

Metode Frame Difference untuk Deteksi Gerakan Tidur Bayi berbasis Computer Vision

Haffas Zikri Ariyandi¹, Muis Muhtadi^{1,*}, Dodik Dwi Andreanto¹

¹ Program Studi Teknik Informatika, Universitas Negeri Malang, Indonesia

* Correspondence: muis.muhtadi.ft@um.ac.id

Copyright: © 2025 by the authors

Received: 24 Desember 2024 | Revised: 31 Desember 2024 | Accepted: 15 Januari 2025 | Published: 9 April 2025

Abstrak

Memantau tidur bayi adalah tugas penting bagi orang tua, terutama ketika harus menyeimbangkan tanggung jawab rumah tangga dan aktivitas lainnya. Penelitian ini bertujuan mendeteksi gerakan tidur bayi dengan menggabungkan model deteksi objek MobileNet-SSD dengan metode *Frame Difference* untuk menganalisis pergerakan berdasarkan ambang batas gerakan. Kami mengevaluasi kinerjanya dengan menghitung *accuracy*, *precision*, *recall*, dan *latency* yang diimplementasikan pada perangkat laptop dan *Raspberry Pi*, serta diuji menggunakan video beresolusi 720p dan 480p. Pada kedua perangkat, hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mencapai akurasi 82%, presisi 81%, dan recall 92% pada resolusi 720p, serta akurasi 77%, presisi 80%, dan recall 86% pada resolusi 480p. Namun, *Raspberry Pi* menunjukkan *latency* 400ms, dimana 10 kali lebih tinggi dibandingkan laptop dengan *latency* sebesar 41,28ms. Keunggulan metode ini dibandingkan metode lainnya seperti *optical flow* terletak pada kemudahan penggunaan, dan kompleksitas komputasi yang rendah. Hasil penelitian ini menyoroti pengaruh resolusi terhadap *accuracy* deteksi gerakan, dimana video beresolusi tinggi menghasilkan performa yang lebih optimal. Keterbatasan ditemukan pada deteksi objek dalam kondisi pencahayaan rendah, sehingga untuk peningkatan kedepannya dapat memanfaatkan metode *deep learning* seperti Yolo dan penggunaan *Mediapipe*. Penelitian ini berkontribusi pada pengembangan computer vision dimana metode *frame difference* dan *object detection* memberikan tingkat akurasi yang cukup baik dalam mendeteksi pergerakan.

Kata kunci: *frame differential*; sistem monitoring; *raspberry pi*; *computer vision*; *opencv*

Abstract

Monitoring a baby's sleep is a critical task for parents, especially when balancing household responsibilities. This study combines the MobileNet-SSD object detection model with the Frame Difference method to analyze sleep movements based on motion thresholds. The system's performance was evaluated by calculating accuracy, precision, recall, and latency, implemented on both laptop and Raspberry Pi devices, and tested using 720p and 480p resolution videos. Results showed accuracy of 82%, precision of 81%, and recall of 92% at 720p, and accuracy of 77%, precision of 80%, and recall of 86% at 480p. However, the Raspberry Pi exhibited a latency of 400ms, 10 times higher than the laptop's 41.28ms latency. Compared to optical flow, this method offers ease of use, and lower computational complexity. The results of this study highlight the impact of resolution on motion detection accuracy, where higher-resolution videos yield more optimal performance. Limitations under low-light conditions suggest potential improvements using deep learning techniques like YOLO and Mediapipe to detect eye conditions. This research contributes to the development of computer vision where the frame differential and object detection methods are proven to provide a fairly high level of accuracy in detecting movement.

Keywords: *frame differential*; *monitoring system*; *raspberry pi*; *computer vision*; *opencv*



PENDAHULUAN

Menjaga keselamatan dan kenyamanan bayi adalah hal yang sangat penting bagi setiap orang tua, namun hal tersebut menjadi tantangan yang berat bagi mereka. Saat ini, banyak orang tua menghadapi situasi di mana mereka harus mengawasi bayi sambil mengerjakan pekerjaan rumah tangga dan tugas lainnya secara bersamaan, yang dapat menyulitkan dalam memantau kondisi bayi yang sedang tidur (Barrett et al., 2024; Beño et al., 2024). Dalam situasi saat ini, teknologi dapat memberikan solusi dalam membantu orang tua untuk mengawasi bayi secara efisien tanpa mengurangi produktivitas mereka (Anthony et al., 2024).

Pada era digital saat ini, penggunaan teknologi menjadi bagian tak terpisahkan dari kehidupan manusia (Rahmawati et al., 2021; Singh, 2021). Kehadiran teknologi memberikan kemudahan bagi manusia dalam menjalankan aktivitas, termasuk dalam pengasuhan anak (Aldridge et al., 2024). Oleh karena itu, diperlukan metode yang efisien untuk memantau kondisi bayi yang sedang tidur. Dalam konteks ini, kemajuan teknologi seperti *Computer Vision* dan *Internet of Things (IoT)* telah membuka jalan dalam menciptakan sistem pemantauan bayi yang cerdas (Hotur et al., 2021). Dengan memanfaatkan kemajuan teknologi tersebut, sistem pemantauan tidur bayi dikembangkan untuk memfasilitasi orang tua dalam mengawasi keselamatan bayi mereka terutama ketika tidur (Irawan et al., 2022; Thopate et al., 2023).

