****

**UNIVERSITAS INDONESIA**

**DETEKSI TRAYEKTORI *SHUTTLE COCK* PADA RUANG TIGA DIMENSI DENGAN ALGORITMA CAMSHIFT BERBASIS KALMAN FILTER DAN EPIPOLAR GEOMETRI**

**SKRIPSI**

**DEAN ZAKA HIDAYAT**

**1106016821**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA**

**DEPARTEMEN TEKNIK ELETKRO**

**TEKNIK KOMPUTER**

**DEPOK**

**JUNI**

**2015**

# KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT sebab atas segala rahmat, karunia, dan hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan seminar ini dengan baik. Penulis menyadari bahwa seminar ini tidak dapat diselesaikan tanpa bantuan dari banyak pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Dodi Sudiana, M.Eng selaku pembimbing seminar yang telah memberikan arahan, koreksi, dukungan, dan waktunya selama penulis mengerjakan seminar ini.
2. Orang tua dan keluarga penulis yang telah memberikan dukungan baik secara moril maupun materil sehingga penulis dapat menyelesaikan seminar ini.
3. Bapak Muhammad Firdaus Syawalludin Lubis selaku pembimbing riset *computer vision* di Tim Robotika Universitas Indonesia yang telah memberikan banyak bantuan dan masukan dalam membangun sistem deteksi benda di ruang tiga dimensi.
4. Teman-teman Tim Robotika Universitas Indonesia Vektor, Lintang, Alif, Handison, Bintang, Farid, Rafi, Sanadhi, Ghana atas dukungannya dalam pengerjaan seminar ini.
5. Teman-teman teknik komputer 2011 Jodhi, Mitha, Tryan, Ibam, Zhafir, Dinar, Suryo, Emily, Yessy dan Keluarga Departemen Elektro lain.

Depok, Desember 2014

Penulis

# ABSTRAK

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Nama | : | Dean Zaka Hidayat |
| Program Studi | : | Teknik Komputer |
| Judul | : | Deteksi Trayektori *Shuttle Cock* dengan Algoritma Camshift berbasis Kalman Filter dan Epipolar Geometri |

Salah satu hal paling penting dalam penelitian di bidang olahraga bulu tangkis adalah data pergerakan shuttle cock yang menggambarkan trayektori dan kecepatan *shuttle cock*. Terdapat beberapa teknik yang dapat dipakai untuk memperoleh data tersebut, salah satunya dengan menggunakan teknik *image processing*, seperti teknik videografi atau optoelektronik. Kelebihan menggunakan kamera untuk mendeteksi gerakan sebuah obyek antara lain biayanya yang cukup murah bila dibandingkan laser dan radar serta kemudahan untuk mendapatkan alat-alat yang dibutuhkan. Adapun masalah yang dihadapi dalam membangun sistem ini adalah di dunia nyata *shuttle cock* bergerak dalam ruang tiga dimensi, sedangkan kamera hanya menangkap gambar dua dimensi. Karena itulah digunakan metode epipolar geometry stereo vision yang dioptimasi dengan algoritma camshift berbasis kalman filter. Metode ini dipilih karena fleksibilitasnya dalam penentuan obyek sehingga obyek dapat dianggap sebagai satu titik ataupun rekonstruksi dari titik-titik yang sama yang dilihat dari prespektif kamera yang berbeda.

Kata kunci: *epipolar geometry, camshift, kalman filter, background substraction*

# ABSTRACT

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Name | : | Dean Zaka Hidayat |
| Major | : | Computer Engineering |
| Title | : | Shuttle Cock Trajectory Detection with Kalman Filter based Camshift and Epipolar Geometry |

One of the most important thing in a badminton sport science research is the data of shuttle cock movements that shows its trajectory and velocity. There are several techniques that can be used to do this, one of them is using image processing techniques, such as videography or optoelectronic techniques. The advantage of using camera to detect motion of an object is the cost is quite low when compared to laser and radar as well as easy to get the tools needed. The problems encountered in building this system is in the real world the shuttle cock move in three-dimensional space, while the camera only captures a two-dimensional image. Because of that, the epipolar geometry stereo vision algorithm method is used. This method is optimized with kalman filter based camshift algorithm. This method was chosen because of its flexibility in the determination of the object so that the object can be regarded as one point or reconstructed as same points as seen from the perspective of different cameras.

Keywords: *epipolar geometry, background substraction, optical flow, color thresholding*

# DAFTAR ISI

[KATA PENGANTAR ii](#_Toc420500581)

[ABSTRAK iii](#_Toc420500582)

[ABSTRACT iv](#_Toc420500583)

[DAFTAR ISI v](#_Toc420500584)

[DAFTAR GAMBAR vii](#_Toc420500585)

[DAFTAR TABEL viii](#_Toc420500586)

[BAB I PENDAHULUAN 1](#_Toc420500587)

[1.1 Latar Belakang 1](#_Toc420500588)

[1.2 Tujuan Penelitian 2](#_Toc420500589)

[1.3 Batasan Masalah 3](#_Toc420500590)

[1.4 Metode Penelitian 3](#_Toc420500591)

[1.5 Sistematika Penulisan 4](#_Toc420500592)

[BAB II DASAR TEORI 5](#_Toc420500593)

[2.1 Dasar Pengolahan Citra 5](#_Toc420500594)

[2.2 Deteksi obyek dengan Computer Stereo Vision Epipolar Geometry 9](#_Toc420500595)

[2.3 Deteksi obyek pada gambar dua dimensi 12](#_Toc420500596)

[2.3.1 Background Substraction 14](#_Toc420500597)

[2.3.2 Continously Adaptive Meanshift 15](#_Toc420500598)

[2.3.3 Kalman Filter 17](#_Toc420500599)

[2.4 OpenCV sebagai Computer Vision Library 17](#_Toc420500600)

[2.5 Hardware 19](#_Toc420500601)

[2.5.1 Kamera PS3 Eye 19](#_Toc420500602)

[BAB 3 METODE PENELITIAN 23](#_Toc420500603)

[3.1 System Requirement 23](#_Toc420500604)

[3.2 System Modelling 24](#_Toc420500605)

[3.3 System and Software Design 26](#_Toc420500606)

[3.4 Desain Perangkat Keras (Hardware) 27](#_Toc420500607)

[3.5 Algoritma Perangkat Lunak (Software) 28](#_Toc420500608)

[3.4.1 Background substraction 29](#_Toc420500609)

[3.4.2 Optical Flow 29](#_Toc420500610)

[3.4.3 Color Thresholding 30](#_Toc420500611)

[3.4.4 Epipolar Geometry 30](#_Toc420500612)

[BAB 5 KESIMPULAN 32](#_Toc420500613)

[DAFTAR PUSTAKA 33](#_Toc420500614)

# DAFTAR GAMBAR

[Gambar 1. Matriks dari Citra Digital 6](#_Toc420367368)

