteksi pergerakan bola mata secara *real time* dengan memperhatikan posisi pupil atau titik tengah bola mata di dalam kotak Haar. Selain itu, kotak Haar dirancang secara adaptif agar mampu menyesuaikan terhadap perubahan pergerakan menjauh ataupun mendekat.
2. Proses deteksi pergerakan bola mata yang membutuhkan area mata serta bola mata dipengaruhi oleh jarak mata terhadap kamera dimana range jarak 26 hingga 35 cm dapat mendeteksi area mata dan bola mata secara optimal. Semakin jauh atau dekat jarak mata terhadap kamera, maka akan berpengaruh terhadap hasil pendeteksian area mata dan bola mata. Bola mata yang terdeteksi memiliki kondisi atau bentuk bola mata yang tidak sempurna dan terdapat beberapa noise di sekitar area bola mata sehingga tidak dapat ditentukan titik tengah/pupil dari bola mata tersebut. Hal ini dipengaruhi oleh faktor pencahayaan yang masuk pada kamera.
3. Metode pembagian Haar region dengan menerapkan proses registrasi awal dapat berjalan dengan cukup akurat dan berhasil mendeteksi segala arah pergerakan bola mata pada setiap data uji yang sama. Namun masih memungkinkan kesalahan dalam penentuan koordinat pembagian region, khususnya pada proses registrasi ke arah atas dan bawah dikarenakan area pergerakan yang terlalu sempit.
4. Setelah melalui proses registrasi, metode pembagian kotak region juga memiliki kemampuan untuk merubah pembagian region secara adaptif terhadap jarak yang berubah-ubah, namun relatif mempengaruhi akurasi deteksi pergerakan bola mata. Beberapa faktor yang menyebabkan kesalahan pendeteksian adalah faktor cahaya yang berbeda pada tiap jaraknya, sehingga mempengaruhi bentuk dan kondisi citra bola mata. Selain itu faktor lainnya adalah berubahnya posisi pengguna (data uji) dari sensor kamera yang berakibat proses *tracking* area mata tidak dapat berjalan dengan maksimal dan juga mengalami perubahan region mata.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

5. Metode pembagian region berbasis Haar dan KCF *tracker* memiliki tingkat akurasi yang lebih tinggi dalam mendeteksi pergerakan bola mata, dibandingkan dengan metode komparasi lainnya pada kondisi di dalam ruangan dengan pencahayaan yang terang, sehingga metode yang diusulkan dapat menangani kekurangan dari metode sebelumnya terkait dengan akurasi pendeteksian, sensitifitas dan arah pergerakan ambigu yang dapat menimbulkan kesalahan proses pendeteksian pergerakan. Metode yang diusulkan cukup handal dan dapat menjadi alternatif metode untuk diimplementasikan sebagai media navigasi pergerakan pada suatu perangkat otomatis seperti kursi roda bagi penyandang disabilitas cacat tangan dan kaki. Namun perlu ada penelitian lebih lanjut apabila diterapkan dalam sebuah perangkat otomatis/elektronik terkait dengan masalah pencahayaan yang sangat mempengaruhi akurasi deteksi pergerakan bola mata.
6. Waktu komputasi yang dihasilkan oleh metode region berbasis Haar dan KCF *tracker* lebih rendah dibandingkan dengan metode berbasis piksel, dan memiliki waktu komputasi yang relatif sama pada metode berbasis koordinat dan metode berbasis nilai sudut. Namun waktu komputasi yang rendah perlu diikuti oleh akurasi yang tinggi sehingga metode yang diusulkan lebih unggul dari metode pembanding lainnya.

6.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya terkait metode dalam proses deteksi pergerakan bola mata sebagai media navigasi perangkat otomatis adalah sebagai berikut:

1. Penerapan *threshold* citra biner yang adaptif dapat dikembangkan untuk mendeteksi area bola mata sehingga dapat menyesuaikan perubahan pencahayaan yang terjadi secara *real time*.
2. Perubahan posisi jarak pengguna yaitu mendekat dan menjauh terhadap sensor kamera telah dirancang secara adaptif, namun belum mencakup perubahan atau pergeseran posisi ke arah samping. Sehingga penelitian selanjutnya dapat merancang metode yang lebih handal agar mampu menyesuaikan perubahan posisi ke samping kanan dan kiri.
3. Pergerakan bola mata yang dapat diimplementasikan sebagai media kendali suatu perangkat elektrik/otomatis membutuhkan tipe arah pergerakan yang lebih beragam seperti arah serong, sehingga tipe arah pergerakan selain kanan, kiri, atas, dan bawah dapat diterapkan pada deteksi pergerakan bola mata.
4. Kondisi pendeteksian pergerakan bola mata dapat ditambahkan lebih luas lagi dengan melakukan pendeteksian pada ruangan yang terbuka dan kondisi pencahayaan yang lebih bervariatif.

DAFTAR PUSTAKA

Al-Rahayfeh, A. M. E. R., & Faezipour, M. I. A. D. (2013). Eye tracking and head movement detection: A state-of-art survey. IEEE journal of translational engineering in health and medicine, 1, 2100212-2100212. doi: 10.1109/JTEHM.2013.2289879

Arai, K., & Mardiyanto, R. (2011). A prototype of electric wheelchair controlled by eye-only for paralyzed user. Journal of robotics and mechatronics, 23(1), 66.

Bulling, A., Member, S., Ward, J. A., Gellersen, H., & Tro, G. (2011). Eye Movement Analysis for Activity Recognition Using Electrooculography, 33(4), pp. 741–753. doi: 10.1109/TPAMI.2010.86

Dietterich, T. G., Lathrop, R. H., & Lozano-Pérez, T. (1997). Solving the multiple instance problem with axis-parallel rectangles. Artificial intelligence, 89(1), pp. 31-71. doi: 10.1016/S0004-3702(96)00034-3.

Drewes, H. (2010). Eye gaze tracking for human computer interaction (Doctoral dissertation, lmu). Available at: https://edoc.ub.uni-muenchen.de/11591.

Gao, C., & Lu, S. L. (2008). Novel FPGA based haar classifier face detection algorithm acceleration. Proceedings - 2008 International Conference on Field Programmable Logic and Applications, FPL, pp. 373–378. doi: 10.1109/FPL.2008.4629966.

Ghani, M. U., Chaudhry, S., Sohail, M., & Geelani, M. N. (2013, December). GazePointer: A real time mouse pointer control implementation based on eye gaze tracking. In IEEE Multi Topic Conference (INMIC), 2013 16th International, pp. 154-159.

Gonzalez, R. C., Woods, R. E., & Hall, P. (2008). Digital Image Processing.

Henriques, F., Caseiro, R., Martins, P., & Batista, J. (2012) Exploiting the Circulant Structure of Tracking-by-detection with Kernels, In Computer Vision–ECCV Springer 2012, pp. 702–715. doi: 10.1007/978-3-642-33765-9_50

Henriques, J. F., Caseiro, R., Martins, P., & Batista, J. (2014). High-Speed Tracking with Kernelized Correlation Filters. Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on, 37(3), pp. 583–596. doi: 10.1109/TPAMI.2014.2345390

Hoppe, S., & Bulling, A. (2016). End-to-End Eye Movement Detection Using Convolutional Neural Networks. Retrieved from http://arxiv.org/abs/1609.02452

Kementrian Kesehatan RI. (2014). Situasi Penyandang Disabilitas. Buletin Jendela Data Dan Informasi Kesehatan. Available at: http://www.depkes.go.id/ /pusdatin/buletin/buletin-disabilitas.pdf (Accessed: 20 April 2017).

