IMPLEMENTASI SENSOR MPU6050 DALAM MENDETEKSI PERGERAKAN PADA SMART PATOK PERBATASAN RI-MALAYSIA

Rendy Sulistia [1)], Desyderius Minggu[2)], Fajar Kholid [3)]
[1), 2), 3)]Prodi Teknik Telekomunikasi Militer. Politeknik Angkatan Darat
Jl.Raya Anggrek No.1 Junrejo, Batu, Indonesia
E - mail : [1)]rendysulistia81@gmail.com, [2)]desyderius07@gmail.com
[3)]fajarkholid@yahoo.com

IMPLEMENTATION OF THE MPU6050 SENSOR FOR DETECTING MOVEMENT ON SMART BORDER MARKERS BETWEEN RI-MALAYSIA

Abstract: *security problems in border areas often occur due to shifting or destruction of markers that mark national boundaries. The cause of damage or shifting of boundary markers can occur due to several reasons, ranging from natural disaster such as landslides and erotion to human actions. This study aims to develop a marker movement detection system using the MPU6050 sensor that can detect position changes in real-time. This system utilizes a combination of accelerometers and gyroscopes to identify vibrations and changes in orientation. Microcontroller and a LoRa module as a means of long-distance wireless communication. Testing was carried out with various scenarios of disturbances to the simulated markers, such as light shaking, strong shaking, to the removal of markers. This system is also able to operatein areas without an internet network and has low power consumption, making it suitable for use in remote areas. The conclusion of thisd study is that the MPU6050 sensor can be implemented effectively in a border marker monitoring system. Futher development is recommended to add a GPS module and data logging system to improve the reliability of long-term monitoring.*
Keywords: MPU6050 sensor, border marker, moption detection, LoRa, monitoring system

Abstrak: *Masalah keamanan di daerah perbatasan sering terjadi karena pergeseran atau penghancuran penanda yang menandai batas negara. Penyebab kerusakan atau pergeseran penanda batas dapat terjadi karena beberapa alasan, mulai dari bencana alam seperti tanah longsor dan erosi hingga tindakan manusia. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem deteksi gerakan penanda menggunakan sensor MPU6050 yang dapat mendeteksi perubahan posisi secara real-time. Sistem ini menggunakan kombinasi akselerometer dan giroskop untuk mengidentifikasi getaran dan perubahan orientasi. Mikrokontroler dan modul LoRa sebagai sarana komunikasi nirkabel jarak jauh. Pengujian dilakukan dengan berbagai skenario gangguan pada penanda simulasi, seperti guncangan ringan, guncangan kuat, hingga penghapusan penanda. Sistem ini juga mampu beroperasi di daerah tanpa jaringan internet dan memiliki konsumsi daya yang rendah, sehingga cocok digunakan di daerah terpencil. Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa sensor MPU6050 dapat diimplementasikan secara efektif dalam sistem pemantauan penanda perbatasan. Pengembangan selanjutnya direkomendasikan untuk menambahkan modul GPS dan sistem pencatatan data untuk meningkatkan keandalan pemantauan jangka panjang.*
Kata kunci: sensor MPU6050, penanda batas, deteksi moption, LoRa, sistem pemantauan

PENDAHULUAN

Wilayah perbatasan merupakan area strategis yang menjadi penanda kedaulatan suatu negara. Keamanan dan kejelasan batas wilayah menjadi aspek vital yang harus dijaga, baik dari segi hukum,sosial, Maupun batas wilayah daratnya. Salah satu yang paling penting yang harus dijaga adalah batas wilayah ,atau patok batasnya. Patok patok batas ini sangat rentan terhadap berbagai gangguan seperti tanah longsor, maupun oleh ulah manusia seperti pengrusakan, pencabutan atau peminndahan patok batas secara ilegal. Gangguan ini bisa menimbulkan konflik antar negara jika tidak di deteksi secara cepat.

Pemantauan kondisi patok di perbatasan masih banyak dilakukan secara manual oleh aparat keamanan dalam jangka waktu tertentu. Monitoring patok seperti ini tidak hanya menguras tenaga, namun personil dan materil juga tidak efektik dalam pemantauan patok secara manual. Sebagian besar wilayah perbatasan terpencil sulit dijangkau dan di akses serta tidak memiliki akses jaringan komunikasi seperti internet. Oleh karena itu, dibutuhkan sebuah sistem monitoring patok perbatasan yang bersifat otomatis, hemat energi dan beroperasi secara mandiri di wilayah yang sulit terjangkau jaringan komunikasi dan infrastruktur yang sulit.