Sistem pemantauan tidur bayi yang cerdas memiliki peran penting dalam meningkatkan kualitas perawatan dan keselamatan bayi (Khan, 2021). Sistem pemantauan yang menggunakan teknologi *Computer Vision* memberikan pelusang besar untuk meningkatkan pemantauan bayi (Leo et al., 2022; Meena & Ramesh, 2024). Salah satu penerapan *Computer Vision* dan *Image Processing* yang sering digunakan adalah metode *Frame difference*. Metode *Frame difference* merupakan salah satu metode untuk mendeteksi pergerakan objek yang didasarkan pada perbedaan antara dua frame berturut-turut untuk menemukan perubahan yang ada (Sari, 2022).

Berbagai penelitian sebelumnya, seperti yang dilakukan oleh Apridiansyah et al. (2024) menggunakan metode *Frame Difference* untuk mendeteksi gerakan objek dalam video. Metode ini bekerja dengan menghitung perbedaan antar frame video untuk mengidentifikasi piksel yang bergerak, terutama dengan nilai *threshold* tertentu. Dalam penelitian ini, 20 sampel video (10 video dengan pencahayaan terang dan 10 dengan pencahayaan minim) digunakan untuk menguji akurasi metode ini. Hasilnya menunjukkan tingkat akurasi sebesar 80%, dengan nilai presisi dan recall masing-masing sebesar 88%. Sementara itu, penelitian Yan et al. (2022) membahas penggunaan metode deteksi gerakan untuk meningkatkan efisiensi perangkat pemantauan bayi dengan memanfaatkan kombinasi *kernel density estimation* dan analisis *histogram*. Namun, sebagian besar penelitian mereka berfokus pada deteksi perilaku abnormal, sementara kebutuhan spesifik untuk memantau tidur bayi belum mendapat perhatian secara spesifik.

Seiring berkembangnya berbagai metode seperti *frame difference*, *background subtraction*, dan lainnya. Penelitian ini berusaha mengatasi permasalahan tersebut dengan mengkombinasikan pendekatan *frame difference* dan *object detection* untuk menghasilkan akurasi yang lebih baik untuk mendeteksi pergerakan pada sistem monitoring bayi. Metode *frame difference* digunakan untuk mendeteksi gerakan berdasarkan perubahan antar *frame*, sementara *object detection* memastikan fokus hanya pada objek bayi, mengurangi kesalahan akibat gerakan objek lain di sekitar. Integrasi kedua metode dilakukan dengan memanfaatkan *bounding box* dari *object detection* sebagai batas area deteksi pada *frame difference*. Dengan pendekatan ini, hanya gerakan di area bayi yang dianalisis. *MobileNet-SSD* dipilih sebagai model *object detection* karena memiliki kecepatan dan efisiensi yang baik, serta ukuran model yang ringan. Model ini memungkinkan deteksi objek secara real-time dengan akurasi yang memadai (Miranto, 2024).

Perangkat *Raspberry Pi* digunakan untuk memproses input video. Deteksi gerakan ini berfokus pada objek bayi untuk mengurangi gangguan dari gerakan selain bayi. Berdasarkan tingkat gerakan yang terdeteksi, sistem akan menentukan apakah bayi sedang tidur atau bangun. Kombinasi ini memberikan keunggulan karena *frame difference* memungkinkan deteksi gerakan dengan komputasi rendah (Chen & Sun, 2021). Sementara pada object detection meningkatkan akurasi dengan membatasi area analisis pada objek target sehingga memberikan solusi yang efisien. Sistem ini diuji menggunakan 22 video dengan kondisi pencahayaan terang (16 video) dan gelap (6 video) untuk mengevaluasi kinerja deteksi dalam berbagai situasi. Evaluasi menggunakan metrik *accuracy*, *precision*, dan *recall* untuk menilai keberhasilan dalam mendeteksi pergerakan bayi. Kondisi ideal untuk sistem ini adalah pencahayaan cukup dan posisi bayi dekat dalam jangkauan kamera. Pra-pengolahan citra yang diterapkan seperti konversi video menjadi grayscale, dan penerapan Gaussian blur untuk mengurangi noise visual yang dapat mempengaruhi deteksi.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis metode berbasis *frame difference* dan *object detection* untuk mendeteksi pergerakan pada sistem monitoring bayi saat tidur berdasarkan gerakan. Penelitian ini menggabungkan teknik *object detection* dan *frame difference* untuk mengukur tingkat gerakan bayi. Melalui penelitian ini, diharapkan dapat berkontribusi terhadap pengembangan sistem pemantauan bayi berbasis *computer vision* yang efisien dan efektif.

