

---

# Pencatatan Lintasan Objek Bergerak dalam Ruangan dengan Kalman Filter

Lina<sup>1\*</sup>, Andrian Lay<sup>2</sup>, Jessica Sung<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Program Studi Teknik Informatika, Universitas Tarumanagara, Jakarta, DKI Jakarta  
Email: <sup>1\*</sup>lina@untar.ac.id, <sup>2</sup>andrianlay1@gmail.com, <sup>3</sup>herecomesar@gmail.com

(Naskah masuk: 25 Okt 2021, direvisi: 08 Feb 2022, diterima: 14 Feb 2022)

## Abstrak

Sistem sekuriti dengan kamera pengawas telah banyak diaplikasikan untuk menjamin keamanan suatu lokasi baik dalam skala besar maupun kecil seperti pada bandar udara, pusat perbelanjaan, stasiun, dan tempat umum lainnya. Sistem sekuriti tersebut melakukan pemantauan secara *live* dengan diamati secara periodik oleh tenaga sekuriti, maupun dalam bentuk rekaman video aktivitas yang dapat dianalisis pada waktu yang berbeda. Seiring dengan perkembangan teknologi, sistem pelacakan objek secara otomatis dapat dilakukan dalam waktu cepat dan efisien. Sistem yang dibahas pada makalah ini adalah sistem pencatat lintasan objek bergerak dalam ruangan dengan *Kalman Filter*. Luaran dari sistem berupa visualisasi lintasan pergerakan objek sehingga pengguna dapat menganalisis aktivitas yang dilakukan target objek tersebut jika terjadi kejadian yang mencurigakan. Eksperimen dilakukan terhadap 20 skenario dengan latar lokasi yang berbeda serta titik henti dengan lintasan yang berbeda menggunakan *Kalman Filter*. Hasil eksperimen dari sistem pencatat lintasan objek bergerak dengan *Kalman Filter* juga dibandingkan terhadap metode standar lain yaitu *Background Substraction*. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan dengan Kalman Filter mampu mencatat lintasan objek bergerak dalam ruangan dengan nilai akurasi terbaik mencapai 88% dengan nilai presisi 89% dan nilai *recall* sebesar 80%.

**Kata Kunci:** Deteksi Objek, Lintasan Objek Bergerak, *Kalman Filter*.

## *Trajectory Recording of an Indoor Moving Object with Kalman Filter*

### *Abstract*

*Security systems with surveillance cameras have been widely applied to ensure the security of a location both on large and small scales such as in airports, shopping centers, stations, and other public places. The security system could perform live monitoring by being observed periodically by security personnel, as well as in the form of video recordings that can be analyzed at different times. Along with the development of technology, automatic object tracking system can be conducted quickly and efficiently. The system discussed in this paper is a system for recording the trajectory of moving objects in a room with Kalman Filter. The output of the system is in the form of the trajectory of the object's movement so that users can analyze the activities carried out by the target object if a suspicious event occurs. Experiments were carried out on 20 scenarios with different background locations and different stopping points using Kalman Filter. The experimental results of the developed system with the Kalman Filter were also compared to another standard method, namely the Background Substraction method. The experimental results show that the system developed with the Kalman Filter was able to record the trajectory of moving objects in a room with 88% best accuracy value with 89% precision and 80% recall value.*

**Keywords:** Object Detection, Moving Object Trajectory, *Kalman Filter*.

## I. PENDAHULUAN

Kecerdasan buatan memungkinkan dilakukannya pengecekan video, pendeteksian objek, serta pengawasan ruangan terhadap pergerakan objek secara otomatis. Pelacakan objek dapat dilihat sebagai sebuah prosedur penentuan orientasi objek sepanjang waktu saat objek bergerak di seluruh area lintasan. Dalam aplikasi pelacakan objek, target dapat ditentukan sebagai apa saja yang menarik untuk dianalisis. Kemampuan mesin untuk mengidentifikasi objek yang mencurigakan dan lebih lanjut mencatat lintasan pergerakan objek seiring dengan perubahan aktivitas yang dilakukan pada lingkungan tertentu merupakan bagian penting yang dapat mempermudah analisis terhadap keamanan sebuah ruangan. Berbagai aplikasi pelacakan objek yang hingga kini banyak ditemui meliputi pengawasan otomatis, pemantauan robotika, antarmuka manusia-mesin, pengenalan berbasis gerak, navigasi kendaraan, pemantauan lalu lintas, pengindeksan video dan aplikasi lainnya.

