

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tanah longsor merupakan salah satu bencana alam yang sering terjadi di Indonesia, terutama pada daerah perbukitan dan pegunungan dengan curah hujan tinggi. Bencana ini dapat menyebabkan kerusakan lingkungan, kerugian material, hingga korban jiwa. Berdasarkan laporan Pusat Pengendalian Operasi (Pusdalops) Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), pada bulan Januari 2026 tercatat 138 orang meninggal, tiga orang hilang, 1.542 orang luka-luka dan 1.463.119 orang menderita serta mengungsi yang disebabkan oleh kejadian bencana[1]. Kondisi geografis yang umumnya merupakan daerah pegunungan dan memiliki lereng-lereng menjadikan tanah tidak stabil. Akibatnya, ketika terjadi pergerakan tanah menjadi mudah longsor. Kemiringan tanah dan kadar air yang berlebih merupakan penyebab utama dari bencana longsor. Peristiwa longsor juga dipicu karena adanya gaya pendorong pada tanah. Pada prinsipnya, longsor terjadi karena faktor gaya pendorong lebih besar dari pada gaya penahan[2].

Salah satu langkah penting adalah sosialisasi kepada masyarakat yang tinggal di daerah rawan longsor. Edukasi tentang tanda-tanda awal pergerakan tanah, tindakan yang harus dilakukan saat terjadi longsor, serta pentingnya menjaga lingkungan sekitar agar tidak memperburuk risiko, dapat menyelamatkan banyak nyawa[3]. Penelitian oleh Liu [4] menunjukkan bahwa penggunaan jaringan sensor yang tersebar di berbagai titik rawan longsor dapat meningkatkan sensitivitas dan keandalan sistem peringatan dini, mengurangi risiko bencana secara signifikan. Selain edukasi, diperlukan pula penerapan teknologi yang mampu membantu proses pemantauan kondisi tanah secara *real-time* sehingga kerawanan longsor dapat diketahui lebih awal. Salah satu pendekatan yang berkembang adalah pemanfaatan sensor *Inertial Measurement Unit* (IMU) yang memungkinkan percepatan bumi dan kemiringan tanah dipantau secara *real-time*, serta dapat menyampaikan status kondisi aman, siaga, dan awas dengan rata-rata error yang sangat rendah[5].

Sensor IMU seperti MPU-6050 mampu mendeteksi percepatan bumi pada sumbu x, y, dan z serta kemiringan tanah secara *real-time*, sehingga dapat digunakan sebagai komponen utama dalam sistem deteksi dini

tanah longsor berbasis IoT[6]. Pada penelitian ini digunakan sensor IMU BNO055 yang memiliki kemampuan lebih unggul karena sensor BNO055 memanfaatkan sistem gabungan giroskop, magnetometer, dan akselerometer yang terintegrasi, sehingga mampu mengukur perubahan posisi dan kemiringan suatu objek pada titik acuan tertentu dengan sangat presisi melalui pembacaan data Euler angle[7]. Selain itu penelitian ini juga menggunakan sensor *Capacitive Soil Moisture* untuk mengukur kadar air tanah. Sensor kelembaban tanah kapasitif bekerja menggunakan teknologi pengukuran kapasitansi, dimana perubahan nilai kapasitansi akan mengikuti perubahan kandungan air pada media tanah. Sensor ini terdiri dari probe yang mengukur perubahan kapasitansi akibat kelembaban dan menghasilkan keluaran tegangan analog yang dapat diproses oleh mikrokontroler[8]. Penggunaan sistem peringatan dini berbasis sensor juga dinilai mampu meningkatkan efektivitas pemantauan kondisi tanah karena data perubahan kemiringan dan kelembaban dapat dikirim serta dipantau secara real-time[9].

