

Perancangan Sistem Peringatan Dini Patok Batas Negara Berbasis Sensor MPU6050 Menggunakan Komunikasi Radio HT

¹ Sandy Ekasakti Prasetyo, ² Darmansyah Wijaya Putra, ³ Rifton Brayaen Toni,

¹ Program Studi Teknik Elektronika Sistem Senjata, Poltekad, Kota Batu

² Program Studi Teknik Elektronika Sistem Senjata, Poltekad, Kota Batu

³ Program Studi Teknik Elektronika Sistem Senjata, Poltekad, Kota Batu

¹ sandyekasaktip896@gmail.com

² didikagus18@gmail.com

³ riftonbrayentoni27@gmail.com

Abstract - National border markers play an essential role in maintaining Indonesia's territorial integrity; however, they are vulnerable to displacement caused by natural conditions and human activities. Monitoring of border markers is generally conducted through routine field patrols, which may delay the delivery of disturbance information, particularly in areas with limited cellular communication coverage. This study aims to develop an early warning system for national border markers using an MPU6050 sensor and Handy Talky (HT) radio communication to automatically transmit disturbance information to personnel at border security posts. The research method includes hardware design using an Arduino Uno, MPU6050 sensor, servo motor, buzzer, and HT radio, followed by testing of inclination angle detection, alarm transmission, and system response time. The experimental results show that the MPU6050 sensor successfully detected marker inclination using a threshold angle of 20°. Communication testing was conducted using an HT radio with the assistance of a repeater over a distance of 5 km in an environment containing buildings and trees. The average system response time was 1.46 seconds, including sensor data acquisition, data processing by the Arduino Uno, servo motor activation to press the Push-To-Talk (PTT) button, and alarm transmission through the HT radio. These results indicate that the proposed system can provide rapid early warning and serve as an alternative solution for monitoring national border markers in areas with limited cellular communication infrastructure.

Keywords — National border marker, MPU6050, Arduino Uno, HT Radio, Early Warning System.

Abstrak— Patok batas negara memiliki peranan penting dalam menjaga keutuhan wilayah Indonesia, namun berpotensi mengalami pergeseran akibat faktor alam maupun aktivitas manusia. Pemantauan kondisi patok masih dilakukan secara manual melalui patroli lapangan sehingga informasi gangguan tidak dapat diterima secara cepat, terutama pada wilayah yang memiliki keterbatasan jaringan komunikasi seluler. Penelitian ini bertujuan merancang sistem peringatan dini patok batas negara berbasis sensor MPU6050 dan komunikasi radio Handy Talky (HT) untuk memberikan informasi gangguan secara otomatis kepada personel di Pos Satgas. Metode penelitian meliputi perancangan perangkat keras menggunakan Arduino Uno, sensor MPU6050, motor servo, buzzer, dan radio HT, dilanjutkan dengan pengujian pembacaan sudut kemiringan, pengiriman alarm, serta waktu respons sistem. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor MPU6050 mampu mendeteksi perubahan kemiringan dengan ambang batas sebesar 20°. Pengujian komunikasi dilakukan menggunakan radio HT dengan bantuan repeater pada jarak 5 km dalam kondisi lingkungan yang terdapat bangunan dan pepohonan. Rata-rata waktu respons sistem yang diperoleh sebesar 1,46 detik, yang mencakup proses pembacaan sensor, pengolahan data oleh Arduino Uno, pengaktifan motor servo untuk menekan tombol Push To Talk (PTT), serta pengiriman alarm melalui radio HT. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan peringatan dini secara cepat dan dapat menjadi alternatif pemantauan patok batas negara pada wilayah dengan keterbatasan jaringan komunikasi seluler.

Kata Kunci— Patok batas negara, MPU6050, Arduino Uno, Radio HT, Sistem Peringatan Dini.

I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan yang memiliki wilayah daratan dan perbatasan yang sangat luas. Berdasarkan kondisi geografis tersebut, keberadaan patok batas negara memiliki peranan penting sebagai penanda kedaulatan wilayah Indonesia [1]. Namun demikian, kondisi lingkungan di wilayah perbatasan umumnya memiliki

karakteristik geografis yang beragam, seperti daerah pegunungan, hutan, lahan gambut, maupun tanah dengan tingkat kestabilan yang rendah [2]. Kondisi tersebut menyebabkan patok batas negara berpotensi mengalami pergeseran akibat faktor alam, seperti erosi, longsor, banjir, gempa bumi, maupun akibat aktivitas manusia yang disengaja ataupun tidak disengaja. Pergeseran patok batas negara yang tidak segera diketahui dapat menimbulkan kesalahan informasi batas wilayah serta berpotensi mengganggu aspek keamanan dan pengelolaan wilayah perbatasan.