Perkembangan daya komputasi, infrastruktur jaringan berkecepatan tinggi, dan aksesibilitas perangkat penyimpanan berkapasitas besar membuka jalan bagi sistem pelacakan objek secara otomatis dalam waktu cepat dan efisien. Namun demikian, pelacakan objek memiliki berbagai tantangan yaitu tingginya variasi dalam pencahayaan, oklusi, tampilan latar ruangan, maupun adanya perubahan gerak objek, dan lain sebagainya. Berbagai algoritma untuk deteksi pergerakan objek telah banyak dikembangkan dengan menggunakan beragam fitur meliputi bentuk objek, warna, tekstur, dan sebagainya.

Secara umum, metode pelacakan terhadap objek diklasifikasikan menjadi tiga jenis seperti pelacakan berbasis titik, *kernel*, dan siluet [1]. Contoh algoritma populer yang terkait dengan pelacakan berbasis titik adalah *Kalman filter* [2][3] dan *Particle filter* [4]. Dua teknik lainnya adalah metode *kernel* dan siluet. Dibandingkan dengan metode siluet, sebagian besar penelitian lebih fokus pada metode berbasis *kernel* dikarenakan akurasi yang tinggi dengan biaya komputasi yang lebih sedikit. Metode pelacakan titik memiliki keunggulan utama yaitu kecepatan waktu proses, walaupun memiliki akurasi yang kurang [5].

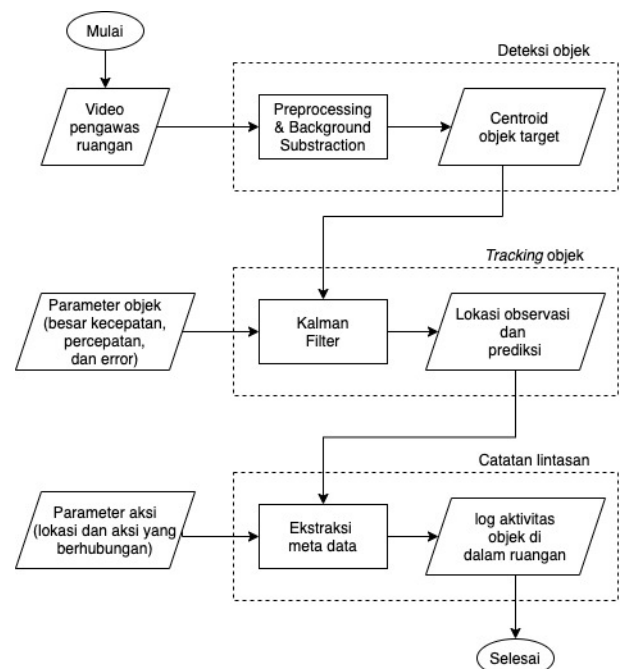
Sistem yang dirancang mengikuti teknik pelacakan titik bersifat statistik menggunakan *Kalman filter* yang diterapkan untuk mencatat lintasan objek bergerak di dalam ruangan. Perbedaan rancangan ini dengan rancangan yang sebelumnya pernah dibuat [6][7] adalah pelacakan terhadap objek dilakukan di dalam ruangan dan objek target dicatat interaksinya dengan benda di dalam ruangan tersebut.

Makalah ini disusun dengan struktur sebagai berikut: pada bagian pertama dibahas mengenai pendahuluan meliputi tujuan dari sistem yang akan dirancang, cakupan sistem, serta perbedaan terhadap sistem yang telah ada. Selanjutnya pada bagian dua, penjelasan terhadap metodologi yang digunakan serta diagram alir sistem akan disajikan. Bagian tiga berisi eksperimen yang dilakukan dan analisis hasil. Sebagai penutup, bagian empat berisi kesimpulan dan rencana penelitian selanjutnya.