Untuk proses transmisi data jarak jauh di daerah terpencil yang tidak memiliki infrastruktur jaringan seluler yang memadai, teknologi LoRa menjadi solusi yang tepat. Modul LoRa SX1278 menyediakan jangkauan komunikasi nirkabel jarak sangat jauh dengan interferensi tinggi dan konsumsi daya yang rendah, di mana menggunakan teknik modulasi LoRa yang dipatenkan Semtech, SX1278 dapat mencapai sensitivitas lebih dari -148 dBm sehingga optimal untuk aplikasi yang membutuhkan jangkauan transmisi data yang jauh[10]. Dapat dibuktikan dari hasil penelitian [11] bahwa jarak sangat berpengaruh terhadap nilai RSSI, semakin jauh jarak maka nilai RSSI semakin besar, hal tersebut berdasarkan data pada jarak 100 m mendapatkan nilai RSSI -87 dBm dan jarak 1000 m mencapai -148 dBm. Selain itu, untuk mendukung akurasi data lokasi pemantauan, modul GPS Neo 6M memiliki akurasi yang baik yaitu 94,6% dimana *error* terbesar terjadi pada deteksi titik koordinat latitude yaitu sebesar 0,601%, Perbedaan jarak antara deteksi posisi kendaraan mobil menggunakan modul gps ublox neo dengan layanan google maps dihitung menggunakan *formula haversine* mencapai 0,9 kilometer[12].

Pada penelitian ini, penulis ingin membuat sebuah perancangan sistem monitoring kerawanan longsor. Konsep perancangan pada penelitian ini yaitu terdapat dua node utama, yaitu node pengirim (*transmitter*) dan node penerima (*receiver*). Pada node pengirim, sensor IMU BNO055 digunakan untuk mendeteksi sudut kemiringan tanah melalui data *Euler*

angle, sedangkan sensor *Capasitive Soil Moisture* digunakan untuk membaca tingkat kelembaban tanah secara real-time. Selain itu, modul GPS NEO-6M digunakan untuk mencatat koordinat lokasi titik pemantauan. Seluruh data sensor tersebut diproses oleh mikrokontroler ESP32 dan kemudian dikirimkan secara nirkabel menggunakan modul komunikasi LoRa SX1278 menuju node penerima.

Pada node penerima, data yang diterima akan ditampilkan secara real-time dan digunakan sebagai dasar penentuan status kondisi tanah, yaitu normal, siaga, dan bahaya, berdasarkan kombinasi nilai kelembaban tanah dan sudut kemiringan yang telah ditentukan. Apabila kondisi tanah terdeteksi dalam status bahaya, buzzer akan aktif secara otomatis sebagai peringatan dini kepada masyarakat di sekitar daerah rawan longsor. Kelebihan dari penelitian ini yaitu sistem dapat bekerja tanpa bergantung pada jaringan internet karena menggunakan komunikasi LoRa, dapat dipasang di daerah terpencil dengan jangkauan transmisi data yang jauh, serta parameter ambang batas status kondisi tanah dapat dikembangkan dan dikalibrasi sesuai dengan karakteristik lokasi pemantauan serta dapat diakses melalui website monitoring.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang dan membangun sistem monitoring kerawanan longsor menggunakan sensor IMU dan sensor kelembaban tanah?
2. Bagaimana mengimplementasikan komunikasi nirkabel menggunakan modul LoRa SX1278 untuk pengiriman data sensor dari node pengirim ke node penerima secara real-time?
3. Bagaimana mengolah data dari sensor kemiringan, kelembaban tanah menjadi data notifikasi kerawanan longsor?
4. Bagaimana mengintegrasikan modul GPS NEO-6M ke dalam sistem untuk mendukung pencatatan koordinat lokasi pemantauan secara akurat?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah merancang dan membangun sistem monitoring kerawanan longsor berbasis IoT menggunakan ESP32, sensor IMU BNO055, sensor *Capasitive Soil Moisture*, modul GPS NEO-6M, dan komunikasi LoRa SX1278 yang mampu mendeteksi sudut

kemiringan serta kelembaban tanah secara real-time, kemudian mengklasifikasikan kondisi tanah ke dalam status normal, siaga, dan bahaya, memberikan peringatan dini melalui buzzer, serta dapat diakses melalui website monitoring.