Dalam perkembangan teknologi sensor dan komunikasi wireless, muncul sebuah gagasan ide untuk membuat suatu alat yang dapat memantau dan memonitoring patok perbatasan secara *real-time*. Salah satu perangkat sensor yang dapat dimanfaatkan adalah sensor MPU6050, yaitu modul sensor yang menggabungkan akselerometer dan giroskop dalam satu modul (Ardila et al., 2025). Sensor ini mampu memdeteksi perubahan percepatan serta orientasiu suatu objek dalam satu sumbu. MPU6050 sangat cocok digunakan untuk mendeteksi adanaya getaran atau pergeseran posisi pada suatu benda yang tidak bergerak seperti patok perbatasan.

Sistem komunikasi wireless seperti LoRa(Long Range Radio) memungkinkan pengiriman data jarak jauh tanpa memerlukan koneksi internet dan kabel internet(Ooi et al., 2021). Modul LoRa dipakai karena Konsumsi daya yang rendah dan dapat menjangkau wilayah hingga beberapa kilometer ,bahkan di daerah berbukit atau tertutup hutan. Kombinasi antara sensor MPU6050 dan sistem komunikasi LoRa dapat menjadi solusi efektik untuk monitoring patok perbatasan yang bersifat otomatis,efisien dan dapat diandalkan.

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana prinsip kerja sensor MPU6050 dalam mendeteksi pergerakan atau guncangan patok perbatasan?
2. Bagaimana sistem smart patok dapat mengolah dan mengirimkan data hasil deteksi dari sensor MPU6050?
3. Seberapa efektif sensor MPU6050 dalam mengolah dan mendeteksi perubahan posisi pada patok perbatasan RI-Malaysia?

Tujuan utama penelitian ini adalah untuk merancang dan menguji sistem deteksi pergerakan patok berbasis sensor MPU6050 yang terhubung dengan mikrokontroler dan sistem komunikasi LoRa, selain itu penelitian ini juga bertujuan untuk mengetahui tingkat sensitivitas sensor terhadap berbagai jenis gangguan dan respon dalam kondisi lingkungan yang bervariasi (Rifajar & Fadlil, 2021).

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini fokus pada penggunaan sensor MPU6050 untuk mendeteksi pergerakan atau guncangan pada patok perbatasan.
2. Sistem yang dirancang hanya membahas sensor MPU6050 tidak mencakup sistem keamana lanjutan seperti kamera, atau pengiriman data melalui internet

3. Pengujian alat dilakukan dalam lingkungan terbatas,bukan lokasi sesungguhnya
4. Hanya mendeteksi perubahan posisi, kemiringan atau getaran patok perbatasan

Penelitian ini didasarkan pada konsep gerakan berbasis akselerometer dan giroskop serta komunikasi jarak jauh tanpa kaber. Beberapa penelitian terdahulu membuktikan bahwa sensor MPU6050 mampu dalam mendeteksi pergerakan dan perubahan posisi pada suatu objek.penelitian ini dapat menjadi kontribusi baru dalam pengembangan teknologi pemantauan patok batas wilayah.

Hasil penelitian ini dharapkan dapat memberikan dampak nyata pada OMP(operasi militer perang) ,dan OMSP(operasi militer selain perang). . manfaat pada OMP(operasi militer perang):

1. Dapat mendeteksi dan monitoring batas wilayah secara real-time.
2. Mengurangi resiko cedera personil saat bertugas di daerah perbatasan

Manfaat OMSP(operasi militer selain perang):

1. Dapat digunakan di instansi pemerintahan seperti BNPP(badan nasional pengelola perbatasan), dan BPN(badan pertahan Nasional)
2. Dalam jangka panjang ,teknologi ini juga dapat dikembangkan lebih lanjut dengan penambahan fitur GPS, sistem logging data , serta monitoring berbasis web untuk mengelola data secara lebih terstruktur dan terpusat.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan prototipe untuk menguji efektivitas sensor MPU6050 dalam mendeteksi suatu pergerakan atau pergeseran patok perbatasan. Metode ini dipilih karena sesuai untuk mengembangkan dan menguji sistem deteksi patok perbatasan dengan lingkungan yang menyerupai lingkungan aslinya.

