

RANCANG BANGUN MUATAN TELEMETRI UNTUK MONITORING SIKAP MORTIR LATIH BERBASIS IMU DAN GPS

Adhitiya Fitriyadi ¹⁾, Eko Kuncoro ²⁾, Suroto³⁾
^{1), 2), 3)}Prodi Teknik Telekomunikasi Militer. Politeknik Angkatan Darat
Jl.Raya Anggrek No.1 Junrejo, Batu, Indonesia
Email: ¹⁾aditijajinko@gmail.com, ²⁾ekokuncoro@gmail.com,
³⁾propulsion1983@gmail.com

DESIGN AND DEVELOPMENT OF TELEMETRY PAYLOAD FOR MONITORING THE ATTITUDE OF TRAINING MORTAR BASED ON IMU AND GPS

Abstract: Rocket payload testing requires an accurate monitoring system to measure attitude and position during flight. However, the limitations of conventional telemetry systems in terms of latency and data accuracy pose challenges for real-time monitoring. This study aims to design and develop a telemetry system based on IMU and GPS sensors to improve the accuracy of rocket payload attitude monitoring. The method used includes integrating sensors with a 433 MHz radio frequency communication module and testing the system in both static and dynamic conditions. The results indicate that the system can transmit telemetry data in real-time with a latency of 0.1 seconds and maintain a connection up to a distance of 1000 meters before experiencing signal loss. The collected data has minimal error in GPS coordinates and communication stability. The conclusion shows that the developed telemetry system can enhance the effectiveness of rocket monitoring during flight tests. Further development is required to extend communication range and improve power efficiency for broader applications in military and defense industry testing.

Keywords: Telemetry system, IMU, GPS, wireless communication, Ground Control Station.

Abstrak: Pengujian muatan roket memerlukan sistem pemantauan yang akurat untuk mengukur sikap dan posisi selama penerbangan. Namun, keterbatasan sistem telemetri konvensional dalam hal latensi dan akurasi data menjadi tantangan dalam pemantauan real-time. Penelitian ini merancang serta mengembangkan sistem telemetri berbasis sensor IMU dan GPS guna meningkatkan akurasi pemantauan sikap muatan roket. Metode yang digunakan meliputi integrasi sensor dengan modul komunikasi radio frekuensi 433 MHz serta pengujian sistem dalam kondisi statis dan dinamis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu mengirimkan data telemetri secara real-time dengan latensi 0,1 detik dan mempertahankan koneksi hingga jarak 1000 meter sebelum mengalami gangguan. Data yang diperoleh memiliki tingkat error minimal dalam aspek koordinat GPS dan kestabilan komunikasi. Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa sistem telemetri yang dikembangkan dapat meningkatkan efektivitas pemantauan roket dalam uji coba penerbangan. Pengembangan lebih lanjut diperlukan untuk meningkatkan jangkauan komunikasi dan efisiensi daya agar dapat diterapkan dalam berbagai skenario pengujian di lingkungan militer maupun industri pertahanan.

Kata Kunci: Sistem telemetri, IMU, GPS, komunikasi nirkabel, Ground Control Station.

PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi militer, terutama dalam sistem persenjataan berbasis roket, terus berkembang pesat guna meningkatkan efektivitas operasional serta mengurangi risiko bagi personel di lapangan. Tentara Nasional Indonesia (TNI) sebagai garda utama pertahanan negara membutuhkan teknologi mutakhir untuk mendukung berbagai misi, baik dalam situasi perang maupun operasi non-tempur. Salah satu teknologi yang berperan penting dalam sistem roket adalah muatan (payload), yang berfungsi membawa peralatan misi seperti sensor meteorologi dan perangkat telemetry guna mengumpulkan serta mengirimkan data ke stasiun penerima. (Taufik, Suksmadana, & Misbahuddin, 2020) Dalam memvalidasi akurasi serta keandalan data yang diperoleh selama peluncuran dan penerbangan, monitoring *real-time* berbasis nirkabel menjadi kebutuhan utama. Namun, pengujian roket di POLTEKAD masih menggunakan metode manual dengan pencatatan berbasis perhitungan konvensional, sehingga data yang diperoleh kurang akurat dan sulit dimanfaatkan dalam pengembangan lebih lanjut. Oleh karena itu, diperlukan sistem pemantauan sikap roket yang lebih modern guna mendukung kemajuan teknologi roket, terutama di lingkungan POLTEKAD.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini berupaya menjawab beberapa

