

**RANCANG BANGUN EARLY WARNING SYSTEM LONGSOR
PADA AREA GALIAN LINTAS MALANG – WLINGI
*DESIGN AND DEVELOPMENT OF LANDSLIDE EARLY
WARNING SYSTEM IN THE MINING AREA OF MALANG –
WLINGI ROUTE***

**Primus Operluna Karo-Karo¹, Yanuar Dwi Herdiyanto², Uriansah Pratama³,
Femmy Sofie Schouten⁴, Prawoto⁵, Azhar Hermawan Riyanto⁶**

Politeknik Transportasi Darat Indonesia – STTD, Indonesia

Jalan Raya Setu No. 89 Bekasi, Jawa Barat, 17520, Indonesia

Email: primussurbakti@gmail.com

Diterima : Juli 2024, Direvisi : Juli 2024, Diterbitkan : Juli 2024

ABSTRACT

Landslides are a common natural disaster in Indonesia and can significantly impact the smoothness and safety of railway operations. This study aims to design and develop an early warning system to identify potential landslides in the excavation area along the Malang-Wlingi railway line. The system is designed to monitor soil and slope conditions in real-time, providing early warnings before a landslide occurs. The research methodology involves analyzing geological and soil conditions, as well as collecting data on rainfall and environmental factors affecting slope stability. Based on this data, an early warning system is developed using sensors to detect soil displacement and changes in moisture. Additionally, the study evaluates the effectiveness of existing retaining walls and plans for their enhancement or additional installation if necessary. The results of this research are expected to enhance preparedness for potential landslides, reduce the risk of accidents, and ensure smooth railway operations. The evacuation and reporting protocols developed as part of this system will strengthen the response to emergencies, while training and socialization for staff and local communities will raise awareness and readiness. With the implementation of an effective early warning system, it is hoped that the safety, security, and comfort of railway passengers can be better maintained.

Keyword : railway transportation, landslides, rainfall, soil movement

ABSTRAK

Tanah longsor merupakan salah satu bencana alam yang sering terjadi di Indonesia dan dapat berdampak signifikan terhadap kelancaran dan keamanan operasional transportasi kereta api. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem peringatan dini (early warning system) untuk mengidentifikasi potensi tanah longsor pada area galian sepanjang lintas Malang-Wlingi. Sistem ini dirancang untuk memonitor kondisi tanah dan lereng secara real-time, sehingga dapat memberikan peringatan awal sebelum terjadinya longsor. Metodologi penelitian melibatkan analisis kondisi geologi dan tanah, serta pengumpulan data curah hujan dan faktor lingkungan yang mempengaruhi stabilitas lereng. Berdasarkan data tersebut, sistem peringatan dini dikembangkan menggunakan sensor untuk mendeteksi pergeseran tanah dan perubahan kelembapan. Selain itu, penelitian ini juga mengevaluasi efektivitas retaining wall yang ada dan merencanakan penambahan atau perbaikan jika diperlukan. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan kesiapsiagaan terhadap potensi tanah longsor, mengurangi risiko kecelakaan, dan memastikan kelancaran operasional kereta api. Protokol evakuasi dan pelaporan yang disusun sebagai bagian dari sistem ini akan memperkuat respons terhadap keadaan darurat, sementara pelatihan dan sosialisasi kepada staf dan masyarakat sekitar akan meningkatkan kesadaran dan kesiapan. Dengan implementasi sistem peringatan dini yang efektif, diharapkan keselamatan, keamanan, dan kenyamanan penumpang kereta api dapat terjaga dengan lebih baik.

Kata kunci : transportasi kereta api, tanah longsor, curah hujan, pergerakan tanah.