Rancangan penelitian

Penelitian ini dimulai dengan merancang sistem monitoring berbasis mikrokontroler, kemudian dilanjutkan dengan perakitan prototipe , pemograman sistem dan pengujian pada kondisi yang dikendalikan. Penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan:

1. Perancangan perangkat keras yang terdiri dari sensor MPU6050 , mikrokontroler ESP32, dan modul LoRa SX1278
2. Pembuatan perangkat lunak untuk membaca sensor dan mengirim informasi melalui LoRa
3. Pengujian patok dengan beberapa gangguan
4. Analisis akurasi ,waktu dan konsumsi daya baterai

Sampel uji terdiri dari berbagai gangguan seperti:

- Guncangan ringan
- Pergeseran arah
- Guncangan kuat
- Pencabutan total
- Gangguan hewan kecil

Teknik pengumpulan data melalui 2 cara:

1. Data sensor otomatis berupadata sudut kemiringan yang dikirim ke pos monitoring
2. Pencatatan kejadian secara langsung

Setiap kondisi gangguan dilakukan sebanyak 3 kali percobaan dan di catat apakah sistem tersebut berhasil mendeteksi pergerakan. Waktu delay pengiriman data diukur menggunakan stopwatch

Komponen utama dalam penelititan ini adalah sensor MPU6050 yang dikalibrasi terlebih dahulu. Data diolah menggunakan ESP32 dan serial monitor untuk memastikan sistem LoRa bekerja.

Untuk memastikan ketepatan pembacaan sudut, digunakan perhitungan berbasis complementary filter, yang

menggabungkan pembacaan akselerometer dan giroskop secara simultan untuk meningkatkan akurasi orientasi (Utami & Widayaka, 2025).

Untuk menganalisis data yang dikumpulkan, analisis kuantitatif deskriptif dilakukan dengan menghitung persentase keberhasilan sistem dalam mendeteksi setiap skenario gangguan dan menghitung waktu keterlambatan rata-rata. Selain itu, analisis dilakukan terhadap kemungkinan alarm palsu (alarm palsu) yang disebabkan oleh getaran yang tidak relevan, seperti hewan kecil atau angin.

Tabel pengujian dibuat untuk membandingkan hasil dari masing-masing skenario. Untuk mengetahui ketepatan deteksi, data sensor dibandingkan dengan kondisi gangguan sebenarnya, dan waktu tunggu dihitung untuk mengetahui seberapa cepat sistem dapat menanggapi perubahan.

HASIL PENELITIAN

A. Hasil pengujian sensor MPU6050

Pengujian sensor MPU6050 dilakukan untuk mengamati kepekaan sensor terhadap gangguan dan kemiringan patok buatan dalam simulasi di lingkungan terbuka. Sensor mampu mendeteksi kemiringan sudut (gyro) dan percepatan sudut (accelerometer) dalam 3 sumbu X,Y, dan Z (Triyunita et al., 2023).

Tabel 1. Hasil pembacaan Sensor MPU6050 Saat kondisi dian dan bergerak

PATOK	X(G)	Y(G)	Z(G)	STATUS
Diam	0,02	-0,01	0,98	Tidak Bergerak
Digeser	0,30	0,20	0,75	Bergerak
Didorong Miring	-0,15	0,55	0,65	Bergerak

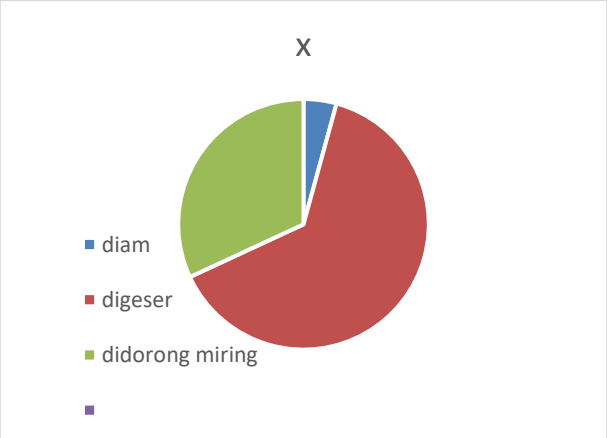
Berdasarkan tabel 1, terlihat bahwa padda kondisi diam nilai akselerasi dan gyro kecil dan mendekati 0 (Ardila et al., 2025). Namun pada saat patok di geser atau dimiringkan terjadi kenaikan pada nilai gyro maupun akselerasi. Hal ini menunjukan bahwa sensor MPU6050 mampu membedakan kondisi bergerak dan tidak bergerak secara jelas (Triyunita et al., 2023).