## II. SISTEM PENCATATAN LINTASAN OBJEK

Pada makalah ini, sistem pencatatan lintasan objek akan dikembangkan berdasarkan empat langkah yaitu 1) deteksi objek pada setiap *frame* untuk mengidentifikasi objek yang termasuk dalam kelas target menggunakan kotak pembatas, 2) ekstraksi fitur prediksi pergerakan objek meliputi analisis fitur tampilan, gerakan, dan interaksi, 3) keterkaitan prediksi gerakan dengan target objek berdasarkan nilai kesamaan antar posisi, dan 4) pencatatan lintasan objek yang menghubungkan prediksi gerakan dengan identitas objek yang menjadi objek. Diagram alir proses dari sistem pencatatan lintasan objek dalam ruangan tertera pada Gambar 1.

Deteksi objek dalam sebuah video memiliki peran yang penting dalam aplikasi pendeteksian pergerakan objek. Dalam sebuah video masukan, pelacakan terhadap objek yang menjadi target deteksi dilakukan secara kontinu selama waktu perekaman tertentu. Secara umum, metode deteksi objek terdiri dari tiga jenis, yaitu *temporal differencing* [8], *optical flow* [9], dan *background subtraction* [10][11]. Pada makalah ini, *background subtraction* diterapkan untuk memperoleh objek target deteksi yang telah terpisahkan dari latar belakangnya. Pemodelan ini dapat diaplikasikan pada objek bergerak untuk setiap *frame*-nya. Pemodelan ini juga perlu secara terus menerus diperbaharui dikarenakan objek bergerak bersifat sangat sensitif dan akan selalu mengalami perubahan terhadap kondisi lingkungan.



Gambar 1. Diagram Alir Sistem Pencatatan Lintasan Objek Dalam Ruang

Setelah tahapan *background subtraction*, juga diperlukan penyempurnaan terhadap batasan objek. Untuk tahap ini dapat diterapkan teknik morfologi seperti dilasi untuk pelebaran objek, maupun erosi untuk penipisan objek. Setelah dilakukan proses morfologi, pelabelan terhadap komponen objek

diberikan untuk mendeteksi area yang saling berhubungan dalam citra. Untuk setiap area yang mengandung objek target akan dihubungkan satu sama lain sehingga diperoleh jalur lintasan dari pergerakan objek. Salah satu teknik yang populer untuk pelabelan komponen objek adalah berdasarkan *centroid* objek [12][13].

Selanjutnya, sistem melakukan ekstraksi fitur terhadap objek target menggunakan *Kalman Filter*. Metode *Kalman Filter* merupakan pengembangan dari estimator Bayes [14] ketika sistem yang diterapkannya linier. Dalam penerapannya, model yang akan diobservasi dituliskan dalam formula (1) [15][16]:

$$\vec{y}_t = \vec{x}_t + \vec{r}_t \quad (1)$$

Dengan vektor masukan diperoleh dari rumusan (2) berikut:

$$\vec{u}_t = \frac{\vec{y}_t - \vec{x}_{t|t-1}}{T_s} \quad (2)$$

Urutan dari nilai prediksi pada waktu  $t$  adalah sebagai berikut (formula 3-5):

1. Prediksi vektor *state*

$$\vec{x}_{t+1|t} = A \cdot \vec{x}_t + B \cdot \vec{u}_t \quad (3)$$

2. Prediksi error dari matriks *kovarians*

$$P_{t+1|t} = A \cdot P_{t-1} \cdot A^t + Q \quad (4)$$

3. Hasil prediksi vektor pengukuran

$$\vec{y}_{t+1|t} = H \cdot \vec{x}_t \quad (5)$$

Untuk mendapatkan hasil dari objek yang menjadi target, hanya hasil pengukuran yang pengaruhnya diatas ambang batas yang terkait dengan setiap objek diterima dalam proses estimasi. Pengaruh setiap pengukuran di setiap objek dapat dihitung menurut parameter yang berbeda. Dalam makalah ini, karakteristik yang dipilih adalah jarak *Euclidean* dari pengukuran ke- $i$  terhadap objek ke- $j$  dengan penggunaan distribusi normal untuk mendapatkan semua nilai probabilitas.