Kimori, Y. (2013). Morphological image processing for quantitative shape analysis of biomedical structures: effective contrast enhancement. Journal of synchrotron radiation, 20(6), pp. 848-853.

Kristan, M., Matas, J., Leonardis, A., Felsberg, M., Cehovin, L., Fernández, G., & Pflugfelder, R. (2015). The visual object tracking vot2014 challenge results In Computer Vision-ECCV Springer 2014 Workshop, pp. 191-217.

Lienhart, R., & Maydt, J. (2002). An extended set of haar-like features for rapid object detection. In Image Processing. 2002. Proceedings. 2002 International Conference on IEEE. doi: 10.1109/ICIP.2002.1038171.

McAndrew, A. (2004). An introduction to digital image processing with matlab notes for scm2511 image processing. School of Computer Science and Mathematics, Victoria University of Technology, pp. 1-264.

Piccardi, M. (2004). Background subtraction techniques: a review. In Systems, man and cybernetics, 2004 IEEE international conference, pp. 3099-3104. doi: 10.1109/ICSMC.2004.1400815

Review of Multi-Instance Learning and Its applications. (n.d.). Available at: http://www.cs.cmu.edu/~juny/MILL/review.htm. (Accessed: 25 September 2017).

Salvucci, D. D., & Goldberg, J. H. (2000, November). Identifying fixations and saccades in eye-tracking protocols. In Proceedings of the 2000 symposium on Eye tracking research & applications, pp. 71-78. ACM. doi: 10.1145/355017.355028

Singh, M., Jain, P., & Chopra, S. (2015). Eye movement detection for wheelchair control application. International Conference on Electrical, Electronics, Signals, Communication and Optimization, EESCO 2015, pp. 4–8. doi: 10.1109/EESCO.2015.7253877.

Smeulders, A. W. M., Member, S., Chu, D. M., Member, S., Cucchiara, R. (2014). Visual Tracking : An Experimental Survey, 36(7), pp. 1442–1468. doi: 10.1109/TPAMI.2013.230

Sobotta, J. Atlas der Anatomie des Menschen, Hrsg. R. Putz und R. Pabst, Elsevier GmbH Munchen, 21. Auflage, 2004

Statistik, B. P. (2015). Hasil Survei Penduduk Antar Sensus 2015. Available at: https://www.bps.go.id/website/pdf_publikasi/Penduduk-Indonesia-hasil-SUPAS-2015_rev.pdf (Accessed: 20 April 2017).

Underwood, G., Cognitive Processes in Eye Guidance. Oxford Univ. Press, 2005.

Utaminingrum, F., Fauzi, M. A., Sari, Y.A., Primaswara, R., Adinugroho, S. (2016). Eye Movement as Navigator for Disabled Person. In Proceedings of the 2016 International Conference on Communication and Information Systems, ICCIS 2016, pp. 1-5.

Utaminingrum, F., Primaswara, R., & Sari, Y. A. (2017). Image Processing for Rapidly Eye Detection based on Robust Haar Sliding Window, 7(2), pp. 823–830. doi: 10.11591/ijece.v7i2.pp823-830.

Van Asch, V. (2013). Macro-and micro-averaged evaluation measures [[basic draft]].

Viola, P., & Jones, M. (2001). Rapid object detection using a boosted cascade of simple features. In Computer Vision and Pattern Recognition, 2001. CVPR 2001. Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on IEEE, pp.511-518. doi: 10.1109/CVPR.2001.990517.

Yilmaz, A., Javed, O., & Shah, M. (2006). Object tracking: A survey. Acm computing surveys (CSUR), 38(4), pp.1-45. doi: 10.1145/1177352.1177355.

Yuille, A., Vincent, L., Geiger, D., & Hall, P. (1992). Statistical Morphology and Bayesian Reconstruction, 1(3), pp. 1–15. doi: 10.1007/BF00129877.

Zhang, S., Bauckhage, C., & Cremers, A. B. (2014). Informed haar-like features improve pedestrian detection. In Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition, pp. 947-954. doi: 10.1109/CVPR.2014.126.

LAMPIRAN

Lampiran A. Hasil Data Uji Metode Haar Berbasis Region

RIGHT
LEFT
UPWARD
DOWNWARD
RIGHT
LEFT
UPWARD
DOWNWARD
RIGHT
LEFT
RIGHT
LEFT
FRONT
DOWNWARD
RIGHT
LEFT
UPWARD
DOWNWARD
RIGHT
LEFT
UPWARD
DOWNWARD

Tracking
RIGHT
LEFT
UPWARD
DOWNWARD

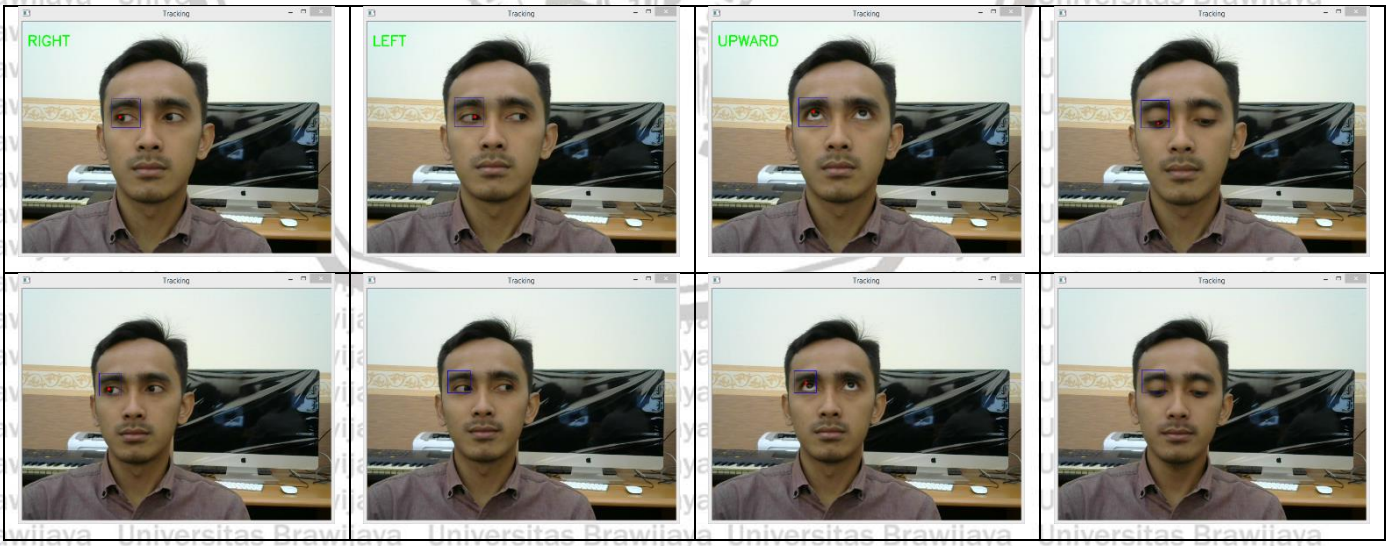
Lampiran B. Pengujian Pengaruh Jarak Terhadap Deteksi Pergerakan Bola Mata

