

IMPLEMENTASI WIRELESS SENSOR NETWORK PADA PENDETEKSI TANAH LONGSOR BERBASIS INTERNET OF THINGS (IOT) DAN LORA

Satriyo^{1,4}, Adriel Haddad², Ramli³, Sy. Agus Salim⁴

^{1,2,3,4}Program Studi Teknologi Rekayasa Sistem Elektronika Politeknik Negeri Pontianak

Jln. Jendral Ahmad Yani - Pontianak 78124

¹satriyo.rbg@gmail.com, ²adriel.haddad@gmail.com, ³era_remispidu@yahoo.co.id,

⁴syarifagusalim35@gmail.com

Abstract

Landslides are one of the natural disasters that often occur in Indonesia, especially in mountainous and hilly areas. This research develops a landslide detection tool based on the Internet of Things (IoT) with an early warning system through Telegram notifications. The system uses MPU6050 sensor to detect land slope, soil moisture sensor to measure water content, and GPS module to determine the location of the device. Sensor data is sent to the Adafruit IO server via LoRa communication for real-time monitoring. If the soil slope exceeds 27° and the humidity reaches 54%, the system will activate a warning buzzer and send a notification to the user via Telegram. Each node is placed at a different location point in the land area that is potentially landslide. Sensor data from 3 nodes is sent to the gateway, then displayed in one IoT platform in real time. Sensor test data shows that the Gyroscope sensor has an error of 1.94%, the soil moisture sensor has an error of 1.98% and the GPS sensor has an error of 0.22%. Tests show the system is able to detect changes in soil conditions with high accuracy. With this system, early warnings can be given quickly and accurately, so that it can help mitigate landslides.

Keywords: *Landslide, IoT, Gyroscope sensor, LoRa, IoT Platform, Telegram.*

Abstrak

Tanah longsor merupakan salah satu bencana alam yang sering terjadi di Indonesia, terutama di daerah pegunungan dan perbukitan. Penelitian ini mengembangkan alat pendeteksi tanah longsor berbasis Internet of Things (IoT) dengan sistem peringatan dini melalui notifikasi Telegram. Sistem ini menggunakan sensor MPU6050 untuk mendeteksi kemiringan tanah, sensor kelembaban tanah untuk mengukur kadar air, serta modul GPS untuk menentukan lokasi alat. Data sensor dikirimkan ke server Adafruit IO melalui komunikasi LoRa untuk dipantau secara real-time. Jika kemiringan tanah melebihi 27° dan kelembaban mencapai 54%, Sistem akan mengaktifkan buzzer peringatan dan mengirimkan notifikasi ke pengguna melalui Telegram. Masing – masing node diletakan pada titik lokasi yang berbeda pada area tanah yang berpotensi Longsor. Data sensor dari 3 buah node dikirimkan ke gateway, kemudian ditampilkan dalam dalam satu platform IoT secara real time. Data pengujian sensor menunjukan sensor *Gyroscope* mempunyai *error* 1,94 %, sensor kelembaban tanah memiliki *error* 1,98% dan sensor GPS memiliki *error* 0,22%. Pengujian menunjukkan sistem mampu mendeteksi perubahan kondisi tanah dengan akurasi tinggi. Dengan adanya sistem ini, peringatan dini dapat diberikan dengan cepat dan akurat, sehingga dapat membantu mitigasi bencana tanah longsor.

Kata Kunci: *Tanah Longsor, IoT, Gyroscope sensor, LoRa, Platform IoT, Telegram.*

1. PENDAHULUAN

Keadaan geografis alat di wilayah Indonesia sangat beragam, terdiri dari pantai, dataran rendah, pegunungan dan perbukitan. Pada wilayah perbukitan/pegunungan, jika terjadi hujan lebat maka sering dikuti dengan tanah longsor. Bencana tanah longsor dapat mengakibatkan kerugian materi berupa kerusakan infrastruktur: bangunan, jalan, jaringan listrik maupun jaringan telekomunikasi. Bencana tanah longsor juga dapat mengakibatkan korban luka maupun korban jiwa. Berdasarkan pada data BNPB, pada tahun 2023 telah terjadi 430 kejadian bencana tanah longsor yang mengakibatkan 57 korban jiwa, 20 orang hilang, 12 orang luka.

Untuk meminimalisir jumlah korban maka dibutuhkan system peringatan dini yang dapat mendeteksi pergerakan tanah sebelum terjadi longsor, sehingga dapat dilakukan evakuasi warga untuk meminimalisir korban. Pada penelitian ini akan dibangun system peringatan dini tanah longsor dengan memanfaatkan teknologi sensor network berbasis internet of things[1]. Teknologi sensor network menggunakan perangkat komunikasi LoRa digunakan untuk mengirimkan data kondisi tanah antar node serta antara node dan gateway[2][3]. Dengan menggunakan LoRa data sensor dapat dikirimkan ke gateway meskipun sensor(node) tidak mendapat koneksi internet[4].

