

Rancang Bangun Platform Monitoring Peledakan Menggunakan Modul ESP32-CAM Untuk Latihan Serangan Munisi Tajam

Felyx Jerry Yen Masarrang¹, Kasiyanto¹, Mokhammad Syafaat¹

¹Prodi Teknik Elkasista, Jurusan Elektronika, Politeknik Angkatan Darat, Batu, Indonesia

*¹Corresponding author, email: felyx@Gmail.com

Abstrak	INFO.
<p>Penelitian ini berfokus pada pengembangan platform monitoring peledakan menggunakan modul ESP32-CAM yang diterapkan pada latihan serangan munisi tajam. Sistem ini dirancang untuk menyediakan kemampuan pemantauan secara <i>real-time</i> terhadap berbagai aktivitas peledakan yang terjadi selama latihan militer yang melibatkan penggunaan munisi tajam. Melalui integrasi kamera dan modul Wi-Fi pada ESP32-CAM, sistem mampu mengirimkan data visual berupa gambar maupun video secara langsung ke pusat kendali, sehingga proses evaluasi terhadap hasil latihan dapat dilakukan dengan lebih cepat, akurat, dan terarah. Selain itu, sistem monitoring yang dibangun dilengkapi dengan fitur deteksi serta pengolahan citra untuk memastikan bahwa setiap momen penting dalam proses peledakan dapat terekam dan dipantau dengan baik. Fitur ini memungkinkan pengawasan yang lebih detail terhadap dinamika kejadian di lapangan, sehingga meningkatkan kualitas analisis terhadap hasil latihan. Implementasi platform monitoring ini diharapkan mampu meningkatkan efisiensi kegiatan latihan, memperkuat aspek keselamatan personel, serta mendukung pengambilan keputusan melalui penyediaan data visual yang diperoleh secara langsung dari lokasi latihan. Penelitian ini juga mengkaji aspek teknis dan fungsional ESP32-CAM dalam konteks aplikasi pengawasan, termasuk pertimbangan terhadap keterbatasan sumber daya perangkat serta tantangan yang muncul akibat kondisi lapangan yang ekstrem.</p>	<p>Info. Artikel: No. 029 Received. December 17, 2025 Revised. January 05, 2026 Accepted. January 08, 2026 Page. 125 – 137</p> <p>Kata kunci:</p> <ul style="list-style-type: none">✓ ESP32-CAM✓ Monitoring peledakan✓ Munisi tajam✓ Mengolahan citra✓ Latihan militer

Abstract
<p><i>This research focuses on the development of a detonation monitoring platform using the ESP32-CAM module for use in live ammunition training exercises. This system is designed to provide real-time monitoring of various detonation activities occurring during military exercises involving the use of live ammunition. Through the integration of a camera and Wi-Fi module into the ESP32-CAM, the system is able to transmit visual data in the form of images and videos directly to a control center, enabling faster, more accurate, and more focused evaluation of exercise results. Furthermore, the monitoring system is equipped with detection and image processing features to ensure that every critical moment in the detonation process is properly recorded and monitored. This feature allows for more detailed monitoring of the dynamics of events in the field, thereby improving the quality of analysis of exercise results. The implementation of this monitoring platform is expected to increase the efficiency of training activities, strengthen personnel safety, and support decision-making by providing visual data obtained directly from the training location. This research also examines the technical and functional aspects of the ESP32-CAM in the context of surveillance applications, including consideration of device resource limitations and challenges arising from extreme field conditions.</i></p>

PENDAHULUAN
<p>Latihan serangan menggunakan munisi tajam merupakan salah satu bentuk kegiatan penting dalam dunia militer untuk meningkatkan kesiapan tempur serta memastikan efektivitas strategi operasional yang diterapkan[1]. Pelaksanaan latihan ini menuntut adanya sistem pemantauan yang akurat dan terstruktur guna menjamin keselamatan personel, memastikan ketepatan pelaksanaan, serta mendukung proses evaluasi hasil latihan secara objektif[2]. Oleh sebab itu, keberadaan sistem monitoring yang andal, responsif, dan mampu bekerja secara optimal menjadi kebutuhan utama dalam mendukung pelaksanaan kegiatan tersebut</p>

Pada praktiknya, mekanisme pemantauan dalam latihan serangan munisi tajam masih banyak mengandalkan cara-cara manual maupun perangkat konvensional yang memiliki sejumlah keterbatasan[3]. Sistem ini biasanya kurang mampu memberikan data secara real-time, memiliki respons yang lambat, serta tidak selalu menghasilkan akurasi pemantauan yang memadai[4][5]. Kondisi tersebut dapat menurunkan efektivitas pengawasan di lapangan dan berpotensi meningkatkan risiko keselamatan bagi personel yang terlibat

Perkembangan teknologi, khususnya dalam bidang Internet of Things (IoT), membuka peluang baru untuk menghadirkan solusi pemantauan yang lebih efektif dan modern[6][7]. Salah satu perangkat yang memiliki kemampuan tinggi untuk mendukung sistem monitoring berbasis IoT adalah ESP32-CAM[8][9]. Perangkat ini merupakan modul mikrokontroler dengan kamera terintegrasi, konektivitas nirkabel, serta kemampuan pemrosesan data secara cepat dan real-time[10]. Dengan fitur tersebut, ESP32-CAM mampu menyediakan pemantauan visual yang lebih akurat, dokumentasi otomatis, serta proses pengiriman data yang langsung terhubung ke pusat kendali

Dalam penerapannya pada latihan serangan munisi tajam, sistem monitoring berbasis ESP32-CAM memberikan sejumlah keunggulan. Sistem ini dapat meningkatkan ketepatan pemantauan aktivitas peledakan, mengurangi risiko keselamatan bagi personel yang harus berada dekat dengan lokasi ledakan, serta menyediakan data visual yang dapat digunakan untuk evaluasi yang lebih objektif dan terukur[11]. Selain itu, sistem ini memungkinkan pengawasan dari jarak aman tanpa mengurangi kualitas observasi maupun kontrol terhadap jalannya latihan

Dengan berbagai potensi manfaat tersebut, pengembangan sistem monitoring aktivitas peledakan berbasis ESP32-CAM di lingkungan TNI AD menjadi langkah yang relevan dan mendesak untuk dilakukan[12]. Melalui perancangan dan pembangunan sistem ini, diharapkan dapat tercipta perangkat monitoring yang lebih efektif, efisien, dan adaptif terhadap dinamika latihan di lapangan[13]. Penelitian ini ditujukan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring yang mampu meningkatkan keselamatan personel, mendukung efektivitas latihan, serta menyediakan data visual real-time untuk analisis yang lebih komprehensif pada kegiatan latihan serangan munisi tajam[14].