METODE

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode *Frame Difference* yang dikombinasikan dengan menggunakan *object detection* untuk mendeteksi status bayi, apakah bayi tersebut dalam kondisi tidur atau bangun berdasarkan ambang batas (*Threshold*) gerakan yang sudah ditentukan. Bayi dianggap bangun ketika melakukan pergerakan yang signifikan, dan bayi dianggap tidur ketika tidak melakukan pergerakan yang signifikan. Ambang batas (*Threshold*) ditentukan secara manual melalui uji coba dengan video simulasi bayi tidur, sehingga digunakan nilai *threshold* total pergerakan sebesar 4.000.000. Tahapan proses monitoring bayi pada penelitian ini terdiri dari proses inputan video, preprocessing, deteksi objek, proses mendeteksi pergerakan, dan evaluasi seperti pada gambar 1.



Gambar 1. Alur proses penelitian

Preprocessing dilakukan untuk mengoptimalkan deteksi yang mencakup beberapa tahap, yaitu *resizing frame* menjadi 300×300 piksel sesuai dengan inputan MobileNet-SSD. Lalu dilakukan konversi grayscale dan penerapan Gaussian blur yang bertujuan untuk mengurangi noise pada video. Object Detection digunakan untuk mendeteksi objek bayi, dan ketika bayi telah dideteksi maka dengan metode *Frame Difference* digunakan untuk melihat pergerakan dari bayi ketika tidur. Metode *Frame Difference* mendeteksi pergerakan dengan menghitung selisih *absolute* nilai *pixel* antara *frame* pertama yang diperoleh dan *frame* berikutnya secara berurutan, dengan menggunakan persamaan 1.

$$D_i = |f_{i+1} - f_i| \quad (1)$$

Keterangan:

D_i = Perbedaan absolut

f_i = *Frame* pertama yang diambil dari *input*

f_{i+1} = *Frame* kedua atau selanjutnya yang diambil dari *input*

Kami menggunakan model *MobileNet-SSD* untuk melakukan deteksi objek. *MobileNet-SSD* merupakan model *deep learning* yang mengkombinasikan arsitektur *MobileNet* dan *SSD* untuk mendeteksi objek secara *real-time* (Khan et al., 2023). Model ini digunakan untuk mendeteksi objek bayi secara *default* sehingga objek bayi dideteksi sebagai *person*. *MobileNet-SSD* digunakan untuk menentukan area objek bayi berada atau ROI (*Region of Interest*), dimana objek bayi akan dideteksi dan kemudian diberikan sebuah bounding box yang akan menjadi area dimana pendeteksian pergerakan dilakukan dengan menggunakan *Frame Difference*.

Evaluasi dilakukan menggunakan 22 video bayi yang diambil dari beberapa sumber di internet dengan variasi kondisi dan durasi antara 20 detik hingga 2 menit yang terdiri dari resolusi 720p dan 480p. Variasi mencakup kondisi pencahayaan gelap dan terang, dengan sudut pandang yang berbeda seperti video diambil dari atas posisi bayi tidak terlalu. Sejumlah 16 video dalam kondisi pencahayaan terang, dan 6 video dalam kondisi pencahayaan gelap. Untuk mengevaluasi kinerja metode yang diterapkan, sistem dijalankan pada perangkat *Raspberry Pi* dan komputer. Evaluasi mencakup perhitungan *accuracy*, *precision*, *recall*, dan *latency*, yang menggambarkan kinerja sistem dalam mendeteksi status secara akurat. *Latency* dihitung dengan mengukur jeda waktu antara frame ditangkap hingga gerakan terdeteksi. *Latency* atau keterlambatan dalam sistem menjadi faktor krusial, karena untuk memastikan pengalaman pengguna yang lancar, diperlukan latensi yang optimal. Latensi yang dianggap kategori sedang dalam sistem pemantauan berkisar antara 300 hingga 450 ms (Azhari & Hidajat, 2024). *Accuracy*, *precision*, *recall* dihitung menggunakan persamaan (2), (3), dan (4).

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + FP + TN + FN} \quad (2)$$

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (3)$$

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (4)$$

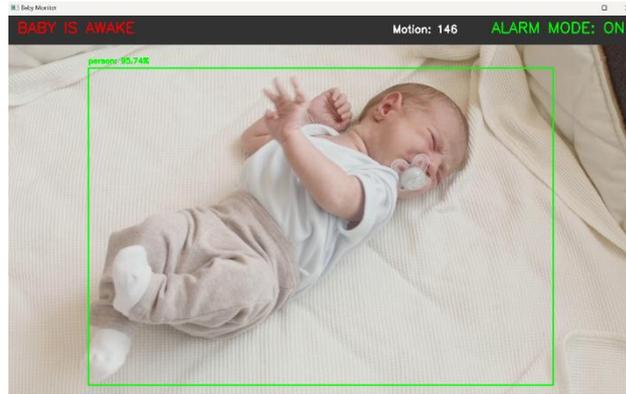
Keterangan:

- TP (True Positive) = Mengidentifikasi status bangun dengan benar
- TN (True Negative) = Mengidentifikasi status tidur dengan benar
- FP (False Positive) = Salah mengidentifikasi status tidur
- FN (False Negative) = Salah mengidentifikasi status bangun

HASIL DAN PEMBAHASAN

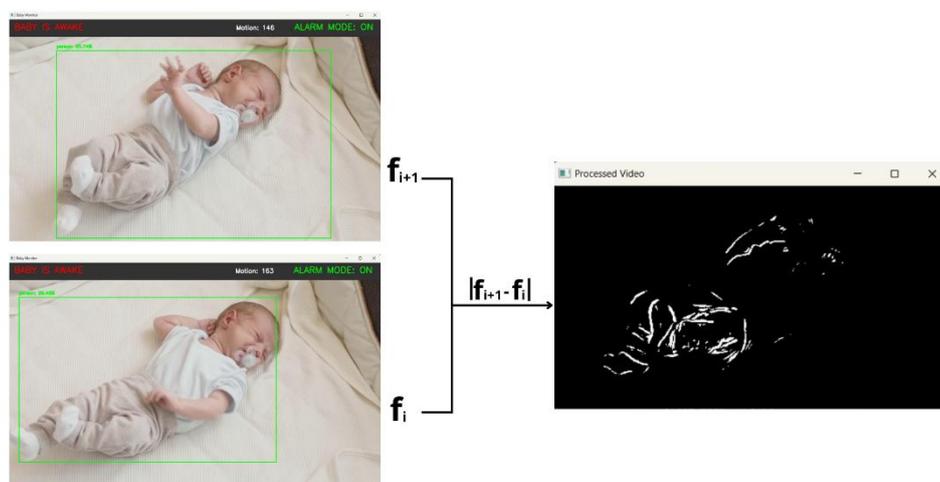
Hasil

Penelitian ini mengimplementasikan sistem pemantauan bayi berbasis *computer vision* dengan tujuan mendeteksi kondisi atau status bayi yang sedang tidur. Penelitian ini memiliki keterbatasan antara lain terbatasnya dataset video yang didapat untuk pengujian, kualitas video yang harus jelas, dan terbatas hanya pada deteksi gerakan bayi. Selain itu, sistem ini menerima input berupa video atau kamera. Setiap *frame* dari inputan video akan diproses secara bertahap dengan memanfaatkan *library OpenCV* dan diimplementasikan menggunakan bahasa pemrograman *Python*. Proses *preprocessing* kemudian dilakukan, di mana *frame* video yang berurutan digunakan untuk mendeteksi gerakan. *Frame-frame* tersebut dikonversi ke dalam *grayscale*, resizing frame menjadi 300×300 piksel sesuai dengan inputan *MobileNet-SSD*, dan diikuti dengan penerapan *Gaussian blur* untuk meminimalkan gangguan atau *noise*.



Gambar 2. Deteksi objek bayi (*Stock footage provided by Freepik, downloaded from videvo.net*)

Pada tahapan awal, objek bayi akan dideteksi keberadaannya. Setelah bayi terdeteksi menggunakan *MobileNet-SSD*, bayi akan diberi tanda berupa *bounding box* yang menunjukkan area objek (*Region of Interest/ROI*) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Area yang berada pada ROI akan disimpan koordinatnya, objek yang ada di dalam ROI tersebut yang kemudian akan dideteksi gerakannya dengan *frame difference* dan area tersebut akan diperbaharui setiap 10 detik. Selanjutnya, perhitungan *frame difference* dilakukan, yaitu dengan membandingkan apakah perubahan antara dua *frame* melebihi batas nilai yang telah ditentukan.



Gambar 3. Deteksi pergerakan bayi

Dapat dilihat pada gambar 3, *frame* awal dari input video dilambangkan dengan f_i , dan *frame* berikutnya dilambangkan dengan f_{i+1} . Setiap nilai *pixel* pada *frame* berikutnya dikurangkan dari nilai *pixel* pada *frame* sebelumnya sesuai dengan Persamaan 1. Jika nilai perbedaan yang dihitung melebihi ambang batas yang ditentukan yaitu 25 nilai, *pixel* tersebut akan diberi nilai biner 1 dan direpresentasikan sebagai *pixel* putih. Jika tidak ada perubahan, *pixel* akan diberi nilai biner 0 dan direpresentasikan sebagai *pixel* hitam seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Semua perubahan pada *frame* dihitung dengan menjumlahkan seluruh perubahan tersebut. Jika total perubahan melebihi ambang batas gerakan yang telah ditentukan, yaitu 4.000.000, status bayi akan berubah dari tidur menjadi bangun. Nilai 4.000.000 didapat melalui uji coba secara manual dengan video yang mensimulasikan kondisi bayi tidur sehingga didapatkan sebagai nilai optimal. Ketika terjadi perubahan status, alarm sebagai tanda untuk memberi peringatan akan diaktifkan.