Tahun 2022 oleh Rosa Mega Utama dkk membuat alat deteksi tanah longsor menggunakan NodeMCU ESP8266 sebagai mikrokontroler dan MPU6050 sebagai sensor sehingga mampu mendeteksi percepatan bumi pada sumbu, y, dan z, dan kemiringan tanah pada lahan berbukit dan bergunung dengan kemiringan >30% atau sekitar 27 ° dan beda ketinggian >300 m sering terjadi tanah longsor. Alat deteksi tanah longsor ini berbasis Internet of Thing (IoT) sehingga memungkinkan percepatan bumi dan kemiringan tanah dapat dipantau secara real-time. Alat tersebut dihubungkan dengan aplikasi yang dibuat menggunakan layanan cloud pada real-time database firebase dan MIT APP Inventor untuk membangun aplikasi. Dari penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa alat dan aplikasi deteksi tanah longsor dapat bekerja sesuai dengan rancangan yaitu dapat menampilkan percepatan pergerakan dan kemiringan tanah secara real-time dan dapat menyampaikan status kondisi yaitu aman, waspada dan awas dengan rata-rata error sebesar 0,419%[5].

Peringatan Dini Tanah Longsor Berdasarkan Kelembaban Tanah Secara Jarak Jauh Menggunakan Sensor FC-28 dan Node MCU. Alat dirancang dengan 2 kondisi yaitu status siaga dan bahaya. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kondisi siaga terjadi pada kelembaban antara 27% - 54% dengan kemiringan lereng antara 25° - 35° dan kondisi bahaya terjadi saat kelembaban lebih dari 54%[6].

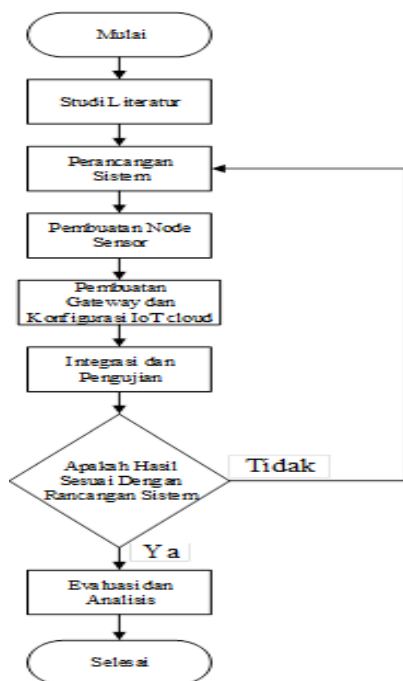
Irmanda Priyadi mempublikasi hasil penelitiannya pada tahun 2021 membuat sistem deteksi bencana longsor dirancang untuk dapat mengetahui kondisi pergerakan tanah secara real time sebagai bagian dari system peringatan dini (early warning system) terhadap bahaya terjadinya longsor. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mendeteksi kondisi Bahaya dan mengirimkan SMS "Awas Longsor" pada nomor tujuan, saat tegangan sensor kelembaban tanah bernilai 3 V, sensor piezoelektrik bernilai 0,06V dan sensor accelerometer bernilai 1,574 V. Selanjutnya rancangan modul alat deteksi longsor juga menghasilkan delay waktu pengiriman SMS peringatan dini longsor pada sistem sekitar 5 detik dari hasil pengukuran sensor pada mikrokontroler[7].

Sistem ini dirancang untuk memberikan solusi yang lebih efisien dalam pemantauan kondisi tanah pada area perbukitan dalam 1 aplikasi IoT berbasis web Adafruit IO dan dapat memberikan peringatan lewat aplikasi telegram[8]. Sistem ini terdiri dari 3 buah node dan 1 gateway. Sehingga keadaan tanah dari 3 titik lokasi dapat dipantau sekaligus dalam 1 platform IoT.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1. Skema Alur Penelitian

Berikut ini adalah langkah-langkah yang akan dilakukan selama penelitian:



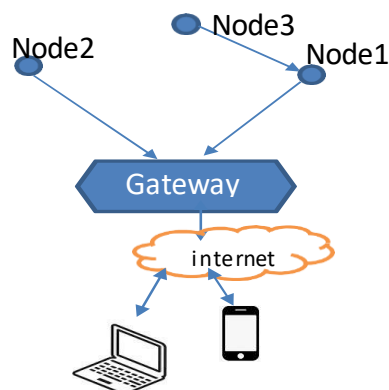
Gambar. 1 Alur Penelitian

Terlihat pada gambar 1, tahapan pertama penelitian adalah studi literature yaitu memahami konsep-konsep dasar mengenai tanah longsor, sensor yang relevan, teknologi IoT, dan aplikasi notifikasi. Mengkaji literatur dari jurnal, buku, dan sumber online yang berhubungan dengan deteksi tanah longsor dan teknologi IoT. Setelah proses studi literatur merancang sistem pendeteksi tanah longsor yang melibatkan node sensor dan gateway. Membuat desain diagram blok sistem, memilih komponen yang sesuai, dan merancang skema rangkaian elektronik. Tahpan selanjutnya adalah menyiapkan Sensor Kelembaban Tanah, Sensor Gyro MPU6050, modul GPS, LoRa, dan Arduino Nano[9]. Membuat node sensor yang dapat mengukur parameter lingkungan terkait tanah longsor dan mengirim data melalui LoRa[10]. Merakit komponen, mengembangkan kode untuk Arduino Nano, dan menguji setiap sensor. Kemudian membuat gateway yang dapat menerima data dari node sensor dan mengirimkan data ke server adafruit melalui Wi-Fi. Langkah selanjutnya adalah mengintegrasikan node sensor dengan gateway dan melakukan pengujian fungsional dengan menghubungkan node sensor ke gateway, menguji transmisi data, dan melakukan pengujian untuk memastikan sistem bekerja dengan baik. Hasil pengujian dievaluasi dan dianalisis untuk memastikan bahwa sistem bekerja dengan baik. Analisis dan evaluasi meliputi keakuratan sensor, kinerja alat dalam menampilkan data, dan pengiriman

notifikasi. Kemudian ditarik kesimpulan dari analisis dan evaluasi yang telah dilakukan.

2.2. Rancangan Sistem

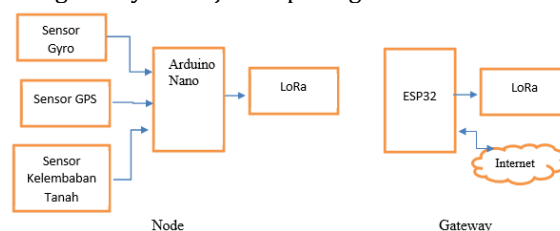
Sistem peringatan dini tanah longsor yang dibuat terdiri dari 1 buah gateway, dan tiga buah node. Topologi dari node dan gateway ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Topologi Sistem

Data - data sensor gyro, sensor kelembaban tanah dan sensor GPS pada node3 akan dikirimkan ke node1, kemudian data tersebut akan dikirimkan bersamaan dengan data sensor dari node1 ke gateway oleh node1. Sedangkan data sensor dari node2 langsung dikirimkan ke gateway. Semua data yang diterima oleh gateway akan ditampilkan di platform iot Adafruitio sehingga dapat dimonitori oleh pengguna/ petugas melalui laptop maupun smartphone[11]. Apabila terjadi pergerakan tanah maka gateway akan mengirimkan notifikasi ke smartphone petugas.

Node dan Gateway, bekerja secara terintegrasi untuk memantau parameter lingkungan, dan memberikan peringatan bahaya. Kedua komponen ini dihubungkan melalui komunikasi LoRa, yang memungkinkan pengiriman data jarak jauh. Diagram blok node dan gateway ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. Diagram Blok Node dan Gateway

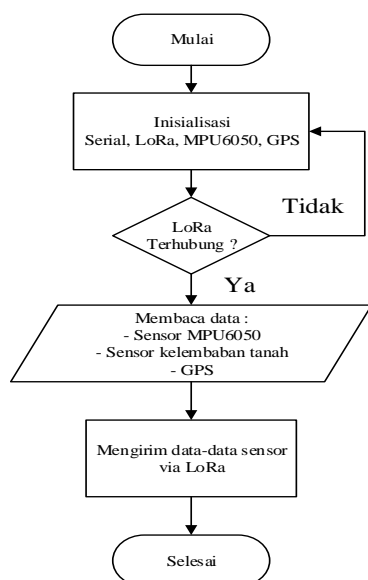
Pada bagian pertama Node berfungsi sebagai pengumpul data dari lingkungan sekitar. Node

dilengkapi dengan beberapa sensor, yaitu sensor kelembaban tanah YL-69 untuk mengukur kadar air dalam tanah, sensor gyro MPU6050 untuk mendeteksi kemiringan dan pergerakan tanah berdasarkan data percepatan pada sumbu x, y, dan z, serta modul GPS Neo-6M untuk menentukan lokasi node dengan akurat[12]. Semua data yang diperoleh dari sensor diproses oleh Arduino Nano, yang bertindak sebagai mikrokontroler. Setelah diproses, data dikirimkan ke Gateway menggunakan modul komunikasi LoRa SX1278[13]. Dengan konfigurasi ini, alat pendeteksi tanah longsor dapat berfungsi secara mandiri dalam mengukur dan mengirimkan parameter lingkungan.

