

Deteksi Lintasan Gerak Tangan Berbasis Pengolahan Citra Menggunakan Metode K-Means

Nurvia Isnawati¹, AR. Himamunanto², Heani Budiati³

^{1,2,3}Program Studi Informatika Fakultas Sains dan Komputer, Universitas Kristen Immanuel, Yogyakarta, Indonesia

E-mail: ¹nurvia.i2042@student.ukrimuniversity.ac.id, ²rudatyo@ukrim.ac.id, ³heni@ukrim.ac.id

Abstract

Technological developments have demanded continuous research so that it becomes more advanced in bringing benefits to computer science in particular. As is known, hand gestures are often used to convey meaning and can be used to interact with computers. Research by building software using Matlab R2020a which processes video input using a method approach based on image processing. The aim of the method approach in this research is to compute the coordinates of hand gesture objects to obtain hand movement trajectories. The research results of the K-Means method which was implemented to describe trajectory patterns can process the quality of segmented objects with exposure to dim light. The quality of segmentation that obtains the correct area of the hand gesture object influences the K-Means method in presenting trajectories in describing hand movement action patterns. The K-Means method can describe the trajectory of hand movements on the quality of segmented objects with dim light exposure. The longer the duration, the longer the processing will take, with the reality found that object detection processing based on image processing still takes longer than video viewing. With the hope that precise trajectories with hand movements can be understood as patterns in conveying meaning.

Keywords: Hand movement trajectories, subtraction methods, hand gestures, segmentation

Abstrak

Perkembangan teknologi yang telah menuntut riset yang berkelanjutan agar semakin maju dalam membawa manfaat pada khususnya ilmu komputer. Seperti yang telah diketahui, bahwa gerak tangan sering kali digunakan untuk menyampaikan maksud dapat dimanfaatkan untuk berinteraksi dengan computer. Penelitian dengan membangun perangkat lunak menggunakan Matlab R2020a yang memproses input video dengan pendekatan metode berbasis pengolahan citra. Tujuan pendekatan metode dalam penelitian ini digunakan sebagai komputasi koordinat obyek gestur tangan untuk memperoleh lintasan gerak tangan. Adapun hasil penelitian Metode K-Means yang diimplementasikan untuk menggambarkan pola lintasan dapat memproses pada kualitas objek hasil segmentasi dengan paparan cahaya yang redup. Kualitas segmentasi yang memperoleh wilayah yang tepat pada objek gestur tangan mempengaruhi metode K-Means dalam mempresentasikan lintasan dalam menggambarkan pola aksi gerakan tangan. Metode K-Means dapat menggambarkan lintasan gerakan tangan pada kualitas objek hasil segmentasi dengan paparan cahaya yang redup. Semakin panjang durasi maka akan semakin lama pemrosesan dengan kenyataan yang dijumpai pada pemrosesan pendeteksian objek yang berbasis pengolahan citra masih memerlukan waktu yang lebih lama dari penayangan video. Dengan harapan lintasan yang presisi dengan aksi gerak tangan dapat dipahami sebagai pola dalam menyampaikan maksud.

Kata Kunci: Lintasan gerak tangan, metode pengurangan, gerak tangan, segmentasi.

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi yang telah menuntut riset yang berkelanjutan pada khususnya ilmu komputer agar semakin maju dalam membawa manfaat dalam kemudahannya untuk menyelesaikan suatu pekerjaan. Seperti yang telah diketahui, bahwa gerak tangan sering kali digunakan untuk menyampaikan maksud dalam manusia berkomunikasi non verbal. Model komunikasi ini dapat dimanfaatkan untuk berinteraksi dengan komputer dengan memberikan perintah melalui gerak tangan [1]. Seiring perkembangan teknologi yang semakin memudahkan, penyampaian maksud dengan gerak tangan dapat digunakan untuk mengontrol suatu sistem [2]. Oleh karena itu, dorongan dalam penelitian ini adalah melakukan pengembangan studi pendeteksian lintasan gerak tangan dengan pendekatan dengan ilmu pengolahan citra.