[Gambar 2. Citra Biner 7](#_Toc420367369)

[Gambar 3. Citra Grayscale 7](#_Toc420367370)

[Gambar 4. Citra Warna 8](#_Toc420367371)

[Gambar 5. Pengaturan dasar dua kamera untuk mengambil gambar 10](#_Toc420367372)

[Gambar 6. Transalasi dan rotasi kamera 2 terhadap kamera 1 12](#_Toc420367373)

[Gambar 7. Diagram algoritma deteksi pada bidang dua dimensi 13](#_Toc420367374)

[Gambar 8. Skema background substraction 14](#_Toc420367375)

[Gambar 9. Optical Flow dari sebuah titik pada 5 gambar 15](#_Toc420367376)

[Gambar 10. Lambang OpenCV 17](#_Toc420367377)

[Gambar 11. Struktur dan konten OpenCV 18](#_Toc420367378)

[Gambar 12. Playstation 3 Eye yang digunakan sebagai kamera sistem 19](#_Toc420367379)

[Gambar 13. Field of View dari kamera Playstation Eye 21](#_Toc420367380)

[Gambar 14. Use Case Diagram dari Sistem 23](#_Toc420367381)

[Gambar 15. Model sistem dalam bidang x dan y 24](#_Toc420367382)

[Gambar 16. Model sistem dalam bidang z 24](#_Toc420367383)

[Gambar 17. Blok Diagram dari Sistem 26](#_Toc420367384)

[Gambar 18. Blok Hardware Sistem 27](#_Toc420367385)

[Gambar 19. Algoritma Background Substraction 28](#_Toc420367386)

[Gambar 20. Algoritma Optical Flow 29](#_Toc420367387)

[Gambar 21. Algoritma Color Thresholding 29](#_Toc420367388)

[Gambar 22. Algoritma Epipolar Geometry 30](#_Toc420367389)

# DAFTAR TABEL

[Tabel 1. Tabel Field of View Playstation Eye 17](#_Toc420365946)

# BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini akan dijabarkan mengenai latar belakang, tujuan, batasan masalah, metode penulisan, serta sistematika penulisan dari penelitian ini.

1. Latar Belakang

Riset di bidang ilmu keolahragaan saat ini mulai berkembang dengan pesat. Olahraga tidak lagi hanya menjadi cabang tersendiri, namun juga menjadi suatu subyek yang sangat menarik bagi para peneliti di seluruh dunia. Studinya meliputi bagaimana tubuh manusia bekerja ketika berolahraga, bagaimana olahraga dapat meningkatkan kesehatan tubuh, hingga riset–riset yang mendukung perkembangan pada berbagai cabang olahraga seperti riset mengenai aerodinamika bola sepak pada olahraga sepak bola.

Salah satu olahraga yang paling sering menjadi subjek riset dalam dunia ilmu keolahragaan adalah olahraga bulu tangkis. Mulai dari jenis raket, jenis shuttle cock, hingga pergerakan shuttle cock itu sendiri menjadi topik yang sangat menarik untuk diteliti.

Salah satu hal paling penting dalam penelitian di bidang olahraga bulu tangkis adalah data pergerakan shuttle cock yang menggambarkan trayektori dan kecepatan *shuttle cock*. Data tersebut cukup sulit untuk didapatkan dikarenakan bentuk shuttle yang unik yang menyebabkan modifikasi sekecli apapun pada shuttle cock akan mempengaruhi pergerakan trayektori shuttle cock sehingga data tidak lagi valid. Terdapat beberapa teknik yang dapat dipakai untuk melakukan hal ini, antara lain dengan teknologi laser, radar, atau dengan menggunakan teknik *image processing*, seperti teknik videografi atau optoelektronik. Teknologi laser yang dapat dipakai misalnya *LIDAR* (*Light Radar*) di mana laser ditembakkan ke segala arah untuk mengetahui posisi benda. Hal sama juga dilakukan oleh sistem radar biasa untuk mendeteksi obyek. Sedangkan untuk image processing, digunakan alat berupa kamera dan komputer dengan kemampuan komputasi yang cukup kuat.

Kelebihan menggunakan kamera untuk mendeteksi gerakan sebuah obyek antara lain biayanya yang cukup murah bila dibandingkan laser dan radar serta kemudahan untuk mendapatkan alat-alat yang dibutuhkan. Meskipun, komputasi yang dibutuhkan lebih berat dibandingkan dengan laser atau radar, namun penggunaannya bisa lebih efektif dengan pilihan berbagai macam algoritma yang dapat diterapkan untuk berbagai kasus.

Algoritma dalam pendeteksian obyek bergerak yang dalam hal ini adalah sebuah *shuttle cock* adalah hal yang sangat penting dalam membangun sistem pengambilan data trayektori *shuttle cock* ini. Adapun masalah yang dihadapi dalam membangun sistem ini adalah di dunia nyata *shuttle cock* bergerak dalam ruang tiga dimensi, sedangkan kamera hanya menangkap gambar dua dimensi. Karena itulah diperlukan sistem pengindraan yang dapat mendapatkan posisi benda di ruang tiga dimensi. Sistem tersebut dapat dibuat dengan menerapkan konsep stereo vision.

Dalam stereo vision terdapat beberapa metode yang dapat digunakan. Di dalam sistem ini, digunakan metode epipolar geometry stereo vision. Metode ini dipilih karena fleksibilitasnya dalam penentuan obyek sehingga obyek dapat dianggap sebagai satu titik ataupun rekonstruksi dari titik-titik yang sama yang dilihat dari prespektif kamera yang berbeda.

1. Tujuan Penelitian

* Mampu membuat alat/sistem yang mampu mendeteksi shuttle cock di ruang tiga dimensi
* Mampu membuat alat/sistem yang menganalisa trayektori dan kecepatan shuttle cock dalam ruang tiga dimensi
* Menganalisis tingkat reliabilitas dan tingkat keakuratan alat/sistem yang telah dibuat dalam mendeteksi posisi shuttle cock

1. Batasan Masalah

Sistem dirancang untuk mendeteksi posisi shuttle cock di ruang tiga dimensi dengan kondisi yang disesuaikan. Sistem dikondisikan di luar lapangan. Sistem terdiri dari sebuah PC dan dua unit kamera yang diposisikan di luar lapangan sehingga kedua kamera dapat menangkap seluruh area lapangan bulu tangkis yang merupakan area pergerakan shuttle cock. Kamera akan melakukan pengambilan video dari sudut yang telah diatur sedemikian rupa. Video yang telah diamil dari kedua kamera kemudian akan diproses untuk mendapatkan rekonstruksi posisi, trayektori dan kecepatan dari *shuttle cock.*

Seluruh pemrosesan data dari gambar dua dimensi yang ditangkap oleh kamera hingga rekonstruksi posisi shuttle cock dalam ruang tiga dimensi relatif terhadap lapangan bulu tangkis dilakukan oleh PC. PC ini yang nantinya akan mengirimkan data tersebut ke robot. Adapun sistem ini hanya berfokus mendapatkan posisi obyek shuttle cock dalam ruang tiga dimensi tanpa memperhitungkan prediksi trayektori shuttle cock yang sebenarnya dibutuhkan oleh robot, dikarenakan perhitungan dan prediksi trayektori merupakan topik yang jauh berbeda.

