

Perancangan Sistem Deteksi Peta Panas (*Heatmap*) Keramaian Pengunjung di Area Publik Selama Pandemi COVID-19 Berbasis YOLOV4-Tiny

Al Barra Harahap¹, Nike Dwi G. Drantantiyas², Rabita Akbari Sitompul, S.T., M.Ars.L³,
Ismoyo Aji Sasmita⁴

^{1,2,3,4}Program Studi Teknik Fisika, Institut Teknologi Sumatera
Jl. Terusan Ryacudu, Desa Way Hui, Kecamatan Jatiagung, Lampung Selatan

Received: 14 April 2025
Accepted: 23 Juni 2025

Keywords:
COVID-19;
Crowd;
Heatmap;
Object Detection;
YOLOv4-Tiny

Correspondent Email:
albarra.harahap@tf.itera.ac.id

Abstrak. Pandemi COVID-19 mengakibatkan masyarakat melakukan aktivitas dengan cara baru yaitu dengan penerapan protokol kesehatan. Pengawasan yang ketat sangat penting dilakukan pada kawasan wisata di area publik untuk menjaga jarak aman dan menghindari kerumunan untuk menekan angka penyebaran virus. Salah satu metode pemantauan aktivitas di ruang terbuka yang dapat digunakan adalah dengan penerapan deep learning. Pada penelitian ini dilakukan perancangan sistem deteksi objek untuk pemetaan kerumunan, kemudian dilakukan penilaian akurasi metode algoritma deteksi objek, dan dilakukan pengujian kemampuan metode algoritma deteksi objek dalam melakukan pemetaan kerumunan. Peta Panas kerumunan dibentuk dengan pendekatan prediktif menggunakan algoritma deteksi objek satu tahap You Only Look Once (YOLO) v4-Tiny berdasarkan pengurangan latar belakang (background subtraction). Pada penelitian ini berhasil dirancang algoritma deteksi objek di area keramaian dengan akurasi 95% dan model akurasi rata-rata 59,45%. Hasil visual pemetaan heatmap kerumunan pengunjung dibentuk dengan warna hitam dan kuning berdasarkan kepadatan arus pengunjung yang melalui suatu lokasi. Warna kuning pada peta di suatu lokasi menandakan pada jalur tersebut terdapat tingkat lalu-lintas manusia yang padat.

Abstract. The COVID-19 pandemic has made people do activities in a new way by following health protocols. It is very important to supervise tourist areas in public spaces strictly to keep a safe distance and avoid crowds. This can help reduce the virus transmission rate. One method to monitor activities in open spaces is by applying deep learning. This study designed an object detection system for crowd mapping. Then, it assessed the accuracy of the object detection algorithm method and tested its ability to perform crowd mapping. The crowd heatmap was formed by a predictive approach using a one-step object detection algorithm, You Only Look Once (YOLO) v4-Tiny. It was based on background subtraction. This study successfully designed an object detection algorithm in crowded areas with 95% accuracy and 59.45% average model accuracy. The visual results of the visitor heatmap mapping were in black and yellow. They were based on the density of the visitor flow passing through a location. The yellow color on the map at a location indicated that the path had a high level of human traffic

1. PENDAHULUAN

Penyebaran COVID-19 meluas sejak awal Maret 2020 berdampak di hampir seluruh sektor dan perekonomian di Indonesia. Kebijakan *physical distancing* di area publik menyebabkan setiap orang untuk menjaga *physical distancing* dengan orang lain dan mengurangi kapasitas jumlah pengunjung di area berbagai area publik. Badan Pusat Statistik Indonesia mencatat adanya penurunan wisatawan 69,17% dalam kurun waktu satu tahun selama pandemi COVID-19 [1]. Penurunan ini sangat berdampak bagi sektor wisata seperti pedagang, penyedia jasa sarana bermain, dan pelaku ekonomi terkait lainnya [2].

Seiring dengan waktu, masyarakat mulai menyesuaikan diri terhadap kondisi pandemi COVID-19 di Indonesia. Satgas Penanggulangan COVID-19 melaporkan penurunan tren jumlah kasus harian COVID-19 pada pertengahan Juli 2021 [3]. Pemerintah Indonesia merespons hal tersebut dengan memberlakukan kebijakan pelanggaran *physical distancing* di beberapa wilayah dengan ketentuan protokol kesehatan yang berlaku. Kebijakan ini merupakan kabar yang baik bagi pelaku ekonomi terutama di sektor wisata untuk kembali beroperasi di era *New Normal* [4].