Evaluasi sistem dilakukan pada dua perangkat, yaitu laptop dan *Raspberry Pi*, menggunakan dua set video yang terdiri dari 22 video dengan resolusi 480p dan 720p. Karena keterbatasan dataset yang relevan dengan penelitian ini, kami memanfaatkan 22 video yang diambil dari berbagai sumber di internet. Dengan 22 video tersebut sudah merepresentasikan berbagai kondisi bayi saat tidur dan bangun. Mengingat penelitian ini berfokus pada deteksi tidur bayi berdasarkan gerakan, dataset tersebut dinilai dapat memberikan gambaran umum yang diperlukan. Tujuan pengujian ini adalah untuk mengevaluasi kinerja sistem deteksi gerakan berbasis ambang batas dalam hal *accuracy*, *precision*, *recall* dan *latency* pada masing-masing perangkat terhadap dua resolusi video yang berbeda.

		Predicted	
		Positive	Negative
Actual	Positive	13 (TP)	1 (FN)
	Negative	3 (FP)	5 (TN)

Gambar 4. *Confusion matrix* resolusi 720p

		Predicted	
		Positive	Negative
Actual	Positive	12 (TP)	2 (FN)
	Negative	3 (FP)	5 (TN)

Gambar 5. *Confusion matrix* resolusi 480p

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4, pada resolusi 720p sistem menunjukkan kinerja yang baik dengan 13 *True Positives* (TP) dan 5 *True Negatives* (TN), yang menunjukkan bahwa sistem secara akurat mendeteksi kondisi bayi yang bangun dan tidur. Namun, terdapat 3 kasus *False Positive* (FP) dan 1 kasus *False Negative* (FN), yang mengindikasikan bahwa sistem masih membuat kesalahan dalam mendeteksi bayi yang sedang tidur sebagai bangun dan sebaliknya.

Sementara itu pada gambar 5, terjadi penurunan kinerja pada 480p. Jumlah TP menjadi sebanyak 12, TN masih sama sebanyak 5, FP tetap sebanyak 3, sementara pada FN meningkat menjadi 2. Hal ini menunjukkan bahwa resolusi yang lebih rendah sedikit mempengaruhi kinerja sistem dalam mendeteksi gerakan secara akurat.

FP dan FN terjadi karena sistem gagal untuk mendeteksi kondisi bayi dengan kondisi aslinya. FP terjadi karena ketika bayi mengalami pergerakan yang signifikan namun bayi tidak dalam kondisi bangun hal ini mengakibatkan sistem salah dalam mendeteksi pergerakan bayi. FN terjadi diakibatkan ketika bayi terbangun dari tidur namun tidak banyak melakukan pergerakan sehingga sistem mendeteksi kondisinya sebagai tidur. Karena batasan penelitian ini mendeteksi pergerakan sehingga ketika kondisi tersebut terjadi maka akan mengakibatkan kesalahan dalam mendeteksi.

Tabel 1. Performa pada Laptop dan Raspberry Pi

<i>Device</i>	<i>Resolution</i>	<i>Accuracy (%)</i>	<i>Precision (%)</i>	<i>Recall (%)</i>	<i>Latency</i>
Laptop	720p	82	81	92	41,28 ms
	480p	77	80	86	32,60 ms
Raspberry Pi	720p	82	81	92	400 ms
	480p	77	80	86	350 ms

Berdasarkan hasil tabel 1, pengujian pada laptop dengan video resolusi 720p menghasilkan *accuracy* sebesar 82%, nilai *precision* 81%, dan nilai *recall* 92%. Sistem dapat mendeteksi gerakan bayi dengan hasil yang cukup baik, dengan sedikit kesalahan *false positive* (bayi yang tidur terdeteksi sebagai bangun) dan *false negative* (bayi yang bangun terdeteksi sebagai tidur). Sementara itu, pengujian pada laptop dengan video resolusi 480p menunjukkan penurunan kinerja secara keseluruhan dengan *accuracy* 77%, nilai *precision* 80%, dan nilai *recall* 86%.

Pengujian pada *Raspberry Pi* dengan video resolusi 720p menghasilkan *accuracy* sebesar 82%, nilai *precision* 81%, dan nilai *recall* 92%. Dalam hal ini, kinerja sistem pada *Raspberry Pi* setara dengan kinerja laptop pada video dengan resolusi 720p. Pengujian pada *Raspberry Pi* dengan video resolusi 480p menunjukkan penurunan kinerja, dengan *accuracy* 77%, nilai *precision* 80%, dan nilai *recall* 86%. Pada pengujian ini, sistem juga menunjukkan penurunan kinerja yang sama seperti yang terjadi pada laptop dengan video resolusi 480p.