Vektor keluaran yang diprediksi ( $\vec{y}_{t|t-1}^{(i)}$ ) kemudian dihitung dengan rumusan (6) sebagai berikut:

$$\vec{y}_{t|t-1}^{(i)} = h(\vec{x}_{t|t-1}^{(i)}) = \vec{x}_{t|t-1}^{(i)} \quad (6)$$

Perlu diperhatikan bahwa  $\vec{x}_{t|t-1}^{(i)}$  adalah estimasi nilai 22terative22tic posisi ke- $I$  dari target objek. Jika jarak  $d_{i,j}$  dari pengukuran ke- $I$  ke objek yang terdekat memiliki nilai lebih besar dari nilai validasi, maka pengukuran  $b$  dianggap sebagai objek baru, dan *Kalman Filter* akan dikembangkan untuk melakukan pelacakan terhadap objek tersebut. Algoritma pelacakan bekerja secara adaptif dan menyesuaikan secara

otomatis untuk mengestimasi posisi sejumlah objek yang bervariasi.

Sebagai keluaran dari sistem pelacakan, sistem menerima informasi objek berupa lokasi dan aktivitas yang dilakukan objek. Proses pencatatan dilakukan secara 22terative hingga kondisi henti tercapai yaitu jika nilai *centroid* objek saling bertumpuk. Kondisi ini mencerminkan objek target sedang berada di suatu ruangan dan menyentuh benda pada lokasi tersebut. Selanjutnya sistem akan mencatat lintasan yang dilalui target tersebut hingga mencapai posisi terakhir yaitu pintu keluar dari ruangan.

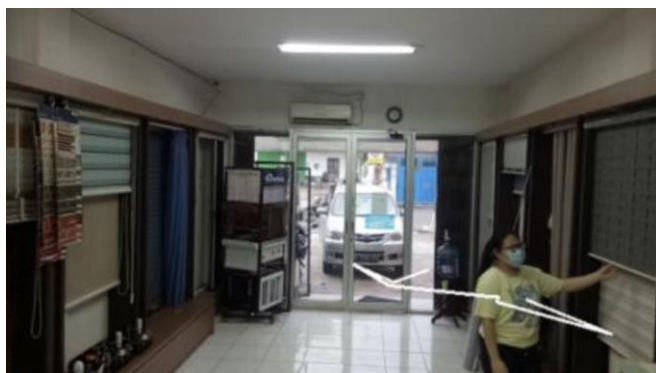
### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk menguji keberhasilan dari sistem pencatatan lintasan objek dalam ruangan, tim peneliti melakukan percobaan dengan mengumpulkan data dan mengembangkan basis data video sendiri. Basis data yang terbentuk terdiri atas 10 skenario untuk 2 kelompok data (*dataset*) yang berbeda. Skenario berbeda dari sisi sudut kamera, pergerakan objek manusia di dalam ruangan, serta latar belakang yang berbeda. Untuk setiap *dataset*, 10 video digunakan untuk tahap pelatihan dan 95 video digunakan untuk pengujian. Skenario yang digunakan pada eksperimen untuk setiap *dataset* tertera pada Tabel 1. Contoh hasil eksperimen berupa deteksi lintasan pergerakan objek yang divisualisasikan pada sebuah *frame* dapat dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3.