Namun, rendahnya kesadaran dan pengawasan terhadap perilaku masyarakat yang mengabaikan protokol kesehatan menimbulkan potensi resiko peningkatan penyebaran COVID-19 di area publik. Penyebaran ini dapat terjadi melalui perpindahan *droplet* antar orang yang berdekatan, apalagi jika terjadi aktivitas kontak fisik. Berbagai upaya pencegahan dan pengawasan berupa tindakan maupun regulasi dilakukan untuk meningkatkan kesadaran protokol kesehatan masyarakat di area publik, terutama pada lokasi dengan keramaian pengunjung yang tinggi. Berdasarkan hal tersebut, upaya pencegahan dan pengawasan menjadi lebih efisien dengan berfokus pada titik-titik lokasi yang ramai oleh pengunjung. Di beberapa lokasi keramaian, pemasangan kamera pemantau menjadi salah satu solusi yang efisien dalam upaya pemantauan aktivitas manusia di area publik [5] [6] [7].

Saat ini, upaya pengawasan protokol kesehatan dengan teknologi berbasis kecerdasan buatan melalui kamera pemantau telah populer serta berperan penting dalam

menganalisis dan pengendalian perilaku manusia. Berbagai penelitian dengan pendekatan berbasis *deep learning* dan *computer vision* dilakukan untuk menghasilkan algoritma yang mampu mendeteksi objek secara optimal dan *real-time*. Pada penelitian [8] telah berhasil mendeteksi serta menghitung jumlah pelanggaran *physical distancing* di area terbuka melalui sudut pandang kamera pemantau yang luas dan mendapatkan *Mean Average Precision* (MAP) 75,47% dengan algoritma YOLO V4-Tiny . Melalui metode yang serupa, penelitian [9] mengadaptasi sudut pandang *bird's eye view* dalam rekayasa visual kamera termal untuk memperoleh hasil klasifikasi pengukuran jarak *physical distancing* yang lebih akurat, akurasi yang diperoleh melalui adaptasi ini meningkat sebesar 96-97%. Selain itu, pada penelitian [10] dengan mengombinasikan algoritma pendeteksi objek dan metode *background subtraction* dapat diperoleh visual persebaran warna dari keramaian pengunjung di suatu area.

Pada penelitian ini dirancang algoritma *human recognition* untuk menyusun pemetaan keramaian. Performa sistem dibuktikan dengan nilai akurasi algoritma pendeteksi objek dan visualisasi pemetaan keramaian yang dibentuk. Pada penelitian ini, kemampuan dalam mengenali dan mendeteksi keberadaan manusia menjadi unsur utama dalam menganalisis pergerakan manusia. Visualisasi *heatmap* memudahkan pemahaman persebaran data yang tidak normal melalui perbedaan warna. Hal tersebut membantu dalam menemukan titik keramaian pada lokasi pemantauan sehingga dapat dilakukan analisis dan pengambilan keputusan mengenai pencegahan, pengaturan atau dan pengawasan di area tersebut. Oleh sebab itu, algoritma pendeteksi objek YOLO V4-Tiny dengan metode *background subtraction* dilakukan untuk dapat memproduksi *heatmap* keramaian pengunjung di area publik.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Algoritma Yolov4-Tiny

Algoritma yang dirancang berbasis algoritma deteksi objek dua tahapan Yolov4-Tiny [11] sehingga berpotensi untuk melakukan deteksi dengan kecepatan lebih baik dibandingkan dengan algoritma satu tahapan [12]. Algoritma ini dilatih dengan arsitektur

Darknet melalui Google Colab. Yolov4-Tiny dirancang untuk mendeteksi objek keramaian berupa manusia, sehingga diperlukan *dataset* gambar manusia dalam proses perancangan. *Dataset CrowdHuman* berisikan sekumpulan gambar yang telah disediakan dengan jumlah set pembagian: 15000 gambar latih, 4370 gambar validasi, dan 5000 gambar pengujian. Gambar yang disediakan pada laman ini merupakan visual area keramaian manusia. Pada setiap gambar terdiri dari 2 jenis kelas objek deteksi yaitu: *head* (objek kepala) dan *person* (seluruh tubuh dan sebagian tubuh yang terlihat). *Dataset* ini kemudian dilatih menggunakan 29 *convolutional network* dengan resolusi 416x416p untuk membentuk Yolov4-Tiny [13].