Hasil pengujian juga menunjukkan bahwa *latency* sistem pada kedua perangkat berbeda secara signifikan, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1. Pada laptop, *latency* yang didapat adalah 41,28 ms pada resolusi 720p, sementara pada resolusi 480p, *latency*-nya turun menjadi 32,60 ms. Pada *Raspberry Pi*, *latency* tercatat sebesar 400 ms pada resolusi 720p dan 350 ms pada resolusi 480p. Hasil ini menunjukkan bahwa laptop lebih unggul daripada *Raspberry Pi* dalam hal kinerja *latency*. Meskipun terdapat perbedaan signifikan dalam *latency*, pengukuran *accuracy*, *precision*, dan *recall* pada kedua perangkat menunjukkan kinerja yang identik. *Latency* menjadi penting karena delay yang dihasilkan akan mempengaruhi proses pemantauan pada bayi. Hasil *latency* yang didapat yaitu sebesar 400ms pada resolusi 720p dianggap cukup atau kategori sedang. Kondisi dianggap bangun adalah ketika bayi bergerak secara signifikan sehingga melebihi ambang batas, dan kondisi dianggap tidur ketika bayi tidak bergerak secara signifikan. Berdasarkan gambar 3, bayi terdeteksi bergerak secara signifikan melewati ambang batas sehingga dideteksi sebagai bangun.

Pembahasan

Hasil pengujian pada kedua perangkat menunjukkan bahwa pada kondisi tertentu resolusi dapat mempengaruhi kinerja sistem, di mana resolusi yang lebih tinggi menghasilkan *accuracy*, *precision*, dan *recall* yang lebih baik. Sistem pada kedua perangkat mencapai *accuracy* sebesar 82%, *precision* 81%, dan *recall* 92% pada video dengan resolusi 720p. Hal ini menunjukkan bahwa keandalan dari metode yang baik, yang mampu mendeteksi dengan tingkat *false positive* dan *negative* yang relatif rendah pada resolusi 720p. Hasil ini mengindikasikan bahwa metode tersebut cukup andal dalam membedakan antara kondisi tidur dan bangun, terutama pada resolusi tinggi. Sistem pada perangkat *Raspberry Pi* juga menghasilkan kinerja yang sama dengan perangkat laptop. Namun, pada video dengan resolusi 480p, *accuracy*, *precision*, dan *recall* mengalami penurunan dibandingkan dengan resolusi 720p. Pada video dengan resolusi 480p, sistem mencapai *accuracy* sebesar 77%, *precision* 80%, dan *recall* 86%. Penurunan kinerja pada resolusi lebih rendah ini terjadi pada keadaan kondisi gelap, yang cenderung memiliki lebih banyak noise (Duong et al., 2024). Sehingga mengganggu sistem dalam mendeteksi objek, dan pergerakan kecil yang berpotensi menyebabkan penurunan kinerja deteksi.

Hasil pengujian *latency* sistem pada kedua perangkat menunjukkan perbedaan kinerja *latency* yang signifikan. Pada perangkat laptop, *latency* sebesar 41,28 ms didapatkan pada resolusi 720p, sementara *latency* lebih rendah sebesar 32,60 ms didapatkan pada resolusi 480p. Sebaliknya, perangkat *Raspberry Pi* menunjukkan nilai *latency* yang lebih tinggi, yaitu 400 ms pada resolusi 720p dan 350 ms pada resolusi 480p. Berdasarkan hasil kinerja ini, perangkat *Raspberry Pi* menunjukkan performa yang lebih buruk dalam hal *latency* dibandingkan perangkat laptop yang memiliki spesifikasi lebih tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa *Raspberry*

Pi kurang responsif dan dapat menyebabkan keterlambatan dalam mendeteksi gerakan bayi. *Raspberry Pi* memiliki latency yang lebih tinggi diakibatkan oleh perbedaan spesifikasi. *Raspberry Pi* merupakan perangkat dengan resource rendah yang mengakibatkan ketika sistem dijalankan bersamaan dengan pengujian maka akan menghasilkan nilai latency yang cukup tinggi yang dapat mempengaruhi waktu respon. Tingginya latency dapat dikurangi dengan menggunakan perangkat seperti NVIDIA Jetson, karena NVIDIA Jetson memiliki spesifikasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan *Raspberry Pi* yang merupakan hardware dengan resource rendah.

Hasil penelitian kami dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Apridiansyah et al. (2024), metode *frame difference* digunakan untuk mendeteksi pergerakan, dengan hasil *accuracy* sebesar 80%, *precision* sebesar 88%, dan *recall* sebesar 88%. Pada penelitian kami menggunakan *frame difference* dan *object detection*, menghasilkan tingkat *accuracy*, dan *recall* yang lebih baik dengan nilai *accuracy* sebesar 82%, *precision* sebesar 81%, dan *recall* sebesar 93%. Walaupun peningkatan terjadi tidak terlalu besar, kombinasi ini dapat dilihat menghasilkan performa yang lebih tinggi. Dengan memanfaatkan metode *frame difference* dan *object detection*, objek yang ingin dipantau pergerakannya dapat lebih fokus karena area yang dilakukan deteksi hanya pada sekitar objek tersebut.

