

SIMULASI DAN ANALISIS MULTIPLE OBJECT TRACKING BERBASIS PENGOLAHAN CITRA DIGITAL DAN PARTICLE SWARM OPTIMIZATION

SIMULATION AND ANALYSIS OF MULTIPLE OBJECT TRACKING BASED ON DIGITAL IMAGE PROCESSING AND PARTICLE SWARM OPTIMIZATION

PRASAJA WIBAWA UTAMA¹ANGGA RUSDINAR²SURYO ADHI WIBOWO³^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom¹prasaja.wu@gmail.com ²anggarusdinar@telkomuniversity.ac.id ³survoadhiwibowo@gmail.com

Abstrak

Object tracking merupakan suatu bidang pada computer vision yang mempelajari cara melacak suatu objek yang bergerak pada suatu ruang. Objek yang dilacak merupakan objek yang sudah ditentukan. Dalam pengaplikasiannya di dunia nyata elacakan suatu objek bergerak sangat berguna untuk berbagai hal seperti: pengenalan gerakan, pelacakan kendaraan, pelacakan manusia yang dalam beberapa kasus melacak atlet olahraga, dan augmented reality. Dalam aplikasinya, merealisasikan suatu sistem object tracking memiliki beberapa tantangan antara lain adanya noise, kekacauan oklusi, dan perubahan dinamis dalam gerakan objek. Sehingga pada tugas akhir ini, dirancang sebuah sistem multiple object tracking dengan metode particle swarm optimization.

Sistem pelacakan ini bekerja dengan masukan secara non-real time berupa video yang berisi objek bergerak yang telah direkam sebelumnya. Jumlah objek terbanyak yang dilacak oleh sistem dalam satu kali pengujian mencapai 4 objek. Objek yang akan dilacak menjadi masukan sistem yang kemudian cirinya akan diekstrak menggunakan histogram warna. Selanjutnya objek tersebut akan dilacak dengan metode particle swarm optimization. Proses pelacakan dilakukan dengan cara membangkitkan random partikel pada area dekat dengan objek dan membandingkan histogram warna partikel dengan objek target menggunakan bhattacharya coefficient yang merupakan proses observasi untuk menghitung kemungkinan dari partikel tersebut yang mempunyai kesamaan histogram dengan objek target.

Pengujian pada sistem ini dengan menggunakan parameter yang diubah-ubah yaitu jumlah partikel, jumlah objek dan kondisi perekaman objek dengan mengukur tingkat akurasi, waktu yang dibutuhkan untuk pelacakan serta frame rate. Tingkat akurasi terbaik pada pelacakan dengan jumlah partikel 50 di setiap swarm tetapi jumlah partikel yang semakin banyak akan menyebabkan waktu komputasi semakin lama. Sistem dapat berjalan dengan baik pada pengujian multiple objek. Dibandingkan dengan pelacakan menggunakan metode HOG, particle swarm optimization memiliki waktu pemrosesan yang jauh lebih singkat dengan akurasi yang tidak jauh berbeda. Pada proses pelacakan menggunakan PSO, jumlah objek akan mempengaruhi waktu yang dibutuhkan untuk memproses pelacakan.

Kata kunci: multiple object tracking, particle swarm optimization, histogram warna.

Abstract

Object tracking is an area in computer vision that learn how to track a moving object in a room. Tracked object is an object that has been determined. In its application in the real world tracking a moving object is very useful for a variety of things such as gesture recognition, vehicle tracking, tracking humans in some cases track athletes, and augmented reality. In its application, the realization of an object tracking system has several challenges, among others, the noise, the chaos occlusion, and dynamic changes in the motion of the object. So in this final project, designed a system of multiple object tracking with particle swarm optimization method.

The tracking system works with inputs in the form of non-real time video containing moving objects that have been recorded previously. Highest number of objects tracked by the system in a time of testing up to 4 objects. The objects's features which will be tracked will be extracted using the color histogram. Afterwards, the object will be tracked using particle swarm optimization. The tracking process begins with randomly generated particles in an area close to the object and comparing the color histogram of particle with a target object using bhattacharya coefficient which is a process of observation to calculate the likelihood of particles that have a similarity histogram with the target object.