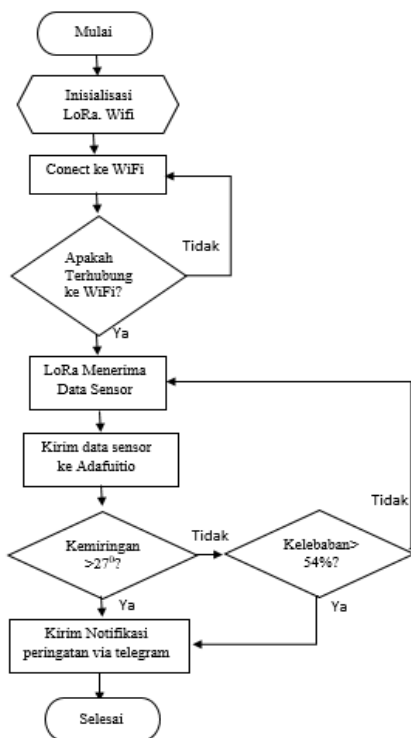
Pada bagian kedua yaitu Gateway bertugas menerima data yang dikirimkan Node, memprosesnya, dan meneruskan informasi ke platform IoT serta aplikasi peringatan bahaya. Gateway menggunakan ESP32 sebagai mikrokontroler utama, yang terhubung dengan modul LoRa untuk menerima data dari Node[14][15]. Setelah menerima data, ESP32 menganalisis informasi tersebut untuk mengevaluasi kondisi tanah. Apabila data menunjukkan bahwa kelembaban tanah melebihi 54% serta terjadi perubahan kemiringan yang melebihi 27 derajat, Gateway akan mengirimkan notifikasi peringatan bahaya melalui aplikasi Telegram. Selain itu, data dari Node juga dikirimkan ke platform Adafruit io melalui koneksi Wi-Fi untuk pemantauan data secara real-time, sehingga pengguna dapat memantau kondisi lingkungan melalui dashboard Adafruit io.

Program dimulai dengan melakukan inisialisasi pada seluruh komponen yang digunakan yaitu, sensor MPU6050 untuk mendeteksi kemiringan tanah, sensor kelembaban tanah untuk mengukur kadar air dalam tanah, serta modul GPS untuk mengetahui lokasi alat yang dipasangkan. Selain itu, modul LoRa juga dikonfigurasi agar siap mengirimkan data ke Gateway. Setelah semua komponen siap, sistem akan mulai membaca data dari sensor. Sensor MPU6050 akan mengukur sudut kemiringan tanah untuk mendeteksi adanya perubahan posisi yang berpotensi menyebabkan longsor. Sensor kelembaban tanah akan mengukur kadar air dalam tanah, karena tingkat kelembaban yang tinggi merupakan salah satu faktor terjadinya longsor. Sementara itu, modul GPS akan membaca lokasi Node sehingga titik lokasi alat yang dipasang dapat diketahui. Data dari ketiga sensor tersebut kemudian diproses oleh mikrokontroler arduino nano.

Setelah data diproses, sistem akan mengirimkan hasil pengukuran ke Gateway menggunakan komunikasi LoRa. LoRa merupakan teknologi komunikasi nirkabel jarak jauh yang memungkinkan transmisi data dengan konsumsi daya rendah, sehingga cocok untuk sistem pemantauan di lokasi terpencil. Data yang dikirimkan mencakup nilai kemiringan tanah dari sensor MPU6050, tingkat kelembaban tanah, serta koordinat lokasi dari GPS. Setelah proses membaca dan pengiriman data selesai dilakukan, program akan kembali membaca dan melakukan proses pengiriman data secara terus-menerus. Dengan siklus kerja yang berulang ini, sistem dapat terus memantau kondisi tanah secara real-time.