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen yang membuktikan hipotesis melalui program yang di rancang. Kualitas dari perancangan dapat diketahui dengan cara melakukan pengujian terhadap program yang telah dibuat secara terus menerus untuk mendapatkan hasil yang baik dan akurat. Pada pengujian ini terdapat dua variable yang diteliti dan dianalisa dengan harapan dapat mengetahui seberapa jauh sistem program dapat berjalan.

Diagram Alir Penelitian

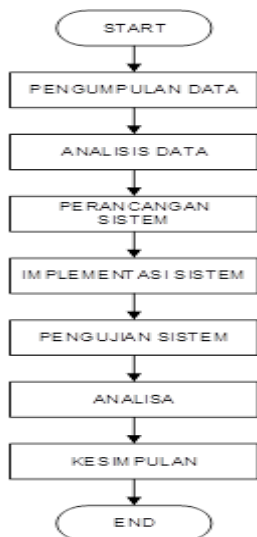
Diagram alir merupakan representasi visual dari algoritma atau alur kerja yang menunjukkan urutan proses mulai dari tahap awal hingga tahap akhir. Diagram ini menggunakan garis serta simbol-simbol grafis untuk menggambarkan setiap langkah secara sistematis, sehingga memudahkan pembaca dalam memahami proses penelitian yang dilakukan. Melalui diagram alir, setiap tahapan penelitian tersaji secara lebih jelas, terstruktur, dan mudah diikuti.

Pada penelitian ini, alur dimulai dari tahap Start/Mulai, kemudian dilanjutkan dengan pengumpulan data, yaitu proses mencari dan menghimpun literatur yang relevan sebagai dasar teoritis dalam pelaksanaan penelitian. Setelah itu, dilakukan analisis data, yaitu proses memilah dan memilih data yang akan digunakan sebagai penunjang penelitian.

Tahap berikutnya adalah perancangan sistem, yang mencakup penyusunan desain, diagram kerja, serta rancangan wiring atau konfigurasi perangkat. Setelah desain selesai, dilakukan implementasi, yaitu proses menerapkan rancangan menjadi sebuah sistem atau perangkat yang dapat diuji. Selanjutnya dilakukan pengujian sistem untuk mengetahui tingkat keberhasilan dan kesesuaian hasil implementasi dengan rancangan awal. Hasil pengujian kemudian masuk ke tahap analisis sistem, yaitu proses pencatatan, pengamatan, dan penilaian terhadap performa sistem.

Tahap terakhir adalah kesimpulan, yang berisi penjelasan mengenai kesesuaian hasil penelitian dengan tujuan dan perencanaan awal. Diagram alir pada penelitian ini disajikan pada Gambar 1 sebagai panduan pelaksanaan penelitian secara terstruktur.

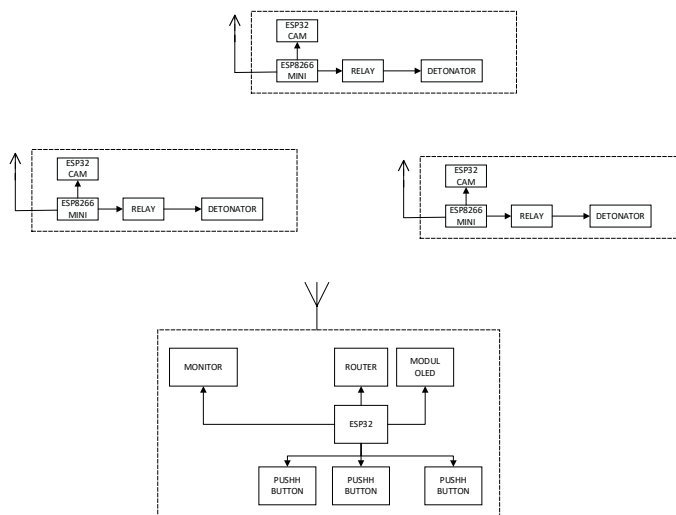
Melalui penyusunan diagram alir tersebut, penelitian diharapkan dapat dilaksanakan secara terukur, sistematis, dan sesuai jadwal, sehingga hasil yang diperoleh dapat maksimal sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan. Diagram alir juga memastikan setiap tahapan penelitian berlangsung berurutan dan tidak menimbulkan kendala selama proses pelaksanaan.



Gambar 1. Alur Penelitian

Blok Diagram

Blok diagram digunakan untuk menggambarkan arsitektur dan hubungan antar komponen dalam sistem monitoring kegiatan peledakan pada latihan serangan munisi tajam. Diagram ini menunjukkan alur kerja serta keterhubungan setiap bagian sistem yang beroperasi secara terkoordinasi. Ilustrasi lengkap blok diagram sistem dapat dilihat pada Gambar 2.