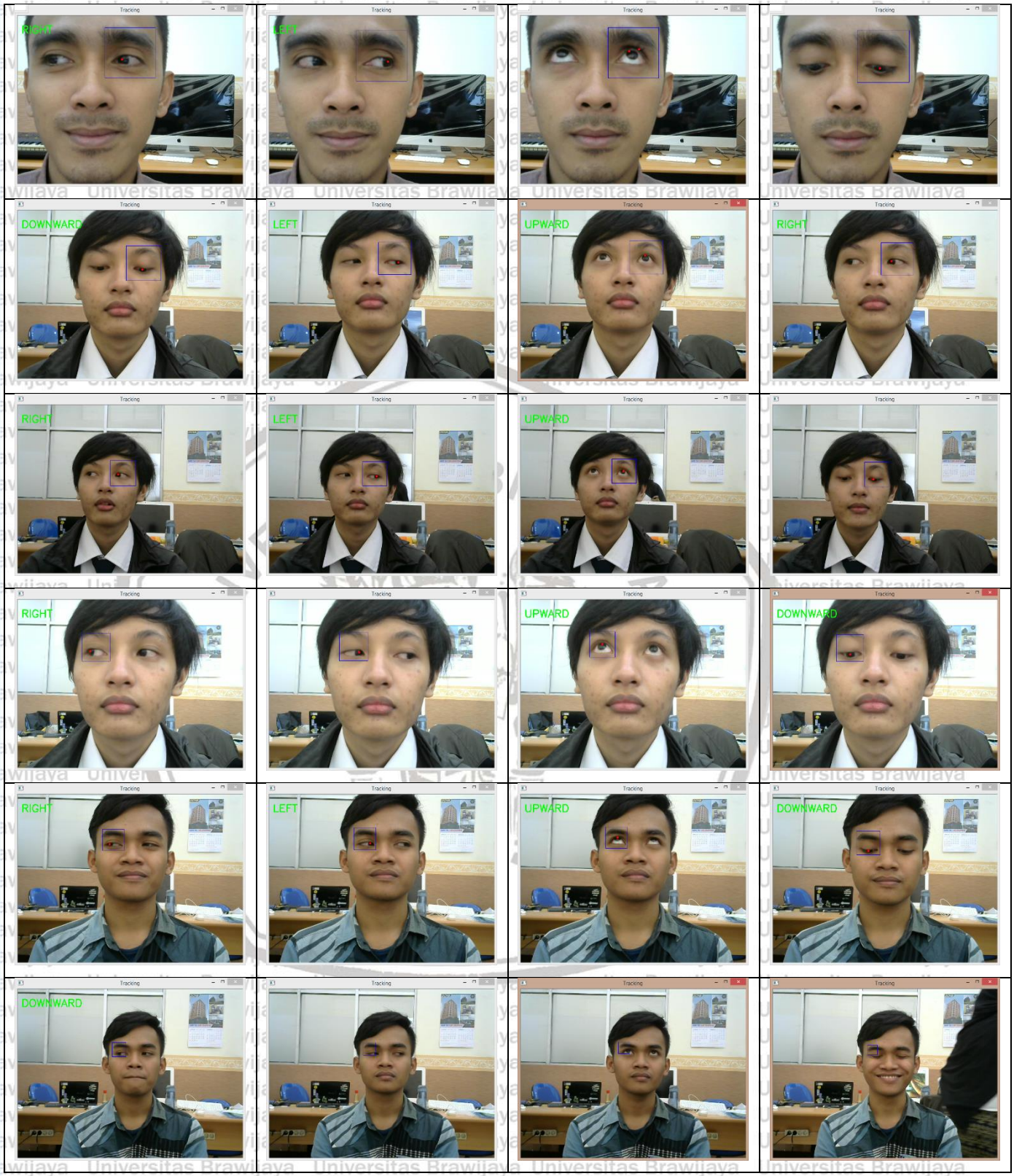
Data Uji	Jarak (cm)	Arah pergerakan			
		Kanan	**Kiri**	**Atas**	**Bawah**
1	15	Salah	Salah	Salah	Salah
	20	Benar	Benar	Salah	Salah
	25	Benar	Benar	Benar	Salah
	30	Salah	Benar	Benar	Benar
	35	Salah	Benar	Benar	Benar
	40	Benar	Benar	Benar	Salah
	45	Benar	Benar	Benar	Salah
	50	Salah	Salah	Salah	Salah
	55	Salah	Salah	Salah	Salah
2	15	Salah	Salah	Salah	Salah
	20	Benar	Salah	Salah	Salah
	25	Benar	Salah	Benar	Benar
	30	Benar	Benar	Benar	Benar
	35	Benar	Benar	Benar	Benar
	40	Benar	Benar	Salah	Salah
	45	Benar	Benar	Salah	Salah
	50	Benar	Benar	Benar	Salah
	55	Salah	Salah	Salah	Salah
3	15	Salah	Salah	Salah	Salah
	20	Salah	Salah	Salah	Salah
	25	Benar	Salah	Benar	Benar
	30	Benar	Benar	Benar	Benar
	35	Benar	Benar	Benar	Benar
	40	Benar	Benar	Benar	Benar

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

	45	Benar	Benar	Salah	Benar
	50	Salah	Salah	Salah	Salah
	55	Salah	Salah	Salah	Salah
4	15	Salah	Salah	Salah	Salah
	20	Salah	Salah	Salah	Salah
	25	Salah	Salah	Salah	Salah
	30	Salah	Salah	Benar	Salah
	35	Benar	Benar	Benar	Salah
	40	Benar	Salah	Salah	Benar
	45	Salah	Salah	Benar	Salah
	50	Salah	Salah	Salah	Salah
	55	Salah	Salah	Salah	Salah
5	15	Salah	Salah	Salah	Salah
	20	Salah	Salah	Salah	Salah
	25	Salah	Salah	Salah	Salah
	30	Benar	Benar	Benar	Benar
	35	Benar	Benar	Benar	Benar
	40	Benar	Benar	Benar	Salah
	45	Salah	Salah	Salah	Salah
	50	Salah	Salah	Salah	Salah
	55	Salah	Salah	Salah	Salah
6	15	Salah	Salah	Salah	Salah
	20	Salah	Salah	Salah	Salah
	25	Salah	Salah	Salah	Salah
	30	Benar	Salah	Salah	Salah
	35	Benar	Benar	Salah	Salah
	40	Benar	Salah	Benar	Benar
	45	Salah	Salah	Salah	Salah
	50	Salah	Salah	Salah	Salah
	55	Salah	Salah	Salah	Benar
7	15	Salah	Salah	Salah	Salah
	20	Salah	Salah	Salah	Salah
	25	Benar	Salah	Benar	Salah
	30	Benar	Salah	Benar	Salah
	35	Benar	Salah	Benar	Benar
	40	Salah	Salah	Benar	Salah
	45	Benar	Salah	Benar	Salah
	50	Benar	Salah	Benar	Benar
	55	Salah	Salah	Salah	Salah
8	15	Salah	Salah	Salah	Salah
	20	Salah	Salah	Salah	Salah
	25	Benar	Salah	Benar	Salah
	30	Benar	Salah	Benar	Salah