1. Metode Penelitian

Metode penelitian mengadopsi software engineering cycle, yaitu sebagai berikut:

1. *System Requirement*: menentukan spesifikasi sistem dengan melakukan studi literatur dan pengamatan pada aplikasi yang sudah ada.
2. *System and Software Design*: merancang simulasi algoritma
3. *Implementation*: mengimplementasikan rancangan simulasi, yaitu dengan membuat alat yang diintegrasikan dengan sensor.
4. *Testing*: melakukan pengujian terhadap performa alat.
5. *Analisis*: analisis hasil pengujian sistem.
6. Sistematika Penulisan

*Bab 1 Pendahuluan*

Pada bab ini akan dijabarkan mengenai latar belakang, tujuan, batasan masalah, metode penelitian, serta sistematika penulisan.

*Bab 2 Dasar Teori*

Pada bab ini akan dijelaskan dasar teori dan algoritma yang berkaitan dengan pendeteksian obyek di ruang tiga dimensi. Selain itu juga akan dijelaskan dasar teori mengenai perangkat keras yang digunakan oleh sistem.

*Bab 3 Metode Penelitian*

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai perancangan sistem dan algoritma dalam menunjang pendteksian shuttle cock di ruang tiga dimensi. Perancangan sistem mencakup *system requirement* dan *system software* desain.

*Bab 4 Kesimpulan*

Pada bab ini akan disampaikan kesimpulan dan analisis sistem pendeteksian obyek di ruan tiga dimensi.

# BAB II DASAR TEORI

Pada bab ini akan dibahas mengenai teori-teori yang berkaitan dengan topik penelitian. Adapun yang akan dibahas yaitu deteksi obyek bergerak pada ruang tiga dimensi tertentu dengan salah satu metode dalam stereo vision yaitu *epipolar geometry* serta teori-teori pendukung untuk membangun sistemnya. Selain itu akan dibahas juga tentang *hardware-hardware* yang akan digunakan dalam sistem.

1. Dasar Pengolahan Citra

Sistem warna pada citra di landasi oleh teori fisika tentang cahaya dan panjang gelombang cahaya serta warna yang di bawa. Dalam ilmu fisika di sampaikan bahwa cahaya adalah gelombang yang memiliki panjang gelombang berbeda beda. Berdasarkan panjang gelombangnya cahaya dibagi menjadi cahaya tampak dan cahaya tidak tampak. cahaya tampak berada pada kisaran panjang gelombang 400 nm sampai dengan 700 nm. di bawah 400 nm merupakan gelombang tidak tampak – ultra violet dan diatas 700 nm merupakan gelombang tidak tampak infra merah.

Pada gelombang tampak, rentang terbesar ada pada gelombang merah, hijau dan biru. Peneliti sepakat bahwa warna warna lain data diperoleh dengan pencampuran ketiga warna tersebut dengan proporsi tertentu. pengkodean warna dengan meotde ini di sebut sistem warna R(red), G(green) dan B(blue).

Selain memisahkan warna menjadi 3 komponen warna pokok (RGB) warna juga dapat di wakili dengan Intensitas (tingkat ke -terangan), Hue (warna itu sendiri) dan saturation (kedalaman).

Iluminasi/intensitas merupakan kekuatan cahaya yang diterima dari gelap sampai terang, tanpa perduli warna apa yang di pancarkan. Sedangkan hue adalah warna asli dari cahaya, tanpa perduli kekuatan cahayanya. Sedangkan saturation adalah banyaknya warna putih yang dicampurkan dengan hue. Misalkan kita membedakan warna merah tua dengan warna merah muda, pada dasarnya merah, hanya untuk merah tua kandungan warna putihnya = 0 sedangkan pada merah muda kandungan warna putih/saturasinya lebih tinggi.

Pengkodean warna seperti ini disebut HIS (*Ilumination*, *Hue*, *Saturation*) atau HSV (*Hue*, *Saturation*, and *Value*/Intensitas). Model warna HSV ini lebih cocok dengan persepsi warna yang dialami manusia.

Citra digital adalah sebuah fungsi 2D, f(x,y), yang merupakan fungsi intensitas cahaya, dimana nilai x dan y merupakan koordinat spasial dan nilai fungsi di setiap titik (x,y) merupakan tingkat keabuan citra pada titik tersebut. Citra digital dinyatakan dengan sebuah matriks dimana baris dan kolomnya menyatakan suatu titik pada citra tersebut dan elemen matriksnya (yang disebut sebagai elemen gambar atau piksel) menyatakan tingkat keabuan pada titik tersebut. Matriks dari citra digital berukuran NxM (tinggi x lebar), dimana:

N = jumlah baris 0 < y ≤ N – 1

M = jumlah kolom 0 ≤ x ≤ M – 1

L = derajat keabuan 0 ≤ f(x,y) ≤ L – 1

Gambar berikut menunjukkan matriks dari cerita digital:

Gambar 1. Matriks dari Citra Digital

Dimana indeks baris (x) dan indeks kolom (y) menyatakan suatu koordinat titik pada citra, sedangkan f(x,y) merupakan intensitas (derajat keabuan) pada titik (x,y).

Berdasarkan jenisnya, citra digital dapat dibagi menjadi 3, yaitu:

1. Citra Biner (Monokrom)

Memiliki 2 buah warna, yaitu hitam dan putih. Warna hitam bernilai 1 dan warna putih bernilai 0. Untuk menyimpan kedua warna ini dibutuhkan 1 bit di memori. Contoh dari susunan piksel pada citra monokrom adalah sebagai berikut:



Gambar 2. Citra Biner

2. Citra Grayscale (skala keabuan)

Citra grayscale mempunyai kemungkinan warna hitam untuk nilai minimal dan warna putih untuk nilai maksimal. Banyaknya warna tergantung pada jumlah bit yang disediakan di memori untuk menampung kebutuhan warna tersebut. Semakin besar jumlah bit warna yang disediakan di memori, maka semakin halus gradasi warna yang terbentuk. Contoh:



Gambar 3. Citra Grayscale

3. Citra Warna (true color)

Setiap piksel pada citra warna mewakili warna yang merupakan kombinasi tiga warna dasar, yaitu merah, hijau, dan biru (RGB = Red, Green, Blue). Setiap warna dasar menggunakan penyimpanan 8 bit = 1 byte (nilai maksimum 255 warna), jadi satu piksel pada citra warna diwakili oleh 3 byte.