Pengolahan citra merupakan pemrosesan input citra yang dilakukan secara digital dengan menggunakan computer [3]. Penggunaan algoritma seringkali digunakan dalam komputasi dalam pemrosesan pengolahan citra dengan tujuan untuk memperbaiki kualitas visual maupun menarik informasi penting yang terkandung di dalamnya [4][5]. Pengolahan citra dapat juga memproses input video dengan pendekatan pemrosesan yang mencacah video menjadi banyak frame (citra digital) dengan jumlah yang ditentukan oleh panjang file dan framerate [6]. Pemrosesan citra dengan input real time dapat dilakukan dengan pendekatan capture untuk memperoleh input visual citra [7]. Dengan demikian, pemrosesan citra tidak menutup kemungkinan untuk dapat dilakukan pada input video dengan pendekatan metode-metode yang dikembangkan untuk menangkap suatu informasi.

Setiap objek yang terdapat dalam sebuah visual citra memiliki informasi dengan karakteristik yang dapat digunakan untuk membedakan antara objek satu dengan yang lain. Pemrosesan citra yang dipergunakan untuk memisahkan wilayah objek satu dengan lainnya dapat dilakukan dengan segmentasi [8]. Pemrosesan segmentasi citra dapat dilakukan dengan objektif sesuai yang diperlukan untuk memperoleh informasi tertentu. Seperti segmentasi citra dengan objek gestur tangan, dapat diklasifikasikan dengan persepsi warna untuk memisahkan wilayah objek dan background yang dapat ditandai dengan warna putih dan hitam [9]. Pemrosesan untuk pendeteksian gerak tangan dapat mempergunakan segmentasi yang memisahkan wilayah obyek tangan yang bergerak maupun bukan [10]. Sebagai misal pemrosesan citra dengan input video, frame yang terdapat obyek gestur tangan yang telah berhasil diklasifikasikan menjadi sangat mungkin untuk melakukan pelacakan objek tangan yang bergerak (tracking objek) [11]. Pemrosesan tracking obyek tangan bergerak dengan memproses keseluruhan frame secara konsisten untuk memperoleh koordinat objek [12]. Seperti yang telah diketahui, gestur tangan mengandung informasi yang sering kali menyampaikan maksud dengan menggunakan isyarat melalui aksi dengan menggerakkan tangan [13]. Potensi gerak tangan yang mengandung banyak informasi dapat diekstraksi dengan memahami pola lintasan obyek gerak tangan yang berhasil di tracking. Sehingga, pengembangan metode dalam penelitian ini dengan mengimplementasikan metode K-Means yang digunakan sebagai pendekatan dalam mempresentasikan lintasan gerak tangan.

Berdasarkan uraian yang telah dijelaskan, usulan metode dalam penelitian berikut ini adalah dengan mengimplementasikan metode K-Means untuk mempresentasikan lintasan gerak dalam pendeteksian gerakan obyek tangan. Tujuan pendekatan metode dalam penelitian ini digunakan sebagai komputasi koordinat obyek gestur tangan untuk memperoleh lintasan gerak tangan. Dengan harapan lintasan yang presisi dengan aksi gerak tangan dapat dipahami sebagai pola untuk menyampaikan maksud. Manfaat penelitian ini sebagai studi awal dalam komputasi untuk memahami pola lintasan gerak tangan agar dapat berinteraksi dengan komputer untuk mengontrol sistem.

2. Metodologi Penelitian

Beberapa penelitian yang telah dilakukan memberikan arahan dalam pengembangan yang berkelanjutan agar ilmu komputer semakin berkembang. Adapun penelitian ini merupakan pengembangan dari penelitian terdahulu dengan pendekatan metode untuk pendeteksian lintasan gerak tangan berbasis pengolahan citra menggunakan metode *K-Means*. Penelitian metode segmentasi menggunakan substraksi citra untuk memisahkan objek latar depan dari objek latar belakang. Penelitian dengan pengamatan cara kerja pemrosesan input citra dinamis gerakan tangan dengan operasi segmentasi berdasarkan perbedaan informasi pada beda frame (*different frame*) dengan tujuan memperoleh informasi area tangan. Hasil penelitian diperoleh implementasi metode substraksi untuk input video analog (webcam) dan input video digital pada pengujian berbagai kualitas cahaya dan background yang cukup kompleks, menunjukkan keberhasilan dalam menemukan area tangan bergerak [11].

Penelitian dengan topic untuk pelacakan objek dengan pendekatan *thresholding local* menggunakan dengan input video. Pelacakan objek dengan metode segmentasi objek dan background menggunakan perbandingan metode yang terdiri dari *K-Means*, Otsu, dan FCM. Pengukuran dengan mempergunakan MSE dan PSNR yang memberikan bukti metode *K-Means* lebih baik dibandingkan dengan lainnya [13].