2.2. Algoritma Heatmap Keramaian

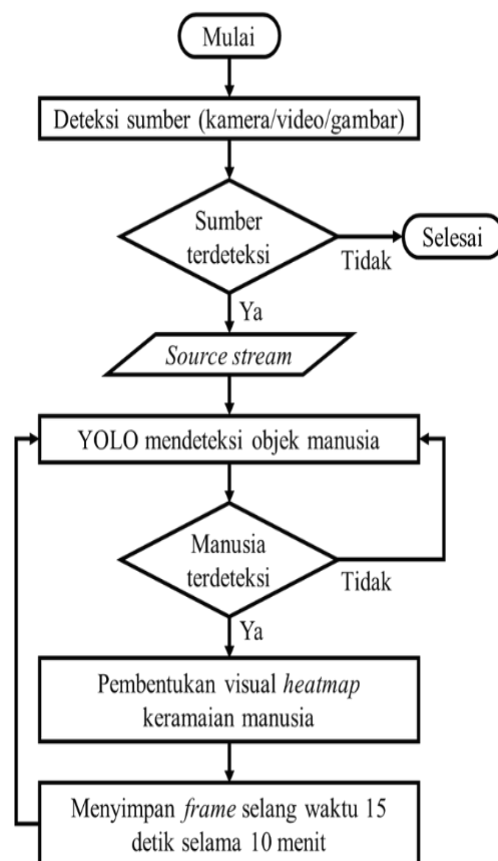
Algoritma heatmap keramaian merupakan modifikasi luaran visual deteksi objek yang ditambahkan visual warna *heatmap*. Algoritma deteksi objek Yolov4-Tiny akan mendeteksi objek manusia dari kamera. Objek yang terdeteksi akan ditandai dengan kotak pembatas (*bounding box*). *Bounding box* yang dihasilkan akan diproses menjadi visual *heatmap*. Visual warna *heatmap* diperoleh melalui metode *background subtraction* pada *bounding box* yang diakumulasi. Selanjutnya, visual warna *heatmap* akan ditambahkan ke visual dari sumber yang terdeteksi. Setiap visual *heatmap* yang terbentuk akan disimpan dan diakumulasi ke bentuk gambar setiap jeda waktu 15 detik. Secara otomatis, kumpulan gambar yang telah tersimpan selama rentang waktu 10 menit akan diakumulasi menjadi bentuk gambar GIF (*Graphics Interchange Format*). Jeda dan rentang waktu tersebut digunakan untuk mengurangi penggunaan memori penyimpanan dan memberikan jeda waktu pemrosesan gambar.

2.3. Perancangan Sistem Pendukung Heatmap

Sistem pendukung heatmap merupakan peralatan pendukung pengambilan data area keramaian. Sistem ini terdiri dari tripod dan sistem catu daya. Tripod digunakan untuk memasang kamera pada ketinggian tertentu. Pada ketinggian tersebut, kamera dapat mengambil data visual area keramaian dengan

area yang lebih luas. Sistem catu daya dirancang untuk menyuplai daya listrik ke Jetson Nano (perangkat *deploy algortima heatmap*). Sistem catu daya terdiri dari dua komponen sumber listrik yaitu adaptor AC to DC dan baterai. Dua sumber listrik tersebut akan bergantian menyuplai Jetson Nano melalui komponen *stepdown* secara bergantian saat salah satu sumber terputus.

Mekanisme ini dibantu dengan komponen ATS (*Automatic Transfer Switching*) untuk mendukung pengambilan data secara berulang dalam waktu pengoperasian yang lama. Sistem deteksi ini menggunakan Nvidia Jetson Nano sebagai perangkat komputasi tepi dengan kapasitas RAM 4GB dan kemampuan komputasi hingga 472 GFLOPs [14].