Dalam pelaksanaan tugas pengamanan perbatasan, personel TNI yang bertugas di Pos Satuan Tugas (Satgas) masih melaksanakan pemeriksaan kondisi patok batas secara berkala melalui patroli lapangan [3]. Metode tersebut memerlukan waktu, tenaga, serta memiliki keterbatasan dalam memberikan informasi secara cepat ketika terjadi gangguan pada patok batas negara. Selain itu, sebagian besar wilayah perbatasan memiliki keterbatasan jaringan komunikasi seluler sehingga pemanfaatan sistem monitoring berbasis internet belum dapat diterapkan secara optimal [4]. Sebaliknya, komunikasi radio menggunakan Handy Talky (HT) telah menjadi sarana komunikasi yang umum digunakan oleh personel Satgas karena mampu beroperasi tanpa bergantung pada jaringan seluler.

Penggunaan radio Handy Talky (HT) menjadi salah satu alternatif komunikasi pada wilayah yang memiliki keterbatasan infrastruktur komunikasi publik. Namun, jangkauan HT secara langsung relatif terbatas dan dipengaruhi oleh kondisi lingkungan serta keberadaan penghalang. Penelitian ini menunjukkan bahwa HT memiliki jangkauan sekitar 2–5 km pada kondisi tanpa penghalang, sedangkan penggunaan cross-band repeater dapat memperluas jangkauan komunikasi hingga 8,8 km pada kondisi pengujian tertentu [5]. Oleh karena itu, penggunaan repeater pada penelitian ini dimanfaatkan untuk mendukung pengiriman informasi gangguan dari lokasi patok menuju Pos Satgas pada jarak pengujian 5 km.

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh penulis telah mengembangkan sistem deteksi pergeseran patok batas negara berbasis mikrokontroler menggunakan sensor MPU6050. MPU6050 merupakan sensor yang mengintegrasikan accelerometer dan gyroscope yang dapat digunakan untuk memperoleh parameter gerak dan perubahan orientasi suatu objek [6]. Dalam penelitian tersebut, MPU6050 digunakan untuk mendeteksi perubahan sudut kemiringan patok melalui pengujian sensor secara berulang untuk memperoleh karakteristik pembacaan dan menentukan nilai ambang yang digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan. Hasil pengujian tersebut menjadi dasar penggunaan ambang batas kemiringan sebesar 20° pada penelitian ini [7]. Meskipun demikian, penelitian sebelumnya masih menghasilkan peringatan secara lokal pada perangkat sehingga informasi gangguan belum dapat diterima secara langsung oleh personel yang berada di Pos Satgas. Oleh karena itu, penelitian ini dikembangkan dengan menambahkan mekanisme komunikasi radio Handy Talky (HT) menggunakan repeater untuk meneruskan informasi gangguan dari lokasi patok menuju Pos Satgas.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini mengembangkan sistem peringatan dini patok batas negara dengan mengintegrasikan sensor MPU6050, mikrokontroler Arduino, motor servo, buzzer, dan komunikasi radio HT. Pada saat sensor mendeteksi kemiringan patok melebihi batas yang telah ditentukan, Arduino akan menggerakkan motor servo untuk menekan tombol Push To Talk (PTT) pada HT secara otomatis, kemudian buzzer akan menghasilkan suara alarm yang dipancarkan melalui HT menuju HT penerima di Pos Satgas. Dengan mekanisme tersebut, personel Satgas dapat memperoleh informasi gangguan secara lebih cepat tanpa harus melakukan pemeriksaan lapangan secara terus-menerus.

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi pengembangan dari penelitian sebelumnya sekaligus menjadi dasar bagi penelitian lanjutan yang mengarah pada sistem monitoring multi patok maupun sistem identifikasi otomatis menggunakan metode komunikasi digital.

II. METODE PENELITIAN

A. Metode

Penelitian ini menggunakan metode Research and Development (R&D), yaitu metode penelitian yang bertujuan untuk merancang, mengembangkan, serta menguji kinerja suatu sistem peringatan dini pada patok batas negara. Metode ini dipilih karena penelitian tidak hanya menghasilkan rancangan sistem, tetapi juga merealisasikan sebuah prototype yang dapat diuji berdasarkan parameter yang telah ditentukan.