Penelitian berikutnya dengan topic pelacakan objek menggunakan Metode *K-Means* untuk segmentasi citra dengan input video. Pengujian dengan PSNR telah menunjukan metode dengan cukup baik dalam melakukan segmentasi dengan adaptif terhadap perubahan lingkungan dengan cepat. Metode *K-Means* mempunyai akurasi yang cukup baik untuk dapat digunakan dalam mengumpulkan data pelacakan objek Pendekatan dalam pelacakan jarak terdiri dari Canberra, Chebyshev, Manhattan, Minkowski, dan Euclidean dengan komputasi perbedaan frame satu dengan lainnya memperoleh akurasi yang lebih baik dengan metode Manhattan. Penggunaan parameter jarak dapat mempengaruhi hasil segmentasi dengan pendekatan kemiripan objek dan level error dalam proses evaluasi [14].

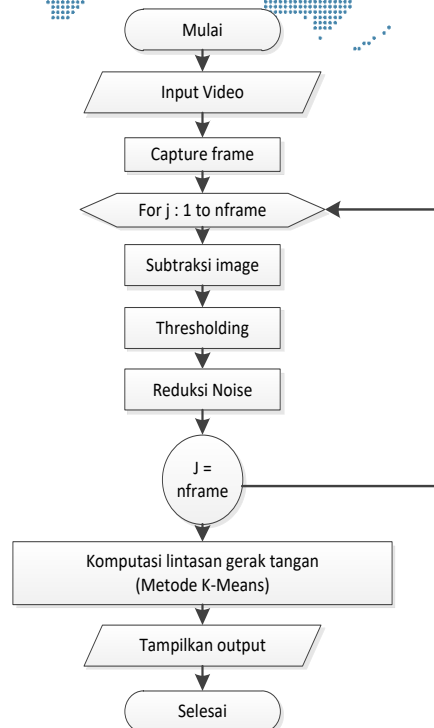
Penelitian berikutnya dengan topic motion tracking digunakan dalam beberapa implementasi secara luas untuk banyak tujuan. Metode *K-Mean* dipergunakan untuk memisahkan background dan objek yang sebagai pre processing motion tracking. Penelitian ini mengkombinasikan metode *K-Means*, Median Filtering dan Operasi Morphologi dengan bukti hasil yang efektif dalam mengelompokkan objek dengan ukuran ketidakmiripan. Penelitian ini masih memerlukan kombinasi metode pengolahan citra agar lebih efektif untuk pemrosesan diluar ruangan [15].

Penelitian yang telah dilakukan adalah mempergunakan Metode *K-Means* untuk pendeteksian kendaraan bergerak dalam aplikasi Intelligent Transport System (ITS). Metode *K-Means* berhasil diimplementasikan untuk mendeteksi objek bergerak dengan mempartisi dengan perbandingan metode perhitungan jarak yang terdiri dari Euclidean, Manhattan, Canberra, Chebyshev dan Braycurtis. Diperoleh hasil penelitian evaluasi jarak adalah Metode Manhattan dengan perhitungan jarak terbaik dibanding dengan metode lain. Sedangkan untuk proses kecepatan data yang memiliki keunggulan adalah jarak Bray Curtis [16].

Berdasarkan uraian penelitian terdahulu yang mengawali penggunaan metode *K-Means* yang telah diimplementasikan dalam ruang lingkup pemrosesan lainnya, maka penelitian ini memberi peluang untuk mengusulkan metode *K-Means* pada implementasi pendeteksian lintasan gerak tangan. Penelitian ini merupakan pengembangan metode yang telah dilakukan pada penelitian metode segmentasi gerak tangan menggunakan metode substraksi. Pengembangan metode ini berbasis pengolahan citra yang memproses rangkaian frame dari input video dalam pemahaman pola gestur tangan. Diharapkan hasil penelitian dimanfaatkan sebagai studi awal dalam komunikasi non verbal untuk mengontrol sistem.

2.1. Flowchart Pemrosesan

Pemrosesan perangkat lunak yang dipergunakan dalam penelitian ini dijelaskan dengan flowchart berikut.