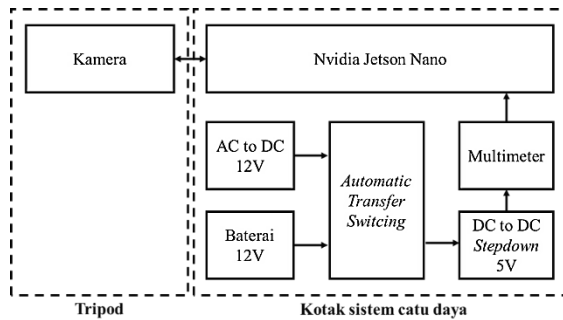


Gambar 1. Diagram Alir Algoritma Heatmap Keramaian

2.4. Analisa Data

Tahap ini digunakan untuk menguji visual warna pemetaan dan tingkat akurasi algoritma *heatmap* secara aktual. Visual pemetaan diuji dengan membandingkan warna

pemetaan sebelum dan sesudah rentang waktu 10 menit. Perbedaan warna *heatmap* dari skala warna hitam ke putih yang ditampilkan mengindikasikan peningkatan densitas objek secara aktual [15]. Adapun skala warna *heatmap* ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 2. Blok Sistem Pendukung



Gambar 3. Skala Warna *Heatmap*

Pengujian tingkat akurasi digunakan untuk menilai kinerja algoritma Yolov4-Tiny dalam mendeteksi objek manusia secara aktual. Pengujian ini dilakukan dengan membandingkan hasil *bouding box* objek yang dihasilkan algoritma Yolov4-Tiny pada nilai *confidence threshold* yang berbeda dan *bouding box* yang dihitung secara manual. Perbandingan *bouding box* tersebut selanjutnya diproses dengan metode analisis *confusion matrix* dan diperoleh parameter nilai *classification report*. *Classification report* berisikan nilai kinerja algoritma deteksi objek yang terdiri dari *accuracy*, *preccision*, *recall*, dan *F1-Score*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Perancangan Sistem *Heatmap*

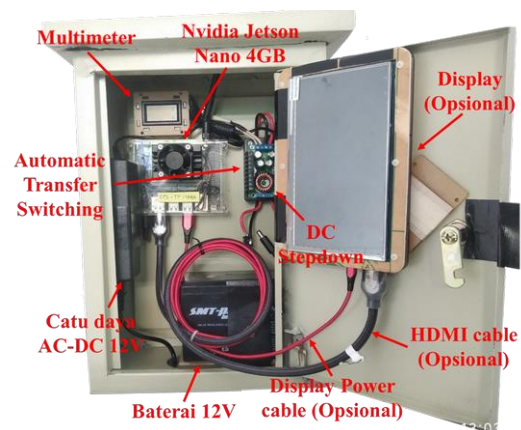
Tripod seperti pada gambar 4 dirancang dengan posisi ketinggian kamera 5,5 meter di atas permukaan tanah. *Tripod* kemudian diletakkan pada lokasi yang tidak dilalui pengunjug kemudian diarahkan pada persimpangan jalan atau titik target pengamatan keramaian. Penyesuaian sudut kamera diatur sesuai dengan kondisi lokasi sehingga gambar yang didapat cukup luas.

Pada perancangan sistem catu daya, semua komponen rangkaian dikemas dalam kotak panel yang bertujuan untuk melindungi

komponen dan mempermudah selama proses pengambilan data. Adapun tampilan rangkaian komponen sistem catu daya ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 4. Pengaturan *Tripod*



Gambar 5. Sistem Catu Daya

Sistem catu daya bekerja dengan mensuplai daya listrik 5 Volt ke Jetson Nano melalui adaptor AC to DC dan baterai melalui komponen DC Stepdown. Dua sumber listrik tersebut bekerja secara bergantian melalui komponen *Automatic Transfer Switching* saat salah satu sumber listrik terputus.

Mekanisme ini terbagi menjadi dua kondisi, kondisi 1 merupakan saat Jetson Nano tetap menyala ketika aliran listrik adaptor AC to DC terhubung dan aliran listrik baterai terputus. Sedangkan, kondisi 2 merupakan saat Jetson Nano tetap menyala ketika aliran listrik adaptor AC to DC terputus dan aliran listrik baterai terhubung. Hal ini diperlukan untuk mempermudah proses pengambilan data

berulang dalam jangka waktu yang lama ketika salah satu suplai daya listrik tidak terpenuhi.

