

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

Rendy sulistia¹⁾, Desiderius Minggu²⁾ dan Isa Mahfudi³⁾

¹⁾Prodi Teknik Telekomunikasi Militer, Politeknik Angkatan Darat

²⁾Jurusan Teknik Telekomunikasi Militer, Poltekad

³⁾Prodi Teknik Telekomunikasi Militer, Poltekad

rendysulistia81@gmail.com¹⁾

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 erosion 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 operate in areas without an internet network and has low power consumption, making it suitable for use in remote areas. The conclusion of this study is that the MPU6050 sensor can be implemented effectively in a border marker monitoring system. Further 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, motion detection, LoRa, monitoring system

Abstrak: Permasalahan keamanan di wilayah perbatasan sering terjadi akibat pergeseran atau kerusakan patok yang menandai batas negara. Penyebab kerusakan atau pergeseran patok batas bisa terjadi oleh beberapa sebab, mulai dari bencana alam seperti tanah longsor dan erosi hingga ulah oknum manusia sendiri. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem deteksi pergerakan patok menggunakan sensor MPU6050 yang dapat mendeteksi perubahan posisi secara *real time*. Sistem ini memanfaatkan gabungan akselerometer dan giroskop untuk mengidentifikasi getaran dan perubahan orientasi. Penelitian dilakukan dengan metode eksperimen menggunakan ESP32 sebagai mikrokontroler dan modul LoRa sebagai sarana komunikasi nirkabel jarak jauh. Pengujian dilakukan dengan berbagai skenario gangguan pada patok simulasi, seperti goyangan ringan, guncangan kuat, hingga pencabutan patok. Sistem ini juga mampu beroperasi di wilayah tanpa jaringan internet dan memiliki konsumsi daya rendah, sehingga cocok digunakan di daerah terpencil. Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa sensor MPU6050 dapat diimplementasikan secara efektif dalam sistem pemantauan patok perbatasan. Pengembangan lebih lanjut

direkomendasikan untuk menambahkan modul GPS dan sistem *logging* data untuk meningkatkan keandalan monitoring jangka panjang.

Kata kunci: sensor MPU6050, patok perbatasan, deteksi pergerakan, 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 sisi hukum, sosial, maupun geopolitik. Salah satu elemen penting dalam pengamanan wilayah perbatasan adalah keberadaan patok batas, yaitu tanda fisik yang ditanam di lokasi tertentu sebagai penanda resmi batas administratif antar negara. Namun, dalam praktiknya, patok-patok ini sangat rentan terhadap berbagai bentuk gangguan, baik yang disebabkan oleh alam seperti tanah longsor dan pergerakan tanah, maupun oleh ulah manusia seperti pengrusakan, pencabutan, atau pemindahan secara ilegal. Gangguan terhadap patok ini berpotensi menimbulkan konflik teritorial dan ketegangan antarnegara jika tidak dideteksi dan ditangani secara cepat.

Pemantauan kondisi patok di perbatasan masih banyak dilakukan secara manual oleh petugas atau aparat keamanan dengan frekuensi tertentu. Metode ini tidak hanya menguras sumber daya manusia dan waktu, tetapi juga memiliki keterbatasan dalam hal jangkauan dan ketepatan waktu. Terlebih lagi, sebagian besar wilayah perbatasan berada di daerah terpencil yang sulit dijangkau dan tidak memiliki akses jaringan komunikasi seperti internet. Oleh karena itu, dibutuhkan sebuah sistem pemantauan patok yang bersifat otomatis, hemat energi, dan dapat beroperasi secara mandiri di lingkungan yang minim infrastruktur.

Dalam perkembangan teknologi sensor dan komunikasi nirkabel, muncul peluang untuk mengintegrasikan perangkat elektronik mikro dengan sistem pemantauan fisik yang bersifat *real time*. Salah satu

perangkat sensor yang dapat dimanfaatkan adalah MPU6050, yaitu modul sensor yang menggabungkan akselerometer dan giroskop dalam satu unit. Sensor ini mampu mendeteksi perubahan percepatan serta orientasi suatu objek dalam tiga sumbu. Dengan kata lain, MPU6050 sangat cocok digunakan untuk mendeteksi adanya getaran atau pergeseran posisi pada suatu benda tetap, seperti patok batas.