PENDAHULUAN

Tanah longsor merupakan salah satu bencana alam yang sering terjadi di Indonesia. Tanah longsor di Indonesia umumnya terjadi karena adanya perpindahan material pembentuk lereng yang berupa batuan, tanah, atau material campuran yang bergerak ke bawah ataupun keluar daerah lereng. Potensi terjadinya tanah longsor bergantung pada kondisi tanah, curah hujan, struktur geologi serta penggunaan lahan. Menurut Undang–Undang Nomor 23 tahun 2007 tentang Perkeretaapian pada Pasal 1, Perkeretaapian merupakan satu kesatuan sistem yang terdiri atas prasarana, sarana, dan sumber daya manusia, serta norma, kriteria, persyaratan, dan prosedur untuk penyelenggaraan transportasi pada kereta api. Perkeretaapian sebagai moda transportasi memiliki karakteristik dan keunggulan khusus, dimana peran dari prasarana memegang kedudukan yang sangat penting karena prasarana kereta api adalah salah satu faktor utama dalam kelancaran pengoperasian transportasi kereta api. Tanah longsor merupakan salah satunya faktor penghambat kelancaran pengoperasian transportasi kereta api dikarenakan tanah yang longsor di sekitar lintas yang akan dilewati oleh kereta api dapat menghambat kelancaran perjalanan kereta api dan akan sangat berdampak bagi kewanamanan dan kenyamanan penumpang kereta api. Menurut

Peraturan Menteri Nomor 60 Tahun 2012 tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api menjelaskan bahwa konstruksi badan jalan harus mampu memikul beban kereta api dan stabil terhadap bahaya kelongsoran. Stabilitas lereng dan daya dukung tanah juga berdampak terhadap potensi terjadinya longsor. Metode penanganan longsor yang harus dilakukan untuk mencegah terjadinya longsor harus disesuaikan dengan kondisi eksisting yang ada di daerah rawan longsor. Untuk metode penanganannya sendiri dapat dilakukan pembangunan *retaining wall* sebagai penahan longsor tanah agar tanah tidak memasuki lintas kereta api dan mengganggu perjalanan kereta api. Selain metode penanganannya pada area galian lintas Malang-Wlingi juga masih minim akan sistem peringatan dini untuk tanah longsor yang mana sangat berguna untuk menambah kesiagaan terhadap tanah longsor agar dapat lebih sigap dalam pelaksanaan evakuasi dan pelaporan lebih lanjut jika ada potensi terjadinya longsor pada daerah-daerah rawan longsor. Dengan demikian dibutuhkan alat untuk siaga untuk menambah kesiagaan terhadap terjadinya tanah longsor agar keselamatan, keamanan dan kenyamanan penumpang kereta api tidak terganggu. Maka dibuatlah penelitian **“Rancang Bangun *Early Warning System* Longsor Pada Area galian Lintas Malang – Wlingi.”**

METODOLOGI PENELITIAN

A. Lokasi dan Waktu Penelitian

1. Lokasi Studi

Penelitian ini dilaksanakan di Daerah Operasional 8 Surabaya, Balai Teknik Perkeretaapian Kelas 1 Surabaya lebih tepatnya di Kabupaten Malang, kecamatan Sumberpucung, Jawa Timur pada petak jalan KM 80+500 sampai dengan KM 81+500 .

2. Jadwal Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan setelah selesainya kegiatan Praktek Kerja Lapangan (PKL) dengan rincian pembagian waktu pelaksanaan yang dapat dilihat pada tabel IV.1 berikut.

B. Metode Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data merupakan suatu tahapan yang digunakan dalam suatu penelitian untuk pengumpulan data guna memperoleh data yang dibutuhkan untuk pembua;tan penelitian. Metode pengumpulan data terbagi menjadi 2 (dua) jensi yaitu:

1. Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang dikumpulkan dari data yang sudah ada sebelumnya. Data sekunder yang dibutuhkan untuk mendukung penelitian ini diperoleh dari BMKG (Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika) dan Balai Teknik Perkeretaapian Kelas I Surabaya yaitu data curah hujan peta daerah rawan bencana alam