3.2. Hasil Perancangan Algoritma Heatmap

Algoritma Yolov4-Tiny dibentuk melalui proses pelatihan *dataset CrowdHuman*. Algoritma ini dilatih untuk mendeteksi objek manusia dengan *bounding box* melalui kelas *head* dan *person*. Berdasarkan hasil pelatihan, algoritma Yolov4-Tiny yang dibangun dapat mendeteksi objek manusia dengan nilai *Mean Average Precision* (MAP) 59,45%, *precision* 77%, *Recall* 55%, dan *F1-Score* 64%. Selanjutnya, kinerja deteksi objek algoritma Yolov4-Tiny diuji dengan visual area keramaian manusia. Yolov4-Tiny diuji untuk mendeteksi dan membedakan di antara kelas *person* dan *head* yang ditandai dengan *bounding box*. *Bounding box* yang ditampilkan akan dikalkulasi dengan metode analisis *confusion matrix* untuk diperoleh kriteria sebagai berikut:

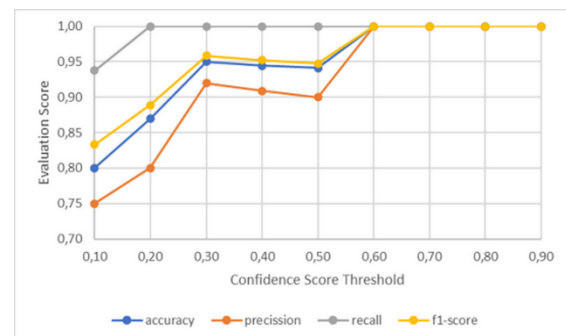
- *True Positive* (TP) adalah jumlah prediksi *bounding box* yang benar pada objek kelas *person*,
- *True Negative* (TN) adalah prediksi *bounding box* yang benar pada objek kelas *head*,
- *False Positive* (FP) adalah jumlah prediksi *bounding box* yang salah pada objek kelas *head*, dan
- *False Negative* (FN) adalah jumlah prediksi *bounding box* yang salah pada objek kelas *person* [16].

Berdasarkan kriteria tersebut, visual pendeteksian objek Yolov4-Tiny dibandingkan dengan visual objek aktual secara manual untuk memvalidasi kinerja Yolov4-Tiny. Pengujian dilanjutkan dengan memvariasikan nilai *confidence threshold* dari algoritma Yolov4-Tiny untuk memperoleh perbandingan nilai *confusion matrix*. Adapun nilai *confusion matrix* dari variasi nilai *confidence threshold* 0,1-0,9 ditunjukkan pada tabel .

Tabel 1. *Confusion Matrix* dengan Variasi *Confidence Threshold*

<i>Confidence Score Threshold</i>	<i>Nilai Confusion Matrix</i>			
	TP	TN	FP	FN
0,1	30	18	2	10
0,2	24	16	0	6
0,3	23	15	0	2
0,4	20	14	0	2
0,5	18	14	0	2
0,6	13	14	0	0
0,7	10	12	0	0
0,8	7	10	0	0
0,9	5	6	0	0

Berdasarkan nilai *confusion matrix* tabel 1 maka, diperoleh nilai *classification report* yang ditunjukkan kurva pada gambar 6.



Gambar 6. *Classification Report* dengan Variasi *Confidence Threshold*

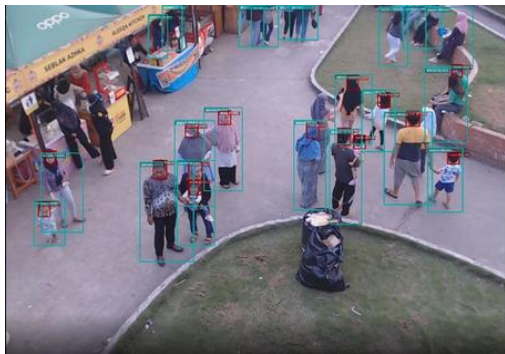
Kurva pada gambar 6 menunjukkan bahwa nilai akurasi pendeteksi objek 100% terjadi pada rentang nilai *confidence threshold* 0,5 hingga 0,9. Namun, jumlah objek yang terdeteksi pada setiap kelasnya tidak mencapai setengah dari total setiap kelas objek. Hal ini dapat mengakibatkan hasil pemetaan yang bias dan tidak aktual. Pada kasus ini, penentuan nilai *confidence threshold* dipertimbangkan pada nilai *True* (*True Positive* dan *True Negative*) besar dengan nilai *False* (*False Postitive* dan *False Negative*) kecil. Hal ini akan mengurangi bias pendeteksi objek dalam visualisasi *heatmap* keramaian dan dapat diterima.

