
Jurnal *Rekayasa Elektrika*

VOLUME 14 NOMOR 2

AGUSTUS 2018

Deteksi dan Pelacakan Wajah Berdasarkan Warna Kulit Menggunakan Partikel Filter 116-122

Budi Sugandi

JRE	Vol. 14	No. 2	Hal 83-144	Banda Aceh, Agustus 2018	ISSN. 1412-4785 e-ISSN. 2252-620X
-----	---------	-------	------------	-----------------------------	--------------------------------------

Deteksi dan Pelacakan Wajah Berdasarkan Warna Kulit Menggunakan Partikel Filter

Budi Sugandi
Politeknik Negeri Batam
Jl. Ahmad Yani, Batam 29432
e-mail: budi_sugandi@polibatam.ac.id

Abstrak—Deteksi dan *tracking* wajah merupakan salah satu bidang yang terus berkembang dalam berbagai aplikasi seperti sistem keamanan, *biometric*, maupun aplikasi lainnya. Akan tetapi deteksi dan pelacakan wajah dapat menjadi masalah yang kompleks ketika dilakukan secara *real time*. Beberapa masalah yang muncul di antaranya kebergantungan hasil deteksi terhadap cahaya dan keberagaman citra latar belakang. Dalam artikel ini, kami hadirkan metode baru untuk mengatasi masalah tersebut dengan menggunakan filter warna HSL (*Hue, Saturation, Luminance*) dikombinasikan dengan partikel filter. Filter warna HSL akan mendeteksi wajah berdasarkan warna kulit dengan cara mengatur *threshold* pada tiap komponen warna *H, S*, dan *L*. Proses selanjutnya adalah melacak wajah yang sudah terdeteksi dengan menggunakan partikel filter. Sebagai inisialisasi, partikel akan disebar secara random di sekitar wajah yang terdeteksi untuk kemudian dihitung bobot tiap partikel berdasarkan jarak tiap partikel terhadap posisi wajah. Bobot tiap partikel akan di-*resampling* untuk mendapatkan sebaran partikel baru yang memungkinkan partikel dengan bobot yang besar terpilih beberapa kali. Sementara partikel dengan bobot yang relatif rendah akan hilang dengan sendirinya. Sebaran partikel baru akan berada di sekitar wajah yang sedang dilacak. Proses terakhir dari satu siklus partikel filter adalah proses estimasi posisi wajah yang dilacak yang dilakukan dengan merata-ratakan posisi tiap partikel hasil *resampling*. Hasil pengujian menunjukkan rata-rata kesalahan pelacakan posisi wajah menggunakan jumlah partikel filter 100, 200, dan 500 pada sumbu *X* dan *Y* berturut-turut adalah (1.25; 1.02), (0.86; 0.81), dan (0.59; 0.57).

Kata kunci: *deteksi wajah, pelacakan wajah, filter warna HSL, partikel filter*

Abstract—Face detection and tracking are one of the areas which always in progress in many applications such as security system, biometric and so on. However, face detection and tracking can become a complex problem when it is done in real time condition. Many problems are appeared such as dependency the detection result to lightness and diversity of background colour. In this article, we presented a new method to overcome the above problems by using the HSL colour filter (*Hue, Saturation, Luminance*) combined with the particle filter algorithm. The HSL colour filter detected face based on skin colour with adjusting the threshold of each *H, S* and *L* colour. The next step is face tracking using particle filter. It initialised by generating the particle filter randomly around the detected face. The weight of each particle was calculated based on a distance of each particle to face position and resampled to obtain a new particles distribution. The particle with high weight would be selected many times, and particle with small weight would be disappeared. The last process in particle filter is resampling process which was done by averaging the particle's position. The experimental results showed the average error of face tracking using 100, 200 and 500 particles on *X* and *Y* axis were (1.25; 1.02), (0.86; 0.81) and (0.59; 0.57) respectively.