Gambar 4. Citra Warna

Pengolahan citra digital adalah salah satu bentuk pemrosesan informasi dengan inputan berupa citra (image) dan keluaran yang juga berupa citra atau dapat juga bagian dari citra tersebut. Tujuan dari pemrosesan ini adalah memperbaiki kualitas citra agar mudah diinterpretasi oleh manusia atau mesin computer. Operasi-operasi pada pengolahan citra digital secara umum dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Perbaikan kualitas citra (image enhancement), contohnya perbaikan kontras gelap/terang, penajaman (sharpening), dan perbaikan tepian objek (edge enhancement).

2. Restorasi citra (image restoration), contohnya penghilangan kesamaran (deblurring).

3. Pemampatan citra (image compression).

4. Segmentasi citra (image segmentation).

5. Pengorakan citra (image analysis), contohnya pendeteksian tepi objek (edge enhancement) dan ekstraksi batas (boundary).

6. Rekonstruksi citra (image recronstruction).

1. Deteksi obyek dengan Computer Stereo Vision Epipolar Geometry

*Computer Vision* adalah sebuah cabang ilmu dalam dunia komputer yang melingkupi metode untuk mentransformasi data dari gambar atau video 2D/3D menjadi keputusan-keputusan tertentu atau representasi lainnya. Data yang masuk bisa juga termasuk informasi kontekstual seperti “kamera terletak di atas mobil” atau “sensor jarak menunjukkan bahwa obyek terletak dalam jarak 1 meter”. Keputusan yang diambil bisa saja menunjukkan “terdapat orang di dalam gambar” atau “terdapat 14 sel tumor dalam gambar”. Representasi-representasi lain bisa saja berupa bentuk abu-abu dari gambar atau menghilangkan gerakan kamera pada urutan gambar. [1] Ini berarti data yang masuk pada *computer vision* tidak hanya berupa data dalam piksel yang diambil oleh kamera tapi juga data-data dari posisi kamera itu sendiri ataupun sensor-sensor yang mendukung fungsi kamera seperti sensor jarak dan lain-lain.

Dua gambar yang diambil dari perspektif yang berbeda dihubungkan oleh sesuatu yang disebut dengan epipolar geometry. Hubungan kedua gambar tersebut dapat digambarkan sebagai berikut, bila diambil titik sembarang x dari gambar pertama, bila titik tersebut merupakan proyeksi 3D titik X dari gambar, maka proyeksi x’ berada pada sebuah garis yang ditentukan oleh posisi x yang disebut dengan garis epipolar. [2] Dari pengertian tersebut, maka epipolar geometry dapat dituliskan sebagai

(2.2.1)

di mana F adalah matriks 3x3 yang disebut dengan matriks fundamental.

Cara umum yang sering dipakai untuk mendapatkan epipolar geometri dari dua gambar mencakup dua tahapan utama. Pada tahap pertama, dua titik fitur dideteksi di kedua gambar secara terpisah, kemudian dari dua titik yang ditemukan itu, dibuatlah korespondensi antar gambar yang kemudian dijadikan sebagai titik fitur baru. Algoritma deteksi fitur dan korespondensi antar gambar yang sering digunakan antara lain adalah Harris Corner detector dan juga Sift Infariant Feature Transform (SIFT). Pada tahap kedua, matriks fundamental ditentukan melalui hasil dari fitur-fitur yang berkorespondensi. Ini biasanya diawali dengan solusi linear yang kemudian dioptimasi dengan optimasi non-linear (misalnya, LMedS). Kebanyakan metode untuk tahap ini dapat digambarkan sebagai Maximum Likelihood Estimation (MSE), dan kualitas dari estimasinya bergantung pada akurasi dari korespondensi fitur. [2]



Gambar 5. Pengaturan dasar dua kamera untuk mengambil gambar

Di atas terdapat gambar pengaturan dasar dari kamera untuk mengambil dua gambar dari prespektif yang berbeda dari pemandangan yang sama. Jika kita hanya menggunakan kamera kiri, kita tidak bisa menemukan titik 3D sesuai dengan titik x dalam gambar karena setiap titik terproyeksi pada jalur OX ke titik yang sama pada bidang gambar. Tapi, mempertimbangkan hasil dari gambar kamera kanan juga. Sekarang, titik yang lain pada garis OX terproyeksi ke titik yang berbeda (x') dalam bidang sebelah. Jadi dengan dua gambar tersebut, kita bisa mentriangulasi titik 3D yang benar. Ini adalah konsep dari epipolar geometry.

Proyeksi titik-titik yang berbeda pada OX membentuk garis pada bidang sebelah kanan (garis l'). Titik-titik ini disebut epiline berdasarkan titik x. Artinya, untuk menemukan titik x pada gambar kanan, cari sepanjang epiline ini. Titik tersebut harus berada di suatu tempat di baris tersebut. Ini disebut batas epipolar. Demikian pula semua titik akan memiliki epiline yang sesuai di gambar lainnya. Bidang XOO 'disebut bidang epipolar.

O dan O' adalah pusat dari kamera. Dari pengaturan yang diberikan di atas, kita dapat melihat bahwa proyeksi kamera yang tepat O terlihat pada gambar sebelah kiri pada titik e. Hal ini disebut dengan epipole. Epipole adalah titik perpotongan garis melalui pusat kamera dan bidang gambar. Demikian pula e' adalah epipole kamera kiri. Dalam beberapa kasus, kita tidak dapat menemukan epipole dalam gambar, karena bisanya epipole berada di luar gambar.

Semua epiline pasti melewati epipolenya. Jadi untuk menemukan lokasi epipole, kita dapat menemukan banyak epilines dan menemukan titik persimpangannya.

Maka untuk mendapatkan kedalaman gambar, kita harus fokus pada menemukan garis epipolar dan epipole. Tetapi untuk menemukan garis epipolar dan epipole-nya, kita perlu dua hal lain, yaitu Matriks Fundamental (F) dan Matriks Esensial (E). Matriks esensial berisi informasi tentang translasi dan rotasi, yang menggambarkan lokasi kamera kedua relatif terhadap kamera pertama di koordinat global.



Gambar 6. Transalasi dan rotasi kamera 2 terhadap kamera 1

Namun, pada kenyataannya, pengukuran yang akan kita lakukan dilakukan dalam koordinat piksel. Matriks fundamental berisi informasi yang sama dengan matrik essensial ditambah dengan informasi intrinsik dari kedua kamera sehingga kita dapat berhubungan dengan kedua kamera dalam koordinat piksel. Sederhananya, Matriks fundamental F, menghubungkan sebuah titik pada gambar ke sebuah garis di gambar lainnya. Ini dapat dikalkulasi melalui titik-titik yang saling berkorespondensi dari kedua gambar. [3]

1. Deteksi obyek pada gambar dua dimensi

Pada epipolar geometry stereo vision, salah satu hal yang paling penting adalah kemampuan sistem untuk mendapatkan fitur-fitur yang dapat dikorespondensikan. Ini artinya algoritma untuk mendeteksi obyek pada gambar dua dimensi di masing-masing kamera harus membaca fitur yang sama pada titik yang sama. Untuk rekonstruksi gambar tiga dimensi secara penuh, proses ini akan menjadi proses yang cukup berat untuk prosesor karena prosesor harus memproses fitur-fitur di tiap titik yang ditemukan untuk dapat merekonstruksi kedalaman dari gambar.