Tabel 2. Hasil visual *heatmap* keramaian

Waktu (menit)	Heatmap Keramaian	
	Lokasi 1	Lokasi 2
10		
20		
30		

Oleh sebab itu, penggunaan nilai *confidence threshold* 0,3 pada algoritma Yolov4-Tiny dipilih untuk *heatmap* keramaian sebagai nilai yang terbaik. Pada nilai ini, diperoleh nilai *accuracy* 95%, *precision* 92%,

Recall 100%, dan *F1-Score* 96%. Adapun visual pendeteksian objek dengan nilai *confidence threshold* 0,3 ditunjukkan pada gambar 7.



Gambar 7. Visual Pendeteksian Objek dengan Nilai Confidence Threshold = 0,3

3.3. Hasil Pengujian Sistem Heatmap

Penggabungan komponen sistem *heatmap* keramaian dengan algoritma *heatmap* menghasilkan sistem pendeteksian objek yang mampu melakukan *heatmap* keramaian. Suatu keramaian diukur dengan melalui densitas objek yang terdeteksi pada titik yang sama. Hal tersebut akan menghasilkan visual skala warna yang semakin tinggi. Pengujian dilakukan di dua titik area keramaian di *Lampung Elephant Park* untuk mengetahui kinerja dari algoritma *heatmap* keramaian. Berdasarkan pada tabel 2, terdapat tiga visual *heatmap* keramaian untuk setiap 10 menit berulang di dua lokasi berbeda. Penggunaan metode *background subtraction* pada proses *heatmap* bertujuan untuk mereduksi visual skala warna *heatmap* dari objek sebelumnya. Terlihat bahwa warna *heatmap* tercipta hanya di area pejalan kaki di mana objek terdeteksi. Pada visual *heatmap* keramaian setelah 30 menit terlihat skala warna kekuningan yang menandai tingginya densitas pergerakan objek yang terdeteksi. Sedangkan skala warna merah menandai berkurangnya densitas pergerakan objek yang terdeteksi.

Hasil pemetaan menampilkan skala densitas keramaian di mana berpotensi terjadi penyebaran COVID-19 akibat dari kerumunan pengunjung. Pada kasus ini, penggunaan sistem *heatmap* keramaian dapat berperan dalam acuan perencanaan ruang publik. Ruang publik dengan titik area keramaian yang sedikit menimbulkan kepercayaan publik yang positif di masa pandemi COVID-19. Hal ini juga dapat mengurangi proses pengawasan dan interaksi secara langsung oleh petugas.

4. KESIMPULAN

Pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa, sistem *heatmap* keramaian dengan algoritma YoloV4-Tiny yang telah dirancang dapat digunakan untuk mendeteksi objek manusia di area keramaian dengan akurasi 59,45%. Namun hal tersebut mempengaruhi jumlah ketepatan objek yang terdeteksi, sehingga memerlukan peningkatan performa algoritma dengan akurasi yang lebih tinggi. Penggunaan *tripod* kamera yang tinggi dapat menghasilkan visual area keramaian dengan objek yang kecil pada sudut pandang *bird's eye view*. Pada sudut pandang tersebut, algoritma *heatmap* dapat melakukan pemetaan keramaian berdasarkan objek manusia yang terdeteksi dengan tingkat akurasi 95% dan presisi 92% pada *confidence threshold* 0,3. Di sisi lain, nilai akurasi tersebut diperoleh pada *confidence threshold* yang kecil, sehingga masih berpotensi menimbulkan objek *heatmap* yang bias. Visual yang dihasilkan dapat merepresentasikan densitas keramaian yang ditandai dengan skala warna hitam ke putih pada objek yang terdeteksi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Institut Teknologi Sumatera (ITERA) sebagai pemberi dana pada penelitian ini. Ucapan terima kasih juga ditujukan pada grup riset Sistem Siber Fisik Teknik Fisika Itera yang telah memberikan dukungan berupa sarana, prasarana terhadap penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. P. Statistik, "Perkembangan Pariwisata dan Transportasi Nasional Agustus 2021," Jkt. Badan Pus. Stat., 2021.
- [2] I. Dwina, "Melemahnya Ekonomi Indonesia pada Sektor Pariwisata, Akibat Dampak dari Pandemi COVID-19" SocArXiv, Aug. 10, 2020. doi: 10.31235/osf.io/8e27t.
- [3] COVID19, "Peta Sebaran Covid19". Tersedia pada : <https://covid19.go.id/peta-sebaran>, diakses 21 des 2021.
- [4] Kemenparekraf, "Tren Industri Pariwisata 2021". Tersedia pada : <https://www.kemenparekraf.go.id/pustaka/Buku-Tren-Pariwisata-2021>, diakses 21 des 2021.
- [5] Y. Marine and S. Saluky, "Penerapan IoT untuk Kota Cerdas," ITEJ Inf. Technol. Eng.