Gambar 1. Flowchart Pemrosesan

Penelitian ini menggunakan alat penelitian berupa perangkat lunak dengan pemrosesan yang diawali dengan menginputkan file video. Pemrosesan dimulai dengan ekstraksi file video menjadi frame-frame dengan jumlah sesuai berdasarkan frame rate dan panjang files. Pemrosesan selanjutnya dengan segmentasi objek gerak tangan menggunakan metode substraksi dengan memilih frame pertama yang dikomputasikan dengan frame-frame selanjutnya untuk pelacak obyek bergerak. Hasil komputasi metode substraksi menghasilkan matrik intensitas piksel yang memerlukan pemrosesan segmentasi memisahkan objek dan background. Pemrosesan segmentasi ini menggunakan metode thresholding dengan kelompok piksel obyek adalah wilayah tangan yang bergerak, sedangkan background adalah wilayah yang tidak bergerak. Penggunaan metode reduksi noise digunakan untuk eliminasi wilayah objek berdasarkan ukuran piksel yang relatif kecil. Upaya penggunaan reduksi noise untuk memperoleh wilayah obyek tangan yang efektif yang berguna untuk pemrosesan selanjutnya dalam mencari koordinat titik pusat obyek tangan yang berhasil diklasifikasikan dari setiap frame. Komputasi metode K-Means untuk membuat lintasan gerak tangan berdasarkan koordinat titik pusat obyek tangan yang berhasil ditracking. Koordinat-koordinat dari komputasi objek setiap frame selanjutnya dipresentasikan menggunakan graph untuk menggambarkan lintasan gerak tangan sebagai keluaran dalam memahami pola. Berikut flowchart yang menggambarkan pemrosesan perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini.

2.2. Metode Substraksi

Metode substraksi digunakan untuk mengukur perbedaan yang terdapat pada dua citra. Perbedaan tersebut merupakan identifikasi objek yang bergerak melalui komputasi selisih intensitas piksel dalam koordinat piksel yang sama [7]. Pendeteksian gerak dengan

operasi substraksi dalam penelitian ini menggunakan frame $h(x,y)$ yang diambil dari pertama kali untuk dipergunakan sebagai background. Sedangkan frame $f(x,y)$ merupakan frame selanjutnya yang dipergunakan sebagai frame substraksi [12]. Citra yang diproses dalam komputasi substraksi adalah hasil pemrosesan grayscale citra dari frame yang telah di capture dari input video [13]. Dalam implementasinya, metode substraksi memproses frame background terhadap frame selanjutnya secara keseluruhan satu persatu dengan operasi substraksi menggunakan persamaan berikut [17].

$$g(x,y) = f(x,y) - h(x,y) \quad (1)$$

Dimana fungsi $g(x,y)$ merupakan citra hasil substraksi dari pengurangan frame background yaitu $f(x,y)$ dan frame substraksi yaitu $h(x,y)$.

2.3. Metode K-Means

Metode K-means dalam pemrosesannya dengan pengelompokan data ada ke dalam beberapa kelompok. Setiap kelompok data memiliki karakteristik yang sama satu sama lainnya, akan tetapi memiliki perbedaan karakteristik data yang terdapat pada kelompok yang lain [13]. Metode K-Means dalam mendeteksi lintasan gerak tangan dimana setiap koordinat merupakan sebuah cluster tunggal [3]. Pemrosesan untuk menghasilkan lintasan baru dengan mengelompokkan cluster tunggal menjadi cluster yang baru (*centroid*) yang bergabung akan berlangsung terus menggunakan persamaan mean (rata-rata) dengan jumlah cluster sesuai dengan input skala [18].

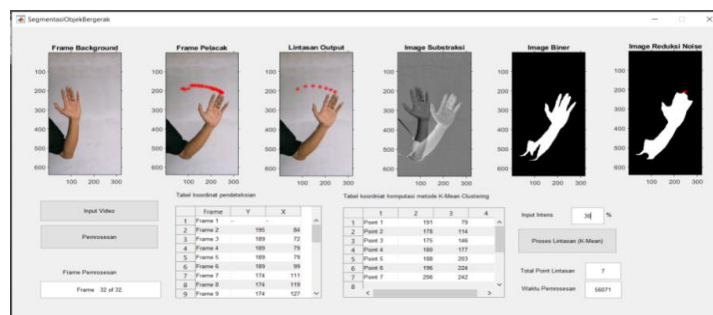
$$M_x = \frac{\sum fX}{N} \quad (3)$$

Dimana fX adalah jumlah dari hasil midpoint dari penjumlahan antara masing-masing koordinat. N adalah jumlah kelas, dan M_x adalah nilai rata-rata atau jumlah tengah dari koordinat yang dikomputasikan.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Perancangan

Hasil perancangan perangkat lunak pemrosesan pendeteksian dan segmentasi gerakan tangan yang mengimplementasikan Metode K-Means untuk mempresentasikan lintasan gerak tangan adalah berikut.