The system tested using several parameter, the number of particles, the number of objects and object recording conditions. The best accuracy rate in tracking with 50 particles in each swarm, but the number of particles that will cause longer computation time. The system can run well on multiple test objects. Compared using HOG tracking, particle swarm optimization has processing time much shorter with not much different in accuracy. In the tracking process using PSO, the number of objects will affect the required time for tracking process.

Keywords: multiple object tracking, particle swarm optimization, color histogram.

1. Pendahuluan

Multiple Object Tracking (MOT)^[5] adalah teknik eksperimental yang digunakan untuk mempelajari bagaimana sistem visual manusia melacak benda-benda bergerak. Teknik ini banyak digunakan untuk menentukan posisi dari objek yang bergerak dalam suatu sekuen video. Object tracking banyak digunakan untuk pengawasan gerakan yang mencurigakan di suatu ruangan, pencocokan gerakan, pelacakan kendaraan, augmented reality, kompresi video, pencitraan medis.

Object tracking di dunia nyata merupakan masalah yang sangat menantang karena adanya noise, kekacauan oklusi, dan perubahan dinamis dalam gerakan objek. Berbagai algoritma pelacakan telah dilakukan untuk mengatasi berbagai masalah yang terjadi. Pada penelitian ini akan dikembangkan program aplikasi Multiple Object Tracking dengan metode particle swarm optimization yang beberapa tahun terakhir ini dikembangkan untuk object tracking. PSO merupakan teknik pencarian berbasis populasi, memiliki efisiensi pencarian yang tinggi dengan menggabungkan pencarian lokal (oleh pengalaman dari suatu partikel) dan seluruh populasi (oleh pengalaman partikel disekitarnya)^[6].

Pada dasarnya PSO adalah algoritma optimasi stokastik berbasis populasi yang dimodelkan dengan simulasi dari kebiasaan kawanan burung^[4]. Metode ini mudah untuk diimplementasikan dan telah digunakan untuk menyelesaikan berbagai masalah optimasi karena kesederhanaan dan efisiensinya dalam menjelajah ruang pencarian yang besar untuk solusi terbaik.

Pada penelitian ini akan dikembangkan program aplikasi Multiple Object Tracking dengan metode particle swarm optimization dengan objek yang dilacak berupa manusia dan mencari performansi objek yang dilacak dengan parameter banyaknya partikel, perubahan intensitas cahaya, besarnya objek yang dilacak dan banyaknya objek yang dilacak.

2. Dasar Teori

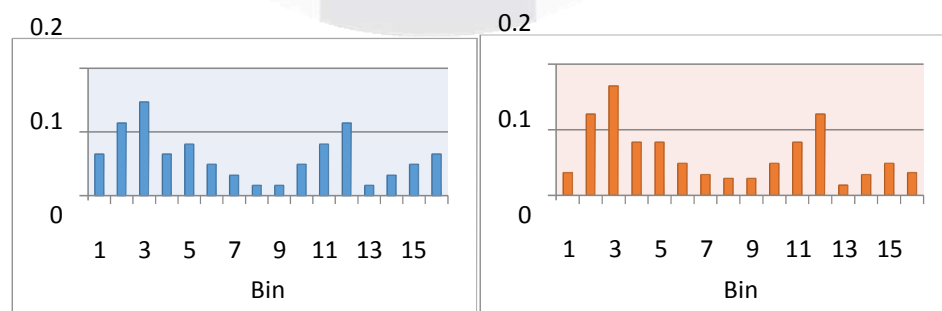
2.1 Histogram Warna^[9]

Histogram merupakan representasi grafis untuk distribusi warna dari citra digital. Untuk membuat histogram warna perlu menentukan jumlah bin histogram. Secara umum, semakin banyak bin, maka akan lebih bersifat diskriminatif. Tetapi semakin banyak bin maka waktu komputasi untuk menghitung histogram akan semakin lama. Warna histogram dapat dibuat dari berbagai jenis warna citra seperti RGB, grayscale, rg chromaticy dll. Histogram dapat dibuat menjadi N-dimensional.