	35	Benar	Salah	Benar	Salah
	40	Benar	Benar	Salah	Salah
	45	Benar	Benar	Salah	Benar
	50	Salah	Salah	Salah	Salah
	55	Salah	Salah	Salah	Salah
9	15	Salah	Salah	Salah	Salah
	20	Salah	Salah	Salah	Salah
	25	Benar	Benar	Benar	Benar
	30	Benar	Benar	Salah	Salah
	35	Benar	Benar	Salah	Salah
	40	Benar	Benar	Salah	Benar
	45	Benar	Benar	Salah	Benar
	50	Benar	Benar	Salah	Benar
	55	Salah	Salah	Salah	Benar
10	15	Salah	Salah	Salah	Salah
	20	Salah	Salah	Salah	Salah
	25	Salah	Salah	Salah	Salah
	30	Salah	Salah	Benar	Benar
	35	Salah	Salah	Benar	Benar
	40	Salah	Salah	Benar	Benar
	45	Salah	Salah	Benar	Salah
	50	Salah	Salah	Salah	Salah
	55	Salah	Salah	Salah	Salah





repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

RIGHT
LEFT
UPWARD
RIGHT
LEFT
UPWARD
DOWNWARD
UPWARD
RIGHT
LEFT
UPWARD
DOWNWARD
DOWNWARD

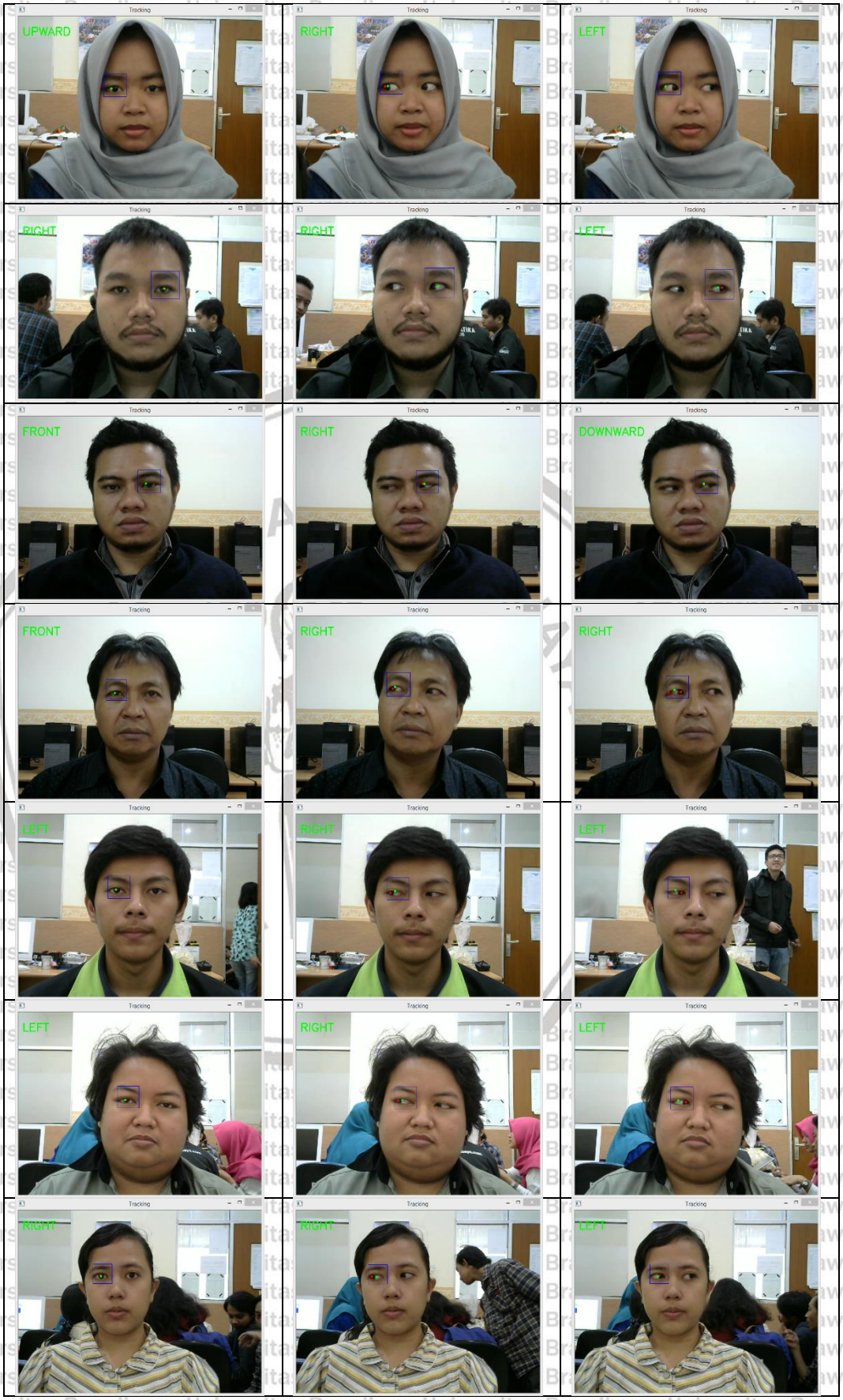
repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

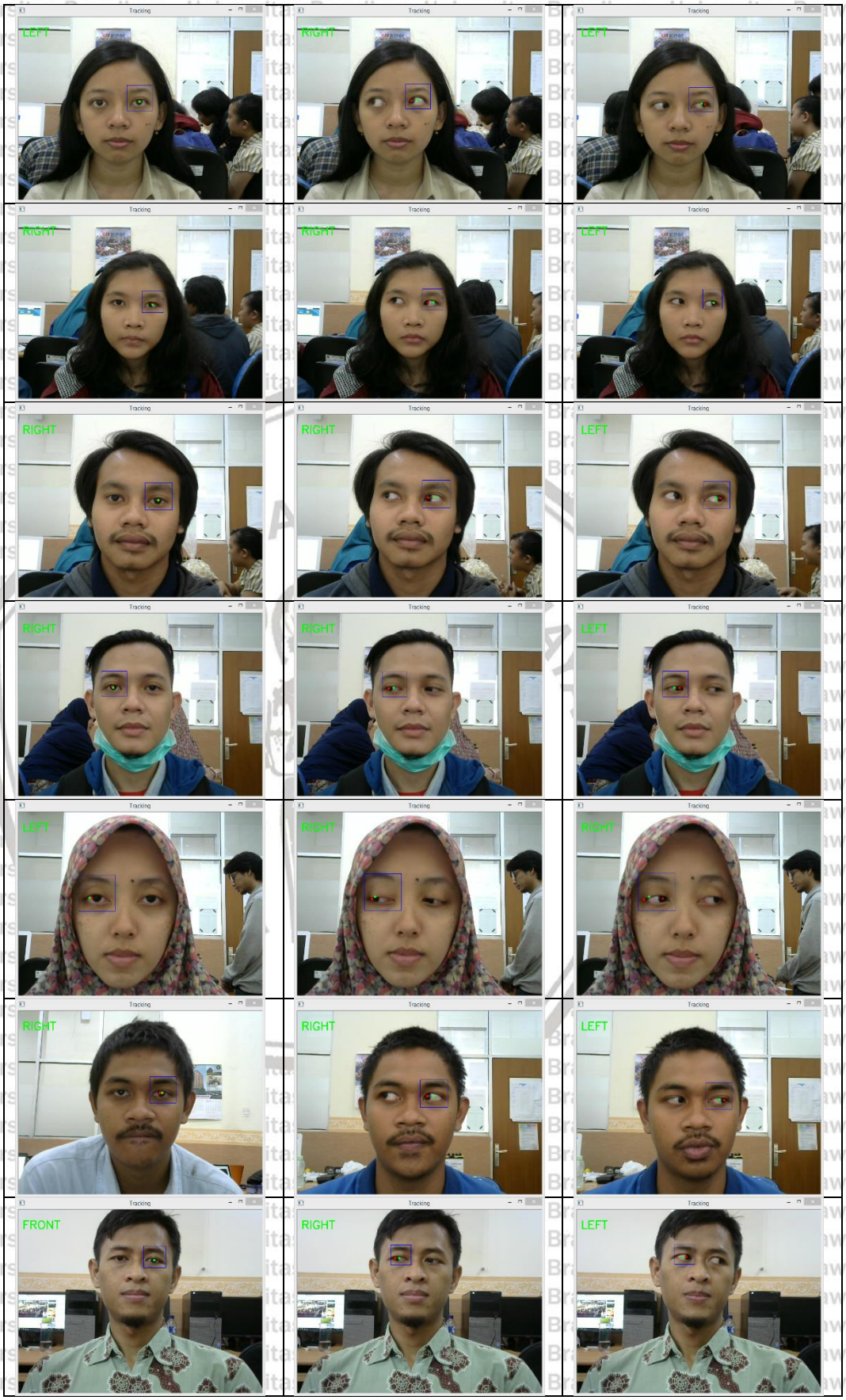
RIGHT
UPWARD
RIGHT
RIGHT
LEFT
DOWNWARD
RIGHT
LEFT
DOWNWARD
DOWNWARD
FRONT
DOWNWARD