- J., vol. 3, no. 1, Art. no. 1, Jul. 2018, doi: 10.24235/itej.v3i1.24.
- [6] M. I. Martadinata, H. Febiyanti, V. Suryan, R. A. Pratama, and H. A. Nabilah, "Implementasi Safety Management System di Bandar Udara Internasional Radin Inten II Pada Masa Pandemi COVID-19," *J. Airpt. Eng. Technol. JAET*, vol. 2, no. 01, pp. 1–15, 2021, doi: 10.52989/jaet.v2i01.44.
- [7] H. Pratikno, I. Puspasari, W. I. Kusumawati, and Y. P. Admaja, "Implementasi Aplikasi Pemantau Kapasitas Pengunjung Restoran Sebagai Upaya Mendukung Program Peraturan Daerah Setempat Selama Masa Pandemi," *J. Abdikarya J. Karya Pengabd. Dosen Dan Mhs.*, vol. 4, no. 02, 2021, doi: 10.30996/abdikarya.v4i02.6243.
- [8] I. J. C. Valencia, E. P. Dadios, A. M. Fillone, J. C. V. Puno, R. G. Baldovino, and R. K. C. Billones, "Vision-based Crowd Counting and Social Distancing Monitoring using Tiny-YOLOv4 and DeepSORT," in *2021 IEEE International Smart Cities Conference (ISC2)*, Sep. 2021, pp. 1–7. doi: 10.1109/ISC253183.2021.9562868.
- [9] S. Saponara, A. Elhanashi, and Q. Zheng, "Developing a real-time social distancing detection system based on YOLOv4-tiny and bird-eye view for COVID-19," *J. Real-Time Image Process.*, vol. 19, no. 3, pp. 551–563, Jun. 2022, doi: 10.1007/s11554-022-01203-5.
- [10] E. N. Kajabad and S. V. Ivanov, "People Detection and Finding Attractive Areas by the use of Movement Detection Analysis and Deep Learning Approach," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 156, pp. 327–337, Jan. 2019, doi: 10.1016/j.procs.2019.08.209.
- [11] L. Du, R. Zhang, dan X. Wang, "Overview of two-stage object detection algorithms," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1544, no. 1, hlm. 012033, Mei 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1544/1/012033.
- [12] A. Lohia, K. D. Kadam, R. R. Joshi, dan A. M. Bongale, "Bibliometric Analysis of One-stage and Two-stage Object Detection," *Libr. Philos. Pract.*, pp. 1–32, 2021.
- [13] J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick, dan A. Farhadi, "You only look once: Unified, real-time object detection," *Proceedings of the IEEE*.
- [14] S. W. Keckler, W. J. Dally, B. Khailany, M. Garland, dan D. Glasco, "GPUs and the future of parallel computing," *IEEE Micro*, vol. 31, no. 5, hlm. 7–17, 2011.
- [15] L. Li, W. Huang, I. Gu, dan Q. Tian, "Foreground object detection from videos containing complex background," Jan 2003, pp. 2–10. doi: 10.1145/957013.957017.
- [16] S. Ruuska, W. Hämäläinen, S. Kajava, M. Mughal, P. Matilainen, dan J. Mononen, "Evaluation of the confusion matrix method in the validation of an automated system for measuring feeding behaviour of cattle," *Behav. Processes*, vol. 148, pp. 56–62, 2018. Classifier. *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, 10(1).