Keywords: *face detection, face tracking, HSL color filter, particle filter*

Copyright © 2018 Jurnal Rekayasa Elektrika. All right reserved

I. PENDAHULUAN

Deteksi dan pelacakan wajah merupakan salah satu bidang yang terus berkembang dalam berbagai aplikasi, baik itu sistem keamanan, *biometric*, maupun aplikasi lainnya. Akan tetapi deteksi dan pelacakan wajah dapat menjadi masalah yang kompleks ketika dilakukan secara *real time*. Beberapa masalah yang muncul di antaranya kebergantungan hasil deteksi terhadap cahaya di sekitar objek yang dideteksi dan juga keberagaman citra latar belakang ketika objek akan dideteksi. Beragam metode

telah diteliti dan diimplementasikan untuk mengatasi beberapa masalah tersebut baik itu dengan metode deterministik maupun stokastik (probabilitas)

Metode deterministik biasanya melakukan deteksi dan pelacakan wajah berdasarkan kemiripan citra referensi dengan citra yang dideteksi. Beberapa metode yang termasuk dalam metode deterministik adalah metode *background subtraction* [1-3], *frame difference* [4-5], *optical flow* [6], maupun ekstraksi warna kulit [7].

Metode stokastik menggunakan proses probabilitas untuk mendeteksi dan melacak objek. Metode yang

termasuk dalam metode stokastik ini adalah Kalman filter [8-10] dan partikel filter [11-12]. Kalman filter digunakan untuk beberapa model pergerakan objek yang linier dengan cara merambatkan dan meng-*update mean* dan *covariance* dari model pergerakan objek yang diamati. Partikel filter merupakan metode yang dapat digunakan untuk memecahkan masalah dengan model yang linier maupun tidak linier. Sehingga penggunaan partikel filter lebih luas dibanding dengan Kalman filter. Nilai estimasi dari partikel filter didasarkan pada metode Monte Carlo.

Meskipun kedua metode di atas telah digunakan secara luas oleh banyak peneliti dalam beberapa tahun terakhir ini, kedua metode di atas masih menyisakan masalah terhadap keakuratan hasil deteksi maupun pelacakan terutama jika pendeteksian dan pelacakan dilakukan secara *real time* dan di luar ruangan di mana pengaruh pencahayaan dan perubahan *background* menjadi faktor yang dapat mempengaruhi hasil deteksi dan pelacakan.

Untuk mengatasi berbagai persoalan di atas, dalam artikel ini, kami mengembangkan algoritma dengan menggabungkan metode deterministik dan stokastik. Metode deterministik digunakan untuk mendeteksi wajah dengan mengaplikasikan filter warna HSL sedangkan metode stokastik digunakan untuk melacak wajah dengan mengaplikasikan algoritma partikel filter.

Untuk memudahkan pembahasan, artikel ini disusun sebagai berikut. Dalam bagian 2, akan dijelaskan tentang dasar teori yang berkaitan dengan metode yang diusulkan. Bagian 3 menjelaskan tentang metode yang dikembangkan dalam artikel ini. Hasil pengujian dan pembahasannya disajikan pada bagian 4. Kesimpulan dan beberapa saran untuk perbaikan sistem ke depan disajikan dalam bagian 5.

II. STUDI PUSTAKA

A. Filter warna HSL

Filter warna HSL (*Hue, Saturation, Luminance*) merupakan salah satu filter warna yang digunakan untuk membedakan satu bagian warna objek dari warna yang lain. Warna HSL banyak digunakan untuk membedakan objek terutama jika keadaan *background* yang berubah-ubah karena pengaruh cahaya. Dibanding warna aslinya RGB (*Red, Green, Blue*), warna HSL lebih mudah digunakan untuk membedakan objek yang satu dengan objek lainnya [13-15].

Konversi warna dari warna asal RGB ke warna HSL digambarkan dalam (1).

$$r = \frac{R}{255}; g = \frac{G}{255}; b = \frac{B}{255}$$

$$d = \max(r, g, b) - \min(r, g, b)$$

$$L = \frac{\max(r, g, b) + \min(r, g, b)}{2}$$

$$H = \begin{cases} 0, & \text{if } d = 0 \\ \frac{60(G-B)}{d}, & \text{if } \max = r \\ 120 + \frac{60(B-R)}{d}, & \text{if } \max = g \\ 240 + \frac{60(R-G)}{d}, & \text{if } \max = b \end{cases} \quad (1)$$

$$S = \begin{cases} 0, & \text{if } d = 0 \\ \frac{\max(r, g, b) + \min(r, g, b)}{d}, & \text{if } L < 0.5 \\ \frac{2 - \max(r, g, b) - \min(r, g, b)}{d}, & \text{if } L > 0.5 \end{cases}$$

Besarnya nilai dari HSL ini adalah sebagai berikut: $0 \leq L \leq 1$, $0 \leq S \leq 1$, dan $0 \leq H \leq 360^\circ$.