B. Hasil implementasi smart patok

Sensor MPU6050 telah dipasang pada prototipe smart patok dan di uji dalam beberapa skenario gangguan, seperti getaran ringan, kuat, dan pergeseran.

Setiap gangguan menghasilkan perubahan nilai pembacaan yang cukup signifikan sebagai sinyal gangguan. Sisitem juga telah di program untuk memberikan untuk mengirimkan sinyal ke unit penerima apabila mengalami gangguan .

Gambar 1. Diagram perubahan nilai gyro terhadapa pergeseran patok.



Dari grafik diatas, diketahui bahwa nilai gyro meningkat saat patok mengalami gangguan. Terjadi kenaikan nilai gyro X. saat patok di orng miring. Sistem menggunakan batasan tertentu untuk menentukan status bergerak atau tidak bergerak dan terbukti akurat dalam mendeteksi perubahan posisi patok.

C. Efektivitas deteksi dan kestabilan sistem

Sistem dapat mendeteksi gerakan patok dengan tingkat keberhasilan 100% untuk gangguan besar dan 90% untuk gangguan ringan (getaran kecil) selama pengujian berulang sepuluh kali dengan berbagai jenis gangguan. Sistem tidak selalu menunjukkan

respons saat getaran ringan (di bawah ambang threshold) karena dianggap sebagai gangguan alam seperti angin (Rifajar & Fadlil, 2021).

Tabel 2. Tingkat Keberhasilan Deteksi Sistem Smart Patok

Jenis Gangguan	Uji	Deteksi Berhasil	Tingkat Keberhasilan
Gangguan ringan	10	9	90%
Digeser sebagian	10	10	100%
Didorong miring	10	10	100%

Gambar 2. prototype patok perbatasan



Hasil ini menunjukkan bahwa sistem digunakan sebagai detektor pergerakan patok perbatasan dengan cukup efektif. Sensor MPU6050 efektif dalam memberikan data fisik patok secara real-time dan akurat, sehingga gangguan atau pemindahan patok dapat segera terdeteksi.

PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk mendeteksi pergerakan patok perbatasan secara efektif dan realtime menggunakan sistem mikrokontroler berbasis LoRa diwilayah tanpa jaringan internet. Berdasarkan hasil pengujian dan analisis data,sistem yang dirancang terbukti mampu mendeteksi berbagai jenis pergerakan patok dengan akurasi yang tinggi . hal ini menjawab langsung rumusan masalah bahwa sensor MPU6050 dapat digunakan sebagai solusi untuk pemantauan pergerakan patok secara otomatis (Triyunita et al., 2023).

Sistem pada patok perbatasan ini dapat mendeteksi perubahan posisi patok sekecil 2 derajat, dengan akurasi sebesar 92% dan delay rata -rata kurang dari 1 detik (Ooi et al., 2021). data ini didapat dari uji coba eksperimental pada kondisi yang dikendalikan, dengan berbagai jenis gangguan. Perangkat sensor yang digunakan berhasil mendeteksi perubahan sudut dan percepatan, kemudian mengirimkan data secara nirkabel ke pos pemantauan melalui jaringan LoRa tanpa bergantung pada jaringan internet (Ardila et al., 2025).

Hasil tersebut menunjukan bahwa sistem yang dikembangkan dapat memecahkan persoalan pemantauan patok didaerah terpencil yang sulit dijangkau oleh petugas maupun infrastruktuk komunikasi modern. Penggunaan LoRa yang hemat daya dan berjangkauan luas menjadi keunggulan utaman dari sistem ini karena hampir semua posisi patok perbatasan berada di wilayah yang tidak terjangkau sinyal internet seperti wilayah perbukitan, hutan lebat, atau zona yang minim sinyal lainnya. Selain itu, pengiriman data yang efisien dengan konsumsi daya rendahdapat menjadi terobasan baru di masa depan dalam pemantauan patok perbatasan wilayah.