Gambar. 4 Flowchart Node

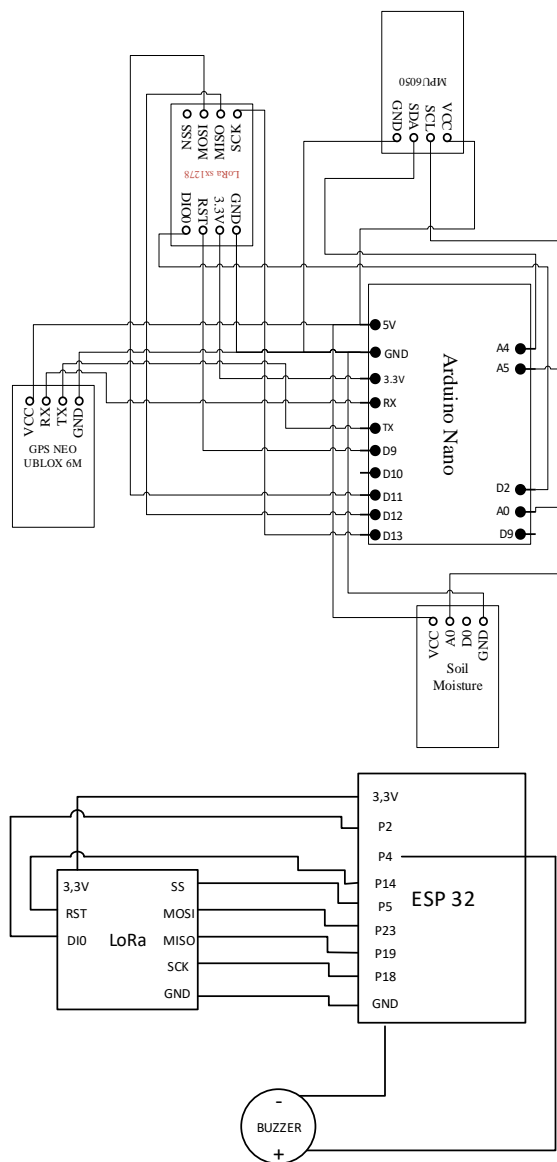


Gambar 5. Flowchart Gateway

Program Gateway diawali dengan inisialisasi sistem, dengan mengaktifkan modul LoRa yang berfungsi sebagai penghubung utama dalam komunikasi data antara Node dan Gateway. Modul LoRa dikonfigurasi untuk dapat menerima data dari Node secara optimal dengan memastikan frekuensi dan parameter komunikasi telah sesuai. Setelah proses inisialisasi selesai, Gateway akan mencoba terhubung ke jaringan WiFi. Koneksi WiFi ini sangat penting karena Gateway akan menggunakan jaringan internet untuk mengirimkan data ke platform Adafruit IO serta mengirimkan notifikasi ke aplikasi Telegram. Jika koneksi berhasil, sistem siap untuk menerima data dari Node melalui modul LoRa.

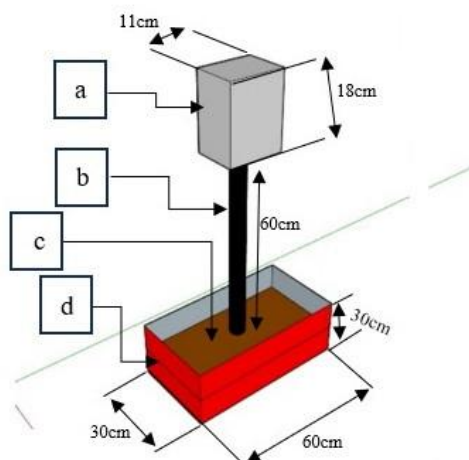
Setelah data dari Node diterima, Gateway akan melakukan analisis dari informasi yang diperoleh. Dengan memeriksa perubahan pada sensor gyro dan data yang diterima akan dikirimkan ke platform Adafruit IO untuk ditampilkan secara real-time. Selanjutnya, sistem juga memeriksa tingkat kelembaban tanah. Jika nilai kelembaban tanah tinggi melebihi 54% atau kemiringan tanah lebih dari 27, sistem otomatis akan mengirimkan notifikasi peringatan bahaya melalui aplikasi Telegram kepada pengguna. Notifikasi ini memberikan informasi data lingkungan yang berpotensi menyebabkan tanah longsor sehingga tindakan pencegahan dapat segera dilakukan. Setelah semua proses

pengolahan dan pengiriman data selesai, program akan kembali ke awal untuk terus memantau kondisi tanah secara terus-menerus.



Gambar 6. Wiring Node dan gateway

Pada Gambar 6 terlihat sebuah mikrokontroler Arduino nano yang berperan sebagai pusat pengontrol utama dari sistem, memastikan komponen beroperasi secara efisien. Terdapat sensor kelembaban tanah, sensor MPU6050, sensor GPS NEO, dan Modul LoRa. ESP32 menerima data melalui modul LoRa, memprosesnya, dan mengirimkan data ke platform Adafruit IO melalui Wi-Fi. Jika data menunjukkan potensi longsor, ESP32 mengirimkan notifikasi melalui Telegram



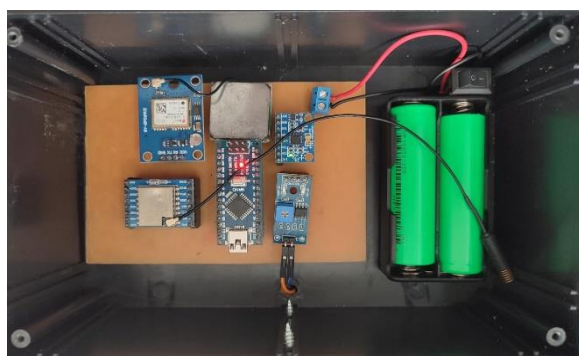
Gambar 7. Rancangan Alat Pendeteksi Tanah Longsor

Keterangan untuk gambar 7 sebagai berikut:

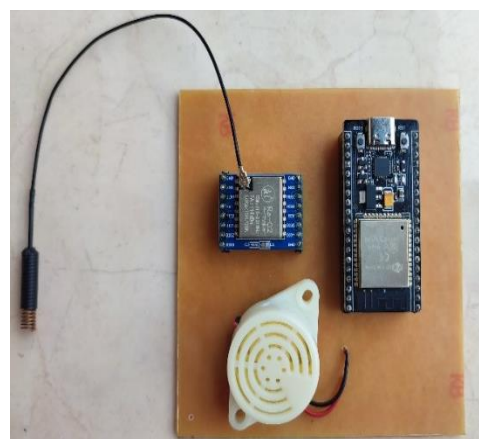
- Kotak X6, menampung node sensor, sensor kelembaban tanah, sensor gyro MPU6050, modul GPS, dan modul LoRa, serta melindungi komponen-komponen tersebut dari kondisi lingkungan seperti hujan, debu, dan panas.
- Tiang, menghubungkan kotak sensor dengan kotak tanah di bagian bawah, dan menjadi jalur kabel untuk sensor kelembaban tanah.
- Ruang yang akan diisi dengan tanah
- Kotak kontainer, menampung tanah