Metode *frame difference* terbukti menjadi pendekatan yang efektif untuk mendeteksi gerakan bayi, terutama gerakan bayi yang sedang tidur. Metode ini efektif karena mampu menangkap dan mengukur perbedaan antar *frame* (Hendrizal, 2023; Apridiansyah et al., 2024). Sehingga gerakan anggota tubuh bayi ketika bangun dari tidur, atau perubahan posisi dapat terdeteksi. Penelitian kami juga mengonfirmasi efektivitas metode *frame difference* dalam mendeteksi pergerakan bayi dalam berbagai kondisi pencahayaan. Tetapi meskipun cukup efektif, kondisi pencahayaan rendah menunjukkan pengaruh terhadap kinerja yang signifikan. Untuk pengembangan di masa depan, disarankan untuk mengintegrasikan *Mediapipe* untuk mendeteksi mata pada bayi, dan algoritma seperti berbasis *deep learning* (*YOLO* atau *Tiny-YOLO*) guna meningkatkan kemampuan sistem dalam mendeteksi kondisi bayi dalam berbagai kondisi (Khan et al., 2023; Rahim et al., 2021).

SIMPULAN

Hasil dari percobaan didapati bahwa jika bayi melewati ambang batas gerakan sehingga dideteksi sebagai bangun. Penelitian ini menunjukkan bahwa sistem monitoring tidur bayi berbasis *frame difference* dan *object detection* dengan memanfaatkan *MobileNet-SSD* dapat mendeteksi gerakan tidur dan bangun berdasarkan gerakan dengan kinerja yang cukup baik. Dengan *accuracy* sebesar 82%, *precision* 81%, dan *recall* 92% pada resolusi 720p, sistem ini mampu memberikan deteksi yang cukup baik. Namun, pada resolusi 480p terjadi penurunan kinerja dengan *accuracy* 77%, *precision* 80%, dan *recall* 86%. *Raspberry Pi* menghasilkan performa yang hampir sama dengan laptop meskipun terdapat perbedaan pada latency. Hal ini menunjukkan potensi untuk dapat dikembangkan lebih lanjut sebagai solusi dalam penerapan seperti pada sistem monitoring di rumah, dan berbagai aplikasi lainnya. Kondisi pencahayaan rendah terbukti mempengaruhi akurasi deteksi. Integrasi algoritma berbasis *deep learning*, seperti *YOLO* atau *Tiny-YOLO*, dan dapat menjadi solusi di masa depan untuk meningkatkan kinerja dalam berbagai kondisi. Pengembangan kedepannya juga diharapkan untuk mengkombinasikan deteksi gerakan dengan *Mediapipe* untuk mendeteksi kondisi mata untuk meningkatkan performa deteksi kondisi tidur pada bayi. Keunggulan penelitian ini dibandingkan sebelumnya terletak pada kombinasi metode *frame difference* dan *object detection* yang meningkatkan fokus deteksi hanya pada objek bayi, dan menghasilkan akurasi lebih tinggi dibandingkan penelitian yang hanya menggunakan *frame difference*. Penelitian ini berkontribusi dalam memberikan solusi yang lebih efisien dan efektif untuk sistem pemantauan bayi berbasis *computer vision*.