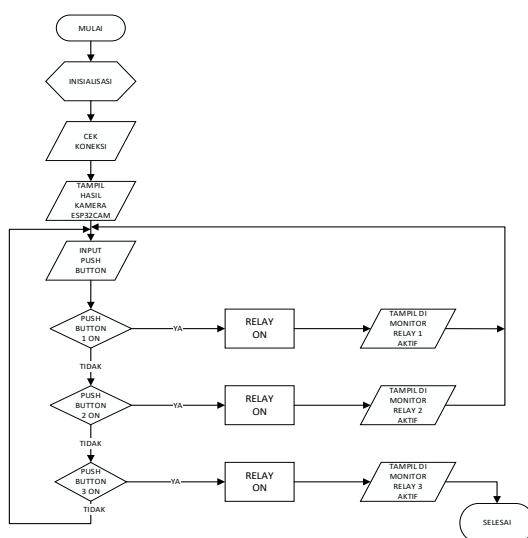
Gambar 2. Blok Diagram Sistem

Pada Gambar 2. diperlihatkan susunan blok diagram yang menjelaskan alur kerja sistem monitoring peledakan. Adapun fungsi setiap komponen dalam blok diagram tersebut adalah sebagai berikut:

- a. ESP32-CAM
Komponen ini berperan sebagai perangkat akuisisi visual yang bertugas menangkap gambar maupun video di sekitar area peledakan. Informasi visual yang diperoleh kemudian dikirimkan secara langsung ke pusat kendali melalui jaringan Wi-Fi, sehingga proses pemantauan dapat dilakukan secara real-time.
- b. Monitor dan Web Interface
Data visual yang diterima melalui jaringan internet ditampilkan pada monitor melalui antarmuka berbasis web. Web interface berfungsi sebagai penghubung sekaligus media penyajian informasi secara real-time, sehingga operator dapat memantau kondisi lapangan dan melihat status sistem secara menyeluruh.
- c. Push Button
Terdapat tiga tombol fisik yang digunakan operator sebagai kontrol manual untuk mengaktifkan masing-masing titik peledakan. Push button ini menjadi sarana input langsung saat operator mengendalikan proses detonasi di lapangan.
- d. Router
Router berfungsi mengatur komunikasi data antara unit ESP32 utama dengan perangkat ESP32-CAM yang berada di lokasi peledakan. Perangkat ini memastikan koneksi jaringan tetap stabil sehingga proses pengiriman data berjalan tanpa gangguan.
- e. Modul OLED
Modul tampilan OLED digunakan untuk menampilkan informasi status sistem secara real-time, seperti kondisi konektivitas jaringan, status aktivasi detonator, maupun sinyal yang diterima dari kamera. Komponen ini membantu operator memperoleh informasi cepat terkait kondisi operasional sistem

Flowchart

Selanjutnya, sistem masuk ke tahap pembacaan input push button. Setiap tombol yang ditekan (PB1, PB2, atau PB3) akan memicu pengaktifan relay yang sesuai. Ketika salah satu tombol ditekan, relay terkait akan diaktifkan dan sistem menampilkan status bahwa relay tersebut telah aktif. Jika tidak ada tombol yang ditekan, sistem kembali ke proses pengecekan input hingga ada interaksi pengguna. Proses berulang ini terus berjalan sampai seluruh tahapan selesai dan sistem masuk ke kondisi akhir.



Gambar 3. Flowchart Sistem

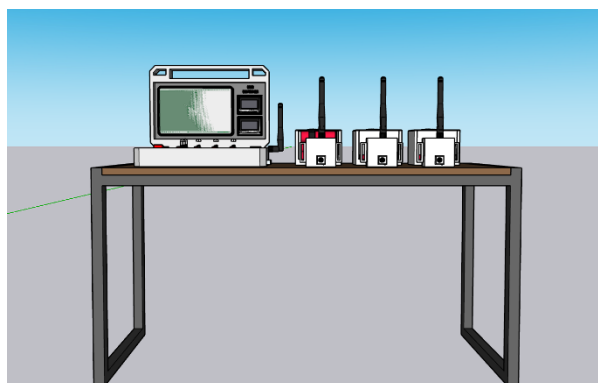
Perancangan Sistem

Perancangan sistem mencakup serangkaian komponen yang nantinya akan diintegrasikan sehingga membentuk satu kesatuan sistem kerja yang utuh. Seluruh rangkaian dirancang untuk mendukung proses operasional sistem monitoring yang akan diimplementasikan. Adapun elemen-elemen utama dalam perancangan sistem ini dijelaskan sebagai berikut.

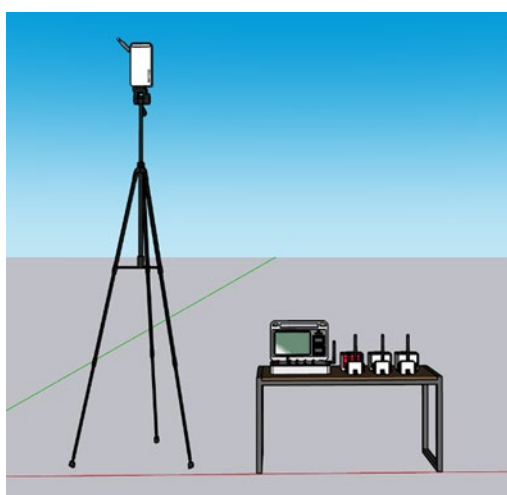
Desain Alat

Desain sistem monitoring pada penelitian ini memanfaatkan modul ESP32-CAM sebagai komponen utama untuk melakukan proses pengambilan dan pengiriman citra secara nirkabel. Modul ini dilengkapi kamera OV2640 yang mampu menghasilkan gambar dengan resolusi mulai dari VGA hingga UXGA serta mendukung *streaming video secara real time*. Sistem tidak menggunakan sensor pendeteksi gerakan tambahan, sehingga seluruh aktivitas pemantauan dan akuisisi gambar dikendalikan secara manual melalui antarmuka web.

Pengguna yang berada dalam jaringan WiFi yang sama dengan ESP32-CAM dapat mengakses web *interface* untuk mengendalikan proses pemotretan maupun memulai *streaming video* selama kegiatan *monitoring* alat peledakan berlangsung. Setiap hasil tangkapan gambar dapat disimpan secara otomatis ke media penyimpanan microSD yang terpasang pada modul, sehingga memudahkan proses dokumentasi dan evaluasi saat latihan serangan munisi tajam.