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

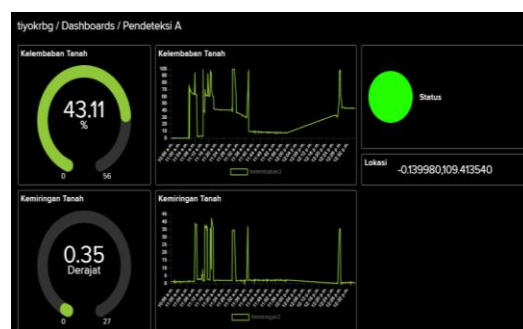
Berikut ini adalah gambar dari hasil implementasi perangkat keras.



Gambar 8. Node Sensor

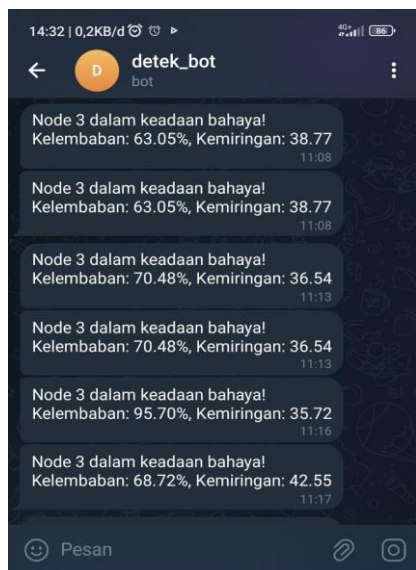


Gambar 9. Gateway



Gambar 10 Monitoring di Adafruit IO

Pada gambar 10 merupakan bentuk tampilan monitoring data- data Node1 pada platform Adafruit IO. Terlihat tampilan data kelembaban tanah, kemiringan tanah, indikator status, lokasi GPS, serta Grafik perubahan pergerakan kelembaban dan kemiringan tanah.



Gambar 11 Bentuk Notifikasi Telegram

Pada gambar 11 merupakan notifikasi peringatan dini bahaya melalui aplikasi telegram. Data yang dikirimkan tersebut berisikan informasi node dalam keadaan bahaya dan menampilkan data kelembaban tanah serta kemiringan node.

TABEL I. HASIL PENGUJIAN SENSOR MPU6050

Kemiringan (Busur Derajat)	Kemiringan (MPU6050)	Error (%)
5°	5,26°	5,2
10°	10,36°	3,6
15°	15,18°	1,2
20°	20,39°	1,95
25°	25,68°	2,72
30°	30,12°	0,4
35°	35,13°	0,37
40°	40,50°	1,25
45°	45,36°	0,8
Rata - Rata		1,94

Hasil pengujian menunjukkan bahwa rata-rata error sensor MPU6050 adalah 1,94%, yang masih dalam batas toleransi pengukuran. Dengan demikian, sensor ini dapat digunakan untuk mendeteksi kemiringan tanah dengan tingkat akurasi yang cukup baik.

TABEL II. HASIL PENGUJIAN SENSOR GPS NEO 6M

HP		GPS Neo 6M		Error(%)	
Lat	Long	Lat	Long	Lat	Long
-0,054828	109,345734	-0,054858	109,345660	0,054686646	-0,000068
-0,0550024	109,345774	-0,054924	109,345750	0,142742699	-0,000022
-0,0548257	109,345935	-0,054744	109,345620	0,149240099	-0,000288
-0,0547456	109,346053	-0,054806	109,345300	0,110206912	-0,000689
-0,0546037	109,346288	-0,054968	109,345960	0,662749236	-0,000300
Rata - rata				0,223925118	-0,0002733

Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh rata-rata error sebesar 0,22%. Nilai error ini masih dapat diterima dalam pemantauan tanah longsor karena hanya untuk petunjuk lokasi pada saat pemeliharaan alat.

TABEL III. HASIL PENGUJIAN SENSOR KELEMBABAN TANAH

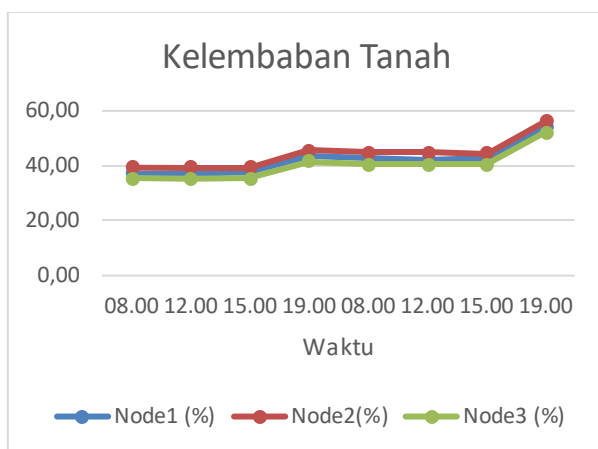
Titik Pengukuran	Kelembapan Tanah Sensor (%)	Alat Ukur Analog (Nilai 1-10)	Error %
Titik 1	23,56	25	5.76
Titik 2	29,92	30	0.27
Titik 3	62,27	63	1.16
Titik 4	61,58	63	2.25
Titik 5	68,62	68	0,91
Titik 6	66,96	68	1,53
Rata - Rata			1,98