Tabel 1. Skenario Pergerakan Objek (Manusia) Dalam Ruangan Dengan Latar Dan Lintasan Berbeda

Kelompok Data 1 - Rumah	Kelompok Data 2 - Kantor
<b>Skenario 1</b>	<b>Skenario 1</b>
1. Pintu masuk (masuk)	1. Pintu masuk (masuk)
2. Dispenser air (mulai)	2. <i>Display</i> kanan (mulai)
3. Dispenser air (selesai)	3. <i>Display</i> kanan (selesai)
4. Pintu masuk (keluar)	4. Pintu masuk (keluar)
<b>Skenario 2</b>	<b>Skenario 2</b>
1. Pintu kamar mandi (masuk)	1. Pintu <i>pantry</i> (masuk)
2. Pintu kamar mandi (keluar)	2. Pintu <i>pantry</i> (keluar)
3. Dispenser air (mulai)	3. <i>Display</i> kanan (mulai)
4. Dispenser air (selesai)	4. <i>Display</i> kanan (selesai)
<b>Skenario 3</b>	<b>Skenario 3</b>
1. Lorong dapur (masuk)	1. <i>Display</i> kiri (masuk)
2. Lorong dapur (keluar)	2. <i>Display</i> kiri (keluar)
3. Dispenser air (mulai)	3. <i>Display</i> kanan (mulai)
4. Dispenser air (selesai)	4. <i>Display</i> kanan (selesai)
<b>Skenario 4</b>	<b>Skenario 4</b>
1. <i>Treadmill</i> (mulai)	1. Dispenser air (mulai)
2. <i>Treadmill</i> (selesai)	2. Dispenser air (selesai)
3. Dispenser air (mulai)	3. <i>Display</i> kanan (mulai)
4. Dispenser air (selesai)	4. <i>Display</i> kanan (selesai)
<b>Skenario 5</b>	<b>Skenario 5</b>
1. Pintu masuk (keluar)	1. Pintu masuk (keluar)
2. Pintu masuk (masuk)	2. Pintu masuk (masuk)
3. Lorong dapur (masuk)	3. <i>Display</i> kiri (masuk)
4. Lorong dapur (keluar)	4. <i>Display</i> kiri (keluar)

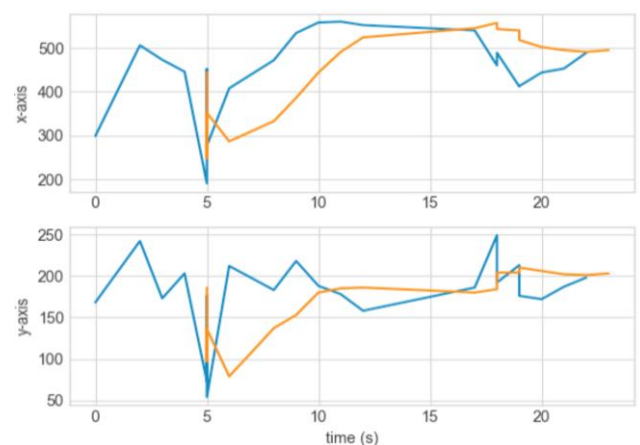
5. Pintu kamar mandi (masuk)	5. Pintu <i>pantry</i> (masuk)
Skenario 6	
1. Pintu masuk (keluar)	1. Pintu masuk (keluar)
2. Pintu masuk (masuk)	2. Pintu masuk (masuk)
3. <i>Treadmill</i> (mulai)	3. Dispenser air (mulai)
4. <i>Treadmill</i> (selesai)	4. Dispenser air (selesai)
5. Lorong dapur (masuk)	5. <i>Display</i> kiri (masuk)
Skenario 7	
1. Pintu masuk mandi (masuk)	1. Pintu <i>pantry</i> (masuk)
2. Pintu keluar mandi (keluar)	2. Pintu <i>pantry</i> (keluar)
3. <i>Treadmill</i> (mulai)	3. Dispenser air (mulai)
4. <i>Treadmill</i> (selesai)	4. Dispenser air (selesai)
5. Pintu masuk (keluar)	5. Pintu masuk (keluar)
Skenario 8	
1. Lorong dapur (keluar)	1. <i>Display</i> kiri (keluar)
2. Dispenser air (mulai)	2. <i>Display</i> kanan (mulai)
3. Dispenser air (selesai)	3. <i>Display</i> kanan (selesai)
4. Pintu kamar mandi (masuk)	4. Pintu <i>pantry</i> (masuk)
5. Pintu kamar mandi (keluar)	5. Pintu <i>pantry</i> (keluar)
6. Lorong dapur (masuk)	6. <i>Display</i> kiri (masuk)
Skenario 9	
1. Lorong dapur (keluar)	1. <i>Display</i> kiri (keluar)
2. <i>Treadmill</i> (mulai)	2. Dispenser air (mulai)
3. <i>Treadmill</i> (selesai)	3. Dispenser air (selesai)
4. Pintu masuk (keluar)	4. Pintu masuk (keluar)
Skenario 10	
1. Pintu masuk (masuk)	1. Pintu masuk (masuk)
2. Pintu kamar mandi (masuk)	2. Pintu <i>pantry</i> (masuk)
3. Pintu kamar mandi (keluar)	3. Pintu <i>pantry</i> (keluar)
4. Lorong dapur (masuk)	4. <i>Display</i> kiri (masuk)
5. Lorong dapur (keluar)	5. <i>Display</i> kiri (keluar)
6. Dispenser air (mulai)	6. <i>Display</i> kanan (mulai)
7. Dispenser air (selesai)	7. <i>Display</i> kanan (selesai)
8. <i>Treadmill</i> (mulai)	8. Dispenser air (mulai)
9. <i>Treadmill</i> (selesai)	9. Dispenser air (selesai)
10. Pintu masuk (keluar)	10. Pintu masuk (keluar)



