RANCANG BANGUN SISTEM PERINGATAN PERGERAKAN TANAH LONGSOR BERBASIS MIKROKONTROLER ESP32 DAN TRANSMISI LORA

Galih Argya Nugraha[1)], Fakhruddin Mangkusasmito[2)]
Program Studi D-IV Teknik Listrik Industri, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275
**E-mail : fakhm17@gmsil.com*

ABSTRACT

Landslides are one of the natural disasters that often occur in Indonesia, especially in highland areas and slopes with steep inclines. Landslides can cause serious impacts, such as loss of life, damage to infrastructure, and significant material losses. Indonesia, located in the equatorial region, has relatively high rainfall, which increases the potential for landslides, especially in areas that have experienced deforestation and unstable soil conditions. Therefore, a reliable early warning system that can quickly detect landslides is needed to reduce the risk of disasters. This study aims to design and build an ESP32 microcontroller-based landslide movement warning system with data communication support using LoRa technology. The system is designed using a mechanical pull switch sensor as an initial detector of ground movement. When the pull switch is pulled or disconnected, the ESP32 microcontroller will process the change in condition and immediately activate a siren and rotating light as an early warning at the location. The warning information is also sent to the receiving unit via the LoRa E220 module without relying on cellular networks or internet connections. The test results show that the system is able to respond quickly to ground movement and provide clear warnings. LoRa E220-900T22D communication can work well at an effective distance of up to ±900 meters in open areas. Based on these results, the designed system is considered simple, responsive, and suitable for implementation as an early warning system for landslides in disaster-prone areas with limited communication infrastructure.

Keywords: *Landslide, early warning system, ESP32, pull switch, LoRa.*

PENDAHULUAN

Tanah longsor merupakan salah satu bencana alam yang sering terjadi di wilayah Indonesia, khususnya pada daerah dataran tinggi dan lereng yang memiliki tingkat kemiringan curam. Bencana tanah longsor dapat menimbulkan berbagai dampak serius, seperti korban jiwa, kerusakan infrastruktur, serta kerugian material yang besar. Indonesia yang berada di wilayah khatulistiwa memiliki curah hujan yang relatif tinggi, sehingga meningkatkan potensi terjadinya pergerakan tanah, terutama pada kawasan yang mengalami penggundulan hutan dan kondisi tanah yang tidak stabil. Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem peringatan dini yang andal dan mampu mendeteksi pergerakan tanah secara cepat untuk mengurangi risiko bencana.

Berbagai penelitian telah mengembangkan sistem peringatan dini tanah longsor berbasis teknologi elektronika sederhana. Syaryadhi dan Zulhelmi mengembangkan sistem menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi dengan sensor MPU6050 dan sensor kelembaban tanah untuk mendeteksi perubahan kemiringan lereng dan kondisi tanah secara real time[1]. Sementara itu, Lanto dkk. menambahkan bahwa aspek geospasial seperti kemiringan lereng dan intensitas hujan merupakan indikator utama dalam pemetaan risiko tanah longsor[2]. Selain itu, pendekatan berbasis sensor mekanik pull switch juga banyak digunakan karena memiliki keandalan dan kesederhanaan dalam mendeteksi pergeseran tanah secara langsung.

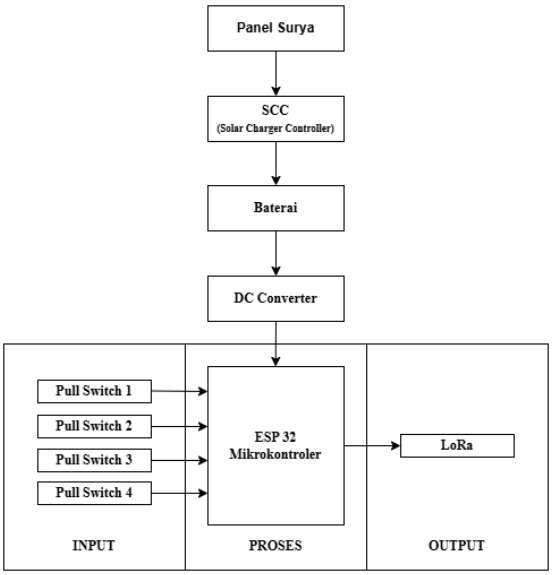
Dalam sistem ini, mikrokontroler ESP32 berfungsi sebagai pusat kendali yang menerima sinyal dari sensor mekanik. Ketika terjadi pergerakan tanah yang mengaktifkan sensor pull switch, ESP32 akan memproses sinyal tersebut dan mengirimkan data peringatan melalui modul LoRa (Long Range) menuju node penerima utama. LoRa digunakan sebagai media komunikasi nirkabel jarak jauh berdaya rendah yang mampu mentransmisikan data secera efektif bahkan di daerah perbukitan tanpa memerlukan jaringan internet[3]. Teknologi ini sangat sesuai untuk daerah terpencil yang tidak memiliki akses komunikasi seluler, sehingga sistem tetap dapat bekerja secara mandiri.