B. Partikel filter

Partikel filter merupakan metode yang banyak digunakan untuk memecahkan masalah dengan model yang linier maupun yang tidak linier. Sehingga penggunaan partikel filter lebih luas dibanding dengan Kalman filter. Nilai estimasi dari partikel filter didasarkan pada metode Monte Carlo [16]. Dalam proses estimasinya, partikel filter dibagi dalam dua langkah yaitu prediksi dan *update*. Prediksi dilakukan dengan menyebarkan partikel berdasarkan model pergerakan dari sampel (partikel) yang akan diuji. Update dilakukan dengan cara mengukur masing-masing bobot sampel berdasarkan model pengamatan yang diberikan. Model pengamatan ini dapat berupa jarak objek dengan objek referensi tertentu maupun histogram warna dari objek dengan histogram objek referensi.

Algoritma partikel filter dapat digambarkan dalam lima langkah sebagai berikut:

1. Inisialisasi partikel

Pada tahap ini, partikel diinisialisasi secara random berdasarkan distribusi normal (*Gauss distribution*) dengan bobot yang merata.

2. Prediksi

Tahap prediksi dilakukan berdasarkan model pergerakan objek yang didefinisikan dalam pergerakan dua dimensi seperti ditunjukkan dalam (2):

$$\begin{aligned} \hat{x}_k &= x_{k-1} + \xi_x \\ \hat{y}_k &= y_{k-1} + \xi_y \end{aligned} \quad (2)$$

dengan: \hat{x}_k dan \hat{y}_k adalah posisi tiap partikel, x_{k-1} dan y_{k-1} adalah posisi objek pada frame sebelumnya pada koordinat x dan y . ξ_x dan ξ_y adalah *random Gaussian noise* untuk posisi x dan y .

3. Update

Input dari sistem pelacakan adalah jarak tiap partikel dengan posisi objek sebelumnya. Selanjutnya jarak tiap partikel ini dijadikan model pengamatan untuk mencari *likelihood* dari tiap partikel sebagai dasar untuk menghitung nilai bobot dari setiap partikel.

Jarak tiap partikel dirumuskan dengan (3):

$$d_{xk} = \sqrt{\hat{x}_k^2 - x_{k-1}^2} \tag{3}$$

$$d_{yk} = \sqrt{\hat{y}_k^2 - y_{k-1}^2}$$

Dengan d_{xk} dan d_{yk} secara berurutan adalah jarak tiap partikel dengan posisi objek pada *frame* sebelumnya dalam koordinat x dan y .

4. *Resampling*

Proses resampling dilakukan untuk membuat sekumpulan partikel baru berdasarkan bobotnya. Dalam proses resampling, partikel dengan bobot yang besar ada kemungkinan terpilih beberapa kali sehingga ada beberapa partikel yang berbeda menempati posisi yang sama. Sementara partikel dengan bobot yang relatif rendah akan hilang dengan sendirinya.

5. Estimasi

Posisi objek yang dilacak diestimasi berdasarkan rata-rata posisi partikel pada saat pengamatan dan dihitung berdasarkan (4) dengan N adalah jumlah partikel.

$$x_k = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N \hat{x}_i^k \tag{4}$$

$$y_k = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N \hat{y}_i^k$$

III. METODE

Dalam artikel ini, kami mengembangkan algoritma untuk mendeteksi dan melakukan pelacakan wajah berdasarkan warna kulit menggunakan partikel filter. Citra wajah dideteksi menggunakan filter warna HSL. Tahap pelacakan dilakukan setelah sistem mendeteksi citra wajah. Selanjutnya pada tahap ini diterapkan algoritma partikel filter untuk melakukan estimasi posisi dari wajah secara *real time*. Tahapan selengkapnya prosedur algoritma yang digunakan dijelaskan pada Gambar 1.

A. Deteksi wajah

Dalam artikel ini, proses deteksi wajah dilakukan dengan menggunakan filter warna HSL. Prosedur pendeteksian wajah digambarkan pada Gambar 1 (*Face Detection Algorithm*).