Sistem komunikasi nirkabel seperti LoRa (*Long Range Radio*) memungkinkan pengiriman data jarak jauh tanpa memerlukan koneksi internet. Teknologi LoRa dikenal karena konsumsi dayanya yang rendah serta kemampuannya menjangkau area hingga beberapa kilometer, bahkan di daerah berbukit atau tertutup hutan. Kombinasi antara sensor MPU6050 dan komunikasi LoRa berpotensi menjadi solusi efektif untuk membangun sistem 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 pada patok perbatasan?
2. Bagaimana sistem Smart Patok dapat mengolah dan mengirimkan data hasil deteksi dari sensor MPU6050?
3. Seberapa efektif sensor MPU6050 dalam mendeteksi perubahan posisi atau gangguan fisik pada patok perbatasan RI-Malaysia?

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk merancang dan menguji sistem deteksi pergerakan patok perbatasan berbasis sensor MPU6050 yang terintegrasi dengan mikrokontroler dan sistem komunikasi LoRa, serta mengevaluasi

performa sistem dalam mendeteksi berbagai jenis gangguan terhadap patok. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengetahui tingkat sensitivitas sensor terhadap berbagai jenis pergerakan dan waktu respon sistem dalam kondisi lingkungan yang bervariasi.

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini hanya berfokus pada penggunaan sensor MPU6050 untuk mendeteksi pergerakan atau guncangan pada patok perbatasan, tanpa membahas jenis sensor lain.
2. Sistem yang dirancang tidak mencakup sistem keamanan lanjutan seperti kamera, sistem pengenalan wajah, atau pengiriman data melalui jaringan internet.
3. Pengujian alat dilakukan dalam simulasi lingkungan terbatas, bukan di lokasi perbatasan sesungguhnya antara Indonesia dan Malaysia.
4. Komunikasi data hanya dibahas secara sederhana, seperti menggunakan komunikasi serial atau LoRa, tanpa pembahasan jaringan komunikasi kompleks.
5. Sistem hanya mendeteksi perubahan posisi, kemiringan, atau getaran patok, tanpa melakukan identifikasi pelaku atau klasifikasi gangguan.

penelitian ini didasarkan pada konsep *Inertial Measurement Unit* (IMU) sebagai teknologi pengukur gerakan berbasis kombinasi akselerometer dan giroskop, serta teori dasar komunikasi nirkabel jarak jauh yang menjadi fondasi teknologi LoRa. Beberapa penelitian terdahulu telah membuktikan kehandalan MPU6050 dalam aplikasi pendeteksian gerak, seperti pada sistem pelacakan kendaraan, monitoring struktur bangunan, hingga sistem keamanan rumah pintar. Penerapan secara spesifik untuk sistem monitoring patok perbatasan dengan LoRa masih sangat jarang dilakukan, sehingga penelitian ini dapat menjadi kontribusi baru dalam pengembangan teknologi pemantauan batas wilayah.

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata pada OMP (Operasi Militer Perang) dalam pengembangan sistem keamanan wilayah perbatasan yang efisien dan adaptif terhadap tantangan geografis. Selain itu, dalam OMSP (Operasi Militer Selain Perang), sistem ini diharapkan dapat diaplikasikan dalam skala luas oleh instansi pemerintah, seperti Badan Nasional Pengelola Perbatasan (BNPP), Badan Pertanahan Nasional (BPN), atau pihak pemangku kebijakan lainnya, guna meningkatkan keandalan sistem pemantauan fisik di garis perbatasan negara. Dalam jangka panjang, teknologi ini juga dapat dikembangkan lebih lanjut dengan penambahan fitur GPS, sistem *logging* data ke SD card, serta antarmuka monitoring berbasis web untuk mengelola data secara lebih terstruktur dan terpusat.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan prototipe untuk menguji keefektifan sensor MPU6050 dalam mendeteksi pergerakan pada patok perbatasan. Metode ini dipilih karena sesuai untuk mengembangkan dan menguji sistem teknologi yang berbasis perangkat keras dan perangkat lunak secara langsung di lingkungan yang disimulasikan menyerupai kondisi lapangan.