Sistem seperti ini memiliki nilai strategis karena mudah dirakit, hemat energi, dan dapat dioperasikan menggunakan panel surya di wilayah terpencil. Selain itu, biaya instalasinya relatif rendah, sehingga memungkinkan penerapan secara luas di daerah rawan longsor. Pendekatan ini sejalan dengan penelitian Retongga yang menegaskan bahwa teknologi sederhana yang melibatkan partisipasi masyarakat lokal dapat menjadi solusi efektif dalam mitigasi risiko bencana, khususnya di daerah rawan longsor yang berdekatan dengan permukiman atau jalur penghubung antarwilayah[4].

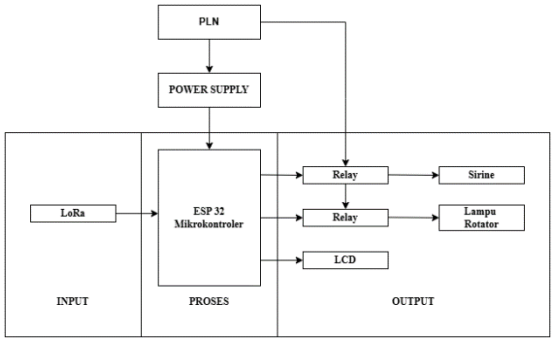
Proyek ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata dalam upaya mitigasi bencana, khususnya dalam meningkatkan kesiapsiagaan masyarakat di wilayah rawan longsor. Dengan adanya sistem pemantauan pergerakan tanah yang handal dan mandiri, masyarakat lokal dapat memperoleh peringatan dini secara cepat dan akurat, sehingga tindakan evakuasi maupun pencegahan dapat dilakukan sebelum bencana terjadi. Berdasarkan hal tersebut, penulis tertarik untuk mengangkat tugas akhir dengan judul "RANCANG BANGUN SISTEM PERINGATAN PERGERAKAN TANAH LONGSOR BERBASIS MIKROKONTROLER ESP32 DAN TRANSMISI LORA" Melalui proyek ini, penulis bertujuan untuk merancang sistem peringatan dini yang dapat menjadi solusi dalam pemantauan potensi pergerakan tanah secara berkelanjutan, terutama di daerah perbukitan yang belum terjangkau jaringan internet.

METODE PENELITIAN

Untuk mencapai target penelitian yang diharapkan, tahapan penelitian ini meliputi pembuatan alat dan pengambilan data. Pembuatan alat meliputi pembuatan rangkaian *transmitter dan receiver pada alat pendeteksi tanah longsor*. Pengambilan data meliputi pengambilan data respon alat, pengukuran kebisingan suara dan pengujian jarak komunikasi LoRa E220 900T22D. Berikut ini adalah gambar blok rangkaian keseluruhan dari alat terssebut di atas.



Gambar 1. Diagram Blok Transmitter



Gambar 2. Diagram Blok Receiver

Cara kerja dari alat simulasi ini adalah:

1. Panel surya mengubah cahaya matahari menjadi listrik.
2. Panel surya pada unit transmitter menangkap cahaya matahari dan mengubahnya menjadi energi listrik sebagai sumber daya utama sistem.
3. Energi listrik dari panel surya diatur oleh Solar Charge Controller (SCC) untuk mengisi baterai sekaligus menjaga kestabilan tegangan agar tidak terjadi overcharge.
4. Baterai menyimpan energi listrik dan menyuplai daya ke mikrokontroler ESP32 sehingga transmitter tetap beroperasi meskipun intensitas cahaya matahari menurun.
5. ESP32 pada unit transmitter membaca status empat pull switch yang terpasang di titik rawan longsor secara berkala.
6. Ketika salah satu pull switch tertarik atau terputus akibat pergeseran tanah, ESP32 mengenali kondisi tersebut sebagai sinyal bahaya.
7. Data status pull switch kemudian diproses dan dikemas dalam bentuk sinyal digital sederhana oleh ESP32.
8. Modul LoRa pada transmitter memancarkan data status tersebut menuju unit receiver dengan jangkauan komunikasi jarak jauh.
9. Pada unit receiver, sinyal LoRa diterima dan dibaca oleh ESP32 untuk diidentifikasi apakah kondisi masih aman atau telah terdeteksi bahaya.
10. Jika terdeteksi kondisi bahaya, ESP32 mengaktifkan relay sebagai jalur kendali output.
11. Relay pertama mengaktifkan sirine sebagai peringatan suara, sedangkan relay kedua menyalakan lampu emergency atau rotator sebagai penanda visual.
12. Secara bersamaan, ESP32 menampilkan informasi status pull switch dan kondisi sistem pada LCD agar dapat dipantau secara real-time oleh petugas.
13. Seluruh rangkaian receiver memperoleh sumber daya dari listrik PLN 220 VAC yang kemudian diturunkan oleh power supply