pertanyaan utama, yakni bagaimana memanfaatkan sensor IMU dan GPS untuk mengukur data sikap muatan telemetry, bagaimana merancang rangkaian elektronika yang mampu mengumpulkan serta mengirimkan data secara *wireless* ke *ground station*, (LAPAN, 2019) serta bagaimana melakukan pengujian statis guna memastikan sistem telemetry siap digunakan dalam uji coba mortir latihan.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang algoritma pengukuran sikap muatan telemetry pada mortir latihan, mengembangkan sistem elektronik yang mendukung akuisisi serta transmisi data secara *real-time*, serta menyusun prosedur pengujian statis guna memastikan kesiapan sistem sebelum pengujian lapangan. Dalam kajian teoritik, sistem telemetry berbasis sensor IMU 10 axis—yang terdiri dari akselerometer, giroskop, magnetometer, dan barometer—dikombinasikan dengan sensor GPS untuk menentukan posisi serta ketinggian roket dari perspektif satelit. Data yang diperoleh akan dikirimkan melalui radio frekuensi 433 MHz ke *ground station* untuk analisis lebih lanjut.

Penelitian ini diharapkan turut andil pada pengembangan sistem pemantauan roket yang lebih akurat dan efisien, terutama dalam mendukung kegiatan uji coba roket di POLTEKAD. Selain itu, hasil penelitian ini dapat menjadi tambahan ilmu bagi

pengembangan teknologi serupa dalam bidang militer dan industri pertahanan di Indonesia.

Penelitian ini merupakan pengembangan penelitian sebelumnya, berupa memodifikasi metode sebelumnya agar sesuai dengan penelitian saat ini. Salah satunya penelitian yang dilakukan Anggara Trisna Nugraha dan Dadang Priyambodo ditahun 2020 mengembangkan sistem telemetry untuk pemantauan tekanan gas ruang bakar roket menggunakan sensor MPXV7002DP dan modul Pixhawk 433 MHz untuk transmisi data *real-time* hingga 150 meter. (Nugraha & Priyambodo, Development of Rocket Telemetry in Chamber Gas Pressure Monitoring with the MPXV7002DP Gas Pressure Sensor, 2020)

Selain itu penelitian oleh Teguh Arifianto dkk. ditahun 2021 mengembangkan sistem pemantauan data telemetry *real-time* untuk mendeteksi pergerakan tanah di jalur rel kereta api. Sistem menggunakan sensor LVDT, rheostat, akselerometer, dan tipping bucket rain gauge, dikendalikan oleh ATmega328p, dengan data dikirim melalui modul HC-12 dan ditampilkan pada Microsoft Visual Studio yang terhubung ke phpMyAdmin. (Arifianto, Listy, & Sunardi, 2021) Dengan penulis sama yaitu Anggara Trisna Nugraha dkk. ditahun 2021 mengembangkan sistem peluncuran roket otomatis berbasis robot beroda dengan

mikrokontroler ATmega16 dan komunikasi nirkabel XBee-Pro. (Nugraha, Ravi, & Priyambodo, Optimization of Targeting Rocket Launchers with Wheeled Robots, 2020)

Gabriel de Almeida Souza dkk. Ditahun 2019 mengembangkan sistem telemetry roket *real-time* berbiaya rendah menggunakan metode embedded avionics. Sistem terdiri dari unit avionik yang mengelola data sensor (kecepatan, rotasi, GPS, tekanan, suhu, dan waktu) serta kendali darat yang memproses dan menampilkan data secara *real-time*. (Souza, Barbosa, Ramalho, & Guarato, 2019)

Kajian teoritik yang mendukung penelitian ini mencakup beberapa komponen utama dalam sistem telemetry. Sistem IMU (Inertial Measurement Unit) berperan dalam mengukur perubahan orientasi, percepatan, dan kecepatan suatu objek secara presisi. (Sahada, Topan, Hidayatullah, & Maulidyawati, 2023) Sensor ini terdiri dari akselerometer yang mendeteksi percepatan linier pada sumbu X, Y, dan Z, giroskop yang mengukur kecepatan sudut untuk menentukan perubahan orientasi, serta magnetometer yang membantu kalibrasi arah dengan mendeteksi medan magnet bumi. Kombinasi ketiga sensor ini memungkinkan pemantauan gerakan secara *real-time* dengan tingkat akurasi tinggi, yang penting untuk menganalisis dinamika mortir latih selama pengujian.