Gambar 4. Tampilan Desain Alat Tampak Depan



Gambar 5. Tampilan Desain Alat Keseluruhan

Tabel 1. Spesifikasi Desain Alat

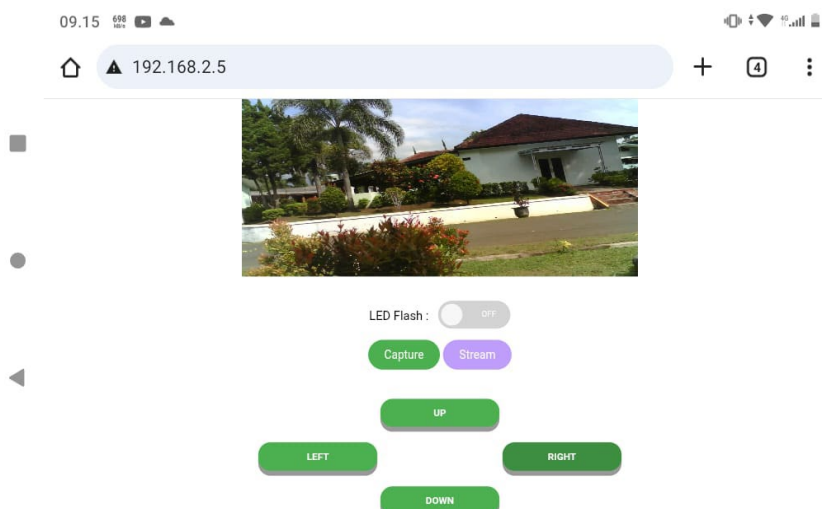
No	Nama Assembly	Bahan	Spesifikasi
1	Box Kontrol	Karbon	Panjang = 29 Cm
			Lebar = 20 Cm
			Tinggi = 9 Cm
2	Antena	Plastik	Panjang = 8,5 Cm
3	Box Monitoring	Plastik	Panjang = 14,5 Cm
			Lebar = 9,5 Cm
			Tinggi = 5 Cm
4	Box ESP32-Cam	Plastik	Panjang = 4,5 Cm
			Lebar = 3,5 Cm
			Tinggi = 2,5 Cm
5	Tripod	Almunium	Panjang = 180 Cm

Desain Sistem

Desain sistem monitoring berbasis ESP32-CAM ini dikembangkan untuk mendukung pemantauan area latihan peledakan secara real-time melalui fitur streaming video dan akuisisi gambar. Sistem memanfaatkan modul ESP32-CAM yang dilengkapi kamera OV2640 dan konektivitas WiFi sebagai pusat pengendali utama. Melalui modul ini, proses pengambilan gambar dapat dilakukan secara langsung, disimpan ke dalam microSD, ataupun dikirimkan menuju server sesuai kebutuhan dokumentasi.

Akses monitoring diberikan melalui antarmuka web, di mana pengguna dapat melihat tayangan video langsung, melakukan pengambilan gambar secara manual, serta memantau kondisi area peledakan dari jarak aman. Seluruh rancangan sistem ini disusun agar mudah dioperasikan, mampu bekerja secara mandiri, serta mendukung proses dokumentasi kegiatan latihan serangan munisi tajam secara efisien.

Konsep desain tampilan monitoring dirancang untuk menampilkan visualisasi area peledakan pada halaman web yang terhubung dengan kamera ESP32-CAM. Tampilan ini menjadi bagian penting dalam memastikan informasi dari kamera dapat ditampilkan secara jelas dan responsif. Rancangan antarmuka monitoring tersebut diilustrasikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Konsep Tampilan Monitoring

PENGAMBILAN DATA

Pengambilan data dalam penelitian ini mencakup dua jenis data, yaitu data primer dan data sekunder. Kedua jenis data tersebut digunakan untuk memastikan sistem monitoring berbasis ESP32-CAM dapat bekerja secara optimal sesuai kebutuhan pemantauan pada latihan serangan munisi tajam.

Pengambilan Data Primer

Data primer diperoleh langsung melalui serangkaian pengujian lapangan untuk mendapatkan informasi teknis yang diperlukan dalam perancangan dan evaluasi sistem. Parameter yang diukur meliputi: Jangkauan efektif pemantauan ESP32-CAM, yaitu jarak minimal dan maksimal di mana perangkat masih dapat mengirimkan video real-time secara stabil pada kondisi latihan serangan munisi tajam. Kemampuan router dalam distribusi sinyal, khususnya sejauh mana jaringan WiFi dapat menjangkau perangkat ESP32-CAM tanpa mengalami gangguan atau penurunan kualitas koneksi.

Pengambilan Data Sekunder

Data sekunder diperoleh dari berbagai literatur dan publikasi ilmiah yang relevan dengan penelitian ini. Sumber tersebut meliputi jurnal yang membahas tentang teknologi dan karakteristik mikrokontroler ESP32-CAM, referensi sistem kontrol dan aktuator seperti motor servo bila digunakan dalam studi komparatif serta kajian komponen pendukung lain yang berkaitan dengan implementasi sistem monitoring berbasis jaringan nirkabel.

Data sekunder ini digunakan untuk memperkuat landasan teori serta membandingkan kinerja sistem yang dirancang dengan penelitian terdahulu.

Spesifikasi yang Diharapkan

Melalui proses pengumpulan data tersebut, penelitian ini menargetkan beberapa capaian spesifikasi sistem, antara lain sistem monitoring berbasis ESP32-CAM mampu bekerja secara stabil dan andal, baik dalam pengiriman gambar maupun streaming video selama kegiatan latihan berlangsung. Sistem monitoring dapat meningkatkan aspek keselamatan personel, dengan menyediakan visualisasi area peledakan secara real-time sehingga operator dapat memantau situasi dari jarak aman.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan rangkaian pengujian yang telah dilakukan, diperoleh data performa dari setiap komponen sistem monitoring. Analisis dilakukan pada tiap bagian rangkaian untuk memastikan kesesuaian fungsi dengan kebutuhan pemantauan area peledakan. Adapun hasil pengujian sistem dapat dijelaskan sebagai berikut.