menjadi tegangan DC 5V yang stabil untuk ESP32 dan komponen keluaran.

HASIL PENGUJIAN

1. Pengujian Alat Pada Lokasi Dengan Menggunakan Longsor Buatan

Pengujian alat pada simulasi longsor buatan dilakukan untuk mengetahui kinerja sistem pendeteksi pergerakan tanah dalam kondisi yang mendekati kejadian nyata. Simulasi ini bertujuan untuk menguji kemampuan sensor mekanik pull switch dalam mendeteksi pergeseran tanah secara langsung serta respon sistem peringatan dini yang dihasilkan.



Gambar 3. Pengujian Alat pada Lereng

Pada Gambar 3. diatas menunjukan simulasi longsor buatan dilakukan dengan cara memberikan tarikan atau pemutusan pada tali penghubung pull switch yang dipasang pada beberapa arah mata angin. Tarikan tersebut merepresentasikan terjadinya pergerakan atau pergeseran tanah pada titik rawan longsor. Setiap perubahan kondisi pull switch diamati sebagai input sistem yang kemudian diproses oleh mikrokontroler ESP32.



Gambar 4 Respon Alat

Pada saat salah satu pull switch terdeteksi dalam kondisi bahaya, sistem secara langsung mengubah status dari aman menjadi bahaya tanpa memerlukan proses pengolahan data lanjutan. Informasi kondisi sistem dan arah terjadinya pergerakan tanah ditampilkan melalui layar LCD 20×4. Secara bersamaan, sirine dan lampu rotator aktif sebagai peringatan audio dan visual di lokasi pengujian seperti pada Gambar 4.

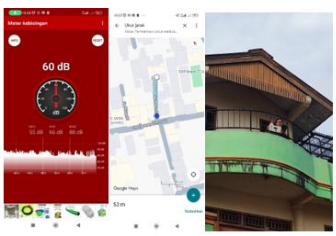
Tabel 1. Hasil Respon Sistem

No.	Timur (T)	Barat (U)	Timur (S)	Selatan (B)	Status Sistem	Sirine	Lampu Rotator
1	A	A	A	A	AMAN	OFF	OFF
2	A	A	A	T	!!!LONGSOR!!!	ON	ON
3	A	A	T	A	!!!LONGSOR!!!	ON	ON
4	A	A	T	T	!!!LONGSOR!!!	ON	ON
5	A	T	A	A	!!!LONGSOR!!!	ON	ON
6	A	T	A	T	!!!LONGSOR!!!	ON	ON
7	A	T	T	A	!!!LONGSOR!!!	ON	ON
8	A	T	T	T	!!!LONGSOR!!!	ON	ON
9	T	A	A	A	!!!LONGSOR!!!	ON	ON
10	T	A	A	T	!!!LONGSOR!!!	ON	ON
11	T	A	T	A	!!!LONGSOR!!!	ON	ON
12	T	A	T	T	!!!LONGSOR!!!	ON	ON
13	T	T	A	A	!!!LONGSOR!!!	ON	ON
14	T	T	A	T	!!!LONGSOR!!!	ON	ON
15	T	T	T	A	!!!LONGSOR!!!	ON	ON
16	T	T	T	T	!!!LONGSOR!!!	ON	ON
17	A	A	A	A	RESET/AMAN	OFF	OFF

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan respon peringatan secara cepat dan jelas terhadap simulasi pergerakan tanah yang diberikan. Pengujian ini membuktikan bahwa alat yang dirancang dapat bekerja secara andal sebagai sistem peringatan dini tanah longsor yang sederhana, responsif, dan tidak bergantung pada koneksi internet maupun layanan berbasis cloud, sehingga sesuai untuk diterapkan di wilayah rawan longsor dengan keterbatasan infrastruktur komunikasi.