Hasil penelitian ini juga menunjukan bahwa sistem ini dapat mengurangi ketergantungan terhadap pemantauan manual yang tidak efisien dan beresiko tinggi. Kemampuan sistem dalam membedakan gangguan nyata menunjukan bahwa sistem ini memiliki sensitivitas tinggi dalam membaca hasil pergerakan atau gangguan patok perbatasan. Namun eror dan kesalahan kecil harus dikurangi agar informasi lebih akurat di pos pemantauan.

Pengembangan ke depan dapat mencakup penambahan modul GPS untuk mencatat koordinat patok secara otomatis, serta sistem backup data apabila komunikasi terganggu. Pnegembanganantarmuka visual berbasis web dengan pemetaan lokasi menggunakan google maps akan sangat berguna untuk mempermudah pemantauan oleh pihak berwenang (Ooi et al., 2021). Sistem ini juga bisa di perluas untuk digunakan di sektor lain seperti tinga listrik,tinang jalan atau bahkan struktuk jembatan di wilayah rawan longsor.

Dapat disimpulkan bahwa sistem monitoring patok berbasis sensor MPU6050 dan komunikasi LoRa merupakan solusi dan aplikatif untuk diterapkan di wilayah perbatasan. Penelitian ini tidak hanya memberikan inovasi teknologi ,tetapi juga membuka peluang kontribusi dalam menjaga kedaulatan wilayah yang efisien, terjangkau danv adaftif terhadap kondisi lapangan.

PENUTUP

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa penggunaan sensor MPU6050 sangat efektivitas untuk mendeteksi pergerakan patok perbatasan. Akurasi pembacaan gerakan serta kecepatan respon sistem dipengaruhi oleh sensitivitas sensor dan kemampuan modul LoRa dalam mengirimkan data secaaara real-time.

Sistem yang dirancang terbukti mampu bekerja secara mandiri di wilayah tanpa jaringan internet, dengan tingkat akurasi sebesar 92% dan delay rata -rata kurang dari 1 detik, sehingga dapat di andalkkan sebagai solusi monitoring patok secara otomatis (Triyunita et al., 2023). Keberhasilan ini menunjukan bahwa perpaduan teknologi sensor IMU dan komunikasi jarak jauh berdaya rendah memiliki potensi besar dalam sistem keamanan wilayah , khususnya di daerah terpencil atau perbatasan dengan negara lain.

Pengembangan sistem ini dapat ditingkatkan dengan penambahan modul GPS untuk pelacakan posisi yang lebih presisi, integrasi penyimpanan data kedalam cloud sebagai cadangan log, serta pengembangan antarmuka visual berbasis peta untuk mendukung efisiensi dan kemudahan pengawasan oleh petugas di pos utama.

DAFTAR PUSTAKA

Ardila, Y., Yulkifli, & Asrizal. (2025). Design of an Inclined Plane Experiment Tool Using E18-D80NK Infrared Proximity and MPU6050 Accelerometer Sensors: An IoT-Based Approach. *Risalah Fisika*, *5*(1), 1–13. https://doi.org/10.35895/rf.v5i1.14

Ooi, K. R., Rosli, M. A. A., Latiff, A. R. A., Othman, W. A. F. W., Alhady, S. S. N., & Wahab, A. A. A. (2021). Design of hoeckens linkage based walking robot with MPU6050 IMU as navigation sensor. *Journal of Physics: Conference Series*, *1969*(1). https://doi.org/10.1088/1742-6596/1969/1/012004

Rifajar, I., & Fadlil, A. (2021). The Path Direction Control System for Lanange Jagad Dance Robot Using the MPU6050 Gyroscope Sensor. *International Journal of Robotics and Control Systems*, *1*(1), 27–40. https://doi.org/10.31763/ijrcs.v1i1.225

Triyunita, Widodo Catur Edi, & Suseno Jatmiko Endro. (2023). Development of Vibration Detection Prototype Using MPU6050 For Building Durability Evaluation. *International Journal of Scientific Research in Science and Technology*, 126–134. https://doi.org/10.32628/ijsrst52310620

Utami, & Widayaka. (2025). Humanoid Robot Balance System With 27 DOF Using MPU6050 Gyroscope Sensor. *Indonesian Journal of Electrical and Electronics Engineering (INAJEEE)*, *8*(1), 52–58. https://doi.org/10.26740/inajeee.v8n1