Penelitian dilaksanakan pada periode Februari 2026 sampai dengan Juli 2026 di Laboratorium Elektronika Politeknik Angkatan Darat sebagai lokasi perancangan, pemrograman, integrasi perangkat keras, dan pengujian sistem. Pengujian komunikasi radio dilakukan menggunakan Handy Talky (HT) dengan bantuan repeater sebagai radio pancar ulang. HT pemancar (TX) ditempatkan pada sisi sistem patok, sedangkan HT penerima (RX) ditempatkan pada sisi Pos Satgas dengan jarak pengujian 5 km. Pengujian dilakukan pada kondisi lingkungan yang terdapat bangunan dan pepohonan sebagai penghalang pada jalur propagasi radio.

Tahapan penelitian diawali dengan identifikasi permasalahan yang terjadi pada sistem pemantauan patok batas negara, kemudian dilanjutkan dengan studi literatur mengenai sensor MPU6050, mikrokontroler Arduino, motor servo, buzzer, dan komunikasi radio HT. Selanjutnya dilakukan perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, proses integrasi sistem, serta pengujian untuk mengetahui kinerja sensor, aktuator, dan komunikasi radio HT dalam memberikan peringatan dini kepada Pos Satgas.

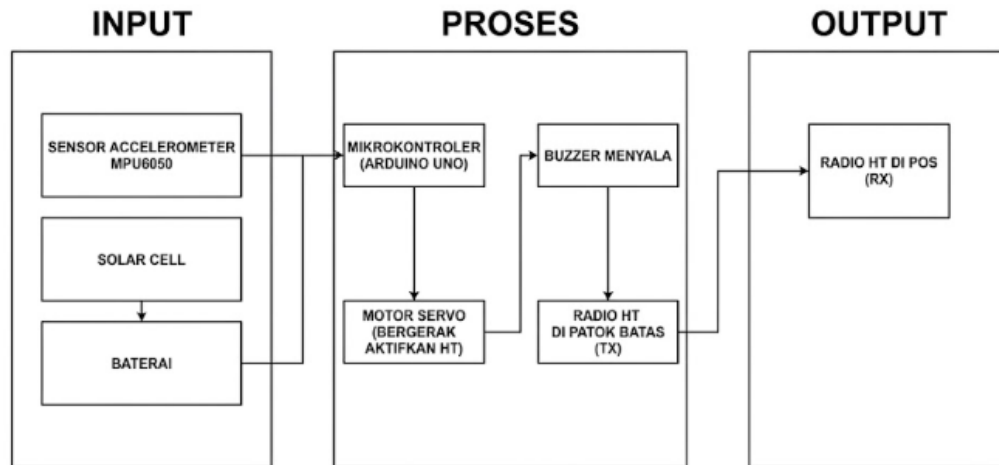
B. Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Gambar 1 menunjukkan diagram alir penelitian yang digunakan dalam penelitian ini. Tahapan penelitian diawali dengan identifikasi permasalahan yang terjadi pada sistem pemantauan patok batas negara. Selanjutnya dilakukan studi literatur sebagai dasar dalam perancangan sistem. Tahap berikutnya meliputi perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, pembuatan prototype, integrasi seluruh komponen, serta pengujian sistem untuk mengetahui kinerja alat. Hasil pengujian kemudian dianalisis sebagai dasar dalam penyusunan kesimpulan dan saran pengembangan penelitian.