2. Data Primer

Data primer adalah data yang diperoleh dari pengamatan dan obeservasi secara langsung di lapangan. Untuk mendukung proses pembuatan penelitian ini maka dibutuhkan data primer dengan metode berupa pengamatan secara langsung terhadap bagaimana kondisi daerah kajian

- a. Analisis data curah hujan
- b. Analisis Efektivitas penggunaan mikrokontroler
- c. Analisis Ekperimental

C. Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan setelah semua data terkumpul. Penelitian ini menggunakan data primer dan sekunder dengan menggunakan metode deskriptif untuk dapat selanjutnya membuat konsep Early Warning System (EWS) di daerah rawan longsor dengan cara kerja alat ini menggunakan sensor kelembapan tanah yang mana sensor ini dapat mendeteksi kadar air pada tanah sebagai masukan dengan output menyalanya led saat kadar air pada tanah sudah melebihi ambang batas sekaligus menjadi peringatan fase 1 dan sensor untuk mendeteksi pergerakan tanah yaitu accelerometer dapat mendeteksi pergerakan tanah disaat kelembapan tanah sudah melebihi batas dan terjadinya pergerakan pada tanah sekaligus menjadi peringatan fase 2 dengan output menyalanya buzzer sehingga pegawai setempat dapat melaporkan lebih lanjut terkait kondisi di sekitar lintas.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. ANALISIS DATA HIDROLOGI

Data Hidrologi adalah ilmu yang mempelajari perilaku air, termasuk proses terjadinya, sirkulasi, distribusi, sifat kimia dan fisika, serta reaksinya dengan lingkungan dan kehidupan (Santosa, 1988). Longsor sering terjadi di daerah pegunungan dan perbukitan, terutama dengan curah hujan tinggi. Memahami pola curah hujan sangat penting untuk memprediksi dan mencegah longsor. Untuk hasil

akurat, diperlukan data yang memadai secara kualitas dan kuantitas. Data curah hujan yang digunakan adalah dari tahun 2019 hingga 2023.

B. ANALISIS PERBANDINGAN EFEKTIVITAS MIKROKONTROLER

Jenis mikrokontroler sangat mempengaruhi pembuatan alat atau prototipe, sehingga pilihannya harus tepat berdasarkan prosesor yang digunakan, proses kerja, dan kebutuhan. Berikut beberapa prosesor populer dan keunggulannya untuk pembuatan prototipe dan proyek kecil:

1. Atmega328P
 - a) Digunakan pada Arduino Nano untuk prototype Early Warning System longsor.
 - b) Efisien untuk proyek sederhana dan prototyping.
 - c) Cocok untuk pemula karena fitur-fiturnya yang mudah digunakan.
2. Atmega2560
 - a) Memiliki lebih banyak pin I/O digital dan analog dibanding Atmega328P.
 - b) Cocok untuk proyek besar dengan banyak fungsi.
 - c) Namun, ukurannya besar dan harganya mahal.
3. Atmega32u4
 - a) Dilengkapi dengan komunikasi USB built-in.
 - b) Memiliki lebih banyak pin I/O digital dan analog.
 - c) Cocok untuk proyek yang memerlukan USB native dan banyak pin I/O.
4. ARM Cortex
 - a) Cocok untuk proyek Internet of Things (IoT) dan kendali mesin yang kompleks.
 - b) Lebih efisien dan memiliki kemampuan lebih unggul dibanding prosesor Atmega lainnya.

Tabel 1 Spesifikasi Arduino

NO	Jenis Mikrokontroler	Prosesor	Jumlah pin I/O	Jumlah Analog input	USB
1	Arduino Uno	ATmega 328P	14	6	Type A to B
2	Arduino Nano	ATmega168/328P	14	8	Mini USB
3	Arduino Mega	ATmega 2560	54	16	Type A to B
4	Arduino Due	ARM Cortex CPU	54	12	Micro USB
5	Arduino Leonardo	ATmega32u4	20	12	Native USB