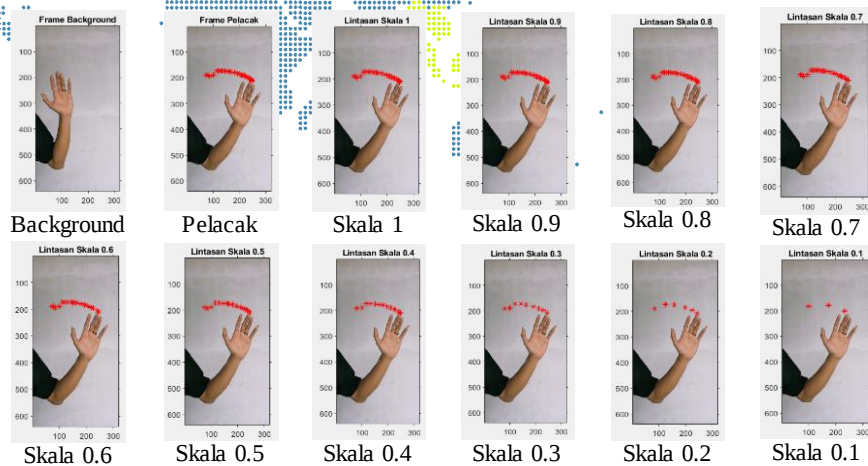


Gambar 2. Tampilan program aplikasi

3.2. Pengujian Sistem

3.2.1. Evaluasi Lintasan Gerakan Tangan

Pengujian berikut dengan input video dengan panjang file 1 detik, frame rate 30 fps, resolusi 640 x 320 piksel. Berikut adalah hasil komputasi lintasan menggunakan Metode K-Means dengan input pemrosesan menggunakan skala lintasan antara 0.1 sampai dengan 1.



Gambar 3. Pengujian input skala

Lintasan gerak tangan hasil komputasi dengan metode K-Means yang telah dipresentasikan pada frame lintasan seperti tabel berikut.

Tabel 1. Tabel Lintasan Dengan Input Skala 0.1 sd 1

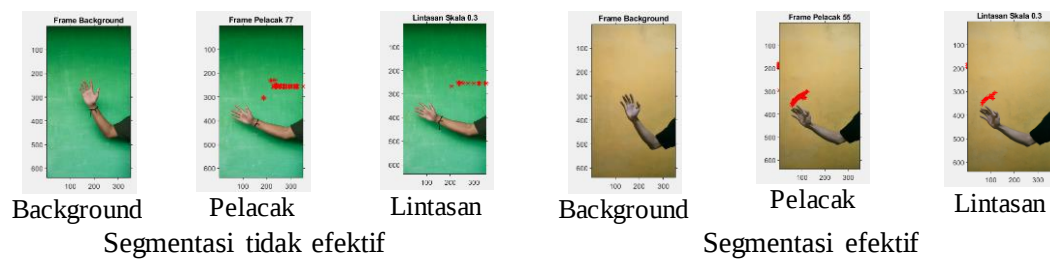
Koordinat	Skala Lintasan																			
	1		0.9		0.8		0.7		0.6		0.5		0.4		0.3		0.2		0.1	
	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y
Point 1	176	158	202	236	212	246	189	72	180	180	206	242	210	246	191	79	208	243	179	172
Point 2	189	72	189	72	189	79	202	236	211	246	189	77	174	115	198	228	190	83	183	100
Point 3	195	222	177	166	180	180	175	150	195	84	190	209	204	238	209	245	196	223	201	232
Point 4	212	246	173	133	193	217	184	193	174	111	177	166	175	150	174	142	176	156		
Point 5	184	193	212	246	174	111	174	111	196	225	174	130	191	79	174	119	174	123		
Point 6	174	111	184	193	189	99	174	127	190	209	175	146	185	195	184	192	186	197		
Point 7	197	227	176	158	174	127	190	209	174	142	185	195	177	166	191	211				
Point 8	180	180	189	99	176	158	174	119	174	130	202	236	190	209	177	163				
Point 9	177	166	197	227	186	200	189	99	189	99	174	115	196	223	189	99				
Point 10	174	142	186	200	202	236	211	246	175	150	211	246	174	130						
Point 11	189	207	174	119	175	150	186	200	205	240	194	220	180	180						
Point 12	195	84	195	222	184	193	195	222	184	193	189	99	189	99						
Point 13	202	236	193	217	174	142	177	166	189	72	197	227								
Point 14	174	127	195	84	177	166	206	242	177	166	195	84								
Point 15	189	99	174	127	197	227	180	180	174	119	176	158								
Point 16	175	150	180	180	195	84	189	79	189	79	180	180								
Point 17	189	79	189	79	174	119	173	133	193	217										
Point 18	174	119	174	142	189	72	193	217	186	200										
Point 19	193	217	174	111	190	210	174	142	176	158										
Point 20	205	240	190	210	209	246	195	84												
Point 21	207	243	205	240	173	133	197	227												
Point 22	173	133	175	150	207	243	176	158												
Point 23	211	247	189	207	195	222														
Point 24	186	200	207	243	205	240														
Point 25	209	246	209	246	189	207														
Point 26	190	210	211	247																
Point 27	212	246	177	166																
Point 28	184	193	212	246																
Point 29	197	227																		
Point 30	177	166																		
Point 31	189	79																		
Jumlah	31		28		25		22		19		16		12		9		6		3	