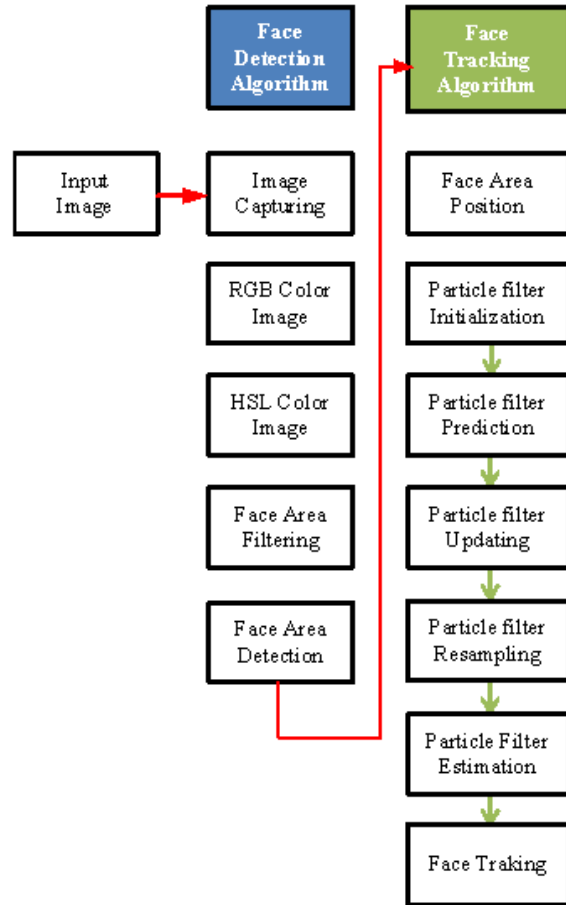
Proses pendeteksian diawali dengan pengambilan citra oleh kamera. Citra yang berhasil ditangkap kamera mempunyai model warna RGB yang merupakan warna asal setiap objek. Untuk mendeteksi area wajah dari citra, digunakan filter warna HSL. Dengan menyesuaikan nilai masing-masing filter HSL dengan pola warna wajah yang akan dideteksi, maka hanya pola wajah yang muncul dalam citra yang dideteksi.

Contoh hasil pendeteksian citra wajah ditampilkan pada Gambar 2 dengan menggunakan interval nilai HSL sebagai berikut:

$$4^\circ \leq H \leq 35^\circ$$

$$0.26 \leq S \leq 0.64$$

$$0.22 \leq L \leq 0.56$$



Gambar 1. Blok diagram deteksi dan pelacakan wajah

Interval filter HSL dapat berubah tergantung dari wajah yang dideteksi, cahaya lingkungan dan juga latar belakang objek.

B. Pelacakan Wajah

Proses selanjutnya setelah pendeteksian wajah adalah proses pelacakan wajah menggunakan estimasi partikel filter. Tahap awal dari proses pelacakan adalah menginisialisasi partikel di sekitar area wajah yang terdeteksi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.

Persegi empat berwarna merah menunjukkan area wajah yang terdeteksi dan titik-titik berwarna ungu menunjukkan



(a). Citra asal

(b). Citra hasil filter HSL

Gambar 2. Proses pendeteksian wajah dengan filter HSL



Gambar 3. Inisialisasi partikel di area wajah



Gambar 4. Hasil estimasi posisi oleh tiap partikel

partikel yang tersebar di sekitar area wajah.

Tahap selanjutnya adalah tahap prediksi. Pada tahap ini, setiap partikel akan bergerak berdasarkan persamaan prediksi yang telah didefinisikan seperti pada (2). Proses update partikel dilakukan dengan mengukur jarak masing-masing partikel terhadap posisi objek yang dideteksi seperti yang ditunjukkan oleh (3). Jarak partikel yang paling dekat dengan posisi objek akan diberi bobot yang paling besar, sedangkan jarak partikel yang paling jauh akan diberi bobot yang paling kecil. Selanjutnya bobot tiap partikel akan di-*resampling* untuk mendapatkan sebaran partikel baru yang memungkinkan partikel dengan bobot yang besar terpilih beberapa kali dengan menempati posisi yang sama. Sementara partikel dengan bobot yang relatif rendah akan hilang dengan sendirinya. Sehingga sebaran partikel baru diharapkan berada di sekitar objek yang sedang dilacak.

Proses terakhir dari satu siklus partikel filter adalah proses estimasi. Proses estimasi posisi wajah yang dilacak dilakukan dengan (4). Dari sini, kita dapat mengestimasi posisi wajah yang dilacak dengan merata-ratakan posisi tiap partikel hasil *resampling*. Hasil estimasi posisi tiap partikel dapat dilihat pada Gambar 4.