Namun, pada perancangan sistem ini, sistem dibuat sehingga tidak perlu memproses tiap titik fitur yang berkorespondensi. Dalam sistem ini, obyek dianggap sebagai satu titik yang dilihat dari dua prespektif gambar yang berbeda untuk dapat menemukan posisi obyek di ruang tiga dimensi.

Obyek yang akan dideteksi oleh sistem ini, yaitu shuttle cock, adalah obyek yang cukup sulit untuk dideteksi karena warnanya yang putih dan pergerakannya yang cukup cepat. Karena itu, sistem ini akan didesain untuk memanfaatkan beberapa algoritma untuk mendapatkan posisi shuttle cock dalam bidang dua dimensi di masing-masing kamera. Ada dua hal penting yang dapat dimanfaatkan dalam pendeteksian obyek shuttle cock, yaitu obyek merupakan benda yang bergerak, dan latar dapat diasumsikan tidak bergerak. Maka, algoritmanya dapat digambarkan sebagai berikut



Gambar 7. Diagram algoritma deteksi pada bidang dua dimensi

### 2.3.1 Background Substraction

Seperti dapat dilihat di atas, algoritma pendeteksian obyek shuttle cock dapat dibagi menjadi beberapa tahap. Diawali dengan mengambil gambar background. Gambar background adalah gambar di mana tidak ditemukan obyek dalam gambar dan gambar merupakan latar dari obyek nantinya yang tidak bergerak. Hal ini penting untuk tahap selanjutya nanti. Tahap kedua adalah tahap pengambilan gambar dengan obyek di dalamnya. Dari sini kita masuk ke tahap ketiga, tahap awal pendeteksian obyek bergerak. Skema paling sederhana untuk mendeteksi benda bergerak dalam sebuah urutan gambar adalah dengan cara menggunakan latar belakang yang tetap untuk mengurangi gambar selanjutnya dengan obyek bergerak. Gambar yang kemudian didapatkan kemudian dapat dianalisis untuk mendapatkan obyek yang dicari. [4]



Gambar 8. Skema background substraction

Ini artinya background substraction memiliki dua tahap utama, yang pertama adalah inisiasi gambar. Hal ini telah dilakukan pada tahap pertama dari algoritma sistem ini. Tahap selanjutnya adalah menangkap gambar terkini untuk menganalisis perubahan pada gambar dari gambar awal hingga gambar terakhir. [5]

2.3.2 Continously Adaptive Meanshift

Namun, subtraksi background saja tidaklah cukup, dibutuhkan suatu metode untuk memisahkan obyek yang akan dideteksi, dalam hal ini *shuttle cock* dengan ligkungan sekitarnya. Hal ini perlu dilakukan karena bagaimana pun lingkungan diatur untuk membedakan background dengan obyek, gangguan tetap akan terjadi.

Karena itu lah, dalam sistem ini digunakan algoritma *camshift (continously adaptive meanshift)*. Algoritma ini dipilih karena kemampuannya untuk jendela deteksi obyek dan memperbaharui ukuran, posisi, dan bentuk jendela. Hal ini memungkinkan sistem untuk mengabaikan gangguan yang berada di luar jendela deteksi.

Masukan dari algoritma camshift berupa histogram yang menggambarkan suatu nilai. Dalam sistem ini, masukan yang digunakan adalah nilai Hue dari nilai HSV (*Hue, Saturation, Value*) gambar. Ruang warna HSV dipilih karena dianggap mampu mengekspresikan warna dengan lebih akurat.

Sistem akan melakukan ekstraksi kompenen H pada gambar, lalu komponen ini akan dibagi menjadi pembagian m dengan setiap nilai berkorespondensi dengan sebuah nilai sub-karakteristik. Dengan ini, seluruh area target dapat dikarakterisasi dengan nilai ini. Pada setiap sub-fitur, fungsi distribusi densitas berbasis kernel digunakan untuk mengkalkulasi probabilitas distribusi. Lalu, karakteristik probabilitas ke-u dapat dituliskan sebagai berikut:

(2.3.2.1)

di mana adalah titik tengah dari jendela pencarian, adalah posisi ke-i dari piksel, adalah fungsi kernel, h adalah radius jendela, b dan fungsi menentukan apakah piksel pada titik sesuai dengan nilai karakteristik ke-u. Konstan C untuk normalisasi siturunkan dari kondisi , di mana:

(2.3.2.2)

karena penjumlahan dari fungsi delta untuk u = 1...m sama dengan satu.

formula (2.3.2.1), asumsikan sebagai titik tengah dari kandidat area target pada frame saat ini, maka probabilitas ke-u dari nilai karakteristik adalah:

(2.3.2.3)

Fungsi similaritas menentukan kesamaan antara model target awal dengan target kandidat, metode pengukuran similaritas biasanya termasuk menggunakan koefisien *Bhattacharyya,* pengukuran informasi *Fisher,* dan teknik perpotongan histogram. Dalam sistem ini, metode meanshift yang digunakan adalah dengan menentukan perpotongan histogram.

Algoritma camshift adalah hasil dari penggunaan algoritma meanshift pada urutan gambar kontinyu di mana hasil dari frame sebelumnya digunakan sebagai nilai awal jendela pencarian pada frame selanjutnya. Bila iterasi ini berlanjut, maka deteksi obyek bergerak dapat dilakukan. Adapun langkah-langkahnya adalah sebagai berikut:

1. Atur gambar sebagai area pencarian
2. Inisialisasi ukuran dan posisi jendela pencarian
3. Kalkulasi distribusi probabilitas warna dalam jendela pencarian
4. Jalankan meanshift untuk mendapatkan posisi dan ukuran jendela baru
5. Pada frame selanjutnya, inisiasi posisi dan ukuran jendela pencarian berdasarkan langkah 4. Kembali ke langkah 3.



Gambar 9. Skema meanshift

2.3.3 Kalman Filter

Algoritma kalman filter di sini adalah algoritma yang digunakan untuk memprediksi lokasi obyek yang paling mungkin pada frame saat ini berdasarkan hasil dari pencarian obyek pada frame-frame sebelumnya, lalu mencari obyek pencarian pada area di sekitar lokasi. Bila target ditemukan pada area pencarian, lanjutkan proses ke frame selanjutnya. Kunci dari kalman filter adalah prediksi dan perbaruan nilai.