Sistem menggunakan 3 dimensional untuk menghitung histogram dengan menggunakan warna RGB. Masing-masing dimensional terdiri dari 8 bin. Bin merupakan skala nilai piksel. Misalkan untuk warna merah pada warna RGB akan dihitung histogram dengan jumlah bin 4. Untuk bin 0 range nilai piksel antara 0-63, bin 1 antara 64-127, bin 2 antara 128-191 dan bin 3 antara 192-255. Nilai-nilai tersebut merupakan nilai dari warna merah pada format warna citra RGB. Warna histogram yang didapat selanjutnya dinormalisasi dengan membagi setiap bin dengan jumlah bin yang diset.

2.2 Model Matching

Model matching^[2] merupakan metode untuk mencocokkan histogram asli dengan histogram kandidat, dengan melihat seberapa dekat objek kandidat dengan objek asli. Terdapat beberapa teknik untuk mencocokkan histogram, seperti Bhattacharyya Coefficient Earth Movers Distance, Chi Squared dan Euclidean Distance^[1]. Dalam tugas akhir ini digunakan teknik Bhattacharyya Coefficient seperti dalam penelitian pelacakan objek terdahulu^[7]. Bhattacharyya Coefficient bekerja pada histogram yang telah dinormalisasi dengan jumlah bin yang sama. Misalkan dua histogram dengan p dan q, Bhattacharyya Coefficient diberikan sebagai:

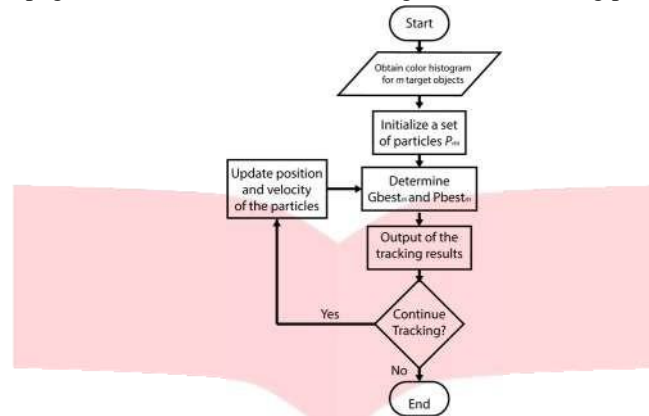


Gambar 1 Histogram 16 bin

Hasil Bhattacharyya Coefficient sama dengan 1 jika histogram yang dicocokkan sama, dan sama dengan nol jika kedua histogram sangat berbeda. Jadi jika nilai Bhattacharyya Coefficient

2.3 Particle Swarm Optimization

Particle swarm optimization (PSO)^[4] adalah algoritma stokastik berbasis populasi dimodelkan dengan perilaku sosial sekawanan burung. PSO terbentuk dari segerombolan partikel, di mana masing-masing merupakan kandidat solusi optimal. Partikel ditempatkan di suatu ruang pencarian dan bergerak di dalam ruang tersebut sesuai dengan aturan yang menentukan posisi dan kecepatan partikel, dengan memperhitungkan informasi masing-masing partikel dan informasi global seluruh partikel dalam kawanan tersebut. Setiap partikel bergerak dengan kecepatan sendiri dalam ruang pencarian, menentukan posisi sendiri dan menghitung nilai partikel dengan menggunakan fungsi f obyektif (x). Posisi dan kecepatan setiap partikel selalu diperbarui mengikuti persamaan yang dipengaruhi oleh informasi-informasi tersebut, dari pergerakan masing-masing partikel yang saling berinteraksi itulah dapat dilihat perilaku seluruh kawanan secara kolektif yang memperlihatkan pergerakan seluruh kawanan secara global dalam ruang pencarian.