Berdasarkan pengujian sistem dengan skala 0.1 sd 1, diperoleh dibentuk dari koordinat hasil komputasi menggunakan metode K-Means yang dipresentasikan pada frame output. Visual tersebut membuktikan bahwa lintasan gerak tangan yang dibentuk dengan

menggunakan komputasi metode K-Means dapat membentuk keragaman pola lintasan sesuai dengan skala yang dipergunakan.

3.2.2. Pengaruh Pre-Processing pada Efektivitas Pelacakan Gerakan Tangan

Pengujian system berikut ini untuk menganalisa efektifitas pelacakan gerakan tangan dalam membentuk lintasan. Pemrosesan dengan mempergunakan input video gerakan tangan dengan kualitas segmentasi yang tidak dapat memisahkan wilayah objek secara efektif pada gestur tangan. Kejelasan dalam pengamatan visual dikomparasikan dengan kualitas segmentasi yang memisahkan secara efektif pada wilayah gesture tangan sebagai komparasi.

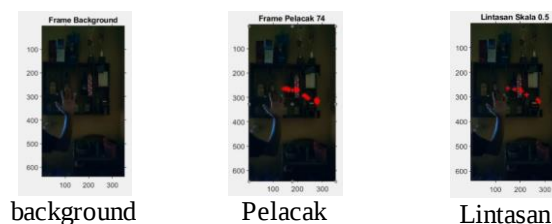


Gambar 4. Visual lintasan dengan segmentasi yang tidak efektif

Berdasarkan hasil kualitas lintasan yang sesuai aksi gerakan tangan pada visual output, terdapat perbedaan pada objek yang berhasil dengan tepat dipisahkan dalam wilayah objek secara efektif. Dengan demikian, kualitas segmentasi yang memperoleh wilayah yang tepat pada objek gesture tangan mempengaruhi pelacakan gerakan tangan dalam mengimplementasikan metode K-Means untuk menggambarkan pola lintasan. Kualitas segmentasi dipengaruhi oleh bayangan yang menyebabkan proses substraksi tidak memperoleh wilayah yang efektif.

3.2.3. Pengaruh Pencahayaan

Pengujian berikut ini mempergunakan input video dengan paparan cahaya yang redup sehingga tidak dapat menerangi aksi gestur tangan.



Gambar 5. Visual lintasan dengan paparan cahaya yang redup

Berdasarkan pemrosesan pada kualitas paparan cahaya yang redup, diperoleh hasil lintasan yang mampu menggambarkan aksi gerakan tangan. Dengan demikian, metode K-Means yang diimplementasikan untuk menggambarkan pola lintasan dapat memproses pada kualitas objek hasil segmentasi dengan paparan cahaya yang redup.