Kita dapat mendifinisikan vektor keadaan , vektor pengukuran , di mana dan adalah gambar target pada arah horizontal dari posisi dan kecepatan, sedangkan dan merupakan gambar target pada arah vertikal dari posisi dan kecepatan. Dari situ, maka model kalman filternya adalah sebagai berikut:

Persamaan gerakan: (2.3.3.1)

Persamaan observasi: (2.3.3.2)

di mana dan adalah pergerakan dan pengkuran vektor gangguan yang memenuhi distribsi Gaussian , , F adalah matriks transisi kondisi dan H adalah matriks pengukuran.

Sedangkan untuk persamaan prediksi dan persamaan perbaruan nilai dapat dituliskan sebagai berikut:

Persamaan prediksi 1: (2.3.3.3)

Persamaan prediksi 2: (2.3.3.4)

Persamaan Kalman-gain: (2.3.3.5)

Persamaan perbaruan 1: (2.3.3.6)

Persamaan perbaruan 2: (2.3.3.7)

Nilai dari matriks transisi kondisi F, matriks pengkuran H, matriks kovarians gangguan proses Q, dan matriks kovarians gangguan pengukuran R dapat dinyatakan sebagai berikut:

, , ,

1. OpenCV sebagai Computer Vision Library

Sistem ini menggunakan *OpenCV Library*. *OpenCV* adalah sebuah *Computer Vision Library* yang dulunya dikembangkan oleh Intel dan sekarang didukung oleh Willow Garage yang bermain pada bidang real-time image processing. *OpenCV* bersifat open-source dan dapat diakses secara bebas di http://opencv.org. *Library* ini ditulis dalam bahasa C dan C++ dan dapat dijalankan di bawah Linux, Windows, Mac OS X, iOS, dan Android. Bahasa pemrograman lain yang dapat digunakan antara lain Python, Java, Ruby, Matlab, dan berbagai bahasa lainnya yang saat ini masih dalam pengembangan. [1]



Gambar 10. Lambang OpenCV

OpenCV dirilis di bawah lisensi BSD dan karena OpenCV itu gratis baik untuk penggunaan akademis dan komersial. Ditulis dalam bahasa C/C++ yang dioptimalkan, library ini dapat memanfaatkan multi-core processing. Diaktifkan dengan OpenCL, program yang dibuat dapat mengambil keuntungan dari akselerasi hardware yang mendukung pemrosesan dengan platform heterogen. Diadopsi di seluruh dunia, OpenCV memiliki lebih dari 47 ribu orang dari komunitas pengguna dan diperkirakan jumlah unduhan melebihi 9 juta. Rentang penggunaan dari seni interaktif, untuk inspeksi tambang, apliksi di web atau pun dalam dunia robotika.

OpenCV sendiri terdiri dari 5 library, yaitu :

* *CV* : untuk algoritma Image processing dan Vision.
* *ML* : untuk machine learning library
* *Highgui* : untuk GUI, Image dan Video I/O.
* *CXCORE* : untuk struktur data, support XML dan fungsi-fungsi grafis.
* *CvAux*

Struktur dan konten OpenCV dapat dilihat pada Gambar berikut:



Gambar 11. Struktur dan konten OpenCV

1. Hardware

### 2.5.1 Kamera PS3 Eye

PlayStation Eye (merek dagang PLAYSTATION Eye) adalah perangkat kamera digital, mirip dengan webcam, untuk PlayStation 3. Teknologi ini menggunakan computer vision dan gesture recognition untuk memproses gambar yang diambil oleh kamera. Hal ini memungkinkan pemain untuk berinteraksi dengan game menggunakan gerakan dan deteksi warna serta suara melalui mikrofon built-in. Ini adalah penerus EyeToy untuk PlayStation 2, yang dirilis pada tahun 2003.



Gambar 12. Playstation 3 Eye yang digunakan sebagai kamera sistem

Kamera ini diluncurkan pertama kali bersmaan dengan game The Eye of Judgement di Amerika Serikat pada tanggal 23 Oktober 2007, di Jepang dan Australia pada 25 Oktober 2007 dan di Eropa pada tanggal 26 Oktober 2007.

PlayStation Eye juga dirilis sebagai produk yang berdiri sendiri di Amerika Serikat, Eropa, dan Australia. Desainer EyeToy Richard Marks menyatakan bahwa EyeToy digunakan sebagai model untuk desain awalnya. Pada tahun 2013 Sony mengumumkan PlayStation Eye akan diganti dengan PlayStation Camera untuk konsol PlayStation 4 untuk bersaing dengan Microsoft Corporation Kinect dan Nintendo Wii remote Plus.

PlayStation Eye mampu menangkap video standar dengan frame rate 60 hertz pada resolusi 640 × 480 pixel, dan 120 hertz pada 320 × 240 piksel, yang merupakan empat kali resolusi dan dua kali frame rate dari EyeToy, menurut Sony, frame rate yang lebih tinggi, hingga 320x240 pada 187 atau 640x480 pada 75 fps, dapat dipilih dengan aplikasi khusus (Freetrack dan Linuxtrack).

PlayStation Eye juga memiliki dua kali sensitivitas dari EyeToy tersebut, Sony bekerja sama dengan perusahaan chip sensor OmniVision Technologies pada desain chip sensor menggunakan piksel sensor yang lebih besar, memungkinkan untuk operasi cahaya rendah yang lebih efektif. Sony menyatakan bahwa PlayStation Eye dapat menghasilkan kualitas video yang mumpuni di bawah pencahayaan yang disediakan oleh televisi.

Kamera ini memiliki dua pengaturan fokus tetap dengan lensa zoom yang disesuaikan. Dipilih secara manual dengan memutar lensa barel, PlayStation Eye dapat diatur ke sudut pandang 56° (red dot) mirip dengan EyeToy untuk close-up framing dalam aplikasi chatting, atau sudut pandang 75° (blue dot) untuk menangkap sudut pandang yang digunakan dalam aplikasi game interaktif.