C. KONSEP EARLY WARNING SYSTEM

Konsep dari Early Warning System (EWS) ini bertujuan untuk memberikan sinyal bahaya saat ada potensi longsor di lereng tanah KM 80+500 – KM 81+500. Sistem ini menggunakan sensor kelembapan tanah (soil moisture) dan modul MPU6050. Sensor ini mendeteksi kelembapan dan pergerakan tanah, kemudian memberikan indikator berupa lampu LED dan bunyi buzzer sebagai peringatan. Berikut beberapa bagian dalam pembuatan konsep Early Warning System ini:

1. Bagian Masukan

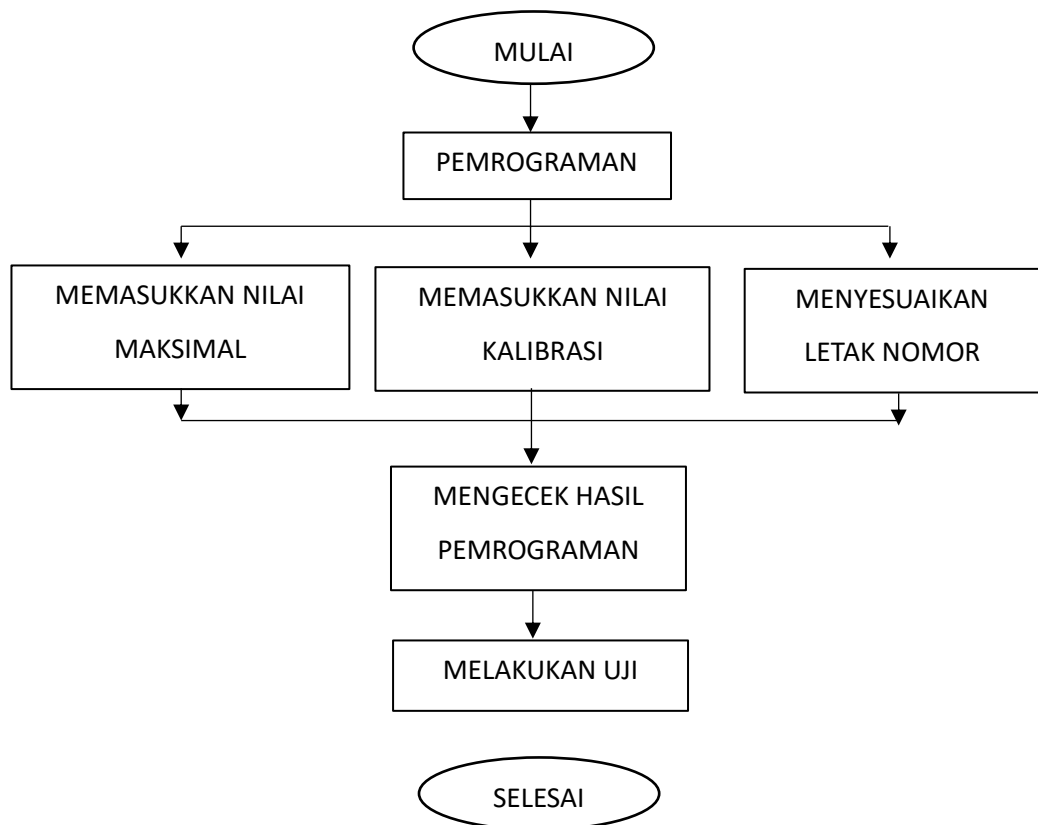
Sensor soil moisture dan modul MPU 6050 mendeteksi kelembapan dan pergerakan tanah pada lereng.

2. Bagian Proses

Persentase kadar air dalam tanah dan pergerakan tanah diterima oleh mikrokontroler dan dikirimkan ke bagian output.

3. Bagian Keluaran

Data yang diterima dan diolah oleh mikrokontroler memberikan sinyal output berupa lampu LED yang menyala dan bunyi buzzer sebagai peringatan.