C. Diagram Blok Sistem



Gambar 2. Diagram Blok Sistem

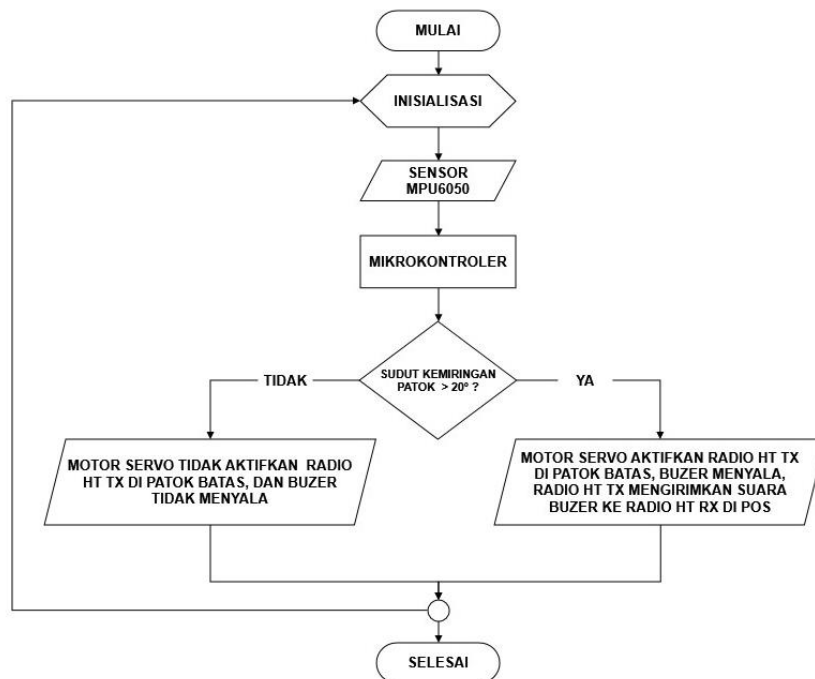
Diagram blok sistem pada Gambar 2 menunjukkan hubungan antar komponen yang digunakan dalam sistem peringatan dini patok batas negara. Sistem terdiri atas tiga bagian utama, yaitu input, proses, dan output. Pada bagian input, sensor akselerometer MPU6050 berfungsi sebagai pendeteksi perubahan sudut atau kemiringan patok batas negara [8]. Sensor ini akan mengirimkan data kemiringan kepada mikrokontroler Arduino Uno untuk diproses. Selain itu, sistem memperoleh sumber daya listrik dari baterai yang diisi melalui solar cell, sehingga perangkat dapat beroperasi secara mandiri di lokasi patok batas negara.

Pada bagian proses, mikrokontroler Arduino Uno berfungsi sebagai pusat pengendali sistem [9]. Arduino akan membaca data yang diterima dari sensor MPU6050 dan membandingkannya dengan nilai ambang batas kemiringan yang telah ditentukan. Apabila nilai kemiringan masih berada dalam kondisi normal, sistem tetap berada pada mode pemantauan. Sebaliknya, apabila kemiringan melebihi batas yang telah ditentukan, Arduino akan mengaktifkan motor servo untuk menekan tombol Push To Talk (PTT) pada radio HT serta mengaktifkan buzzer sebagai sumber suara alarm.

Pada bagian output, suara alarm yang dihasilkan buzzer akan diteruskan melalui radio HT pemancar yang berada pada patok batas negara. Selanjutnya sinyal radio tersebut diterima oleh HT penerima (RX) yang berada di Pos Satgas sehingga personel dapat mengetahui adanya gangguan pada patok batas negara dan segera melakukan tindakan pemeriksaan.

D. Cara Kerja Sistem

Nilai ambang kemiringan sebesar 20° yang digunakan pada sistem ini mengacu pada hasil pengujian sensor MPU6050 pada penelitian sebelumnya [7]. Pengujian tersebut dilakukan untuk mengetahui kemampuan sensor dalam mendeteksi perubahan kemiringan patok dan memperoleh parameter ambang yang dapat digunakan dalam proses klasifikasi kondisi patok. Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya, nilai 20° digunakan sebagai batas pengambilan keputusan pada sistem. Pada penelitian ini, nilai tersebut diterapkan kembali sebagai parameter deteksi, kemudian dikembangkan dengan menambahkan mekanisme pengiriman peringatan melalui radio HT menggunakan repeater. Apabila sudut kemiringan melebihi 20° , Arduino Uno mengaktifkan motor servo untuk menekan tombol Push-To-Talk (PTT) dan mengaktifkan buzzer sehingga informasi gangguan dapat diteruskan melalui HT menuju Pos Satgas.



Gambar 3. Flowchart Sistem

Flowchart sistem pada Gambar 3 menjelaskan proses kerja sistem peringatan dini patok batas negara yang diawali dengan proses inisialisasi seluruh komponen perangkat keras, meliputi sensor MPU6050, mikrokontroler Arduino Uno, motor servo, buzzer, dan radio Handy Talky (HT). Setelah proses inisialisasi selesai, sensor MPU6050 mulai melakukan pembacaan nilai sudut kemiringan patok batas negara secara terus-menerus dan mengirimkan data hasil pengukuran kepada mikrokontroler untuk diproses.