1.4 Batasan Masalah

Berikut adalah batasan masalah dalam penelitian ini:

1. Mikrokontroler yang digunakan adalah ESP32U sebagai unit pemrosesan utama pada node pengirim maupun node penerima.
2. Sensor yang digunakan terdiri atas sensor IMU BNO055 untuk mengukur sudut kemiringan menggunakan data Euler Angle dan sensor Capacitive Soil Moisture v1.2 untuk mengukur tingkat kelembaban tanah.
3. Komunikasi data antar node menggunakan modul LoRa SX1278 tanpa bergantung pada jaringan internet atau jaringan seluler.
4. Modul GPS NEO-6M digunakan hanya untuk pencatatan koordinat lokasi titik pemantauan, bukan untuk pelacakan objek bergerak.
5. Buzzer digunakan sebagai indikator peringatan dini lokal yang aktif secara otomatis ketika sistem mendeteksi kondisi siaga atau bahaya.
6. Pengujian sistem dibatasi pada skala laboratorium menggunakan variasi sudut kemiringan dan variasi tingkat kelembaban tanah sehingga tidak dilakukan pengujian secara langsung pada lereng atau lokasi rawan longsor.
7. Penentuan tingkat kerawanan longsor dilakukan menggunakan metode rule-based berdasarkan parameter sudut kemiringan dan kelembaban tanah yang telah ditentukan.
8. Website hanya digunakan untuk menampilkan hasil monitoring, riwayat data, dan status kerawanan longsor, tanpa menyediakan fitur pengaturan atau kendali perangkat dari jarak jauh.

1.5 Sistematika Penulisan

Struktur dan penyusunan penelitian ini disusun dalam beberapa bab dan dijelaskan melalui pembahasan sesuai dengan aturan standar penulisan. Adapun urutan penyusunan skripsi adalah sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Pada bab ini berisi latar belakang mengenai bencana tanah longsor di Indonesia dan pentingnya sistem monitoring kerawanan longsor sebagai upaya mitigasi dini. Pada bab ini terdapat beberapa rumusan masalah yang akan diselesaikan pada penelitian ini, serta tujuan dari penelitian ini yaitu merancang dan membangun sistem monitoring kerawanan longsor berbasis IoT menggunakan sensor IMU BNO055, sensor *Capasitive Soil Moisture*, modul GPS NEO-6M, dan komunikasi LoRa SX1278. Pada bab ini juga menjelaskan beberapa sistematika dalam penulisan laporan agar sesuai dengan format yang sudah ditentukan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Bab dua berisi tentang penelitian terdahulu, serta penjelasan tentang komponen yang digunakan dalam penelitian ini meliputi mikrokontroler ESP32, sensor IMU BNO055, sensor *Capasitive Soil Moisture*, modul GPS NEO-6M, LoRa SX1278, buzzer, Expansion Board Esp32, Buck Boost Converter, Antena LoRa, kabel Jumper, Phus Buthon Self-lock, Baterai, kalibrasi Internal sensor IMU, Moving Average, Laptop, Laragon.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Bab tiga berisikan penjelasan bagaimana rancangan penelitian yang akan dilakukan, yaitu rancangan sistem dimana terdapat blok diagram sistem secara keseluruhan dan spesifikasi sistem. Terdapat juga perancangan perangkat keras yang mencakup rangkaian node pengirim dan node penerima, serta perancangan perangkat lunak yang mencakup alur pemrosesan data sensor dan logika klasifikasi status kondisi tanah.

BAB IV : HASIL DAN ANALISIS

Bab empat membahas hasil dan analisis dari penelitian yang sudah dilakukan, yaitu berisikan hasil pengujian sensor IMU BNO055, sensor *Capasitive Soil Moisture*, modul GPS NEO-6M, komunikasi LoRa SX1278, serta pengujian sistem secara keseluruhan dalam mendeteksi dan mengklasifikasikan kondisi tanah menjadi status normal, siaga, dan bahaya, serta dapat diakses pada website monitoring.

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran dari hasil yang didapat pada penelitian yang sudah dilakukan mengenai sistem monitoring kerawanan longsor menggunakan sensor IMU dan sensor kelembaban tanah.

[Halaman Ini Sengaja Dikosongkan]