2. Pengujian Kebisingan Suara Sirine

Pengukuran kebisingan suara sirine dilakukan untuk mengetahui tingkat intensitas suara yang dihasilkan oleh sirine sebagai peringatan audio pada sistem pendeteksi longsor. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa suara sirine masih dapat terdengar dengan jelas pada jarak tertentu sehingga efektif digunakan sebagai peringatan dini bagi masyarakat di sekitar lokasi alat.



Gambar 5 Pengukuran Kebisingan Suara

Tabel 2. Pengukur Kebisingan Suara

Jarak (Meter)	Kebisingan (dB)
1	80
5	79
10	73
15	68
20	67
25	66
30	65
35	64
40	63
45	61
50	60

Berdasarkan hasil pengukuran yang ditunjukkan pada tabel 2, tingkat kebisingan suara sirine mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya jarak pengukuran. Dimulai dari 80 dB pada jarak 1 meter yang sangat keras, lalu sedikit menurun menjadi 79 dB pada 5 meter. Penurunan intensitas mulai signifikan menjadi 73 dB pada jarak 10 meter, dan terus berkurang hingga mencapai kisaran 60-65 dB pada jarak 30 hingga 50 meter, di mana suara sirine masih dapat terdengar jelas sebagai peringatan. Penurunan intensitas ini disebabkan oleh faktor perambatan gelombang suara di udara.

Berdasarkan hasil pengujian tersebut, dapat disimpulkan bahwa sirine yang digunakan pada sistem ini mampu menghasilkan tingkat kebisingan yang cukup untuk berfungsi sebagai peringatan dini pada jarak tertentu. Dengan demikian, sirine dinilai efektif sebagai peringatan audio lokal dalam sistem pendeteksi longsor, terutama pada area di sekitar lokasi pemasangan alat.

3. Pengujian Jarak Komunikasi LoRa E220-900T22D

Pengujian dilakukan untuk mengetahui sejauh mana komunikasi LoRa dapat berjalan dengan baik antara unit transmitter (pengirim) dengan unit receiver (penerima). Pengujian dilakukan di area terbuka Jalan Baru UNDIP menggunakan modul LoRa E220-900T22D yang terkoneksi pada mikrokontroler ESP32. Pada sistem ini digunakan antena eksternal bawaan pada sisi transmitter dan receiver untuk meningkatkan kualitas komunikasi data. Data peringatan dikirimkan dari ESP32 unit transmitter (pengirim) menuju unit receiver (penerima), kemudian dilakukan pengamatan terhadap keberhasilan penerimaan data yang ditampilkan melalui LCD sebagai indikator koneksi. Seluruh hasil pengujian dicatat secara langsung dan disajikan dalam bentuk tabel serta analisa. Pengujian dilakukan dengan mengatur jarak antara perangkat pengirim dan penerima secara bertahap, mulai dari jarak 0 meter, 100 meter, 200 meter, dan seterusnya hingga mencapai jarak 1 kilometer. Pada setiap jarak, sistem dijalankan dan diamati keberhasilan penerimaan data yang ditampilkan melalui LCD sebagai indikator koneksi, apakah data peringatan masih dapat diterima oleh unit penerima.



Gambar 6. Pengujian Jarak Komunikasi LoRa

Tabel 3. Data Pengujian Jarak Komunikai LoRa E220

No.	Jarak (m)	Data Masuk
1	100	SUKSES
2	200	SUKSES
3	300	SUKSES
4	400	SUKSES
5	500	SUKSES
6	600	SUKSES
7	700	SUKSES
8	800	SUKSES
9	900	SUKSES
10	1000	GAGAL