Selain itu, modul GPS atau *Global Positioning System* berfungsi sebagai penentuan posisi geografis dan ketinggian objek berdasarkan sinyal satelit. GPS yang digunakan dalam penelitian ini mampu menerima sinyal dari berbagai sistem navigasi global seperti GPS (Amerika), GLONASS (Rusia), dan Beidou (China), sehingga meningkatkan akurasi dan kecepatan dalam penentuan posisi. (AbdulMajuid, Mohamady, Draz, & El-bayoumi, 2021) Modul ini menjadi elemen penting dalam telemetry untuk melacak lokasi serta ketinggian roket atau mortir latihan selama pengujian, memastikan bahwa data yang diperoleh akurat dan dapat dimanfaatkan untuk Analisa kedepannya.

Sistem komunikasi nirkabel, digunakan modul radio frekuensi 433 MHz yang memungkinkan transmisi data secara *real-time* ke *ground station*. (Karachalios, Kanellopoulos, & Lazarinis, 2021) Modul ini memungkinkan pengiriman informasi dari sensor IMU dan GPS secara kontinu tanpa keterlambatan signifikan, sehingga data dapat dianalisis langsung selama uji coba berlangsung.

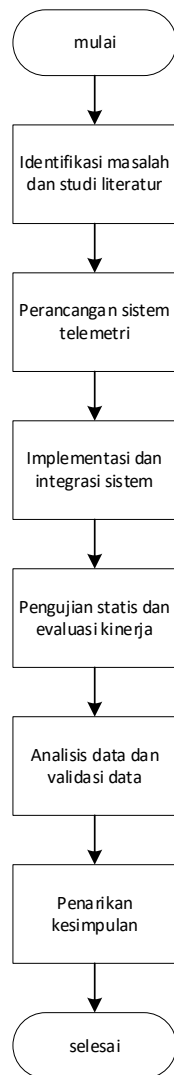
Seluruh data yang diperoleh dari sensor diolah menggunakan mikrokontroler Arduino Pro Mini, yang bertanggung jawab mengumpulkan, memproses, dan mengirimkan informasi ke sistem penerima. Arduino Pro Mini dipilih karena ukurannya

yang ringkas, konsumsi daya yang rendah, serta kompatibilitasnya dengan berbagai modul sensor dan sistem komunikasi. (Rusimamto, Endryansyah, L. Anifah, R. Harimurti, & Anistyasari, 2021)

Agar seluruh sistem dapat bekerja secara optimal, baterai LiPo (Lithium Polymer) digunakan sebagai sumber daya utama. Baterai LiPo dipilih karena memiliki densitas energi tinggi, bobot ringan, serta kemampuan untuk menyediakan arus besar secara stabil. (Umberto, Ponte, & Core, 2017) Keunggulan ini menjadikannya ideal untuk aplikasi pada perangkat elektronik portabel, termasuk sistem telemetry dalam penelitian ini. Namun, penggunaan baterai ini memerlukan pengaturan daya yang baik untuk mencegah overcharging atau over-discharging yang dapat merusak sel baterai dan mengurangi efisiensi sistem secara keseluruhan.

METODE PENELITIAN

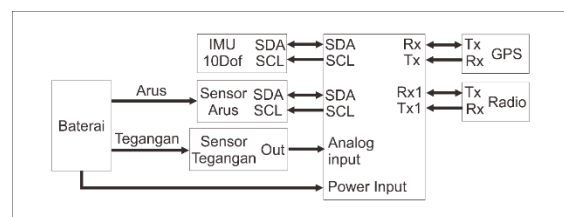
Metode yang digunakan adalah metode eksperimental dimana variable bebas yang diteliti adalah Jenis sensor yang digunakan, metode komunikasi menggunakan radio frekuensi 433 MHz dan algoritma pemrosesan data untuk pengiriman ke *Ground Control Station*. Adapun alur penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1 Diagram alir penelitian

Diawali dengan identifikasi masalah dan pengumpulan literatur untuk memahami kebutuhan sistem telemetri pada mortir latihan serta teknologi yang telah digunakan sebelumnya. Kajian ini mencakup metode transmisi data *real-time*, akurasi sensor dalam mengukur parameter gerak, serta tantangan teknis seperti latensi dan interferensi sinyal. Hasil dari tahap ini menjadi dasar dalam perancangan sistem telemetri yang sesuai.