Hasil pengujian menunjukkan bahwa rata-rata error sensor kelembaban tanah adalah 1,98%, yang menunjukkan bahwa sensor memiliki akurasi yang cukup tinggi. Untuk hasil pengujian jarak jangkauan Lora ditunjukkan pada table 4. Pengujian Lora dilakukan dengan mengukur SNR komunikasi antara node 3 dan node1 pada jarak 1 meter sampai dengan 180 meter. Hasil pengujian menunjukkan komunikasi data dapat dilakukan pada jarak kurang dari 160 meter.

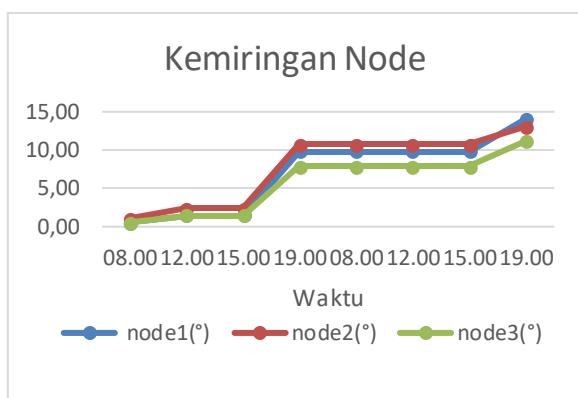
TABEL IV. HASIL PENGUJIAN KOMINIKASI LORA NODE 3 DAN NODE 1.

NO	Jarak(m)	SNR (dB)	Status
1	1	9,75	OK
2	50	4,50	OK
3	100	-4,50	OK
4	140	-9,00	OK
5	160	-10,50	OK

6	180	-	Sinyal Hilang
---	-----	---	---------------



Gambar 12. Grafik Kelembaban Tanah



Gambar 13. Grafik Kemiringan Node

Pada gambar 12 dan gambar 13 menampilkan grafik data pengujian simulasi alat selama dua hari. Tiga node dipasang tegak lurus/ rata air pada tiga titik yang berbeda dengan jarak 50 meter. Terjadi peningkatan kelembaban tanah dan kemiringan node pada pukul 19.00 pada hari pertama dan hari ke dua dikarenakan telah terjadi hujan sehingga meningkatkan kadar air tanah dan sudut kemiringan node. Pada perbukitan atau tebing, kadar air tanah yang tinggi maka akan berpotensi terjadinya longsor. Sebelum tanah longsor akan diawali dengan pergerakan tanah, saat tanah di titik node bergerak maka akan mengubah sudut kemiringan node. Data pada grafik tersebut menunjukkan bahwa alat pendeteksi tanah longsor berbasis IoT mampu mendeteksi perubahan kemiringan dan kelembaban tanah secara real-time dengan tingkat akurasi yang baik. Grafik hasil pengujian menunjukkan tren peningkatan kemiringan yang bertepatan dengan lonjakan kelembaban tanah, yang menjadi indikator awal kemungkinan

terjadinya longsor. Dengan demikian, sistem ini dapat memberikan manfaat yang besar dalam pemantauan kondisi tanah dan memberikan peringatan dini sebelum terjadi bahaya bencana tanah longsor. Penerapan sistem ini dapat menjadi solusi bagi daerah-daerah rawan longsor untuk mengurangi risiko korban yang ditimbulkan.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. Kesimpulan

Pendeteksi tanah longsor yang dikembangkan mampu mendeteksi perubahan kemiringan node dan kadar kelembaban dengan tingkat akurasi yang cukup baik. Sensor gyro MPU6050 yang digunakan memiliki rata-rata tingkat kesalahan 1,94%, sementara sensor kelembaban tanah menunjukkan rata-rata kesalahan 1,98%. Sensor GPS Neo 6M memiliki rata-rata selisih posisi sekitar 0,22%.

Dengan menggunakan LoRa, Node dapat mengirimkan data sensor kelembaban tanah, gyro MPU6050 dan sensor GPS ke gateway kemudian dikirimkan ke Adafruit IO untuk ditampilkan. Jarak maksimal antar node adalah 160 meter.

Notifikasi darurat melalui Telegram dapat terkirim dengan baik ketika kemiringan tanah melampaui 27° dan kadar kelembaban tanah melebihi 54%, memberikan peringatan dini kepada pengguna untuk segera mengambil tindakan mitigasi.