Gambar 2 Algoritma PSO

Pada awal optimasi, setiap individu diawali dengan posisi dan kecepatan yang tidak tentu. Sementara mencari untuk best fitness setiap individu tertarik menuju posisi, yang dipengaruhi oleh posisi terbaik p_i ditemukan sejauh ini dengan sendirinya dan global best posisi g ditemukan oleh seluruh swarm. Dalam setiap iterasi k , masing-masing kecepatan partikel pertama diperbarui berdasarkan kecepatan arus partikel, informasi lokal partikel dan informasi global swarm. Kemudian, posisi masing-masing partikel diperbarui dengan menggunakan kecepatan. Posisi dan kecepatan partikel i dihitung sebagai berikut:

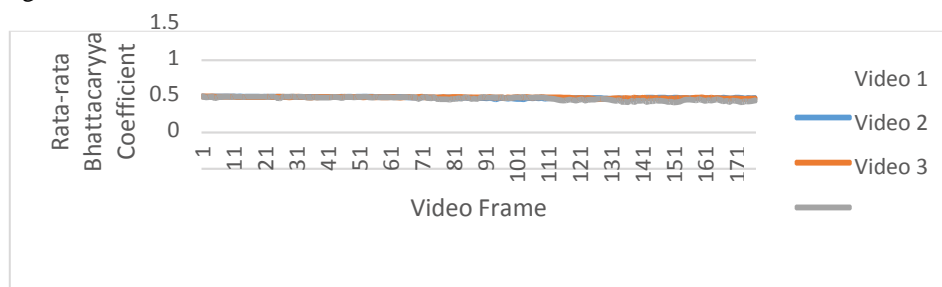
$$v_i(t+1) = w \times v_i(t) + c_1 \times (p_{best_i} - x_i(t)) + c_2 \times (g_{best} - x_i(t))$$

$$x_i(t+1) = x_i(t) + v_i(t+1)$$

dimana konstanta c adalah percepatan gerak partikel, r adalah angka acak antara 0 dan 1^[8], $x^{(i)}$ adalah posisi ke- i partikel, P_{best_i} adalah posisi lokal terbaik partikel i , sedangkan G_{best} adalah posisi terbaik global, dan w adalah konstanta inersia sebesar 0.7^[3].

3. Pembahasan

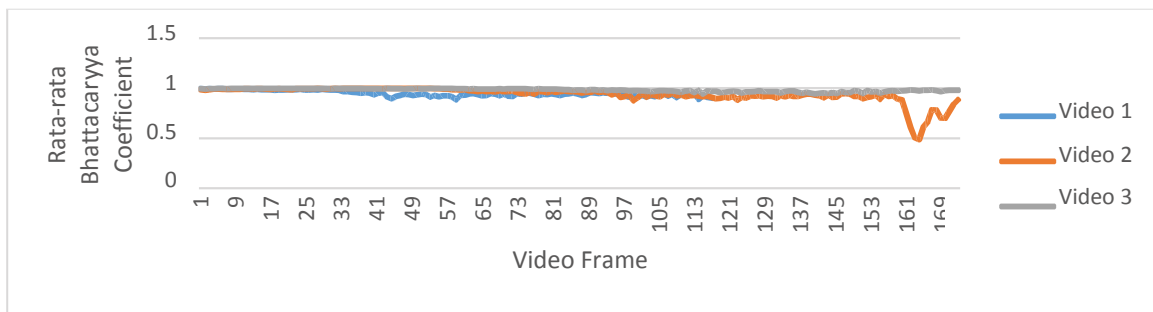
Pada penelitian ini sistem diuji performansinya terhadap beberapa variable seperti perubahan intensitas cahaya, resolusi video dan jumlah partikel. Pada gambar 3 terlihat bahwa objek yang bergerak dalam lingkungan dengan kondisi cahaya yang tidak berubah-ubah mempunyai rata-rata bhattacharyya coefficient 0.960575. Hal ini disebabkan karena objek yang bergerak tidak terlalu mengalami perubahan warna yang besar. Dengan bobot nilai partikel lebih dari 0.9, maka saat dilakukan proses pelacakan, sistem dapat membedakan objek target dengan objek yang lain dengan baik.



Gambar 3 Hasil pengujian di luar ruangan

Sedangkan pada pengujian di dalam ruangan terjadi perubahan nilai Bhattacharyya coefficient yang cukup besar sampai dengan 0.487401. Hal ini disebabkan pada frame yang kehilangan objek saat melacak.