Persegi empat berwarna merah menunjukkan area wajah yang dilacak dan titik-titik berwarna ungu menunjukkan

hasil estimasi posisi wajah oleh tiap partikel, sedangkan titik yang berwarna merah adalah hasil estimasi posisi rata-rata dari estimasi posisi oleh setiap partikel. Hasil inilah yang menunjukkan hasil estimasi posisi proses pelacakan yang dilakukan partikel filter.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mengevaluasi metode yang kami usulkan, kami telah melakukan beberapa eksperimen untuk mendeteksi dan melacak wajah. Jumlah partikel yang akan diuji sebanyak 100, 200, dan 500 partikel dengan tujuan untuk membandingkan jumlah partikel yang akan menghasilkan nilai estimasi dengan *error* terkecil.

Hasil eksperimen ditunjukkan dalam Gambar 5 berturut-turut untuk 100, 200, dan 500 partikel. Pada tiap gambar, segi empat berwarna ungu menunjukkan hasil estimasi pelacakan wajah dengan partikel filter, segi empat berwarna merah adalah hasil pelacakan sesungguhnya dan segi empat berwarna biru yang tertumpangi segiempat berwarna merah adalah hasil rata-rata pelacakan dengan partikel filter. Dot yang berwarna merah adalah posisi sesungguhnya dari wajah yang dilacak sedangkan tanda silang berwarna biru menunjukkan posisi estimasi rata-rata yang dihasilkan partikel filter. Dari hasil eksperimen, tidak begitu terlihat perbedaan hasil pelacakan menggunakan 100, 200, maupun 500 partikel. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan 100 partikel sudah memadai untuk melacak dan mengestimasi posisi wajah pada lingkungan dan latar belakang tidak terlalu kompleks. Dari hasil itu pula terlihat, bahwa setelah partikel disebar secara random pada posisi awal, pada *frame* selanjutnya partikel akan mendekati posisi wajah yang sebenarnya. Ini terjadi karena adanya proses *resampling* yang memungkinkan partikel dengan jarak yang jauh dari posisi wajah akan tereliminasi karena mempunyai bobot yang rendah, sedangkan partikel dengan posisi yang dekat akan bertambah banyak menggantikan partikel yang tereliminasi tadi. Sehingga partikel akan terus mendekati posisi wajah yang dilacak.

Gambar 6-8 berturut-turut menunjukkan grafik perbandingan antara hasil estimasi posisi wajah dengan partikel filter dengan hasil posisi wajah sesungguhnya dengan jumlah filter 100, 200, dan 500 partikel. Dari grafik tersebut terlihat bahwa jumlah partikel yang besar memberikan tingkat keakuratan yang tinggi untuk melakukan estimasi posisi wajah.

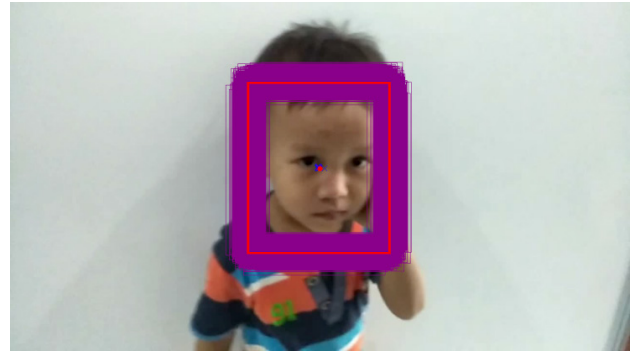
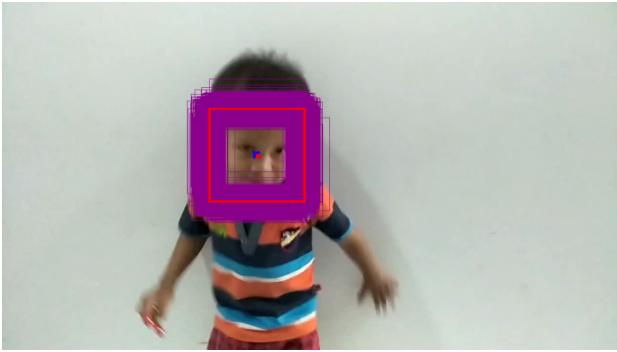
Tabel 1 menunjukkan hasil pengujian sistem dengan jumlah partikel 100, 200, dan 500. Dari data tersebut didapatkan nilai *error* terkecil terjadi pada saat jumlah partikel yang digunakan 500 partikel dengan tingkat *error* sebesar 0,59 dan 0,57 pada sumbu *X* dan sumbu *Y*.