Selanjutnya, mikrokontroler membandingkan nilai sudut kemiringan yang diterima dari sensor dengan nilai ambang batas sebesar 20° . Apabila nilai kemiringan patok tidak melebihi 20° , sistem menganggap kondisi patok masih normal sehingga motor servo tidak diaktifkan, radio HT pada patok tetap dalam kondisi siaga, dan buzzer tidak menghasilkan suara alarm. Setelah itu sistem kembali melakukan proses pembacaan sensor untuk memantau kondisi patok secara berkelanjutan.

Sebaliknya, apabila nilai kemiringan patok melebihi 20° , mikrokontroler akan mengaktifkan motor servo untuk menekan tombol Push To Talk (PTT) pada radio HT yang berada di patok batas negara. Pada saat yang sama buzzer diaktifkan sehingga menghasilkan suara alarm yang dipancarkan melalui radio HT pemancar (TX). Sinyal radio tersebut kemudian diterima oleh HT penerima (RX) yang berada di Pos Satgas sebagai informasi bahwa telah terjadi gangguan pada patok batas negara. Setelah proses pengiriman alarm selesai, sistem kembali ke tahap pemantauan dengan melakukan pembacaan sensor secara berulang.

Flowchart ini menunjukkan bahwa sistem bekerja secara otomatis dan berkesinambungan dalam memantau kondisi patok batas negara sehingga informasi gangguan dapat disampaikan kepada personel Pos Satgas dengan cepat melalui media komunikasi radio HT.

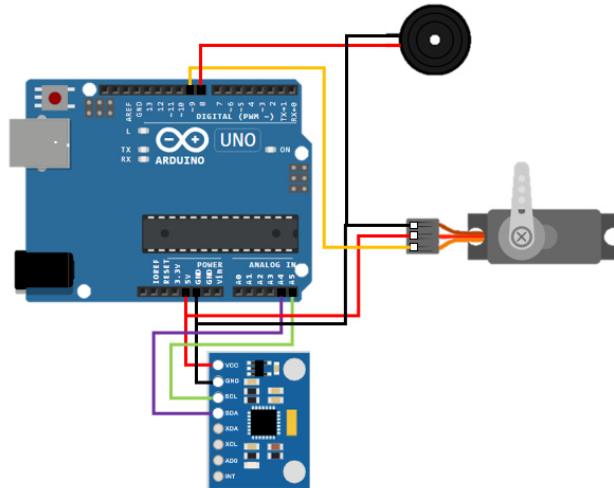
Pengujian komunikasi dilakukan menggunakan konfigurasi radio Handy Talky (HT) dengan bantuan repeater sebagai radio pancar ulang. HT pemancar (TX) ditempatkan pada sisi sistem patok, sedangkan HT penerima (RX) ditempatkan pada sisi Pos Satgas. Jarak pengujian antara sisi pemancar dan penerima adalah 5 km. Pengujian dilakukan pada lingkungan yang terdapat bangunan dan pepohonan sehingga terdapat penghalang pada jalur propagasi radio. Konfigurasi tersebut digunakan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam meneruskan informasi gangguan dari lokasi patok menuju Pos Satgas.

Parameter yang diamati dalam pengujian komunikasi adalah waktu respons sistem, yaitu waktu yang diperlukan sejak sensor MPU6050 mendeteksi kemiringan patok melebihi ambang batas 20° hingga informasi peringatan

diterima pada HT di Pos Satgas. Pengujian dilakukan sebanyak lima kali untuk memperoleh nilai rata-rata waktu respons sistem.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Perancangan Rangkaian Sistem