RIGHT
LEFT
UPWARD
DOWNWARD
RIGHT
LEFT
UPWARD
FRONT
UPWARD

Lampiran C. Hasil Data Uji Metode Berbasis Koordinat

Data Uji	Arah Pergerakan		
	Depan	Kanan	Kiri
1	Salah	Benar	Benar
2	Salah	Benar	Benar
3	Salah	Benar	Benar
4	Salah	Benar	Benar
5	Benar	Benar	Salah
6	Benar	Benar	Salah
7	Salah	Benar	Benar
8	Salah	Benar	Benar
9	Salah	Benar	Benar
10	Salah	Benar	Benar
11	Salah	Benar	Benar
12	Salah	Benar	Benar
13	Salah	Benar	Benar
14	Salah	Benar	Salah
15	Salah	Benar	Benar
16	Benar	Benar	Benar
17	Salah	Salah	Salah
18	Salah	Benar	Benar
19	Salah	Benar	Benar
20	Salah	Benar	Salah
Total Terdeteksi Benar	3	19	15


UPWARD
RIGHT
LEFT
RIGHT
RIGHT
LEFT
FRONT
RIGHT
DOWNWARD
FRONT
RIGHT
RIGHT
LEFT
RIGHT
LEFT
LEFT
RIGHT
LEFT
RIGHT
RIGHT
LEFT


Tracking
LEFT
RIGHT
LEFT
RIGHT
RIGHT
LEFT
RIGHT
RIGHT
LEFT
RIGHT
RIGHT
LEFT
LEFT
RIGHT
RIGHT
RIGHT
RIGHT
LEFT
FRONT
RIGHT
LEFT

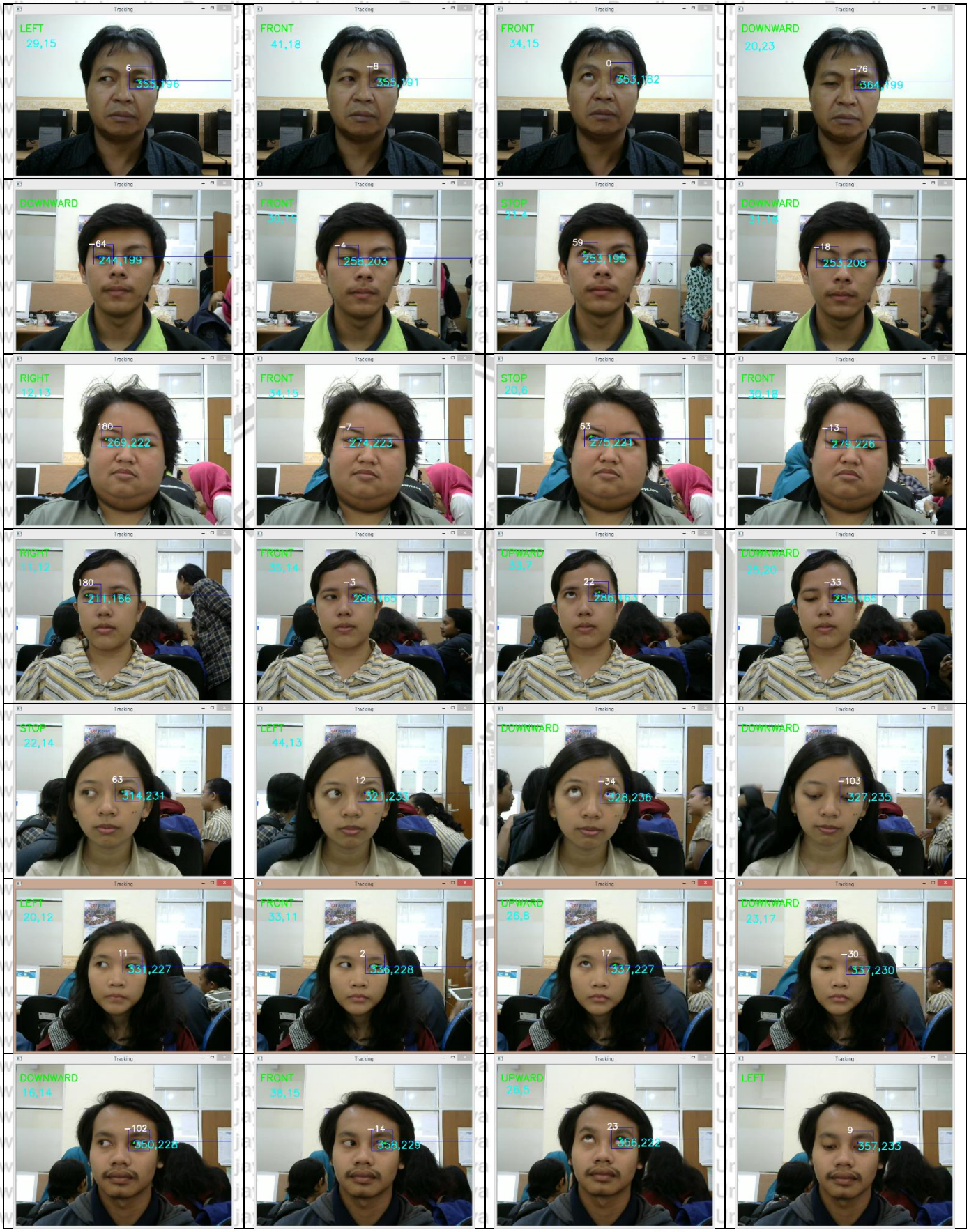
Lampiran D. Hasil Data Uji Metode Berbasis Besar Sudut

Data Uji	Arah Pergerakan			
	Kanan	Kiri	Atas	Bawah
1	Benar	Salah	Benar	Benar
2	Salah	Salah	Salah	Benar
3	Salah	Salah	Salah	Salah
4	Salah	Salah	Benar	Benar
5	Benar	Salah	Benar	Salah
6	Salah	Salah	Salah	Benar
7	Salah	Salah	Salah	Benar
8	Benar	Salah	Salah	Salah
9	Benar	Salah	Benar	Benar
10	Salah	Benar	Salah	Benar
11	Salah	Salah	Benar	Benar
12	Salah	Salah	Benar	Salah
13	Salah	Salah	Benar	Benar