Rancangan Penelitian

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

1. Perancangan perangkat keras (*hardware*) yang terdiri dari sensor MPU6050, mikrokontroler ESP32, dan modul LoRa SX1278.
2. Pembuatan perangkat lunak (*firmware*) yang digunakan untuk membaca data sensor dan

mengirimkan informasi melalui komunikasi LoRa.

3. Pengujian sistem dalam beberapa skenario gangguan fisik terhadap patok.
4. Analisis akurasi deteksi, waktu respon, dan konsumsi daya sistem.

Populasi dan Sampel (Sasaran Penelitian)

Karena penelitian ini bersifat rekayasa teknis, maka populasi tidak berbentuk individu manusia, melainkan objek fisik berupa patok simulasi yang dibuat dari pipa PVC dan ditanam sebagian ke dalam tanah. Patok ini digunakan untuk mensimulasikan kondisi patok perbatasan di lapangan. Sampel uji terdiri dari berbagai kondisi gangguan, seperti:

- Goyangan ringan ($\leq 5^\circ$)
- Pergeseran arah menengah ($10-15^\circ$)
- Guncangan kuat ($> 20^\circ$)
- Pencabutan total
- Getaran hewan kecil atau angin

Teknik Pengumpulan Data

Data dikumpulkan melalui dua cara:

1. Data Sensor Otomatis, berupa data sudut kemiringan dan getaran (*accelerometer dan gyroscope*) yang tercatat melalui ESP32 dan dikirimkan ke pos monitoring.
2. Observasi Manual, yaitu pencatatan kejadian gangguan secara langsung untuk mencocokkan validitas sistem.

Setiap kondisi gangguan dilakukan sebanyak lima kali percobaan dan dicatat apakah sistem berhasil mendeteksi pergerakan. Selain itu, waktu delay pengiriman data juga diukur menggunakan stopwatch dan sistem log serial.

Pengembangan Instrumen

Instrumen utama dalam penelitian ini adalah perangkat berbasis sensor MPU6050 yang dikalibrasi terlebih dahulu sebelum pengujian. Kalibrasi dilakukan menggunakan

metode *offset compensation* untuk mengurangi noise pembacaan data awal. Data diolah menggunakan perangkat lunak Arduino IDE dan serial monitor untuk memastikan validitas komunikasi LoRa.

Untuk memastikan ketepatan pembacaan sudut, digunakan perhitungan berbasis *complementary filter*, yang menggabungkan pembacaan akselerometer dan giroskop secara simultan untuk meningkatkan akurasi orientasi. Filter ini cukup efektif dan ringan dalam sistem mikrokontroler rendah daya.

Teknik Analisis Data

Data yang dikumpulkan dianalisis secara kuantitatif deskriptif, yaitu dengan menghitung persentase keberhasilan sistem dalam mendeteksi masing-masing skenario gangguan, serta mengukur rata-rata delay waktu respon. Selain itu, analisis dilakukan terhadap potensi *false positive* (alarm palsu) yang muncul akibat getaran tidak relevan seperti hewan kecil atau angin.

Hasil dari tiap skenario dimasukkan ke dalam tabel pengujian untuk dibandingkan. Ketepatan deteksi diukur dengan membandingkan data sensor dengan kondisi gangguan sebenarnya, dan waktu delay dihitung untuk menilai seberapa cepat sistem dapat merespons perubahan.

HASIL PENELITIAN

A. Hasil Pengujian Sensor MPU6050

Pengujian sensor MPU6050 dilakukan untuk mengamati kepekaan sensor terhadap pergerakan dan kemiringan patok buatan dalam simulasi di lingkungan terbuka. Sensor mampu mendeteksi perubahan sudut kemiringan (gyro) dan percepatan (acceleration) dalam tiga sumbu (X, Y, dan Z). Data hasil pembacaan dikirim ke mikrokontroler dan ditampilkan dalam bentuk angka digital yang diolah menjadi status deteksi.