3.2.4. Analisis Kebutuhan Waktu Pemrosesan

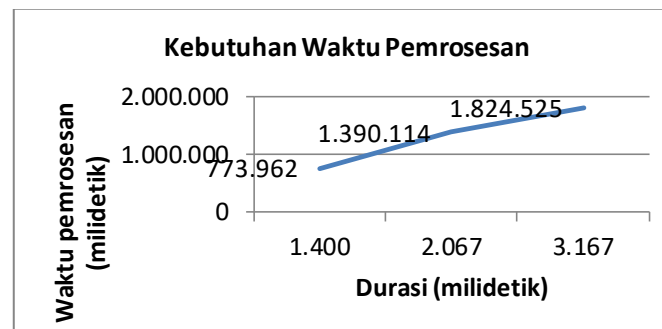
Pengujian berikut untuk menganalisa kebutuhan waktu pemrosesan dengan input video gerakan tangan dengan kualitas durasi file video berbeda. Pengujian dengan mengumpulkan data waktu pemrosesan yang diasumsikan 1 detik adalah 1.000 milidetik. Spesifikasi hardware yang digunakan dalam penelitian ini adalah prosesor i5, ram 8gb,

vga 1gb, motherboard toshiba, dan hardisk ssd 225 gb. Adapun hasil pengujian yang mengumpulkan data waktu yang dibutuhkan selama pemrosesan adalah berikut.

Tabel 2. kebutuhan waktu pemrosesan

Input video	Resolusi	Frame	Durasi (milidetik)	Waktu Pemrosesan (milidetik)					
				1	2	3	4	5	Rata-rata
Input 1	640x320	42	1.400	152.855	153.573	158.367	156.891	152.276	773.962
Input 2	640x320	62	2.067	277.058	279.182	278.453	275.894	279.527	1.390.114
Input 3	640x320	95	3.167	364.905	364.905	364.905	364.905	364.905	1.824.525

Dalam pengamatan visual berdasarkan ukuran file mempermudah analisa kebutuhan waktu pemrosesan, tabel hasil pengujian dipresentasikan dengan grafik berikut.



Gambar 6. Grafik kebutuhan waktu pemrosesan

Berdasarkan presentasi grafik hasil pengujian sistem untuk menganalisa kebutuhan waktu pemrosesan, semakin panjang durasi maka akan semakin lama pemrosesan. Adapun kenyataan yang dijumpai dalam menganalisa kebutuhan waktu pemrosesan, sebuah input video yang diasumsikan dengan durasi 1 detik, terdiri dari 30 frame capture untuk terlibat pemrosesan, membutuhkan lebih banyak waktu dari pada waktu penayangan video. Hal ini membuktikan bahwa pemrosesan pendeteksian objek yang berbasis pengolahan citra masih memerlukan waktu yang lebih lama dari penayangan video. Sehingga potensi untuk dilakukan pemrosesan dengan input real time, akan mengalami kendala dalam kebutuhan waktu pemrosesan.

4. Kesimpulan

Metode K-Means yang diimplementasikan untuk menggambarkan pola lintasan dapat memproses pada kualitas objek hasil segmentasi dengan paparan cahaya yang redup. Kualitas segmentasi yang memperoleh wilayah yang tepat pada objek gestur tangan mempengaruhi metode K-Means dalam mempresentasikan lintasan dalam menggambarkan pola aksi gerakan tangan. Metode K-Means dapat menggambarkan lintasan gerakan tangan pada kualitas objek hasil segmentasi dengan paparan cahaya yang redup. Semakin panjang durasi maka akan semakin lama pemrosesan dengan kenyataan yang dijumpai pada pemrosesan pendeteksian objek yang berbasis pengolahan citra masih memerlukan waktu yang lebih lama dari penayangan video.

Daftar pustaka

- [1] E. Purwanto And E. P. Yudha, "Computer Vision Untuk Deteksi Otomatis Gerakan Tangan Dan Penghitungan Jari," *Semin. Nas. Amikom Surakarta 2023*, No. November, Pp. 210–218, 2023.
- [2] A. Rudatyo, H. Budiati, And Hendrikus, "Perbandingan Metode Segmentasi Pada Input Citra Statis Gestur Tangan," *Infact Ukrim*, Vol. X, No. X, Pp. 1–17, 2021.