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

14	Salah	Salah	Benar	Benar
15	Benar	Salah	Salah	Salah
16	Salah	Salah	Benar	Benar
17	Salah	Benar	Benar	Benar
18	Salah	Benar	Benar	Benar
19	Salah	Benar	Salah	Benar
20	Benar	Benar	Benar	Benar
Total	6	5	12	15

repository.ub.ac.id



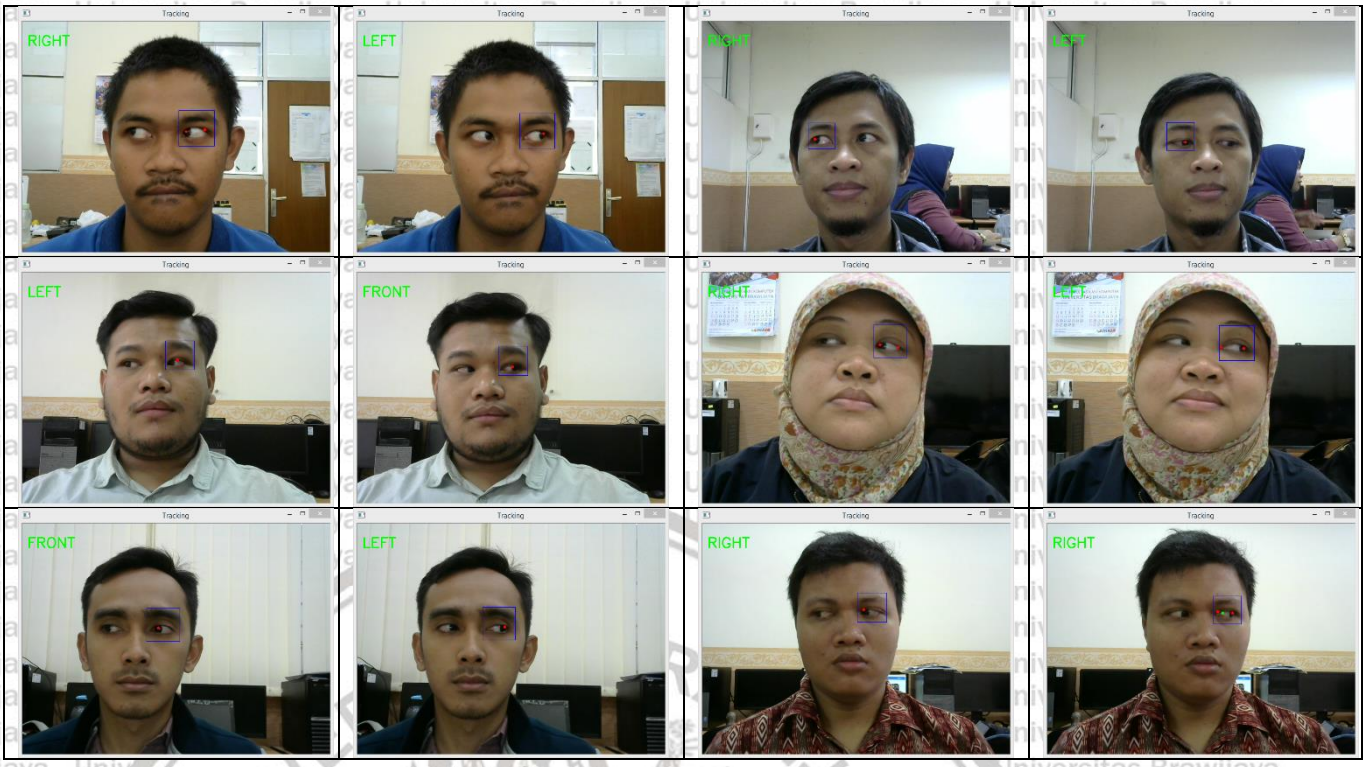
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
Universitas Brawijaya

Lampiran E. Hasil Data Uji Metode Berbasis Jumlah Piksel

Data Uji	Arah Pergerakan	
	Kanan	Kiri
1	Benar	Salah
2	Benar	Salah
3	Benar	Benar
4	Salah	Benar
5	Benar	Salah
6	Salah	Benar
7	Benar	Salah
8	Benar	Benar
9	Benar	Benar
10	Benar	Benar
11	Salah	Benar
12	Salah	Benar
13	Benar	Benar
14	Salah	Salah
15	Benar	Benar
16	Benar	Benar
17	Salah	Salah
18	Benar	Benar
19	Salah	Benar
20	Benar	Salah
Total Terdeteksi Benar	13	13

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
Universitas Brawijaya


Tracking
RIGHT
LEFT
RIGHT
LEFT
LEFT
FRONT
RIGHT
LEFT
FRONT
LEFT
RIGHT
RIGHT

Lampiran F. Data Uji Sensitivitas Metode Berbasis Koordinat

Nilai *threshold* = 5
Nilai *ground truth* = 29

Data Uji ke-1

Data	*x*	Nilai *Dispersion*	Kondisi Pergerakan
1	27	2	Fixation
2	27		
3	26		
4	27		
5	28		
6	28	1	Fixation
7	27		
8	28		
9	28		
10	28		
11	24	7	Saccade
12	23		
13	22		
14	19		
15	17		
16	18	9	Saccade
17	19		
18	23		
19	24		
20	27		
21	26	2	Fixation
22	27		
23	28		
24	28		
25	27		
26	27	2	Fixation
27	26		
28	27		
29	28		
30	28		
31	27	1	Fixation
32	28		
33	28		
34	27		
35	27		
36	29	13	Saccade
37	32		

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

38	33		
39	34		
40	42		
41	44		
42	39		
43	37	17	Saccade
44	34		
45	27		
46	26		
47	27		
48	28	2	Fixation
49	28		
50	27		

Nilai *ground truth* = 27

Data Uji ke-2

Data	x	Nilai *Dispersion*	Kondisi Pergerakan
1	27		
2	28		
3	26	2	Fixation
4	27		
5	27		
6	27		
7	27		
8	26	1	Fixation
9	26		
10	26		
11	25		
12	23		
13	19	9	Saccade
14	17		
15	16		
16	13		
17	14		
18	28	13	Saccade
19	26		
20	26		
21	27		
22	26		
23	29	3	Fixation
24	26		
25	29		

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

26	29		
27	27		
28	28	3	Fixation
29	26		
30	27		
31	27		
32	27		
33	27	1	Fixation
34	26		
35	26		
36	30		
37	33		
38	36	10	Saccade
39	37		
40	40		
41	37		
42	35		
43	31	11	Saccade
44	29		
45	26		
46	26		
47	28		
48	26	2	Fixation
49	27		
50	28		

Nilai *ground truth* = 48

Data Uji ke-3

Data	x	Nilai *Dispersion*	Kondisi Pergerakan
1	45		
2	44		
3	45	2	Fixation
4	47		
5	47		
6	47		
7	46		
8	46	2	Fixation
9	46		
10	45		
11	40		
12	35	18	Saccade
13	32		

14	26		
15	22		
16	23		
17	26		
18	32	17	Saccade
19	35		
20	40		
21	46		
22	47		
23	46	1	Fixation
24	47		
25	46		
26	46		
27	45		
28	44	2	Fixation
29	44		
30	45		
31	44		
32	45		
33	47	3	Fixation
34	47		
35	46		
36	47		
37	53		
38	55	14	Saccade
39	59		
40	61		
41	62		
42	57		
43	55	16	Saccade
44	51		
45	46		
46	46		
47	45		
48	44	2	Fixation
49	44		
50	44		

Nilai *ground truth* = 47

Data Uji ke-4

Data	x	Nilai *Dispersion*	Kondisi Pergerakan
1	48	1	Fixation
2	49		
3	48		
4	49		
5	48		
6	49	1	Fixation
7	49		
8	48		
9	49		
10	48		
11	44	16	Saccade
12	43		
13	39		
14	35		
15	28		
16	28	19	Saccade
17	37		
18	39		
19	41		
20	47		
21	48	1	Fixation
22	49		
23	49		
24	48		
25	49		
26	48	1	Fixation
27	49		
28	48		
29	49		
30	48		
31	49	1	Fixation
32	49		
33	48		
34	49		
35	49		
36	51	8	Saccade
37	52		
38	54		
39	55		