Tahap berikutnya adalah perancangan sistem telemetri, yang mencakup pemilihan perangkat keras dan pengembangan algoritma pemrosesan data. Sensor IMU digunakan untuk mengukur orientasi dan percepatan mortir, sementara GPS melacak posisi dan kecepatan. Modul komunikasi radio frekuensi 433 MHz digunakan untuk mentransmisikan data ke *Ground Control Station* (GCS), dengan Arduino Pro Mini sebagai pusat kendali pemrosesan data sensor. Adapun diagram blok untuk rangkaian elektronika ini ditunjukkan pada Gambar 2 di bawah ini.



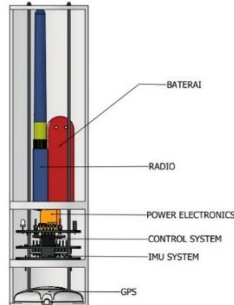
Gambar 2 Diagram blok elektronika pada muatan telemetri.

Setelah perancangan, sistem diimplementasikan dengan perakitan perangkat keras dan pengembangan perangkat lunak untuk pengolahan serta transmisi data. Bentuk dari muatan telemetri ini digambarkan pada Gambar 3. Adapun susunan data untuk pengiriman dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah ini.

Pengujian pertama dilakukan untuk memastikan semua komponen berfungsi dengan baik sebelum masuk ke tahap uji statis. Pada tahap pengujian statis, sensor -

Tabel 1 Susunan data yang dikirim dari muatan telemetri

Buffer	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
Jenis	@	.	acc_x	.	acc_y	.	acc_z	.	gyro_x	.	gyro_y	.	gyro_z	.	mag_x	.	mag_y	.	mag_z	.	barometer	.	gps_lat	.	gps_lon	.	gps_speed	.	gps_ketinggian	.	tegangan	.	arus	.



Gambar 3 Bentuk muatan telemetri

IMU dan GPS diuji untuk menilai akurasi pembacaan dibandingkan dengan alat referensi. Modul komunikasi diuji untuk menentukan jangkauan transmisi, latensi, serta kestabilan sinyal. Selain itu, konsumsi daya sistem dianalisis untuk memastikan efisiensi selama operasi.

HASIL PENELITIAN

Hasil penelitian dalam 2 pengujian, yaitu pengujian statis dan dinamis.

a. Pengujian Statis

Pengujian statis pertama adalah mengambil data tegangan total dan arus total. Didapatkan tegangan total 7,4 V dan arus total sebesar 800 mA. Pengujian selanjutnya adalah uji shock, uji getar dan uji g force, hasil ini dapat dilihat pada Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2 Hasil pengujian statis

Jenis Pengujian	Keadaan
Uji shock	Beroperasi
Uji G force	Beroperasi
Uji getar	Beroperasi

b. Pengujian Dinamis

Hasil pengujian jangkauan komunikasi muatan telemetri ditunjukkan pada Tabel 3 di bawah ini. Sedangkan bentuk data diterima ini ditampilkan pada Gambar 4.

Tabel 3 Data jangkauan komunikasi

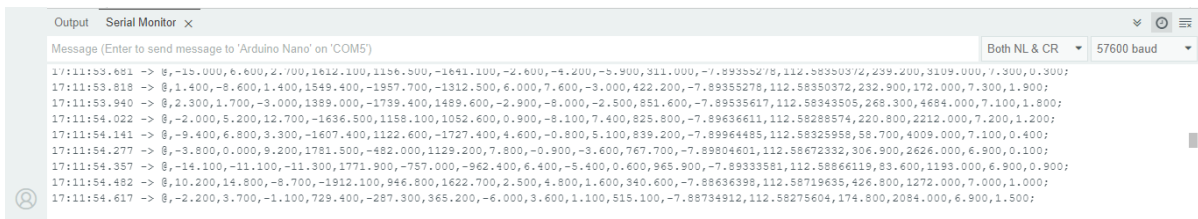
Jarak (meter)	Komunikasi
200	Tersambung
400	Tersambung
800	Tersambung
1000	Tersambung dan terputus
1200	Terputus

Pengujian GPS diuji tanpa menggunakan mortir, melainkan dengan berjalan kaku dan diambil 5 sampel dan dibandingkan menggunakan *smartphone* yang dibawah. Hasil pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 4 di bawah ini.

Tabel 4 Data pengujian GPS

No	Muatan		Smartphone	
	Latitude	Longitude	Latitude	Longitude
1	-7.869303	112.698003	-7.869309	112.698011
2	-7.869456	112.697889	-7.869443	112.697857
3	-7.869620	112.697766	-7.869624	112.697772
4	-7.869803	112.697619	-7.869803	112.697619
5	-7.870072	112.697407	-7.870075	112.697413

Pengujian terakhir dilakukan pada mortir latih, data muatan telemetri terakhir didapatkan Jarak penembakan 386 meter dengan kecepatan maksimum 385 km/h.