Gambar 4. Hasil Perancangan Rangkaian Sistem

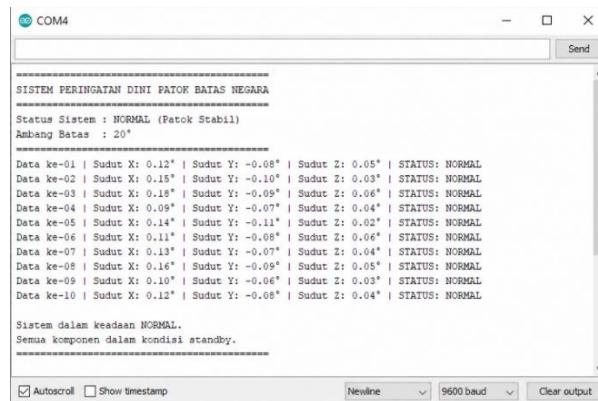
Gambar 4 menunjukkan rancangan rangkaian perangkat keras sistem peringatan dini patok batas negara yang dibuat sebagai acuan dalam proses implementasi dan pengujian sistem. Rangkaian terdiri atas Arduino Uno sebagai pusat pengendali, sensor MPU6050 sebagai pendeteksi perubahan sudut kemiringan patok, motor servo sebagai aktuator untuk menggerakkan mekanisme penekan tombol Push To Talk (PTT) pada radio HT, serta buzzer sebagai indikator suara alarm. Sensor MPU6050 dihubungkan ke Arduino Uno melalui komunikasi I2C menggunakan pin SDA (A4) dan SCL (A5), sedangkan motor servo dan buzzer masing-masing terhubung pada pin digital D9 dan D8. Rangkaian ini menjadi dasar implementasi sistem sebelum dilakukan pengujian menggunakan sensor MPU6050 melalui Arduino IDE.

Tabel 1. Konfigurasi Pin Perangkat Keras

No	Komponen	Pin Komponen	Pin Arduino Uno
1	MPU6050	VCC	5V
2	MPU6050	GND	GND
3	MPU6050	SDA	A4
4	MPU6050	SCL	A5
5	Motor Servo	VCC	5V
6	Motor Servo	GND	GND
7	Motor Servo	Signal	D9
8	Buzzer	(+)	D8
9	Buzzer	(-)	GND

Tabel 1 menunjukkan konfigurasi hubungan pin antar komponen pada sistem. Konfigurasi ini digunakan sebagai acuan dalam proses perakitan dan pengujian perangkat sehingga setiap komponen dapat berfungsi sesuai dengan perancangan sistem.

B. Hasil Pengujian Sensor MPU6050



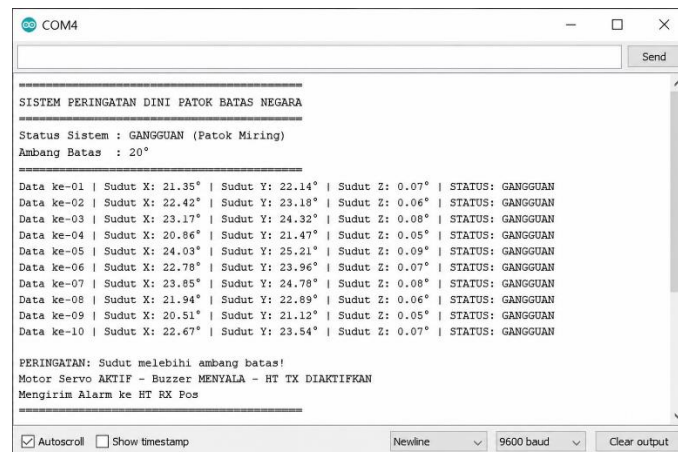
Gambar 5. Tampilan Serial Monitor Kondisi Normal

Gambar 5 menunjukkan hasil pembacaan sensor MPU6050 pada kondisi normal. Berdasarkan hasil pengujian, seluruh data menunjukkan nilai sudut kemiringan berada di bawah batas alarm sebesar 20° , sehingga sistem mengidentifikasi kondisi patok dalam keadaan normal. Pada kondisi ini motor servo tidak aktif, buzzer tidak menghasilkan suara alarm, dan radio HT tetap berada pada kondisi siaga (standby). Hasil ini menunjukkan bahwa sistem mampu membedakan kondisi normal sebelum terjadi gangguan pada patok batas negara.

Tabel 2. Hasil Pengujian Kondisi Normal

No	Sudut X ($^{\circ}$)	Sudut Y ($^{\circ}$)	Sudut Z ($^{\circ}$)	Status
1	0.12	-0.08	0.05	Normal
2	0.15	-0.10	0.03	Normal
3	0.18	-0.09	0.06	Normal
4	0.09	-0.07	0.04	Normal
5	0.14	-0.11	0.02	Normal
6	0.11	-0.08	0.06	Normal
7	0.13	-0.07	0.04	Normal
8	0.16	-0.09	0.05	Normal
9	0.10	-0.06	0.03	Normal
10	0.12	-0.08	0.04	Normal

Berdasarkan Tabel 2, hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai Roll dan Pitch yang diperoleh dari sensor MPU6050 masih berada di bawah ambang batas kemiringan sebesar 20° . Hal tersebut menunjukkan bahwa sistem mampu mengenali kondisi patok dalam keadaan normal tanpa menghasilkan alarm. Selama proses pengujian, motor servo tidak bergerak, buzzer tetap tidak aktif, dan sistem terus melakukan pemantauan terhadap perubahan posisi patok secara kontinu. Hasil ini menunjukkan bahwa algoritma yang diterapkan pada Arduino Uno mampu membedakan kondisi normal dan kondisi gangguan sesuai dengan nilai ambang yang telah ditentukan.