Playstation Eye mampu memberikan keluaran video ke konsol tanpa terkompresi atau dengan kompresi optimal JPEG. Adapun kedalaman warnanya yaitu sebesar 8 bit per piksel. [8]

Playstation Eye dipilih sebagai kamera untuk sistem ini karena frame-rate nya yang cukup tinggi sehingga bisa mendapatkan detail perubahan untuk gambar yang akan di analisis dengan lebih baik. Selain itu, karena di desain untuk mendeteksi gesture, lensanya sudah cukup baik dalam menangkap gambar sehingga kalibrasi intrinsik kamera yang dibutuhkan sangat minimal. Sistem mekanik yang bebas memungkinkan kita untuk mengatur sudut kamera secara bebas, hal ini sangat penting untuk menentukan nilai-nilai dalam epipolar geometry. [9]



Gambar 13. Field of View dari kamera Playstation Eye



Tabel 1. Tabel Field of View Playstation Eye

# BAB 3 METODE PENELITIAN

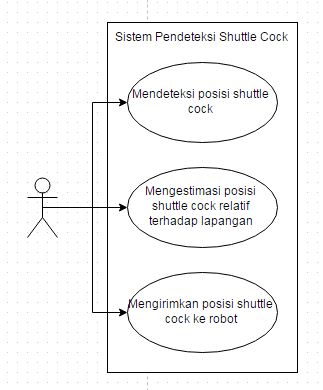
Pada bab ini akan dibahas mengenai perancangan sistem berkaitan dengan sistem yang akan dibangun untuk mendeteksi gerakan shuttle cock. Berdasarkan *Software Development Life Cycle* (SLDC), setelah menentukan tema dan batasan masalah serta tujuan, maka tahapan berikutnya dalam pembuatan sistem pendeteksian shuttle cock adalah perencanaan. Tahapan perencanaan ini meliputi *system requirement*, desain, dan implementasi. Pengujian sistem dan analisa tidak akan dibahas pada bab ini. Dalam mendokumentasikan setiap tahapan SLDC, *Unified Modeling Language* (UML) akan digunakan sebagai metode standar. Dengan UML, rancangan perangkat keras serta alur kerja dapat direpresentasikan ke dalam diagram-diagram yang memiliki fungsi masing-masing.

1. System Requirement

*System Requirement* merupakan tahapan yang mendefinisikan sistem dan fitur yang dibutuhkan. Tahapan ini memegang peranan penting dalam perancangan fungsionalitas sistem yang akan dibuat. Terdapat sebuah shuttle cock yang akan dideteksi posisinya oleh shuttle.

Di bawah ini adalah hasil pengumpulan *requirement* yang didapat melalui studi literatur:

* Dua kamera diposisikan di luar lapangan di dua ujung yang berbeda di mana setiap kamera dapat menangkap seluruh lapangan dalam Field of View-nya.
* Dua kamera di arahkan ke bawah sedimikian mungkin sehingga tetap dapat menangkap seluruh trayektori shuttle cock untuk mengurangi gangguan-gangguan yang tidak diinginkan.
* Sistem kemudian menganalisis posisi shuttle cock relatif terhadap lapangan untuk kemudian dikirimkan nilainya ke robot pemain bulu tangkis.



Gambar 14. Use Case Diagram dari Sistem

Fungsi-fungsi di atas merupakan fungsi-fungsi yang harus ada pada sistem ini guna memenuhi kebutuhan pengguna yang akan menggunakannya. *Requirement* di atas merupakan *requirement* dasar yang masih dapat dikembangkan lagi sehingga menjadi sebuah sistem yang lebih baik. Gambar 9 menggambarkan fungsi yang sudah diolah dalam *use case* diagram.

1. System Modelling

Dalam pembuatan sistem ini, diperlukan sebuah model untuk mendapatkan hasil posisi obye dalam ruang tiga dimensi. Berikut permodelan yang dibuat untuk sistem ini.



Gambar 15. Model sistem dalam bidang x dan y

Dari model tersebut dapat diturunkan persamaan sebagai berikut:

Sedangkan untuk bidang z dapat dibuat permodelan sebagai berikut:



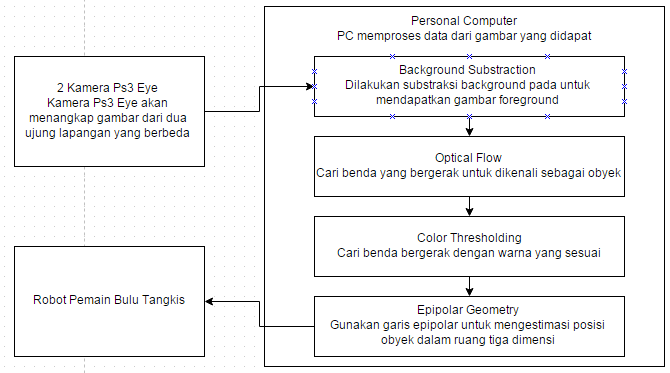
Gambar 16. Model sistem dalam bidang z

Dari model tersebut dapat diturunkan persamaan

1. System and Software Design

Sistem pengenalan pendeteksi posisi shuttle cock yang dibuat dalam penelitian ini dirancang untuk memberikan hasil yang akurat dari posisi shuttle cock yang nantinya dapat dilakukan estimasi pergerakan shuttle cock oleh robot pemain bulu tangkis. Sistem ini akan dikendalikan oleh sebuah PC. Sedangkan untuk input gambar yang akan digunakan pada sistem akan didapatkan dari dua kamera Playstation Eye yang ditempatkan di kedua ujung lapangan dan menangkap seluruh area pergerakan shuttle cock.

Blok diagram dari sistem yang digunakan secara keseluruhan ditunjukkan pada gambar berikut:



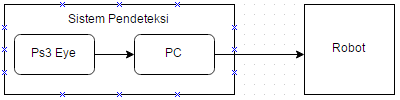
Gambar 17. Blok Diagram dari Sistem

Sesuai dengan gambar di atas, ditambah dengan robot pemain bulu tangkis, sistem ini memiliki tiga bagian utama. Bagian pertama terdiri dari dua kamera yang masing-masing tugasnya adalah menangkap gambar dari dua sudut pandang yang berbeda. Yang kedua adalah Personal Computer yang bertugas melakukan seluruh proses untuk mendapatkan posisi shuttle cock di ruang tiga dimensi.

1. Desain Perangkat Keras (Hardware)

Sistem yang digunakan terdiri dari dua buah kamera dan sebuah PC. Dua kamera diposisikan di luar lapangan di dua ujung yang berbeda di mana setiap kamera dapat menangkap seluruh lapangan dalam Field of View-nya. Dua buah kamera ini juga di arahkan ke bawah sedimikian mungkin sehingga tetap dapat menangkap seluruh trayektori shuttle cock untuk mengurangi gangguan-gangguan yang tidak diinginkan.

Pada penggunaannya nanti, sistem terdiri dari dua bagian, yaitu sistem pendeteksi posisi shuttle cock ini, dan robot pemain bulu tangkis itu sendiri. Seluruh pengambilan data gambar dan pemrosesan data gambar tersebut dilakukan oleh sistem pendeteksi. Sedangkan, sistem robot nantinya hanya akan berisi sistem gerak dan sistem pemukul shuttle cock, sedangkan data posisi shuttle cock dikirim oleh sistem pendeteksi melalui kabel usb.



Gambar 18. Blok Hardware Sistem

1. Algoritma Perangkat Lunak (Software)

Algoritma yang dipakai pada sistem ini dapat dibagi menjadi empat bagian utama bagian utama, yaitu background substraction, optical flow, color thresholding, dan yang terakhir adalah penentuan posisi benda melalui epipolar geometry.