Tabel 1. Perbandingan error terhadap jumlah partikel

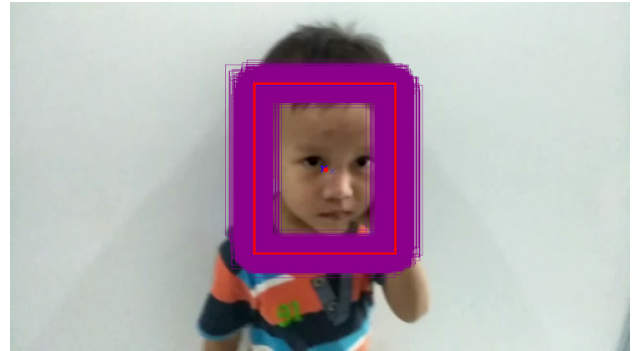
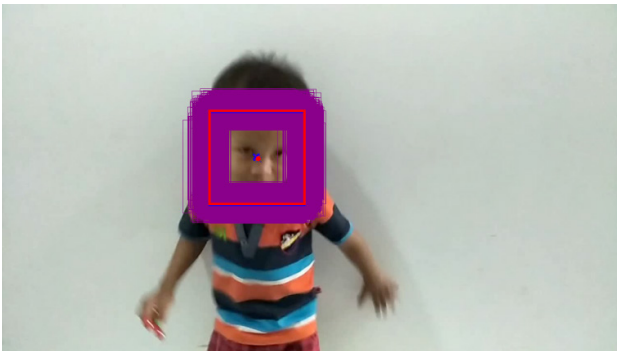
Jumlah partikel	Sumbu X	Sumbu Y
100	1.25	1.02
200	0.86	0.81
500	0.59	0.57

V. KESIMPULAN

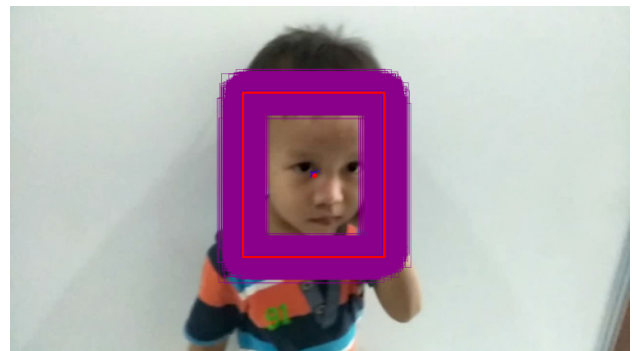
Artikel ini telah menampilkan suatu metode yang menggabungkan metode deterministik dengan menggunakan filter warna HSL untuk mendeteksi wajah