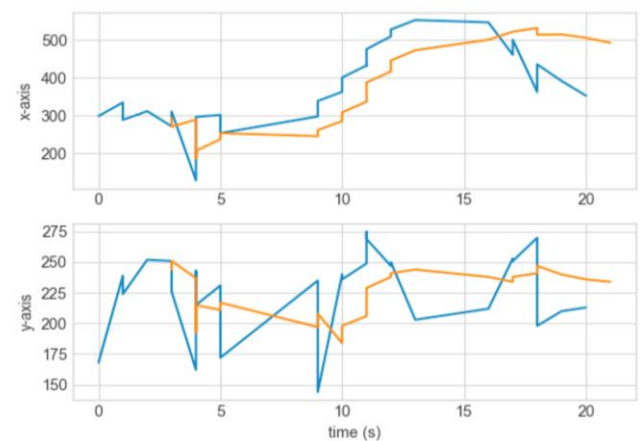
Gambar 2. Sampel Visualisasi Lintasan Pergerakan Objek Yang Tepat Pada *Centroid* Pada Sebuah *Frame* Dari Kelompok Data 2 – Skenario 1



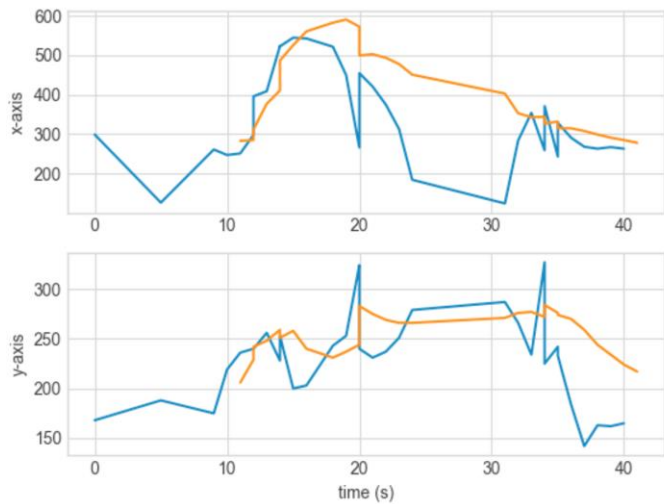
Gambar 3. Sampel Visualisasi Lintasan Pergerakan Objek Yang Mengalami *Tracking Loss* Pada Sebuah *Frame* Dari Kelompok Data 2 – Skenario 1



Gambar 4. Grafik Sampel Hasil Pelacakan Lintasan Yang Berhasil Untuk Sumbu X Dan Y



Gambar 5. Grafik Sampel Hasil Pelacakan Lintasan Yang Mengalami *Tracking Loss* Pada Sumbu X Dan Sumbu Y



Gambar 6. Grafik Sampel Hasil Pelacakan Lintasan Yang Berhasil Untuk Sumbu X, Namun Mengalami *Tracking Loss* Pada Sumbu Y

Berdasarkan Gambar 2 yang merupakan sampel hasil pengujian yang diperoleh, terlihat bahwa sistem yang dirancang berhasil menggambarkan lintasan *trayektori* objek manusia yang bergerak di dalam sebuah ruangan. Sedangkan Gambar 3 merupakan sampel dimana sistem mengalami *tracking loss* pada tengah hingga akhir lintasan. Hal ini disebabkan oleh karena terputusnya masukan lokasi objek sehingga target dianggap sebagai objek lain dan diabaikan.