- [3] J. Jumadi, Y. Yudianti, And D. Sartika, "Pengolahan Citra Digital Untuk Identifikasi Objek Menggunakan Metode Hierarchical Agglomerative Clustering," *Jst (Jurnal Sains Dan Teknol.*, Vol. 10, No. 2, Pp. 148–156, 2021.
- [4] S. P. M. K. Kartika Candra Kirana, *Pengolahan Citra Digital: Teori Dan Penerapan Pengolahan Citra Digital Pada Deteksi Wajah*. Ahli Media Book, 2021.
- [5] V. Siahaan And R. H. Sianipar, *Seven Books In One: Sinyal Digital, Citra Digital, Machine Learning, Deep Learning, Dan Data Science Dengan Python Gui*. Balige Publishing, 2021.
- [6] S. S. M. M. T. Imam Yuadi, *Forensik Digital Dan Analisis Citra*. Cv. Ae Media Grafika, 2023.
- [7] I. Mahdi, K. Muchtar, F. Arnia, And T. Ernita, "Substraksi Latar Menggunakan Nilai Mean Untuk Klasifikasi Kendaraan Bergerak Berbasis Deep Learning," *J. Rekayasa Elektr.*, Vol. 18, No. 2, Pp. 125–134, 2022.
- [8] I. W. A. Heryanto, Artama, M. W. S. Kurniawan, And G. A. Gunadi, "Segmentasi Warna Dengan Metode Thresholding," *Wahana Mat. Dan Sains*, Vol. 14, No. 1, Pp. 54–64, 2020.
- [9] E. N. Krismahara, A. Rudatyo, And H. Budiati, "Segmentasi Berdasarkan Tingkat Pencahayaann Menggunakan Algoritma K-Means Pada Citra Isyarat Tangan," *J. Sains Dan Komputer.*, No. X, 2019.
- [10] T. Trimana, A. Rudatyo, And H. Budiati, "Pendeteksian Area Tangan Pada Citra Input Digital Berbasis Metode Konversi Ruang Warna," *Infact Ukrim*, Vol. X, No. X, Pp. 1–18, 2020.
- [11] H. Budiati And A. R. Himamunanto, "Metode Substraksi Citra Sebagai Upaya Deteksi Gerakan Tangan," *Pros. Saintek Sains Dan Teknologi.*, Vol. 1, No. 1, Pp. 6–13, 2022.
- [12] H. Vazirani, A. Kautsar, K. Adi, And J. Fisika, "Implementasi Object Tracking Untuk Mendeteksi Dan Menghitung Jumlah Kendaraan Secara Otomatis Menggunakan Metode Kalman Filter Dan Gaussian Mixture Model," *Youngster Phys. J.*, Vol. 5, No. 1, Pp. 13–20, 2016.
- [13] R. Harun, "Pelacakan Objek Bergerak Berdasarkan Pendekatan Adaptive Threshold Untuk Alpha Matting Menggunakan," *Jambura J. Electr. Electron. Eng.*, Vol. 2, No. 1, Pp. 1–7, 2020.
- [14] D. A. Prabowo And D. Abdullah, "Deteksi Dan Perhitungan Objek Berdasarkan Warna Menggunakan Color Object Tracking," *Pseudocode*, Vol. 5, No. 2, Pp. 85–91, 2018.
- [15] D. Rosdiana, "Tracking Objek Bergerak Dengan Algoritma K-Means," *Tedc*, Vol. 11, No. 1, Pp. 31–36, 2017.
- [16] Y. Sari, A. R. Baskara, And P. B. Prakoso, "Penerapan Metode K-Means Berbasis Jarak Untuk Deteksi Application Of Distance-Based K-Means Method For Moving," *J. Teknol. Inf. Dan Ilmu Komputer.*, Vol. 9, No. 6, Pp. 683–690, 2022.
- [17] W. F. Giawa, W. P. P. Simamora, D. Pratiwi, R. Rahil, E. Indra, And J. Banjarnahor, "Analisis Sistem Menggunakan Metode Substraksi Untuk Model Lalu Lintas Kendaraan Secara Realtime," *Jusikom Prima (Jurnal Sistem. Info. Dan Ilmu Komputer. Prima) Vol.*, Vol. 5, No. 1, Pp. 1–6, 2021.
- [18] Y. M. S. Mendrofa, "Segmentasi Citra Gesture Tangan Berbasis Ruang Warna Hsv," *Infact Ukrim*, Vol. 6, No. 2, Pp. 35–52, 2021.