Kehilangan objek disebabkan karena perubahan cahaya pada objek atau objek yang sebagian tertutup atau seluruhnya tertutup oleh objek lain atau benda lain. Ini mempengaruhi proses melacak objek dalam menentukan posisi objek yang sebenarnya.



Gambar 4 Pengujian di luar ruangan

Pada pelacakan single object tracking resolusi dan waktu pemrosesan paling baik adalah pada resolusi 640x360 karena pada resolusi tersebut memiliki tingkat akurasi 99.0% dan frame rate rata-rata 18.5 frame per detik. Pada resolusi 860x480 mempunyai rata-rata akurasi yang sedikit lebih besar dibandingkan dengan resolusi 640x460, tetapi rata-rata frame rate-nya lebih sedikit yaitu 16.36 frame per detik. Untuk multiple object tracking resolusi dan waktu pemrosesan paling baik adalah 860x480, karena pada resolusi tersebut didapatkan tingkat akurasi yang paling tinggi dari pada resolusi yang lain yaitu 99.5% tetapi dalam prosesnya memakan waktu lebih lama dan frame rate paling kecil yaitu 16.36 frame yang diproses tiap detiknya. Data pengujian resolusi bias dilihat dalam 2 tabel berikut.

Tabel 1 Hasil pengujian resolusi terhadap akurasi

No	Jumlah Objek	Total Frame	Resolusi					
			320x240		640x360		860x480	
			Kesalahan Frame	Akurasi	Kesalahan Frame	Akurasi	Kesalahan Frame	Akurasi
1	1	173	14	91.9%	1	99.4%	0	100.0%
2	1	135	9	93.3%	3	97.8%	0	100.0%
3	1	252	8	96.8%	7	97.2%	3	98.8%
4	1	221	2	99.1%	7	96.8%	0	100.0%
5	2	122	10	91.8%	5	95.9%	2	98.4%
6	2	342	3	99.1%	0	100.0%	0	100.0%
Rata-rata Akurasi			95.3%		97.9%		99.5%	

Tabel 2 Hasil pengujian resolusi terhadap waktu pemrosesan dan frame rate

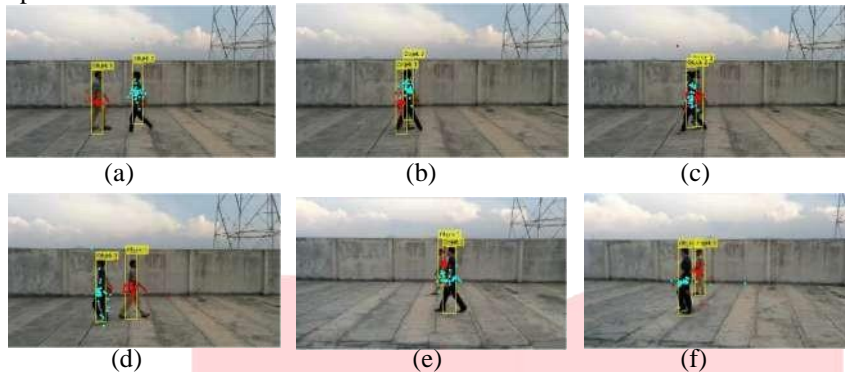
No	Jumlah Objek	Resolusi					
		320x240		640x360		860x480	
		Rata-rata fps	Total Waktu	Rata-rata fps	Total Waktu	Rata-rata fps	Total Waktu
1	1	18.9	9.24	17.67	10.91	12.32	14.42
2	1	21.04	6.96	19.71	5.75	15.59	9.03
3	1	19.34	13.24	18.8	14.73	18.94	13.45
4	1	23.28	9.65	18.85	12.19	16.87	13.79
5	2	21.06	5.99	16.93	7.74	16.65	7.59
6	2	19.82	18.31	19.01	17.82	17.78	20.17
Rata-rata		20.57	10.57	18.50	11.52	16.36	13.08