Gambar 6. Tampilan Serial Monitor Kondisi Gangguan

Gambar 6 menunjukkan hasil pengujian sistem pada kondisi gangguan, yaitu ketika sudut kemiringan patok batas melebihi ambang batas yang telah ditetapkan sebesar 20° . Berdasarkan hasil pembacaan sensor MPU6050, nilai sudut sumbu X dan sumbu Y berada pada rentang 21° hingga 25° , sehingga sistem mengidentifikasi kondisi sebagai gangguan patok batas. Setelah kondisi tersebut terdeteksi, Arduino Uno secara otomatis mengaktifkan motor servo untuk menekan tombol Push To Talk (PTT) pada radio HT, kemudian buzzer menghasilkan suara alarm yang dipancarkan melalui radio HT menuju radio HT penerima di Pos Satgas. Informasi tersebut ditampilkan pada Serial Monitor dengan status "GANGGUAN", disertai keterangan bahwa motor servo aktif, buzzer menyala, dan radio HT mengirimkan sinyal peringatan. Hasil pengujian ini dapat mendeteksi perubahan posisi patok dan memberikan peringatan dini secara otomatis sesuai dengan logika yang telah dirancang.

Tabel 3. Hasil Pengujian Kondisi Gangguan

No	Sudut X ($^{\circ}$)	Sudut Y ($^{\circ}$)	Sudut Z ($^{\circ}$)	Status
1	21,35	22,14	0,07	Gangguan
2	22,46	23,18	0,08	Gangguan
3	23,17	24,32	0,06	Gangguan
4	20,86	21,47	0,05	Gangguan
5	24,03	25,21	0,09	Gangguan
6	21,78	23,9	0,07	Gangguan
7	23,85	24,78	0,08	Gangguan
8	21,94	22,5	0,06	Gangguan
9	20,56	21,32	0,05	Gangguan
10	22,67	23,54	0,07	Gangguan

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 3, nilai sudut kemiringan yang terbaca oleh sensor MPU6050 berada di atas ambang batas sebesar 20° , sehingga sistem mengidentifikasi kondisi sebagai gangguan. Pada seluruh data pengujian, status sistem berubah menjadi Gangguan, yang menunjukkan bahwa sensor MPU6050 mampu mendeteksi perubahan kemiringan patok. Hasil ini membuktikan bahwa sistem dapat membedakan kondisi normal dan kondisi gangguan secara otomatis berdasarkan perubahan sudut kemiringan patok.

C. Pengujian Waktu Respon Sistem Komunikasi HT

Pengujian komunikasi radio dilakukan pada jarak 5 km antara lokasi sistem patok dan Pos Satgas dengan menggunakan repeater sebagai radio pancar ulang. Pengujian dilakukan pada kondisi lingkungan yang terdapat bangunan dan pepohonan sebagai penghalang propagasi radio. Pengujian bertujuan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam meneruskan informasi gangguan dari lokasi patok menuju Pos Satgas serta mengukur waktu respons komunikasi setelah kondisi kemiringan patok melebihi ambang batas 20^0 .

Tabel 4. Hasil Pengujian Waktu Respons Sistem Komunikasi HT

No	Percobaan	Waktu Respons (detik)
1	Percobaan 1	1,42
2	Percobaan 2	1,48
3	Percobaan 3	1,45
4	Percobaan 4	1,51
5	Percobaan 5	1,44

Perhitungan Rata-rata:

$$\frac{1.42 + 1.48 + 1.45 + 1.51 + 1.44}{5} = 1,46 \text{ detik}$$

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4, waktu respons sistem berada pada rentang 1,42–1,51 detik dengan nilai rata-rata 1,46 detik. Hasil tersebut menunjukkan bahwa informasi gangguan dapat diteruskan dari lokasi sistem patok menuju Pos Satgas melalui komunikasi HT menggunakan repeater. Pengujian dilakukan pada jarak 5 km dengan kondisi terdapat bangunan dan pepohonan, sehingga hasil waktu respons merepresentasikan kondisi komunikasi yang memiliki penghalang pada jalur propagasi radio.