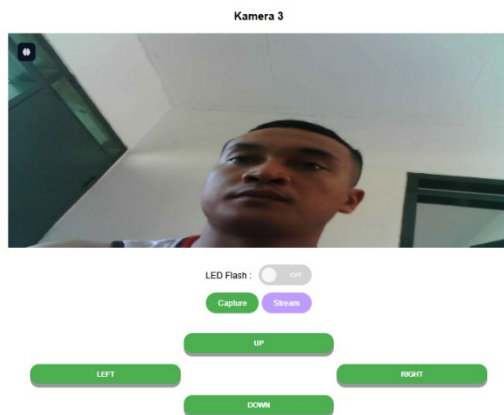
Pengujian modul kamera pada sistem monitoring berbasis ESP32-CAM menunjukkan bahwa perangkat mampu menyediakan tangkapan visual yang memadai untuk kebutuhan observasi area peledakan. Pengujian dilakukan pada berbagai kondisi pencahayaan untuk mengetahui stabilitas performa kamera.

Secara umum, kamera mampu menghasilkan gambar dan video dengan tingkat kejernihan yang baik pada kondisi cahaya normal hingga sedikit redup. Namun, pada lingkungan dengan pencahayaan sangat rendah tanpa bantuan lampu tambahan, kualitas visual mengalami penurunan cukup signifikan. Resolusi yang digunakan pada pengujian adalah 640×480 (VGA), dipilih untuk memperoleh keseimbangan antara kualitas gambar dan kecepatan transmisi data.

Untuk kebutuhan live streaming, kamera mampu menghasilkan frame rate rata-rata 15–18 FPS dengan jeda transmisi kurang dari satu detik saat terhubung pada jaringan WiFi yang stabil. Fitur pengambilan gambar melalui antarmuka web berjalan tanpa kendala, dan seluruh dokumen visual dapat tersimpan secara otomatis ke dalam microSD yang terpasang pada modul.

Pada sistem monitoring ini digunakan tiga unit kamera ESP32-CAM untuk mengamati beberapa titik pengawasan secara bersamaan. Ketiga kamera menunjukkan performa yang stabil dan responsif selama proses pengujian. Secara keseluruhan, hasil pengujian membuktikan bahwa modul ESP32-CAM mampu

memenuhi kebutuhan monitoring visual pada latihan serangan munisi tajam. Dokumentasi hasil pengujian kamera ditampilkan pada Gambar 7.

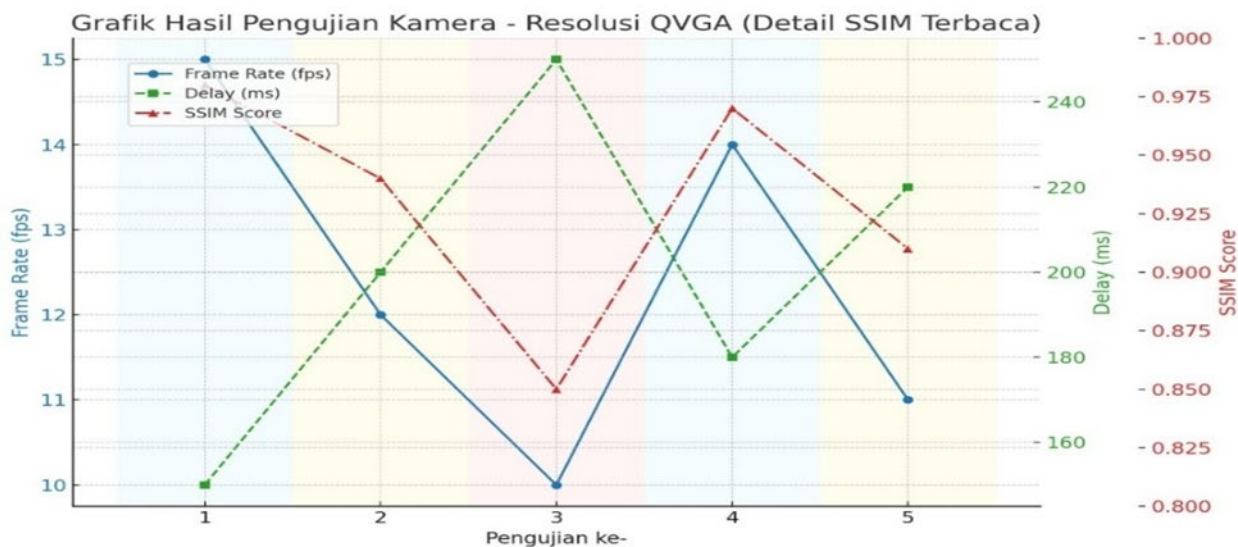


Gambar 7. Hasil Pengujian Kamera

Hasil pengujian kamera pada berbagai resolusi tangkapan: QVGA, VGA, SVGA, dan UXGA