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

40	59		
41	58		
42	55		
43	52	10	Saccade
44	51		
45	48		
46	49		
47	49		
48	49	1	Fixation
49	48		
50	49		

Nilai *ground truth* = 40

Data Uji ke-5

Data	x	Nilai *Dispersion*	Kondisi Pergerakan
1	40		
2	39		
3	40	1	Fixation
4	40		
5	40		
6	40		
7	40		
8	40	1	Fixation
9	39		
10	40		
11	38		
12	37		
13	34	10	Saccade
14	30		
15	28		
16	27		
17	35		
18	36	12	Saccade
19	39		
20	39		
21	39		
22	39		
23	38	2	Fixation
24	39		
25	40		
26	40	1	Fixation
27	39		

28	40		
29	40		
30	40		
31	40		
32	40		
33	40	1	Fixation
34	39		
35	39		
36	44		
37	46		
38	48	11	Saccade
39	49		
40	55		
41	54		
42	49		
43	47	12	Saccade
44	45		
45	42		
46	39		
47	39		
48	38	2	Fixation
49	39		
50	40		

Nilai *ground truth* = 31

Data Uji ke-6

Data	x	Nilai *Dispersion*	Kondisi Pergerakan
1	31		
2	32		
3	32	2	Fixation
4	32		
5	33		
6	34		
7	33		
8	33	1	Fixation
9	33		
10	33		
11	31		
12	27		
13	25	16	Saccade
14	22		
15	15		

16	14		
17	16		
18	22	13	Saccade
19	24		
20	27		
21	30		
22	31		
23	33	3	Fixation
24	32		
25	31		
26	32		
27	32		
28	32	2	Fixation
29	33		
30	34		
31	33		
32	33		
33	33	1	Fixation
34	33		
35	34		
36	34		
37	36		
38	37	7	Saccade
39	38		
40	41		
41	40		
42	37		
43	37	8	Saccade
44	36		
45	32		
46	30		
47	31		
48	31	3	Fixation
49	32		
50	33		

Nilai *ground truth* = 25

Data Uji ke-7

Data	x	Nilai *Dispersion*	Kondisi Pergerakan
1	25		
2	24	1	Fixation
3	25		

4	24		
5	25		
6	24		
7	24		
8	24	0	Fixation
9	24		
10	24		
11	23		
12	21		
13	20	7	Saccade
14	19		
15	16		
16	15		
17	18		
18	19	9	Saccade
19	20		
20	24		
21	25		
22	25		
23	23	2	Fixation
24	25		
25	25		
26	24		
27	25		
28	24	1	Fixation
29	25		
30	24		
31	24		
32	24		
33	24	1	Fixation
34	24		
35	25		
36	25		
37	30		
38	34	14	Saccade
39	37		
40	39		
41	38		
42	36		
43	34	13	Saccade
44	27		
45	25		
46	26	3	Fixation

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

47	25		
48	25		
49	23		
50	25		

Nilai *ground truth* = 25

Data Uji ke-8

Data	x	Nilai Dispersion	Kondisi Pergerakan
1	27		
2	26		
3	27	1	Fixation
4	27		
5	27		
6	29		
7	28		
8	29	1	Fixation
9	28		
10	29		
11	27		
12	25		
13	23	9	Saccade
14	21		
15	18		
16	19		
17	20		
18	21	8	Saccade
19	24		
20	27		
21	29		
22	29		
23	29	5	Fixation
24	28		
25	24		
26	26		
27	27		
28	27	3	Fixation
29	27		
30	29		
31	28		
32	29	1	Fixation
33	28		
34	29		

35	28		
36	31		
37	33		
38	36	11	Saccade
39	37		
40	42		
41	42		
42	39		
43	38	6	Saccade
44	37		
45	36		
46	28		
47	29		
48	29	1	Fixation
49	29		
50	28		

Nilai *ground truth* = 26

Data Uji ke-9

Data	x	Nilai *Dispersion*	Kondisi Pergerakan
1	26		
2	26		
3	26	1	Fixation
4	25		
5	25		
6	26		
7	25		
8	25	1	Fixation
9	25		
10	25		
11	24		
12	23		
13	21	9	Saccade
14	19		
15	15		
16	16		
17	19		
18	20	8	Saccade
19	21		
20	24		
21	25	2	Fixation
22	27		

23	27		
24	27		
25	26		
26	26		
27	26		
28	25	1	Fixation
29	25		
30	26		
31	25		
32	25		
33	25	4	Fixation
34	27		
35	29		
36	30		
37	35		
38	35	7	Saccade
39	36		
40	37		
41	37		
42	36		
43	35	11	Saccade
44	32		
45	26		
46	26		
47	25		
48	25	2	Fixation
49	27		
50	27		

Nilai *ground truth* = 38

Data Uji ke-10

Data	x	Nilai *Dispersion*	Kondisi Pergerakan
1	37		
2	38		
3	38	1	Fixation
4	38		
5	38		
6	38		
7	38		
8	38	1	Fixation
9	37		
10	37		

11	34		
12	30		
13	31	11	Saccade
14	28		
15	23		
16	22		
17	23		
18	26	15	Saccade
19	33		
20	37		
21	38		
22	37		
23	37	1	Fixation
24	37		
25	37		
26	38		
27	38		
28	38	1	Fixation
29	38		
30	37		
31	38		
32	38		
33	39	3	Fixation
34	39		
35	41		
36	42		
37	45		
38	46	6	Saccade
39	48		
40	48		
41	49		
42	47		
43	45	11	Saccade
44	41		
45	38		
46	37		
47	38		
48	38	1	Fixation
49	37		
50	37		

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Lampiran G. Data Uji Sensitivitas Metode Berbasis *Haar* Region

Nilai *threshold* = 6

Nilai *ground truth* = 28 - 47

Data Uji 1

Data	Koordinat *x*	Nilai *Dispersion*	Kondisi Pergerakan
1	42	2	Fixation
2	42		
3	41		
4	41		
5	40		
6	39	13	Saccade
7	37		
8	32		
9	30		
10	26		
11	22	13	Saccade
12	21		
13	29		
14	33		
15	35		
16	40	1	Fixation
17	41		
18	41		
19	41		
20	41		
21	43	2	Fixation
22	41		
23	41		
24	41		
25	42		
26	42	4	Fixation
27	41		
28	41		
29	40		
30	46		
31	52	9	Saccade
32	57		
33	59		
34	61		
35	57		
36	56	10	Saccade
37	55		

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

38	48		
39	47		
40	46		
41	43		
42	41		
43	42	2	Fixation
44	41		
45	41		
46	43		
47	41		
48	41	2	Fixation
49	41		
50	41		

Nilai *ground truth* = 32 - 50

Data Uji 2

Data	Koordinat *x*	Nilai *Dispersion*	Kondisi Pergerakan
1	45		
2	45		
3	44	1	Fixation
4	44		
5	44		
6	44		
7	40		
8	35	15	Saccade
9	33		
10	29		
11	26		
12	27		
13	32	12	Saccade
14	36		
15	38		
16	43		
17	44		
18	44	2	Fixation
19	44		
20	45		
21	46		
22	43		
23	42	3	Fixation
24	42		
25	43		

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

26	44		
27	45		
28	47	6	Fixation
29	48		
30	50		
31	55		
32	60		
33	64	9	Saccade
34	64		
35	60		
36	59		
37	58		
38	51	10	Saccade
39	50		
40	49		
41	46		
42	44		
43	45	2	Fixation
44	44		
45	46		
46	42		
47	44		
48	45	3	Fixation
49	44		
50	44		