Hasil tersebut selanjutnya dibandingkan dengan penelitian yang menguji penggunaan cross-band repeater untuk memperluas jangkauan komunikasi radio. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa penggunaan repeater dapat mendukung komunikasi radio pada jarak beberapa kilometer pada kondisi pengujian tertentu [5]. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa konfigurasi HT dengan repeater mampu meneruskan informasi gangguan pada jarak 5 km dengan waktu respons rata-rata 1,46 detik.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang sistem peringatan dini patok batas negara berbasis sensor MPU6050, mikrokontroler Arduino Uno, motor servo, buzzer, dan komunikasi radio Handy Talky (HT). Berdasarkan hasil pengujian, sensor MPU6050 mampu mendeteksi perubahan sudut kemiringan patok dengan menggunakan ambang batas sebesar 20^0 sehingga sistem dapat membedakan kondisi normal dan kondisi gangguan secara otomatis. Ketika sudut kemiringan melebihi ambang batas, motor servo berhasil mengaktifkan tombol Push To Talk (PTT) pada radio HT dan buzzer menghasilkan suara alarm yang diteruskan melalui komunikasi radio menuju HT penerima di Pos Satgas.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu menyampaikan informasi gangguan dengan waktu respons rata-rata sebesar 1,46 detik, sehingga dapat memberikan peringatan dini secara cepat kepada personel yang bertugas. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan dapat menjadi alternatif solusi pemantauan patok batas negara pada wilayah yang memiliki keterbatasan jaringan komunikasi seluler karena memanfaatkan media komunikasi radio HT yang telah umum digunakan di lingkungan Satgas perbatasan.

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar bagi pengembangan sistem monitoring patok batas negara pada penelitian selanjutnya, seperti penerapan pada beberapa patok secara bersamaan (multi-node) maupun pengembangan metode komunikasi yang lebih efektif sesuai kebutuhan operasional di wilayah perbatasan.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Danio, H. Silalahi, P. Suwarno, and D. Hermanto, "Blue Economy Transformation to Realize Defense Economy," vol. 05, no. 04, pp. 249–271.
- [2] I. F. Attaulloh and S. Kusumawardani, "Pengaruh Karakteristik Alam terhadap Kehidupan Masyarakat," pp. 1904–1913, 2025.
- [3] M. Supriyatno, H. Z. Almubaroq, U. Pertahanan, R. Indonesia, B. Regency, and W. J. Province, "Territorial Development Function for the Successful Assignment of TNI AD Soldiers at the Border (Study on the Border of West Kalimantan and NTT)," vol. 2, no. 1, pp. 258–268, 2023.
- [4] K. Network, "Mengoptimalkan Jaringan Sensor Nirkabel dalam Aplikasi Monitor Lingkungan dengan Teknologi IoT di Indonesia," no. I, 2025.
- [5] and D. A. N. A. B. A. Isdwihardjo, R. Tulloh, "Cross-Band Repeater HAM Radio berbasis SDR dan Raspberry Pi untuk Tanggap Darurat Bencana Alam," *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 11, no. 3, pp. 769–782, 2023.
- [6] I. I. Sianturi, D. Hamdani, and E. Risdianto, "Asian Journal of Science Education," vol. 6, no. 1, pp. 46–56, 2024.
- [7] S. E. Prasetyo, "Design and Implementation of a Microcontroller- Based Boundary Marker Displacement Detection System Using an Accelerometer Sensor," vol. 7, no. 1, pp. 1–17, 2026.
- [8] I. W. D. Pancane, "Design of the Gianyar – Amlapura 150 KV Tower Delivery Landslide Detection System Rancang Bangun Sistem Deteksi Tanah Longsor pada Tower Penghanar 150 KV Gianyar - Amlapura," vol. 2, no. 9, pp. 2363–2374, 2023.
- [9] A. Sigma, "APLIKASI MIKROKONTROLER ARDUINO UNO DALAM RANCANG BANGUN KUNCI PINTU MENGGUNAKAN E-KTP," vol. 7, no. 1, pp. 74–88, 2022.