Tabel 2. Pengujian Resolusi QVGA

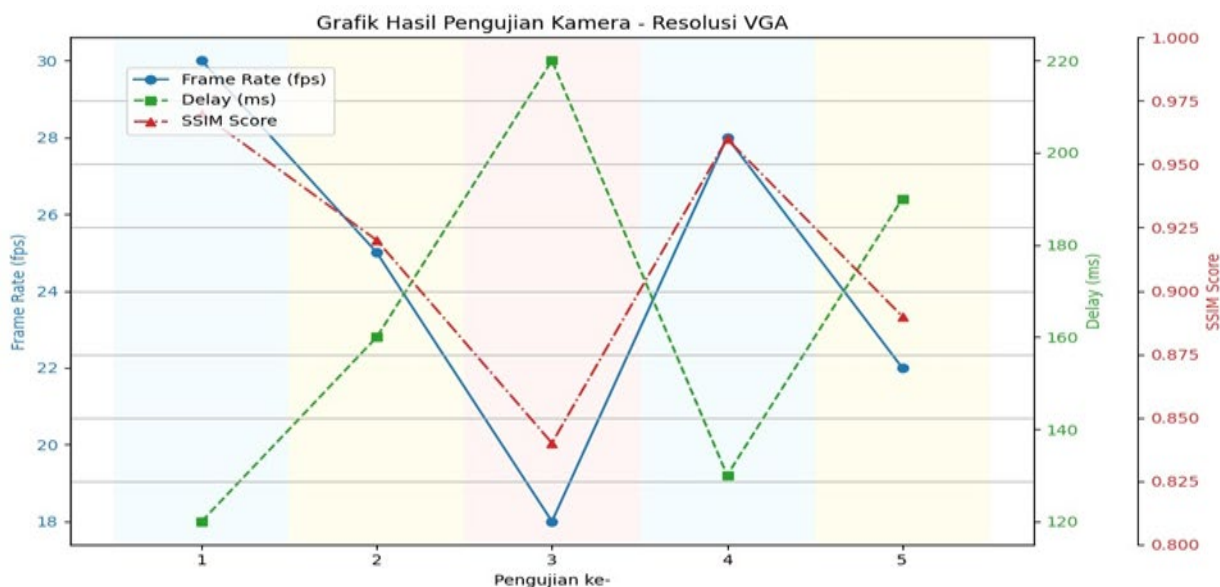
No	Kondisi Cahaya	FPS (Frame/s)	Delay (ms)	SSIM Score	Keterangan
1	Terang	15	150	0.98	Gambar sangat jelas, sasaran dapat dilihat dengan baik
2	Sedang	12	200	0.94	Gambar sedikit buram, sasaran masih terdeteksi
3	Gelap	10	250	0.97	Gambar sangat kabur, sasaran sulit dilihat
4	Terang	14	180	0.91	Gambar jelas, dengan focus yang baik
5	Sedang	10	220	0.98	Gambar sedikit buram, sasaran masih bisa terlihat



Gambar 8. Grafik Hasil Pengujian Kamera-Resolusi QVGA

Tabel 3. Pengujian Resolusi VGA

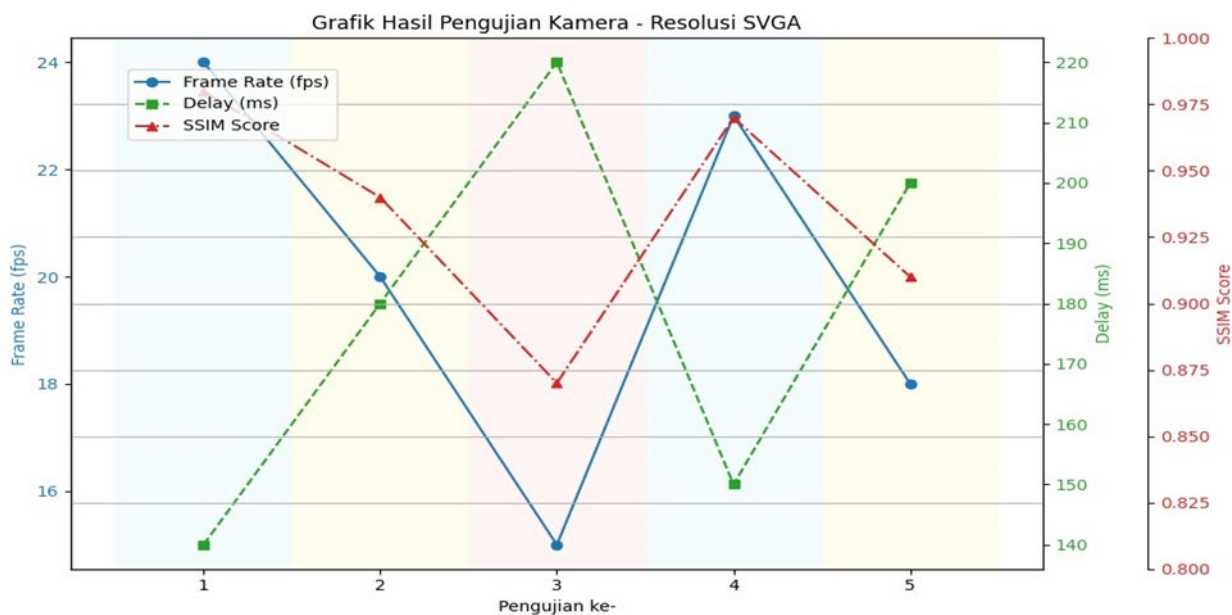
No	Kondisi Cahaya	FPS (Frame/s)	Delay (ms)	SSIM Score	Keterangan
1	Terang	30	120	0.97	Gambar sangat jelas, sasaran terlihat dengan baik
2	Sedang	25	160	0.92	Gambar sedikit buram, sasaran masih terdeteksi
3	Gelap	18	220	0.84	Gambar sangat kabur, sasaran sulit dilihat
4	terang	28	130	0.96	Gambar jelas dengan focus yang baik
5	sedang	22	190	0.89	Gambar sedikit buram, sasaran masih bisa terlihat