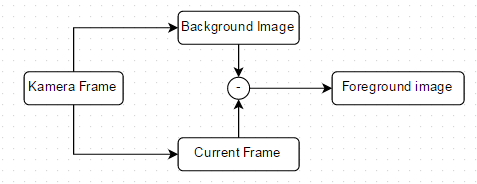
Pada bagian pertama, background substraction, kamera pertama-tama akan mengambil gambar background. Gambar background adalah gambar di mana tidak ditemukan obyek dalam gambar dan gambar merupakan latar dari obyek nantinya yang tidak bergerak. Tahap ini disebut dengan tahap preprocessing. Hal ini sangat bermanfaat itu tahap-tahap selanjutnya.

Bagian selanjutnya memanfaatkan perubahan posisi benda antar frame pada sebuah video untuk mendeteksi benda yang bergerak, hal ini disebut dengan optical flow. Hasil dari optical flow ini pada tahap selanjutnya di lihat lagi apakah batas warnanya termasuk ke dalam warna putih yang merupakan warna dari shuttle cock.

Tahap terakhir yaitu mengestimasi posisi dari obyek dengan menganggap obyek merupakan sebuah titik pada dua buah kamera dengan sudut pandang yang berbeda, sehingga dapat ditarik garis epipolar (epiline) untuk mendapatkan letak benda dalam ruang tiga dimensi relatif terhadap kamera. Dengan menambahkan nilai-nilai jarak kamera dari lapangan, maka kita dapat menentukan posisi shuttle cock relatif terhadap lapangan.

1. Background substraction

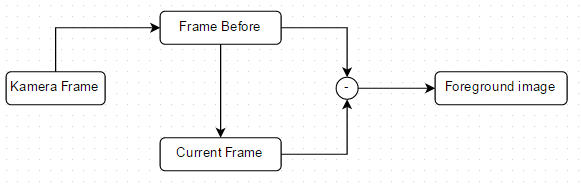
Background subtraction mendapatkan gambar foreground yang merupakan obyek yang dicari dengan cara mengurangi gambar saat ini dengan gambar background. Sisanya berarti dapat dianggap sebagai obyek.



Gambar 19. Algoritma Background Substraction

1. Optical Flow

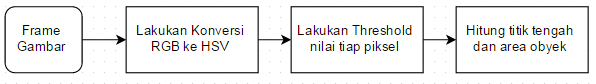
Namun, background substraction saja tidak cukup untuk mendeteksi obyek yang kita inginkan, properti obyek lain yang bisa dimanfaatkan adalah gerakan obyek. Hal ini dapat dideteksi dengan algoritma optical flow. Algoritma ini mirip dengan background substraction, terdapat sebuah frame yang dikurangi nilainya dengan frame lain. Bedanya, pada algoritma optical flow, frame saat ini dikrangi dengan frame sebelumnya, hal ini untuk mendeteksi perubahan piksel jyang ada pada frame yang dapat diasumsikan sebagai sebuah gerakan.



Gambar 20. Algoritma Optical Flow

1. Color Thresholding

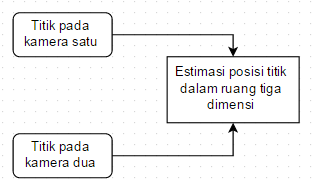
Setelah didapatkan foreground image yang terdiri dari benda-benda yang bergerak, diperlukan sebuah mekanisme lagi untuk menentukan obyek yang terdeteksi tersebut merupakan obyek yang kita cari. Maka, dapat dilakukan color thresholding untuk menentukan apakah obyek berwarna putih atau tidak.



Gambar 21. Algoritma Color Thresholding

1. Epipolar Geometry

Ketika obyek sudah ditemukan dan dianggap sebagai sebuah titik oleh kamera, maka dapat diestimasi posisinya dalam ruang tiga dimensi dengan cara membandingkannya dengan gambar dari kamera dari sudut pandang lain. Salah satu algoritma yang dapat dipakai dalah epipolar geometri.



Gambar 22. Algoritma Epipolar Geometry

# BAB 5 KESIMPULAN

1. Alat/sistem ini mampu mendeteksi posisi shuttle cock pada bidang tiga dimensi.
2. Secara teoritis, tingkat reliabilitas dan tingkat keakuratan alat/sistem yang dibuat dalam mendeteksi posisi shuttle cock cukup baik.
3. Algoritma kombinasi dari background substraction, optical flow, color thresholding, dan epipolar geometry cukup efektif untuk digunakan sebagai algoritma untuk mendeteksi obyek bergerak di ruang tiga dimensi.

# DAFTAR PUSTAKA

|  |  |
| --- | --- |
| [1] | A. Kaehler dan G. Bradsky, Learning OpenCV, O'Reilly, 2013. |
| [2] | W. Li dan B. Li, “Map Estimation of Epipolar Geometry by EM Algorithm,” dalam *IEEE International Conference on Image Processing*, San Antonio, 2007. |
| [3] | G. Bradsky, “OpenCV 3.0.0-dev documentation,” [Online]. Available: http://docs.opencv.org/trunk/doc/py\_tutorials/py\_calib3d/py\_epipolar\_geometry/py\_epipolar\_geometry.html. [Diakses 18 Desember 2014]. |
| [4] | H. Sekkati, R. Laganiere, A. Mitiche dan R. Youmaran, “Robust background subtraction using geodesic active contours in ICA subspace for video surveillance application,” dalam *Ninth Conference on Computer and Robot Vision*, Toronto, 2012. |
| [5] | “OpenCV 3.0.0-dev documentation,” [Online]. Available: http://docs.opencv.org/trunk/doc/py\_tutorials/py\_video/py\_bg\_subtraction/py\_bg\_subtraction.html. [Diakses 18 Desember 2014]. |
| [6] | G. Wei, Z. Hou, W. Li dan W. Yu, “Color Image Optical Flow Estimation Algorithm with Shadow Suppression,” dalam *Seventh International Conference on Image and Graphics (ICIG)* , Qingdao, 2013. |
| [7] | “OpenCV 3.0.0-dev documentation,” [Online]. Available: http://docs.opencv.org/trunk/doc/py\_tutorials/py\_video/py\_lucas\_kanade/py\_lucas\_kanade.html. [Diakses 18 Desember 2014]. |
| [8] | “ PLAYSTATIONEye Brings Next-Generation Communication to PLAYSTATION3,” Sony Computer Entertainment, 26 April 2007. [Online]. Available: http://www.us.playstation.com/News/PressReleases/396. [Diakses 18 Desember 2014]. |
| [9] | Rochester Institute of Technology, “cias.rit.edu,” [Online]. Available: http://cias.rit.edu/~nmtp/2063809/vision2020/FOV-1.pdf. [Diakses 18 Desember 2014]. |