(a). Pelacakan wajah menggunakan 100 partikel

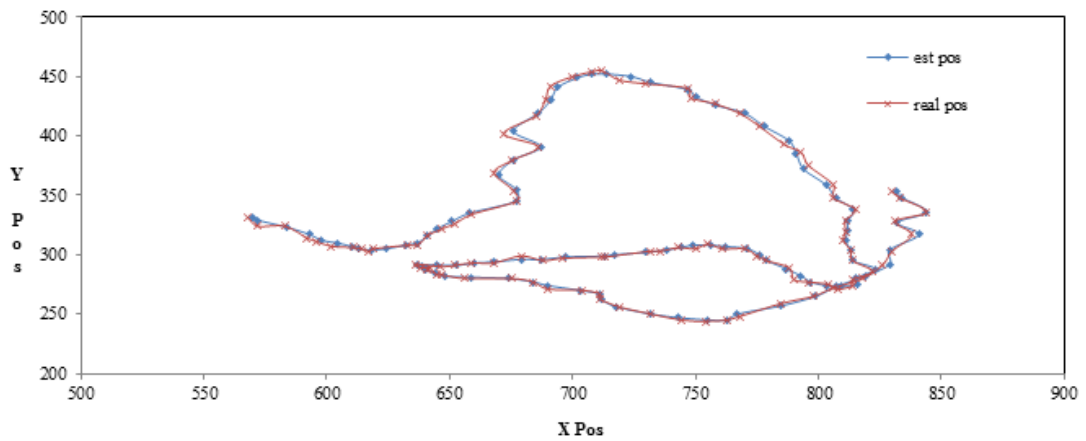


(b). Pelacakan wajah menggunakan 200 partikel

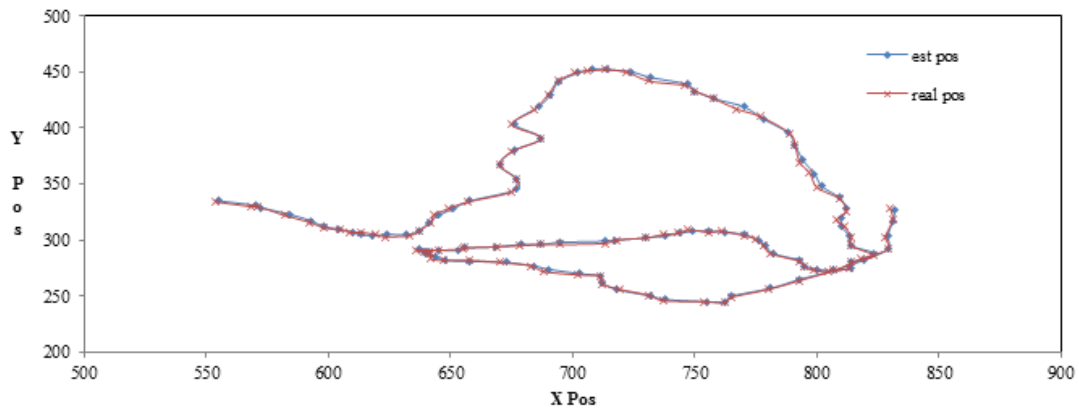


(c). Pelacakan wajah menggunakan 500 partikel

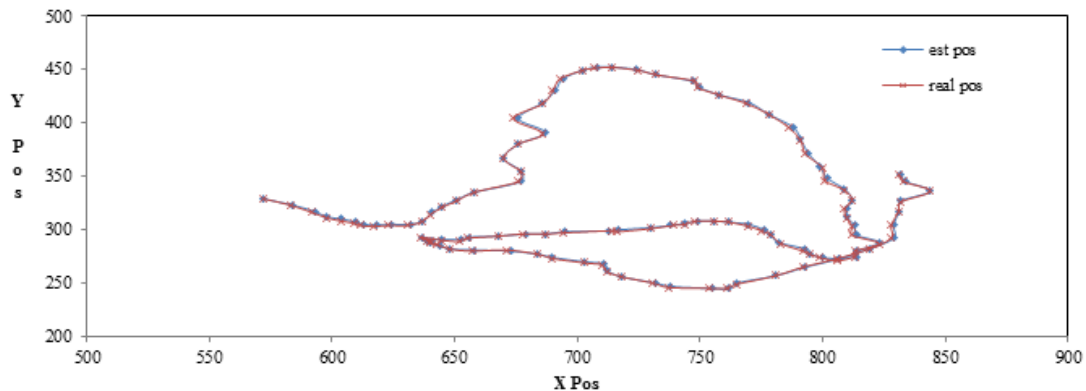
Gambar 5. Hasil Pelacakan wajah dengan menggunakan partikel filter



Gambar 6. Hasil estimasi posisi wajah dengan 100 partikel



Gambar 7. Hasil estimasi posisi wajah dengan 200 partikel



Gambar 8. Hasil estimasi posisi wajah dengan 500 partikel

dan metode stokastik dengan menggunakan partikel filter untuk melacak wajah. Kedua metode tersebut telah berhasil mendeteksi dan melacak wajah dengan menggunakan jumlah partikel 100, 200, dan 500. Semakin besar jumlah partikel semakin akurat akan tetapi akan menambah waktu pemrosesan. Proses *resampling* didasarkan pada jarak tiap partikel terhadap posisi wajah akan menentukan bobot tiap partikel yang pada akhirnya akan mempengaruhi keberhasilan proses estimasi posisi wajah. Proses estimasi posisi sendiri didasarkan pada rata-rata posisi partikel yang telah di-*resampling*. Dari hasil pengujian didapatkan *error* rata-rata kesalahan pelacakan posisi wajah menggunakan jumlah partikel filter 100, 200, dan 500 pada sumbu X dan Y berturut-turut adalah (1.25; 1.02), (0.86; 0.81), dan (0.59; 0.57).