Gambar 9. Grafik Hasil Pengujian Kamera-Resolusi VGA

Tabel 4. Pengujian Resolusi SVGA

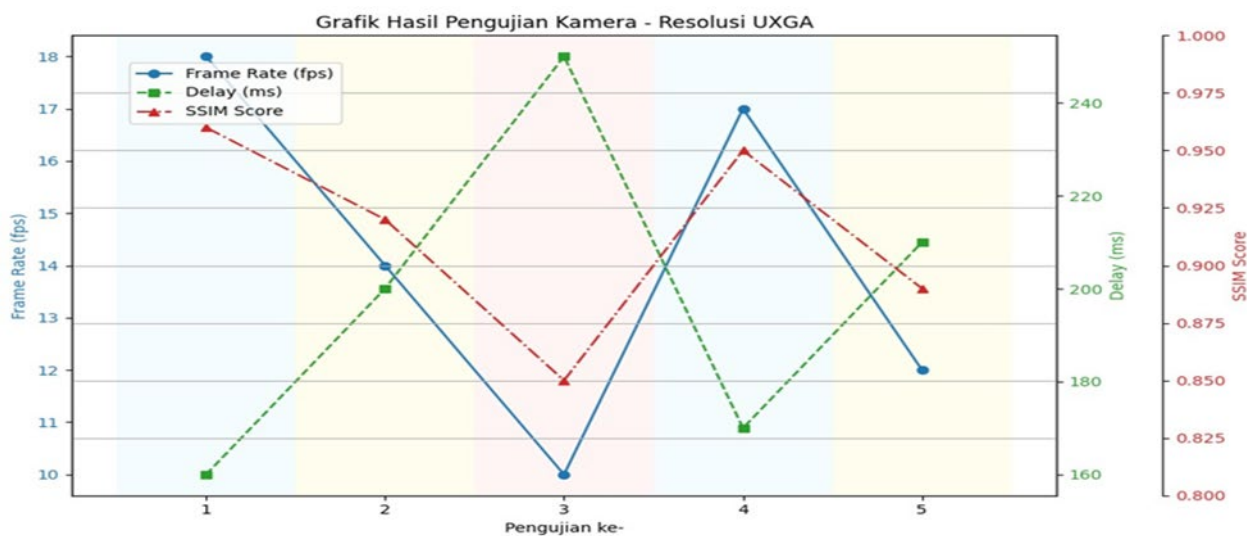
No	Kondisi Cahaya	FPS (Frame/s)	Delay (ms)	SSIM Score	Keterangan
1	Terang	24	140	0.98	Gambar sangat jelas, sasaran terlihat dengan baik
2	Sedang	20	180	0.94	Gambar sedikit buram, sasaran masih terdeteksi
3	Gelap	15	220	0.87	Gambar sangat kabur, sasaran sulit dilihat
4	Terang	23	150	0.97	Gambar jelas dengan focus yang baik
5	Sedang	18	200	0.91	Gambar sedikit buram, sasaran masih bisa terlihat



Gambar 10. Grafik Hasil Pengujian Kamera-Resolusi SVGA

Tabel 5. Pengujian Resolusi UXGA

No	Kondisi Cahaya	FPS (Frame/s)	Delay (ms)	SSIM Score	Keterangan
1	Terang	18	160	0.96	Gambar sangat jelas, sasaran terlihat dengan baik
2	Sedang	14	200	0.92	Gambar sedikit buram, sasaran masih terdeteksi
3	Gelap	10	250	0.85	Gambar sangat kabur, sasaran sulit dilihat
4	Terang	17	170	0.95	Gambar jelas dengan focus yang baik
5	Sedang	12	210	0.89	Gambar sedikit buram, sasaran masih bisa terlihat



Gambar 11. Grafik Hasil Pengujian Kamera-Resolusi UXGA

Pembahasan

Pembahasan hasil pengujian disusun untuk memberikan gambaran menyeluruh mengenai kinerja sistem monitoring yang telah dikembangkan. Analisis dilakukan berdasarkan data hasil pengujian setiap komponen dan fitur sistem, sehingga dapat diketahui sejauh mana rancangan memenuhi kebutuhan operasional pada kegiatan pemantauan latihan serangan munisi tajam. Evaluasi ini juga digunakan sebagai dasar untuk menilai efektivitas implementasi sistem dalam kondisi lapangan yang sesungguhnya.

Pengujian kamera ESP32-CAM dilakukan untuk mengetahui kemampuan modul dalam melakukan pemantauan visual pada area latihan peledakan. Fokus pengujian diarahkan pada performa kamera ketika menangkap gambar dan video, serta kestabilannya dalam menyediakan data visual secara real-time. Evaluasi dilakukan dengan memperhatikan beberapa aspek teknis agar diperoleh gambaran yang akurat mengenai kualitas pemantauan.

Parameter yang dianalisis pada kamera ESP32-CAM meliputi:

- a) Resolusi tangkapan (QVGA, VGA, SVGA, UXGA) untuk menilai tingkat ketajaman gambar pada berbagai tingkat pengaturan.
- b) Frame per second (FPS) untuk mengetahui kelancaran video streaming dalam kondisi koneksi WiFi yang berbeda.
- c) Kejernihan visual (clarity) untuk menilai kemampuan kamera menghasilkan gambar yang informatif bagi kebutuhan monitoring.
- d) Waktu tunda (delay) pengambilan gambar, baik ketika mengambil foto maupun saat streaming

Berdasarkan hasil pengujian pada berbagai tingkat resolusi dan kondisi pencahayaan, diperoleh sejumlah temuan signifikan. Peningkatan resolusi dari QVGA hingga UXGA menyebabkan penurunan nilai frame per second (FPS) dari 18 FPS menjadi 6 FPS, disertai peningkatan delay dari 80 ms menjadi 150 ms. Kondisi ini menunjukkan adanya kompromi antara ketajaman gambar dan kecepatan proses transmisi data. Selain itu, kualitas pencahayaan turut memengaruhi hasil tangkapan visual yang dinilai menggunakan parameter SSIM. Pada kondisi cahaya terang, nilai SSIM tercatat lebih tinggi (QVGA: 0,92 dan VGA: 0,95), yang menandakan gambar tampil lebih jelas dan detail. Sebaliknya, pada kondisi cahaya redup hingga gelap, nilai SSIM mengalami penurunan (SVGA: 0,87 dan UXGA: 0,79), sehingga kualitas visual yang dihasilkan juga menurun.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian yang telah dilakukan, sistem monitoring kegiatan peledakan berbasis ESP32CAM dapat berfungsi secara efektif dalam mendukung pelaksanaan latihan serangan munisi tajam. Sistem mampu menyediakan pemantauan visual secara real-time melalui jaringan WiFi serta menghasilkan gambar dan video yang cukup representatif untuk kebutuhan evaluasi lapangan. Pengujian kamera menunjukkan bahwa kualitas visual sangat dipengaruhi oleh resolusi dan tingkat pencahayaan, di mana peningkatan resolusi memberikan detail lebih baik namun menurunkan FPS dan meningkatkan delay. Pada pencahayaan terang, nilai SSIM lebih tinggi sehingga memberikan hasil tangkapan gambar yang lebih optimal.