4.2. Saran

Agar alat pendeteksi tanah longsor ini semakin optimal dan dapat diterapkan lebih luas, beberapa pengembangan yang disarankan adalah meningkatkan akurasi sensor kelembaban tanah dengan memilih sensor yang memiliki sensitivitas lebih tinggi. Menyediakan sumber energi terbarukan seperti panel surya. Hal ini memungkinkan alat tetap berfungsi tanpa harus mengganti baterai. Memperluas jangkauan pemantauan dengan menambah jumlah node di berbagai titik rawan longsor. Mengembangkan website untuk menampilkan data sensor sebagai solusi pembatasan jumlah data yang ada di Adafruit IO. Mengganti Built-in antena dengan antena eksternal sehingga jarak jangkauan maksimal komunikasi antar Node bisa lebih jauh.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Diucapkan terimakasih kepada Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Pontianak dan Unit Penelitian dan Pengabdian Pada Masyarakat Politeknik Negeri Pontianak yang telah

memberikan dana, serta semua pihak yang telah berkontribusi sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Majid *et al.*, "Applications of Wireless Sensor Networks and Internet of Things Frameworks in the Industry Revolution 4.0: A Systematic Literature Review," *Sensors*, vol. 22, no. 6, pp. 1–36, 2022, doi: 10.3390/s22062087.
- [2] A. Riziq Gyfari, S. Adi Wibowo, and N. Vendyansyah, "PERANCANGAN DAN PEMBANGUNAN SISTEM MONITORING TANAH LONGSOR BERBASIS IoT MENGGUNAKAN TEKNOLOGI LORA (LONG RANGE)," *JATI (Jurnal Mhs. Tek. Inform.)*, vol. 7, no. 4, pp. 2382–2388, 2023, doi: 10.36040/jati.v7i4.7523.
- [3] A. Taqwa, M. Fadhli, S. Soim, A. S. Handayani, and Suroso, "Prototype Design of Landslide Early Detection System Using LoRa and IoT," *Proc. 4th Forum Res. Sci. Technol.*, vol. 7, pp. 495–499, 2021, doi: 10.2991/ahe.k.210205.084.
- [4] Y. A. Pratama, M. Ardita, and K. A. Widodo, "Perancangan Sistem Komunikasi Lora untuk Deteksi Dini Tanah Longsor," pp. 699–705, 2022.
- [5] R. Mega Utama, "Rancang Bangun Alat Deteksi Tanah Longsor Berbasis IoT dengan NodeMCU ESP8266 dan MPU6050," *J. Ilmu dan Inov. Fis.*, vol. 6, no. 2, pp. 137–146, 2022, doi: 10.24198/jiif.v6i2.40054.
- [6] A. Setyawan, J. E. Suseno, R. D. Winesthi, and S. A. Otaviana, "Peringatan Dini Tanah Longsor Berdasarkan Kelembaban Tanah Secara Jarak Jauh Menggunakan Sensor FC-28 dan Node MCU," *J. Ilmu Lingkungan.*, vol. 18, no. 2, pp. 242–246, 2020, doi: 10.14710/jil.18.2.242-246.
- [7] I. PRIYADI, F. HADI, Y. S. PRANATA, and M. R. RAZALI, "Rancangan dan Implementasi Sistem Deteksi Longsor Berbasis SMS dan Progressive Web Apps," *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 10, no. 1, p. 243, 2022, doi: 10.26760/elkomika.v10i1.243.
- [8] A. Noor *et al.*, "Sistem early warning deteksi kualitas udara berbasis iot," vol. 7, no. 2, pp. 402–412, 2024.
- [9] F. Budiman, E. Susanto, D. Perdana, H. Mukhtar, Y. A. Pamungkas, and Y. Y. Kevin, "Landslide monitoring system based on water adsorption rate utilizing humidity, accelerometer, and temperature sensors," *J. Teknol. dan Sist. Komput.*, vol. 8, no. 4, pp. 255–262, 2020, doi: 10.14710/jtsiskom.2020.13591.
- [10] M. R. Maulana, G. Mukarrom, and N. F. Aminy, "Rancang Bangun Sistem Deteksi Tanah Longsor Menggunakan".
- [11] A. Kurnianto, J. Dedy Irawan, and F. Xaverius Ariwibisono, "Penerapan Iot (Internet of Things) Untuk Controlling Lampu Menggunakan Protokol Mqtt Berbasis Web," *JATI (Jurnal Mhs. Tek. Inform.)*, vol. 6, no. 2, pp. 1153–1161, 2023, doi: 10.36040/jati.v6i2.5393.
- [12] F. Firdaus and I. Ismail, "Komparasi Akurasi Global Position System (GPS) Receiver U-blox Neo-6M dan U-blox Neo-M8N pada Navigasi Quadcopter," *Elektron J. Ilm.*, vol. 12, no. 1, pp. 12–15, 2020, doi: 10.30630/eji.12.1.137.
- [13] G. Description, K. E. Y. P. Features, and O. Information, "Sx1276/77/78/79," *Datasheet*, no. March, 2015.
- [14] J. Adhi *et al.*, "Rancang bangun mesin pencacah botol plastik otomatis untuk bank sampah berbasis iot," vol. 7, no. 2, pp. 251–262, 2024.
- [15] Espressif Systems, "ESP32 Series," *Esp32*, pp. 1–65, 2021, [Online]. Available: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/es_p32-s2_datasheet_en.pdf