REFERENSI

- Aldridge, G., Tomaselli, A., Nowell, C., Reupert, A., Jorm, A., & Hui Yap, M. B. (2024). Engaging Parents in Technology-Assisted Interventions for Childhood Adversity: Systematic Review. *Journal of Medical Internet Research*, 26(1), 1–30. <https://doi.org/10.2196/43994>
- Anthony, F. Z., Ali, S., Ali, M., Zahra, F. D., & Masitah, I. (2024). Rancang Bangun Tempat Tidur Bayi Berbasis *Computer Vision* untuk Membantu *Sleep Training* pada Bayi. *Applied Engineering, Innovation, and Technology*, 1(1), 14–22. <https://doi.org/10.62777/aeit.v1i1.14>
- Apridiansyah, Y., Wijaya, A., Toyib, R., & Setiawan, A. (2024). Pengolahan Citra Berbasis Video Proccesing dengan Metode Frame Difference untuk Deteksi Gerak. *Journal of Applied Computer Science and Technology*, 5(1), 81–89. <https://doi.org/10.52158/jacost.v5i1.790>
- Azhari, D. M., & Hidajat, M. S. (2024). Klasifikasi Stunting pada Balita menggunakan Algoritma Gradient Bossting Clasifier. *Edumatic: Jurnal Pendidikan Informatika*, 8(2), 507-515. <https://doi.org/10.29408/edumatic.v8i2.27502>
- Barrett, S., Barlow, J., Cann, H., Pease, A., Shiells, K., Woodman, J., & McGovern, R. (2024). Parental decision making about safer sleep practices: A qualitative study of the perspectives of families with additional health and social care needs. *PLoS ONE*, 19(3 March), 1–17. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0298383>
- Beño, L., Kučera, E., & Bašista, M. (2024). Smart Sleep Monitoring: An Integrated Application for Tracking and Analyzing Babies' Sleep—BabyCare. *Electronics (Switzerland)*, 13(21). <https://doi.org/10.3390/electronics13214210>
- Chen, B., & Sun, R. (2021). Research on improvement of background modeling and detection method based on frame difference. *Journal of Physics: Conference Series*, 2035(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2035/1/012025>
- Duong, M.-T., Lee, S., & Hong, M.-C. (2024). Learning to Concurrently Brighten and Mitigate Deterioration in Low-Light Images. *IEEE Access*, 12, 132891-132903. <https://doi.org/10.1109/access.2024.3457514>
- Hendrizar, S. (2023). Penentuan Region Of Interest (ROI) Untuk Menghitung Jumlah Kendaraan Pada Jalan Raya Menggunakan Frame Substratcion. *Jurnal Komputer Teknologi Informasi dan Sistem Informasi (JUKTISI)*, 2(2), 455-460. <https://doi.org/10.62712/juktisi.v2i2.139>
- Hotur, V. P., Abhishek, P., Chethan, R., & Bhatta, A. (2021, June). Internet of things-based baby monitoring system for smart cradle. In *2021 International Conference on Design Innovations for 3Cs Compute Communicate Control (ICDI3C)*, 265-270. Bangalore, India: IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICDI3C53598.2021.00060>
- Irawan, B., Yulhendri, Y., Kartini, K., Anwar, N., Tjahjojo, B., & Sundari Meganingrum, A. (2022). Design And Development Of A Baby Sleep Monitoring System Based On Internet Of Things (Iot). *International Journal of Science, Technology & Management*, 3(4), 835–844. <https://doi.org/10.46729/ijstm.v3i4.541>
- Khan, D., Waqas, M., Tahir, M., Islam, S. U., Amin, M., Ishtiaq, A., & Jan, L. (2023). Revolutionizing Real-Time Object Detection: YOLO and MobileNet SSD Integration. *Journal of Computing & Biomedical Informatics*, 6(01), 41-49.
- Khan, T. (2021). An intelligent baby monitor with automatic sleeping posture detection and notification. *Ai*, 2(2), 290-306. <https://doi.org/10.3390/ai2020018>
- Leo, M., Bernava, G. M., Carcagnì, P., & Distanto, C. (2022). Video-Based Automatic Baby Motion Analysis for Early Neurological Disorder Diagnosis: State of the Art and Future Directions. *Sensors*, 22(3). <https://doi.org/10.3390/s22030866>
- Meena, E. M., & Ramesh, D. . (2024). Smart Baby Monitoring System Using Yolo V8

- Algorithm. *Interantional Journal of Scientific Research in Engineering and Management*, 08(07), 1–16. <https://doi.org/10.55041/ijsrem36698>
- Miranto, A. (2024). Real Time Object Detection Menggunakan Mobilenet-SSD pada Sistem Keamanan Ruangan dengan Bot Telegram Sebagai Notifikasi User. *JELIKU (Jurnal Elektronik Ilmu Komputer Udayana)*, 13(1), 211–216. <https://doi.org/10.24843/JLK.2024.v13.i01.p21>
- Rahim, A., Maqbool, A., & Rana, T. (2021). Monitoring social distancing under various low light conditions with deep learning and a single motionless time of flight camera. *PLoS ONE*, 16(2), 1–19. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0247440>
- Rahmawati, M., Ruslan, A., & Bandarsyah, D. (2021). The Era of Society 5.0 as the unification of humans and technology: A literature review on materialism and existentialism. *Jurnal Sosiologi Dialektika*, 16(2), 151-162. <https://doi.org/10.20473/jsd.v16i2.2021.151-162>
- Sari, E. H. (2022). Sistem Tracking Multi Object Yang Bergerak Di Jalan Raya Dengan Metode Frame Difference Dan Edge Detection. *Jurnal Impresi Indonesia*, 1(9), 994-1001. <https://doi.org/10.36418/jii.v1i9.456>
- Singh, M. N. (2021). Inroad of Digital Technology in Education: Age of Digital Classroom. *Higher Education for the Future*, 8(1), 20–30. <https://doi.org/10.1177/2347631120980272>
- Thopate, K., Gawade, M., Savale, V., Cholke, A., & Musale, P. (2023). Smart Cradle: A Technology-Enabled Solution for Safer and Better Infant Sleep. *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication*, 11(7), 223–228. <https://doi.org/10.17762/ijritcc.v11i7.7849>
- Yan, Y., Guo, Q., He, W., He, P., Chiu, G., & Allebach, J. P. (2022). Motion Detection In a Color Video Sequence with an Application to Monitoring a Baby. *IS and T International Symposium on Electronic Imaging Science and Technology*, 34(15), 1–5. <https://doi.org/10.2352/EI.2022.34.15.COLOR-234>