Berdasarkan hasil pengujian menunjukkan bahwa komunikasi LoRa E220T22D masih berfungsi dengan baik pada jarak 0 meter hingga 900 meter. Pada rentang jarak tersebut, data peringatan berhasil dikirim dan diterima dengan normal oleh unit receiver, serta LCD sistem menunjukkan "Connected" atau terkoneksi. Namun, pada jarak 1 kilometer, komunikasi tidak lagi berhasil karena data tidak dapat diterima oleh unit reciver (penerima). Hal ini menunjukkan bahwa konfigurasi antenna standar yang digunakan, jarak komunikasi efektid LoRa E220-900T22D dalam ujicoba ini adalah $\pm$ 1 Km.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan alat tugas akhir dari pengujian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Sistem peringatan pergerakan tanah longsor berbasis mikrokontroler ESP32 dan transmisi LoRa berhasil dirancang dan diimplementasikan dengan baik menggunakan sensor mekanik pull switch sebagai pendeteksi awal pergerakan tanah. Sistem mampu bekerja secara mandiri dan memberikan respon langsung terhadap perubahan kondisi di lapangan.
2. Sensor pull switch berfungsi sesuai dengan perancangannya, di mana setiap tarikan atau pemutusan tali yang merepresentasikan pergeseran tanah dapat terdeteksi dengan cepat oleh ESP32. Perubahan kondisi tersebut langsung diproses tanpa pengolahan data lanjutan dan ditampilkan sebagai status bahaya pada layar LCD, sekaligus memicu aktivasi sirine dan lampu rotator sebagai peringatan dini.
3. Sistem peringatan audio menggunakan sirine menunjukkan kinerja yang baik, dengan tingkat kebisingan yang masih dapat terdengar jelas hingga jarak tertentu. Hal ini membuktikan bahwa sirine efektif digunakan sebagai peringatan lokal bagi masyarakat di sekitar lokasi pemasangan alat.
4. Komunikasi data menggunakan modul LoRa E220-900T22D dapat berjalan dengan stabil pada jarak efektif hingga ±900 meter pada kondisi area terbuka dengan antena standar. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem mampu mentransmisikan informasi peringatan secara andal di wilayah yang tidak memiliki akses jaringan seluler maupun internet.

Secara keseluruhan, sistem yang dikembangkan terbukti sederhana, responsif, dan andal sebagai sistem peringatan dini tanah longsor. Implementasi sistem ini dapat menjadi solusi alternatif untuk mitigasi bencana di daerah rawan longsor, khususnya pada wilayah terpencil dengan keterbatasan infrastruktur komunikasi.

SARAN

Hasil Berdasarkan hasil pengujian dan implementasi sistem monitoring pendeteksi tanah longsor berbasis ESP32, LoRa E220-900T22D, dan dukungan panel surya 10 Wp, beberapa saran untuk pengembangan lebih lanjut adalah sebagai berikut:

1. Sistem dapat dikembangkan dengan menambahkan sistem IoT serta jenis sensor lain, seperti sensor sudut, sensor kelembapan tanah, atau sensor getaran, guna meningkatkan akurasi dan keandalan deteksi pergerakan tanah.
2. Jarak komunikasi LoRa dapat ditingkatkan dengan menggunakan antena berpenguatan lebih tinggi atau melakukan optimasi konfigurasi parameter LoRa, seperti daya pancar dan spreading factor, agar sistem dapat menjangkau area yang lebih luas.
3. Untuk implementasi lebih luas, sistem dapat dikembangkan menjadi sistem multi node yang dimana jaringan monitoring memiliki lebih dari satu node LoRa yang mengirimkan data ke satu gateway, sehingga jangkauan pemantauan lebih besar cakupannya.
4. Untuk mengurangi risiko gangguan komunikasi, sistem disarankan dilengkapi dengan media penyimpanan data lokal berupa SD card, sehingga data tetap tersimpan dengan baik dan dapat dikirimkan kembali ketika koneksi telah kembali stabil.

Dengan adanya pengembangan tersebut, diharapkan sistem peringatan dini tanah longsor ini dapat memiliki performa yang lebih optimal dan memberikan kontribusi nyata dalam upaya mitigasi bencana di daerah rawan longsor.

DAFTAR PUSTAKA

[1] A. Putra, T. Rohana, and S. A. Puspita, "Sistem Peringatan Dini Bencana Alam Tanah Lonsor Berbasis Internet Of Things," *Sci. Student J. Information, Technol. Sci.*, vol. 3, no. 1, pp. 9–16, 2022.

[2] M. S. Lanto, D. N. Syam, A. Wahyuni, and A. Kusmiran, "Pemetaan Risiko Bencana Tanah Longsor Di Kabupaten Barru Menggunakan Metode Pembobotan Parameter Dan Inarisk Bnpb," J. Geosaintek, vol. 8, no. 3, p. 250, 2022, doi: 10.12962/j25023659.v8i3.14758.

[3] Y. Adi Pratama, M. Ardita, and K. Ardi Widodo, "Perancangan Sistem

Komunikasi Lora untuk Deteksi Dini Tanah Longsor," Pros. SENIATI, vol. 6, no. 3, pp. 699–705, 2022, doi: 10.36040/seniati.v6i3.5004.

[4] N. Retongga, "Mitigasi Bencana Longsor Sebagai Dasar Penurunan Risiko Bencana di Sepanjang Jalan Karanganyar - Karanggayam, Kabupaten Kebumen," J. Pengabdi. Kpd. Masy. Nusant., vol. 5, no. 1, pp. 573–579, 2024, doi: 10.55338/jpkmn.v5i1.2665.