Selanjutnya Gambar 4 menampilkan grafik sampel hasil pelacakan lintasan yang berhasil untuk sumbu x dan sumbu y, Gambar 5 menampilkan hasil pelacakan lintasan yang gagal karena mengalami *tracking loss* untuk kedua sumbu, dan Gambar 6 menampilkan hasil pelacakan lintasan yang mengalami kegagalan pada salah satu sumbu. Perbandingan hasil lintasan pada Gambar 4, Gambar 5, dan Gambar 6 dilakukan antara sistem pelacakan objek menggunakan metode *Kalman Filter* (grafik berwarna oranye) dibandingkan dengan metode *Background Substraction* (grafik berwarna biru). Berdasarkan pengamatan dari hasil eksperimen yang dilakukan terhadap 20 skenario, diperoleh hasil yakni *Kalman Filter* dapat memberikan jalur lintasan yang lebih baik dibandingkan dengan metode *Background Substraction*. Namun demikian, hasil yang diberikan sangat bergantung pada parameter objek yaitu kecepatan objek bergerak.

Untuk mengevaluasi kinerja sistem yang dikembangkan, dilakukan perhitungan nilai akurasi, *precision*, dan *recall* terhadap setiap *dataset* dan skenario yang diujikan. Hasil evaluasi tersebut tertera pada Tabel 2 untuk *Dataset 1* yaitu lokasi latar rumah dan Tabel 3 untuk *Dataset 2* yaitu lokasi latar kantor.

Tabel 2. Nilai Akurasi, *Precision*, dan *Recall* Untuk *Dataset 1*

Skenario	Akurasi (%)	<i>Precision</i> (%)	<i>Recall</i> (%)
1	84,0	73,0	89,0
2	68,0	54,0	78,0
3	88,0	89,0	80,0
4	76,9	73,0	73,0
5	38,4	45,0	33,0
6	64,0	75,0	60,0
7	60,0	70,0	50,0
8	60,0	62,5	71,4
9	48,0	60,0	40,0
10	64,0	100	64,0

Tabel 3. Nilai Akurasi, *Precision*, dan *Recall* Untuk *Dataset 2*

Skenario	Akurasi (%)	<i>Precision</i> (%)	<i>Recall</i> (%)
1	73.0	62.5	83.0
2	47.0	33.0	33.0
3	80.0	67.0	100
4	87.0	83.0	83.0
5	60.0	67.0	67.0
6	73.0	85.7	67.0
7	47.0	57.1	44.0
8	60.0	71.4	56.0
9	73.0	70.0	87.5
10	60.0	100	60.0

Dari hasil perhitungan nilai akurasi, *precision*, dan *recall* yang tertera pada Tabel 2 dan Tabel 3, dapat terlihat bahwa nilai akurasi sistem dapat sangat bervariasi pada setiap *dataset*. Nilai akurasi tertinggi pada kedua *dataset* diperoleh pada skenario lintasan pendek dengan 4 *stop points* sebesar 88% untuk *Dataset 1* dan 87% untuk *Dataset 2*. Tidak terdapat pengaruh dari latar lokasi yang berbeda maupun skenario yang berbeda terhadap keberhasilan pelacakan.