Proses particle swarm pada tugas akhir ini dilakukan pada area dekat dengan titik tengah objek dan akan semakin berpencah jika bobot nilai didapat oleh partikel kecil ini disebabkan pada proses pembaharuan kecepatan tiap partikel dipengaruhi oleh dua hal, yaitu jarak antara suatu partikel dengan bobot nilai dan posisi terbaik dari partikel itu sendiri di frame-frame sebelumnya dan dipengaruhi oleh jarak antara partikel tersebut dengan partikel yang memiliki bobot nilai paling besar. Jika objek yang dilacak semakin banyak, maka jumlah swarm yang masing-masing di dalamnya terdiri dari sejumlah partikel akan ditambah sesuai dengan jumlah objek, ini yang menyebabkan semakin banyak objek semakin manambah waktu pemrosesan dan semakin besar jumlah partikel yang diset pada sistem akan berpengaruh pada ketepatan objek yang dilacak. Tetapi dalam pengujian ini, kecepatan

pemrosesan dan ketepatan objek merupakan tujuannya, sehingga dari data tersebut jumlah partikel yang memungkinkan untuk pelacakan multiple objek adalah sekitar 30 sampai 40. Jumlah tersebut dapat ditoleransi karena pada pemrosesan per-frame adalah 47.89 dan 61.47 milisecond. Dengan waktu tersebut dapat diperkirakan bahwa untuk setiap detik frame yang dapat diproses sekitar 20.87 dan 16.26 fps. Hal ini memungkinkan video bisa diputar dengan halus.

Pengujian 2 objek

Objek yang dilacak berupa 2 objek, kemudian objek berjalan menyilang. Dari hasil pengujian didapatkan gambar seperti dibawah ini



Gambar 5 Pelacakan 2 Objek

Terlihat pada gambar 5, untuk pengujian pertama (gambar 5a) saat melakukan gerakan menyilang (gambar 5b) objek tetap terlacak, walaupun objek yang dilacak oleh swarm berwarna merah tidak tertangkap kamera untuk beberapa saat. Tetapi partikel menyebar, sehingga pada frame selanjutnya (gambar 5c) pada saat objek terlihat kembali, objek dapat dilacak. Untuk pengujian kedua (gambar 5e) objek tetap terlacak walaupun objek melakukan gerakan menyilang (gambar 5f). Pada pengujian untuk jumlah objek 2 orang tingkat akurasi sistem rata-rata untuk 2 pengujian adalah 98.07% terlihat pada tabel 3.

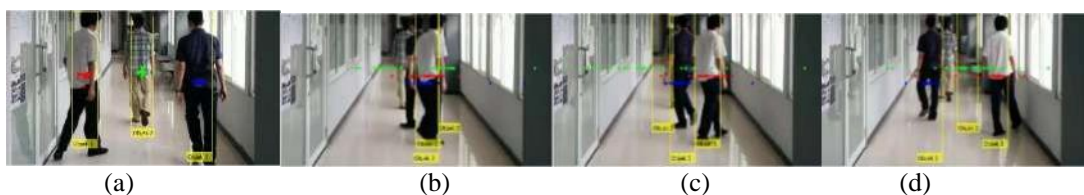
Tabel 3 Hasil pengujian ketepatan pelacakan objek skenario kedua

Pengujian ke	Jumlah Objek	Jumlah Frame dalam Video	Kesalahan Melacak	Akurasi
1 (o)	2	368	23	96.88%
2 (o)	2	186	2	99.46%
3 (i)	2	187	8	97.86%
4 (i)	3	76	35	84.65%
5 (o)	3	286	11	98.72%
6 (o)	3	177	76	85.69%
7 (i)	3	186	85	84.77%
8 (i)	4	126	144	71.43%
9 (o)	4	301	58	95.18%
10 (o)	4	253	12	98.81%
11 (i)	4	182	212	70.88%

Keterangan: Akurasi = jumlah frame terlacak / jumlah frame video x 100%

Pengujian 3 objek

Pengujian kedua terdapat 3 objek yang dilacak di dalam gedung. Seperti pada pengujian pertama, objek bergerak saling menyilang untuk menguji ketepatan objek. Hasil pengujian kedua dapat dilihat pada gambar berikut.