Hadirnya artikel ini yang telah menampilkan metode baru dalam sistem pendeteksian dan pelacakan wajah berdasarkan filter warna HSL dan partikel filter akan memperkaya dan memberikan sedikit gagasan bagi para peneliti lain dalam berinovasi terutama di bidang *biometric*, *computer vision*, *surveillance system*, dan lain lain. Untuk penelitian selanjutnya akan dicoba untuk mendeteksi dan melacak objek yang lebih kompleks seperti multi objek bergerak di luar ruangan dengan *background* yang heterogen. Filter warna lain seperti YCbCr maupun filter warna gabungan RGB, HSL, dan YCbCr sebaiknya dicoba untuk mendapatkan hasil deteksi yang terbaik. Untuk partikel filter sendiri dapat ditambahkan konsep histogram

untuk menghitung bobot tiap partikel. Histogram dapat diperoleh dari warna yang dipilih dari ketiga jenis warna di atas. Semuanya ini masih tersisa untuk dilanjutkan pada penelitian selanjutnya.

REFERENSI

- [1] H. Lim, C. N. Khac and H. Jung, "Background subtraction based moving object detection around the host vehicle", *Intl. Journal of Computer, Electrical, Automation, Control and Information Engineering*, vol. 9, 2015.
- [2] R. Zhang and J. Ding, "Object tracking and detecting based on adaptive background subtraction", *Procedia Engineering*, vol. 29, pp. 1351-1355, 2012.
- [3] A. A. Malik, A. Khalil and H. U. Khan, "Object detection and tracking using background subtraction and connected component labeling", *Intl. Journal of Computer Applications*, vol. 75, no.13, 2013.
- [4] S. Sengar and S. Mukhopadhyay, "Moving object detection based on frame difference and W4", *Signal, Image and Video Processing*, vol.11, Issue 7, pp 1357-1364, 2017.
- [5] C. Zhan, X. Duan, S. Xu, Z. Song and Min Luo, "An improved moving object detection algorithm based on frame difference and edge detection", in *Proc Fourth Intl. Conference on Image and Graphics*, 2007.
- [6] Y. W. Choi, Y. S. Chung, S. I. Lee and S. G. Lee, "Rear object detection method based on optical flow and vehicle information for moving vehicle", in *Proc. Ninth International Conference on Ubiquitous and Future Networks*, 2017
- [7] K. Kaliraj and S. Manimaran, "Robust skin color-based moving

- object detection for video surveillance”, *Journal of Electronic Imaging*, vol. 25, no. 4, 2016.
- [8] H. A. Patel and D. G. Thakore, “Moving object tracking using Kalman Filter”, *Intl. Journal of Computer Science and Mobile Computing*, vol. 2, no. 4, April 2013, pp. 326 – 332
- [9] S.Saravanan and K.A.Parthasarathy, “Video object detection and tracking using Kalman filter and color histogram - based matching algorithm”, *Intl. Journal of Engineering Research and Development*, vol.9, no. 7, 2014, pp. 31 -39
- [10] J. M. Jeong, T. S. Yoon and J. B. Park, “Kalman filter based multiple objects detection-tracking algorithm robust to occlusion”, in *Proc of the SICE Annual Conference*, 2014
- [11] B. Pelenk and A. Tankut, “Object detection and tracking using sensor fusion and Particle Filter”, in *Proc. IEEE International Conference on Imaging Systems and Techniques*, 2013.
- [12] T. Kumar and S.N. Sivanandam, “Object detection and tracking in video using particle filter”, in *Proc Third International Conference on Computing Communication & Networking Technologies*, 2012
- [13] W. Chen, Y. Shian and G. Xuan, “Identifying Computer Graphics using HSV Color Model and Statistical Moments of Characteristic Functions”, *Proc. of IEEE Int’l Conf. on Multimedia and Expo*, pp 1123-1126, 2007.
- [14] H. Kadouf and M. Yasir, “Colour Based Object Detection and Tracking for Autonomous Quadrotor UAV”, *Int’l Conf. on Mechatronic*, 2013
- [15] Gevers and A. Smeulders, “Color-based Object Recognition”, *Pattern Recognition*, vol. 32, pp. 453-464, 1999.
- [16] L. Mihaylova, A. Carmi, F. Septien, A. Gning, S. Pang and S. Godsill, “Overview of Bayesian sequential Monte Carlo methods for group and extended object tracking”, *Digital Signal Processing*, vol. 25, pp 1-16, 2014

Penerbit:

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala

Jl. Tgk. Syech Abdurrauf No. 7, Banda Aceh 23111

website: <http://jurnal.unsyiah.ac.id/JRE>

email: rekayasa.elektrika@unsyiah.net

Telp/Fax: (0651) 7554336