Nilai *ground truth* = 26 - 46

Data Uji 3

Data	Koordinat *x*	Nilai *Dispersion*	Kondisi Pergerakan
1	36		
2	39		
3	38	4	Fixation
4	38		
5	40		
6	40		
7	39		
8	37	13	Saccade
9	32		
10	27		
11	21		
12	18	11	Saccade
13	20		

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

14	25		
15	29		
16	33		
17	37		
18	39	5	Fixation
19	38		
20	38		
21	37		
22	39		
23	40	3	Fixation
24	38		
25	38		
26	39		
27	38		
28	38	6	Fixation
29	40		
30	44		
31	51		
32	56		
33	59	8	Saccade
34	55		
35	54		
36	50		
37	47		
38	43	13	Saccade
39	40		
40	37		
41	38		
42	37		
43	39	2	Fixation
44	38		
45	38		
46	38		
47	37		
48	39	3	Fixation
49	40		
50	38		

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Nilai *ground truth* = 31 - 51

Data Uji 4

Data	Koordinat *x*	Nilai *Dispersion*	Kondisi Pergerakan
1	35	1	Fixation
2	36		
3	35		
4	36		
5	36		
6	37	16	Saccade
7	32		
8	29		
9	24		
10	21		
11	19	11	Saccade
12	18		
13	23		
14	25		
15	29		
16	34	4	Fixation
17	37		
18	38		
19	36		
20	36		
21	37	2	Fixation
22	38		
23	38		
24	38		
25	39		
26	38	6	Fixation
27	39		
28	41		
29	40		
30	44		
31	49	13	Saccade
32	54		
33	59		
34	62		
35	58		
36	58	20	Saccade
37	51		
38	45		
39	39		

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

40	38		
41	39		
42	37		
43	37	3	Fixation
44	37		
45	36		
46	36		
47	37		
48	38	2	Fixation
49	38		
50	38		

Nilai *ground truth* = 24 - 49

Data Uji 5

Data	Koordinat *x*	Nilai *Dispersion*	Kondisi Pergerakan
1	32		
2	35		
3	36	6	Fixation
4	38		
5	38		
6	39		
7	35		
8	31	15	Saccade
9	29		
10	24		
11	17		
12	18		
13	20	9	Saccade
14	22		
15	28		
16	34		
17	37		
18	36	3	Fixation
19	36		
20	37		
21	38		
22	38		
23	40	4	Fixation
24	36		
25	36		
26	38	6	Fixation
27	39		

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

28	40		
29	42		
30	44		
31	48		
32	53		
33	57	9	Saccade
34	57		
35	55		
36	49		
37	43		
38	39	13	Saccade
39	38		
40	36		
41	37		
42	38		
43	38	2	Fixation
44	38		
45	36		
46	37		
47	38		
48	38	2	Fixation
49	38		
50	36		

Nilai *ground truth* = 34 - 54

Data Uji 6

Data	Koordinat *x*	Nilai *Dispersion*	Kondisi Pergerakan
1	40		
2	42		
3	43	3	Fixation
4	40		
5	41		
6	39		
7	35		
8	34	9	Saccade
9	32		
10	30		
11	26		
12	24		
13	31	13	Saccade
14	36		
15	37		

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

16	40		
17	40		
18	41	2	Fixation
19	42		
20	42		
21	41		
22	43		
23	40	3	Fixation
24	41		
25	40		
26	42		
27	43		
28	40	4	Fixation
29	41		
30	39		
31	46		
32	47		
33	51	17	Saccade
34	56		
35	63		
36	64		
37	60		
38	55	18	Saccade
39	51		
40	46		
41	40		
42	41		
43	42	2	Fixation
44	42		
45	41		
46	43		
47	40		
48	41	3	Fixation
49	42		
50	41		

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Nilai *ground truth* = 27 - 48

Data Uji 7

Data	Koordinat *x*	Nilai *Dispersion*	Kondisi Pergerakan
1	36	2	Fixation
2	37		
3	38		
4	37		
5	36		
6	37	14	Saccade
7	38		
8	34		
9	29		
10	23		
11	16	18	Saccade
12	17		
13	22		
14	28		
15	34		
16	36	3	Fixation
17	39		
18	38		
19	37		
20	37		
21	37	3	Fixation
22	38		
23	38		
24	39		
25	40		
26	38	3	Fixation
27	37		
28	38		
29	40		
30	39		
31	40	17	Saccade
32	44		
33	46		
34	52		
35	57		
36	57	15	Saccade
37	55		
38	52		
39	47		

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

40	42		
41	38		
42	39		
43	39	2	Fixation
44	38		
45	37		
46	37		
47	37		
48	38	1	Fixation
49	37		
50	38		

Nilai *ground truth* = 28 - 49

Data Uji 8

Data	Koordinat *x*	Nilai *Dispersion*	Kondisi Pergerakan
1	35		
2	37		
3	38	4	Fixation
4	38		
5	39		
6	39		
7	40		
8	36	11	Saccade
9	32		
10	29		
11	20		
12	19		
13	22	12	Saccade
14	27		
15	31		
16	36		
17	39		
18	37	3	Fixation
19	37		
20	37		
21	38		
22	39		
23	37	2	Fixation
24	39		
25	37		
26	37	2	Fixation
27	38		

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

28	38		
29	39		
30	39		
31	40		
32	43		
33	47	18	Saccade
34	51		
35	58		
36	60		
37	56		
38	50	19	Saccade
39	46		
40	41		
41	39		
42	37		
43	37	2	Fixation
44	37		
45	38		
46	39		
47	37		
48	39	2	Fixation
49	38		
50	39		

Nilai *ground truth* = 34 - 55

Data Uji 9

Data	Koordinat *x*	Nilai *Dispersion*	Kondisi Pergerakan
1	40		
2	42		
3	43	3	Fixation
4	40		
5	41		
6	39		
7	36		
8	35	18	Saccade
9	27		
10	21		
11	20		
12	20		
13	25	13	Saccade
14	28		
15	33		

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

16	37		
17	40		
18	39	5	Fixation
19	40		
20	42		
21	41		
22	43		
23	44	3	Fixation
24	41		
25	40		
26	42		
27	40		
28	39	3	Fixation
29	40		
30	41		
31	47		
32	50		
33	53	19	Saccade
34	60		
35	66		
36	67		
37	62		
38	57	21	Saccade
39	51		
40	46		
41	40		
42	41		
43	41	2	Fixation
44	41		
45	42		
46	42		
47	43		
48	41	2	Fixation
49	42		
50	42		

Nilai *ground truth* = 29 - 48

Data Uji 10

Data	Koordinat *x*	Nilai *Dispersion*	Kondisi Pergerakan
1	38	2	Fixation
2	38		
3	39		
4	40		
5	38		
6	37	5	Fixation
7	38		
8	36		
9	35		
10	33		
11	27	9	Saccade
12	29		
13	31		
14	33		
15	36		
16	37	4	Fixation
17	40		
18	39		
19	40		
20	41		
21	42	3	Fixation
22	42		
23	41		
24	43		
25	40		
26	39	3	Fixation
27	39		
28	40		
29	38		
30	37		
31	40	19	Saccade
32	45		
33	50		
34	54		
35	59		
36	59	19	Saccade
37	51		
38	46		
39	42		

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

40	40		
41	38		
42	39		
43	40	4	Fixation
44	41		
45	42		
46	42		
47	41		
48	43	2	Fixation
49	42		
50	42		