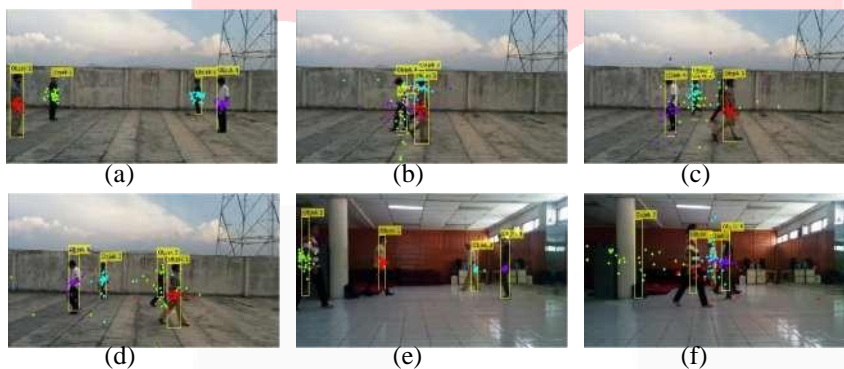
Gambar 6 Pelacakan 3 objek

Pengujian ketiga, terlihat pada saat objek mulai untuk melakukan gerakan menyilang (gambar 4.15.b) terdapat kesalahan pelacakan, hal ini disebabkan karena ukuran objek menjadi lebih kecil dan terhalang oleh objek lainnya. Partikel menyebar dan mencari objek tetapi karena masih terhalang oleh objek 3 maka partikel yang melacak objek 2 masih tersebar dalam ruang pencarian (gambar .c). Saat terjadi perubahan tersebut bobot nilai partikel yang terdapat pada akan menjadi lebih kecil dan mendekati nol, swarm kemudian akan menyebar untuk mencari posisi yang lebih baik, atau mendekati objek. Pada frame-frame akhir objek (gambar 6.d) objek 2 masih belum bias terlacak karena masih terhalangi oleh objek 3.

Untuk pengujian ke empat (gambar 6.e) objek berjumlah 3 berjalan searah, saat 2 objek berada dalam satu garis lurus dengan kamera (gambar 6.f dan 6.g) gerakan partikel mulai bergeser dari objek dan kembali lagi (gambar 6.h), sehingga objek dapat dilacak kembali. Untuk pengujian pelacakan objek dengan jumlah objek yang dilacak berjumlah 3 orang mempunyai tingkat akurasi rata-rata sebesar 88.46% (tabel 3).

Pengujian 4 Objek

Objek pada proses pelacakan berjumlah 4 orang. Hasil pengujian dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 7 Pelacakan 4 Objek

Pengujian kelima dari frame awal (gambar 7.a) sampai frame akhir (gambar 7.d) semua objek dapat dilacak dengan baik, walaupun ada sedikit lost yang terjadi saat objek saling berpapasan, tetapi frame selanjutnya objek dapat dilacak kembali. Pada pengujian keempat, frame-frame awal video (gambar 7.e) objek dapat dilacak, tetapi saat objek melakukan perpindahan posisi (gambar 7.d) sistem melakukan kesalahan. Hal ini disebabkan karena objek terhalang oleh objek lain dan objek bergerak memasuki daerah yang terpancar cahaya dari jendela, sehingga histogram warna pada objek berubah dan sistem tidak bisa mengenali objek target. Pada pengujian pelacakan objek berjumlah 4 orang sistem dapat melacak dengan akurasi 84.08 % (tabel 3).

4. Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan pada proses pelacakan single objek dan multiple objek, maka dapat diambil beberapa. Proses pendeteksian multiple objek akan bekerja dengan baik jika objek di dalam frame di-capture secara utuh dan sempurna. Ukuran resolusi berpengaruh pada waktu komputasi histogram warna objek, semakin besar ukuran proses deteksi semakin lama, tetapi akurasi deteksi semakin baik. Untuk pelacakan 1 objek resolusi paling baik untuk kecepatan waktu pemrosesan pelacakan objek adalah 320x240 waktu pemrosesan 1052 ms sedangkan untuk ketepatan pelacakan objek adalah 640x360 dengan akurasi 97.9 %. Perubahan warna pada objek setiap frame sangat berpengaruh pada proses pelacakan. Perubahan warna akan berpengaruh terhadap penghitungan histogram. Pada tugas akhir ini penghitungan histogram dilakukan pada komponen warna RGB, sehingga jika ada perubahan cahaya atau objek tidak terlihat dengan jelas, maka nilai histogram akan berbeda dengan nilai histogram objek target. Kondisi terbaik untuk sistem dapat melacak objek adalah di luar ruangan dengan kondisi intensitas cahaya yang relatif stabil sehingga sistem dapat menghasilkan rata-rata bobot partikel yang dihitung dengan membandingkan histogram warna partikel dan objek target menggunakan bhattacharyya coefficient mencapai 0.960575, sedangkan pada pelacakan di dalam dengan kondisi intensitas cahaya yang berubah-ubah bobot nilai partikel relatif lebih kecil dan tidak stabil, sehingga akurasi ketepatan menjadi lebih buruk. Jumlah partikel terbaik untuk single objek adalah 50 dengan waktu rata-rata pemrosesan setiap frame 20.95 milisecond, sehingga setiap detik dapat memproses sebanyak 47.73 frame. Untuk multiple objek jumlah partikel terbaik adalah 30 partikel, dengan pemrosesan waktu setiap frame 47.89, sehingga setiap detik dapat memproses sekitar 20.87. Perubahan ukuran objek setiap frame sangat berpengaruh pada ketepatan pelacakan. Sistem pada

tugas akhir ini bekerja dengan baik jika objek mempunyai ukuran yang sama untuk setiap framenya. Jika terjadi perubahan ukuran objek, semakin besar atau semakin kecil, akan berpengaruh terhadap penghitungan histogram. Ukuran partikel pada sistem ini sesuai dengan ukuran objek target. Jadi, jika pada frame tertentu objek mengalami perubahan ukuran, nilai histogramnya akan berbeda jauh dengan target dan nilai Bhattacharyya coefficient seluruh swarm menjadi lebih kecil sehingga akurasi sistem akan menurun.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. Kaziz, Purba Daru Kusuma dan Suryo Adhi Wibowo. 2013. Simulasi Dan Analisis Multiple Object Tracking Berbasis Citra Dengan Metode Hierarchical Particle Filter. Institut Teknologi Telkom.
- [2] Gonzalez, Rafael C. 2002. Digital Image Processing. Prentice-Hall.
- [3] J. C. Bansal, P. K. Singh Mukesh Saraswat, Abhishek Verma, Shimpi Singh Jadon dan Ajith Abraham. 2011. Inertia Weight Strategies in Particle Swarm Optimization. ABV-Indian Institute of Information Technology & Management, Gwalior, India. Machine Intelligence Research Labs (MIR Labs), USA. VSB Technical University of Ostrava, Czech Republic.
- [4] J. Kennedy and R. Eberhart. 1995. Particle swarm optimization. IEEE International Conference on Neural Networks.
- [5] P. Zenon. 2008. Selective Nontarget Inhibition in Multiple Object Tracking. Rutgers, The State University of New Jersey.
- [6] R. Paul dan Mark-Paul Meyer. 2000. Restoration of Motion Picture Film. Butterworth-Heinemann.
- [7] X. Jiu, B. Axel and G. Satoshi. Real-time Human Tracking by Detection based on HOG and Particle Filter. Graduate School of Information, Production and Systems Waseda University, Japan.
- [8] Z. Xiaoqin, H. Weiming, L. Wei, Q. Wei, M. Steve. 2009. Multi-Object Tracking via Species Based Particle Swarm Optimization. IEEE 12th International Conference on Computer Vision Workshops, ICCV Workshops.
- [9] Z. Zoran dan K. Ben. 2004. An EM-like algorithm for color-histogram-based object tracking. IEEE Conference Computer Vision Pattern Recognition.