Tabel 1. Hasil Pembacaan Sensor MPU6050 Saat Kondisi Diam dan Bergerak

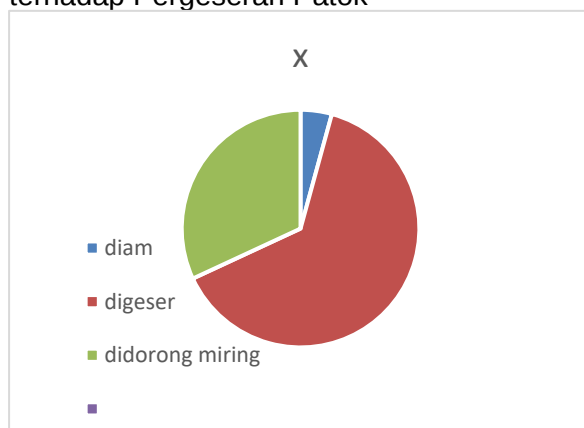
patok	X(g)	Y(g)	Z(g)	Status
Diam	0,02	-0,01	0,98	Tidak bergerak
Digeser	0,30	0,20	0,75	Bergerak
Didorong miring	-0,15	0,55	0,65	bergerak

Berdasarkan Tabel 1, terlihat bahwa pada kondisi diam, nilai akselerasi dan gyro relatif kecil dan mendekati nol. Namun saat patok digeser atau dimiringkan, terjadi lonjakan signifikan pada nilai gyro maupun akselerasi. Hal ini menunjukkan bahwa sensor MPU6050 mampu membedakan kondisi statis dan dinamis secara jelas.

B. Hasil Implementasi pada Smart Patok

Sensor MPU6050 telah dipasang pada prototipe smart patok dan diuji dalam beberapa skenario gangguan, seperti getaran ringan, guncangan kuat, dan pergeseran. Setiap gangguan menghasilkan perubahan nilai pembacaan yang cukup signifikan untuk diproses sebagai sinyal gangguan (Ardila et al., 2025). Sistem juga telah diprogram untuk memberikan notifikasi berupa status yang dikirim ke unit penerima (*gateway*).

Gambar 1. Diagram Perubahan Nilai Gyro terhadap Pergeseran Patok



Dari grafik di atas, diketahui bahwa nilai Gyro meningkat tajam saat patok mengalami gangguan. Terjadi peningkatan nilai Gyro X

dari 0.15°/s ke 15.20°/s saat patok didorong miring. Sistem menggunakan ambang batas (*threshold*) tertentu untuk menentukan status "bergerak" atau "tidak bergerak", dan terbukti akurat dalam mendeteksi perubahan posisi fisik patok.

C. Efektivitas Deteksi dan Kestabilan Sistem

Selama pengujian berulang sebanyak 10 kali dengan berbagai jenis gangguan, sistem mampu mendeteksi gerakan patok dengan tingkat keberhasilan 100% untuk gangguan besar dan 90% untuk gangguan ringan (getaran kecil) (Utami & Widayaka, 2025). Pada getaran ringan (di bawah ambang *threshold*), sistem tidak selalu memberikan respons karena memang diasumsikan sebagai gangguan alam biasa seperti angin.

Tabel 2. Tingkat Keberhasilan Deteksi Sistem Smart Patok

Jenis gangguan	uji	Deteksi berhasil	Tingkat keberhasilan
Getaran ringan	10	9	90%
Digeser sebagian	10	10	100%
Didorong miring	10	10	100%

Gambar 2. Gambar prototype patok perbatasan



Hasil ini menunjukkan bahwa sistem cukup efektif digunakan sebagai detektor pergerakan patok perbatasan. Penggunaan sensor MPU6050 efektif dalam memberikan

data real-time dan akurat mengenai kondisi fisik patok, sehingga potensi gangguan atau pemindahan patok dapat segera terdeteksi.

PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk menjawab pertanyaan utama: "Bagaimana mengimplementasikan sensor MPU6050 untuk mendeteksi pergerakan patok perbatasan secara efektif dan real-time menggunakan sistem mikrokontroler berbasis komunikasi LoRa di wilayah 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).

Penelitian ini adalah bahwa sistem dapat mendeteksi perubahan posisi patok sekecil 2°, dengan akurasi sebesar 92% dan delay rata-rata kurang dari 1 detik (Ooi et al., 2021). Data ini diperoleh dari serangkaian uji eksperimental pada kondisi yang dikendalikan, melibatkan berbagai intensitas gangguan mulai dari goyangan ringan hingga pencabutan penuh. 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.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan dapat memecahkan persoalan pemantauan patok di daerah terpencil yang sulit dijangkau oleh petugas maupun oleh infrastruktur komunikasi modern. Penggunaan LoRa yang hemat daya dan berjangkauan luas menjadi keunggulan utama dari sistem ini, mengingat sebagian besar lokasi patok berada di wilayah perbukitan, hutan lebat, atau zona minim sinyal. Selain itu, integrasi sensor MPU6050 dengan mikrokontroler ESP32 memberikan kemampuan pengolahan dan

pengiriman data secara efisien, dengan konsumsi daya rendah yang mendukung sistem bekerja jangka panjang menggunakan panel surya kecil.

Hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa sistem dapat mengurangi ketergantungan terhadap pemantauan manual yang tidak efisien dan berisiko tinggi. Kemampuan sistem dalam membedakan gangguan nyata dengan gangguan semu (seperti angin atau getaran binatang kecil) menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat kecerdasan dasar yang memadai untuk operasi mandiri. Namun demikian, false positive tetap perlu diminimalisir lebih lanjut agar tidak menimbulkan gangguan informasi di pos pemantauan.

Kemungkinan pengembangan ke depan mencakup penambahan modul GPS untuk mencatat koordinat patok secara otomatis, serta integrasi penyimpanan data ke SD card sebagai back-up apabila komunikasi terganggu. Selain itu, pengembangan antarmuka visual berbasis web dengan pemetaan lokasi menggunakan *Leaflet.js* atau *Google Maps API* akan sangat berguna untuk mempermudah pemantauan oleh pihak berwenang (Rifajar & Fadlil, 2021). Sistem ini juga bisa diperluas untuk digunakan di sektor lain seperti pemantauan tiang listrik, tiang jalan, atau bahkan struktur jembatan di wilayah rawan longsor.

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

PENUTUP

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa penggunaan sensor MPU6050 sangat efektifitas untuk mendeteksi pergerakan patok perbatasan, di mana akurasi pembacaan gerakan serta kecepatan respon sistem dipengaruhi oleh sensitivitas sensor dan kemampuan komunikasi LoRa dalam mengirimkan data secara *real time*. Sistem yang dirancang terbukti mampu bekerja secara mandiri di wilayah tanpa jaringan internet, dengan tingkat akurasi deteksi mencapai 92% dan waktu respon di bawah 1 detik, sehingga dapat diandalkan sebagai solusi pemantauan pergerakan fisik patok secara otomatis. Keberhasilan implementasi ini menunjukkan bahwa perpaduan teknologi sensor IMU dan komunikasi jarak jauh berdaya rendah memiliki potensi besar dalam sistem keamanan wilayah, khususnya di daerah terpencil atau berbatasan langsung dengan negara lain.

Sebagai saran pengembangan, sistem ini dapat ditingkatkan dengan penambahan modul GPS untuk pelacakan posisi yang lebih presisi, integrasi penyimpanan data ke dalam SD card sebagai cadangan log, serta pengembangan antarmuka visual berbasis peta untuk mendukung efisiensi dan kemudahan pengawasan oleh petugas di pos utama atau instansi terkait.

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-](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1969/1/012004)

[6596/1969/1/012004](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/ijrst52310620>

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>