#### IV. KESIMPULAN

Sistem yang dibahas pada makalah ini adalah pencatat lintasan objek bergerak dalam ruangan dengan *Kalman Filter*. Sistem ini memiliki manfaat yang luas bagi pengguna terutama dalam memberikan informasi aktivitas dari objek bergerak yang terjadi dalam sebuah ruangan. Luaran dari sistem ditampilkan dalam bentuk visual berupa lintasan pergerakan objek sehingga pengguna dapat menganalisis aktivitas yang dilakukan oleh target objek tersebut. Sistem yang dikembangkan menerapkan metode *Kalman Filter* dalam 20 skenario dengan latar dan pergerakan yang berbeda. Nilai terbaik yang diperoleh sistem memiliki akurasi 88% dengan 89% *precision value* dan 80% *recall value*.

Dalam penelitian selanjutnya, akan dikembangkan untuk dapat mencatat lintasan dari multi objek pada saat yang bersamaan, mendeteksi pergerakan objek yang berpindah ruangan, serta optimasi terhadap nilai parameter *input* bagi *Kalman Filter*.

---

**REFERENSI**

- [1] A. Yilmaz, O. Javed, and M. Shah, "Object tracking," *ACM Computing Surveys*, vol. 38, no. 4, p. 13, 2006.
- [2] G. Welch and G. Bishop, *An Introduction to the Kalman Filter*. Chapel Hill: University of North Carolina, 2001.
- [3] S. M. Bozic, *Digital and Kalman filtering: An introduction to discrete-time filtering and optimum linear estimation, second edition*. Dover Publications, 2018.
- [4] W. Hu, T. Tan, L. Wang, and S. Maybank, "A survey on visual surveillance of object motion and behaviors," *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, vol. 34, no. 3, pp. 334–352, 2004.
- [5] E. N. Weng, R. U. Khan, S. A. Adruce, and O. Y. Bee, "Objects tracking from natural features in Mobile augmented reality," *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 97, pp. 753–760, 2013.
- [6] M. Soeleman, D. Raniasti, K. W. M. Muljono, M. Muslih, and R. A. Pramunendar, "Tracking moving objects based on background subtraction using Kalman filter," *Proceedings of the The 1st International Conference on Computer Science and Engineering Technology Universitas Muria Kudus*, 2018.
- [7] L. E. Taylor, M. Mirdanies, and R. P. Saputra, "Optimized object tracking technique using Kalman filter," *Journal of Mechatronics, Electrical Power, and Vehicular Technology*, vol. 7, no. 1, pp. 57–66, 2016.
- [8] M. Chate, S. Amudha, and V. Gohokar, "Object Detection And Tracking In Video Sequences", *ACEEE Int. J. Signal Image Process*, vol. 3, 2012.
- [9] M. T. Krishna, M. Ravishankar, and D. R. Babu, "Automatic detection and tracking of moving objects in complex environments for video surveillance applications," *3rd International Conference on Electronics Computer Technology*, 2011.
- [10] A. R. Aldhaheeri and E. A. Edirisinghe, "Detection and Classification of a Moving Object in a Video Stream," *Proc. of the Intl. Conf. on Advances in Computing and Information Technology*, 2014.
- [11] Jessica and Lina, "Tracking Aktivitas Manusia Dalam Ruang Menggunakan Kalman Filter," *Jurnal Ilmu Komputer dan Sistem Informasi*, vol. 9, no. 1, 2021.
- [12] A. Fahriannur, R. Mardiyanto, and M. Siswanto, "Sistem Pelacakan Objek Menggunakan Kombinasi Algoritma Optical Flow dan Template Matching," *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*, vol. 6, no. 1, 2018.
- [13] N. Jawas and N. K. Sumiari, "Pelacakan Gerak Tangan dengan metode metode Pelacakan Objek Berbasis Korelasi," *SMARTICS Journal*, vol. 4, no. 2, pp. 39–43, 2018.
- [14] J. Zhang, J. Cao, and B. Mao, "Moving object detection based on non-parametric methods and frame difference for traceability video analysis," *Procedia Computer Science*, vol. 91, pp. 995–1000, 2016.
- [15] E. Brookner, *Tracking and Kalman Filtering Made Easy*. New York etc.: John Wiley & Sons, 2005.
- [16] G. L. Serra, *Kalman filters: Theory for Advanced Applications*. IntechOpen, 2018.