Selain itu, integrasi ESP32CAM dengan antarmuka web memungkinkan operator melakukan pemantauan dan pengendalian secara praktis, tanpa memerlukan perangkat tambahan. Kinerja jaringan juga terbukti stabil selama perangkat berada dalam jangkauan router. Secara keseluruhan, sistem ini dapat meningkatkan efektivitas pengawasan, mendukung keselamatan personel, serta memberikan data visual yang bermanfaat untuk analisis hasil latihan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih dan apresiasi yang sebesar-besarnya kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan selama proses penelitian dan penulisan jurnal ini. Terima kasih disampaikan kepada institusi serta staf jurusan Elektronika yang telah menyediakan sarana dan prasarana penelitian, juga kepada pembimbing dan rekan-rekan yang memberikan bimbingan, saran, serta bantuan teknis selama kegiatan penelitian berlangsung. Penulis turut menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang terlibat, baik secara langsung maupun tidak langsung, sehingga penelitian mengenai pengembangan sistem monitoring berbasis ESP32CAM untuk latihan serangan munisi tajam dapat diselesaikan dengan baik. Semoga karya ini dapat memberikan kontribusi positif bagi pengembangan sistem pemantauan dan penelitian di bidang terkait.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. P. Wisेशa, N. Rahman, S. Muda, and F. Kholid, "Sistem Monitoring Suhu Pada Kegiatan Lapangan Personel TNI-AD Berbasis Internet of Things (IoT) Menggunakan Bot Telegram Secara Real Time," vol. 5, no. 2, pp. 299–308, 2024.
- [2] P. Wirayudha, D. Widiatmoko, A. Sridaryono, M. Syafaat, and K. Kasiyanto, "Pemanfaatan Modul Lora SX1278 Sebagai Sistem Telekontrol pada Robot Penjaga," *Reslaj Relig. Educ. Soc. Laa Roiba J.*, vol. 6, no. 3, pp. 2201–2211, 2024, doi: 10.47467/reslaj.v6i3.6102.
- [3] A. W. Sianturi, D. Widiatmoko, F. Kholid, and J. Saputra, "Sistem monitoring pendeteksi kantuk prajurit menggunakan pulse sensor berbasis android untuk kesiapsiagaan dalam melaksanakan tugas The monitoring system for detecting soldier drowsiness uses an Android- based pulse sensor for readiness in carrying out tasks," vol. 5, pp. 112–120, 2024, doi: 10.37373/infotech.v5i1.1174.
- [4] C. Lamasiudju, R. Laila, S. A. Pratama, and M. Y. Pusadan, "Pengembangan sistem keamanan kamera pengawas berbasis internet of things (iot) dengan teknologi deteksi objek menggunakan raspberry pi dan notifikasi telegram," vol. 10, no. 4, pp. 3443–3456, 2025.
- [5] A. Firmansyah, S. Sucipto, A. S. Wardani, and M. Syafaat, "Implementasi Layanan PPPOE dan Hotspot Dalam Satu Interface Pada Warung Priboemi Menggunakan Metode VLAN," *JSITIK J. Sist. Inf. dan Teknol. Inf. Komput.*, vol. 3, no. 2, pp. 77–92, 2025, doi: 10.53624/jsitik.v3i2.550.
- [6] A. Sugiarta, D. Widiatmoko, M. Syafaat, A. Achmad, and I. Asif, "Biomechanic-Based Design of Knee Protector Generator for Portable Electricity Generation to Support Military Operations in the Field," vol. 5, no. 2, pp. 159–170, 2023, doi: 10.30812/bite/v5i2.3649.
- [7] G. Algorithm, O. With, L. To, C. The, P. Health, and O. F. H. Visitors, "GENETIC ALGORITHM OPTIMIZATION WITH MACHINE," vol. 12, pp. 7–15, 2025.
- [8] M. R. Duwila, M. Syafaat, K. Kasiyanto, and A. A. Irwansyah, "Prototype Sistem Tata Gudang Otomatis Pada Gudang Kaporlap Di Satuan Bekang Tni Ad Berbasis Plc," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 12, no. 3, pp. 2043–2049, 2024, doi: 10.23960/jitet.v12i3.4604.
- [9] S. Omar, "Optimizing the Personnel Position Monitoring System Using the Global Positioning System in Hostage Release," vol. 8, no. 1, pp. 94–110, 2024.
- [10] N. Prastyanto *et al.*, "RANCANG BANGUN REGULATOR CAPASITOR BANK DESIGN AND CONSTRUCTION OF BANK CAPACITY REGULATOR USING FAST CHARGE METHOD FOR MILITARY BOOT SHOES," pp. 1–7.
- [11] Birawan Sulistiyono, "MODIFIKASI GEOMETRI PELEDAKAN (BLASTING) UNTUK MENINGKATKAN EFEKTIVITAS PELEDAKAN (BLASTING) DI QUARRY Studi Kasus : Proyek Pembangunan Bendungan Tugu, PROGRAM MAGISTER TEKNIK SIPIL MANAJEMEN KONSTRUKSI REGULER 1 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA YOGYAKARTA," 2022.

- [12] D. A. N. Kebugaran, "Jurnal Inovasi Pendidikan Kreatif Jurnal Inovasi Pendidikan Kreatif," vol. 6, pp. 149–165, 2025.
- [13] A. W. Agustina, S. P. Sitorus, R. Pane, and A. A. Ritonga, *BERBASIS ESP32-CAM DENGAN Internet of Things Sistem Kendali Keamanan Pintu Berbasis ESP32-CAM dengan Notifikasi Telegram Internet of Things*.
- [14] I. Of *et al.*, "IMPLEMENTATION OF IOT IN IMPROVING THE EFFICIENCY OF," pp. 197–205, 2024.