Gambar 4 Tampilan Serial Monitor data muatan telemetri

Gambar 4 di atas terlihat bahwa muatan telemetri dapat mengirim data dengan delay 0,1 detik, dimana data yang dikirim lengkap sesuai dengan susunan data acuan pada Tabel 1.

Analisis *error* Jarak dan masing masing koordinat dapat dilihat pada Tabel 5, dimana *error* tertinggi ada pada pengujian ke tiga dan *error* terendah terdapat pada pengujian ke empat.

Tabel 5 Data analisis *error* GPS

No	Error Jarak (m)	Error Latitude (%)	Error Longitude (%)
1	2.2	0.000076	0.000017
2	3.7	0.00014	0.000028
3	5.1	0.000051	0.000041
4	0.0	0	0
5	0.74	0.000038	0.0000053

Seluruh pengujian ini dilakukan di Lapangan Tembak Bedali Lawang di Kabupaten Malang – Jawa Timur pada cuaca cerah dan tidak ada angin kencang yang mengganggu.

PENUTUP

Penelitian ini menunjukkan bahwa sistem telemetri berbasis sensor IMU dan GPS mampu meningkatkan akurasi pemantauan data sikap muatan roket secara

real-time. Integrasi metode komunikasi nirkabel menggunakan radio frekuensi 433 MHz memungkinkan transmisi data yang stabil dari muatan ke *Ground Control Station*, sehingga mempercepat analisis dan pengambilan keputusan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem ini beroperasi dengan tingkat *error* yang minimal, baik dalam aspek koordinat GPS maupun stabilitas komunikasi data.

DAFTAR PUSTAKA

- AbdulMajuid, A., Mohamady, O., Draz, M., & El-bayoumi, G. (2021). GPS-Denied Navigation Using Low-Cost Inertial Sensors and Recurrent Neural Networks. *Aerospace Engineering*.
- Arifianto, T., Listy, A., & Sunardi. (2021). *Real-time* Telemetry Data Monitoring System on Soil Movement of Railway Tracks. *Jurnal Ilmiah Bidang Teknologi Informasi dan Komunikasi*.
- Karachalios, T., Kanellopoulos, D., & Lazarinis, F. (2021). ARDUINO SENSOR INTEGRATED DRONE FOR WEATHER INDICES: A PROTOTYPE FOR PRE-FLIGHT PREPARATION. *Journal of*

- Information Technology and Applications.*
- LAPAN. (2019). *Panduan Komurindo Kombat 2019*. Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN).
- Nugraha, A. T., & Priyambodo, D. (2020). Development of Rocket Telemetry in Chamber Gas Pressure Monitoring with the MPXV7002DP Gas Pressure Sensor. *Journal of Electronics, Electromedical, and Medical Informatics.*
- Nugraha, A. T., Ravi, A. M., & Priyambodo, D. (2020). Optimization of Targeting Rocket Launchers with Wheeled Robots. *Journal of Electronics, Electromedical Engineering, and Medical Informatics.*
- Rusimamto, P., Endryansyah, L. Anifah, R. Harimurti, & Anistyasari. (2021). Implementation of arduino pro mini and ESP32 cam for temperature monitoring on automatic thermogun IoT-based. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science.*
- Sahada, Topan, P. A., Hidayatullah, M., & Maulidyawati, D. (2023). Analisis Nilai resistansi Internal Sebagai Indikator State of Health (SOH) pada Baterai Lithium Polymer (Li-Po) menggunakan Resistor. *Jurnal Elektronika, Sains dan Sistem Energi.*
- Souza, G. d., Barbosa, L. S., Ramalho, G. S., & Guarato, A. Z. (2019). Lowcost Real Time Rocket Telemetry System Design. *ABCM Internatonal Congress of Mechanical EGINEERING.*
- Taufik, M., Suksmadana, I. M., & Misbahuddin. (2020). Sistem Monitoring Muatan (Payload) Roket Menggunakan Perangkat Komunikasi Lora SV611. *Jurnal Universitas Mataram.*
- Umberto, P., Ponte, S., & Core, G. D. (2017). Conceptual Design of a Small Hybrid Unmanned Aircraft System. *Journal of Advanced Transportation.*