Gambar 1 Bagan Alir Perencanaan Early Warning System

Sistem kendali yang digunakan pada konsep alat **Early Warning System (EWS)** ini menggunakan sistem loop tertutup. Sistem loop tertutup adalah sistem kendali dengan umpan balik (feedback), yang mengamati keluaran dan membandingkannya dengan masukan. Berikut adalah komponen utama dalam sistem ini:

1. Input

Kelembapan minimal 51% dan pergerakan minimal 5 kali untuk mengaktifkan buzzer dan lampu LED.

2. Kontroler

Arduino Nano Atmega328P sebagai kontroler dari sistem EWS.

3. Plant

Lampu LED dan buzzer yang akan menyala jika kelembapan dan pergerakan memenuhi nilai minimum input.

4. Sensor

Sensor Soil Moisture dan Modul MPU 6050 yang berfungsi mengatur output agar sesuai dengan yang diinginkan.

5. Output

Keluaran yang dihasilkan dari sistem ini berupa cahaya lampu dari LED dan bunyi dari buzzer.

D. SISTEM FAIL-SAFE

Dalam sistem peringatan dini longsor, beberapa jenis kesalahan (error) dapat terjadi yang dapat mempengaruhi efektivitas dan keandalan sistem. Berikut adalah beberapa jenis kesalahan yang umum terjadi dalam sistem peringatan dini longsor:

1. False Positives (Alarm Palsu)

a) Kesalahan ini terjadi ketika sistem mengeluarkan peringatan longsor padahal tidak ada ancaman nyata atau tanda-tanda akan terjadinya longsor.

Penyebabnya antara lain:

b) Gangguan sekitar area pemasangan EWS

c) Getaran dari kaki hewan atau tumbuhan yang jatuh dan mengenai EWS.

d) Aktivitas manusia

e) Pekerjaan konstruksi atau aktivitas pertanian di dekat sensor dapat memicu getaran pada tanah di sekitar pemasangan EWS.

2. Kelembapan tanah dan pergerakan tanah sudah memenuhi batas minimal tetapi buzzer dan lampu LED tidak menyala.
3. Buzzer dan LED tetap menyala pada saat beban tekanan sudah tidak terdeteksi oleh sensor.

Untuk meminimalisir gangguan-gangguan di atas, maka dibutuhkan mitigasi sebagai berikut:

1. Kalibrasi Rutin
Melakukan kalibrasi secara berkala untuk memastikan akurasi dari sistem peringatan dini yang digunakan.
2. Penambahan Titik Sensor
Tujuan dari penambahan titik sensor adalah untuk mengantisipasi jika terjadi kegagalan pembacaan sinyal, sehingga titik sensor yang lain dapat tetap mengirimkan sinyal ke buzzer dan lampu LED sebagai keluaran.
3. Pemeliharaan dan Pemeriksaan Rutin
Melakukan pemeliharaan dan pemeriksaan rutin untuk memastikan perangkat keras dan perangkat lunak dalam kondisi optimal.
4. Pelatihan Operator
Meningkatkan pemahaman dan keterampilan petugas di pos jaga terdekat mengenai sistem yang digunakan agar lebih mudah dan efisien dalam pemantauan real-time untuk mendeteksi dan mengoreksi segera setelah terjadi error.

KESIMPULAN

Berdasarkan dari hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Kondisi eksisting titik kajian sampai saat ini masih belum ada pemasangan mitigasi penanganan bencana longsor sehingga masih sangat rawan akan terjadinya bencana longsor
2. Berdasarkan analisis penggunaan prosesor yang digunakan dalam penelitian ini, ada beberapa hal yang mendukung dalam pemilihan mikrokontroler Arduino Nano dengan prosesor Atmega328P ini. Dilihat dari banyak hal seperti efisiensi, biaya, dan performa prosesor ini tidak kalah dengan prosesor lainnya

3. Peralatan yang dibutuhkan dalam pembuatan konsep Early Warning System (EWS) ini yaitu Arduino Nano Atmega328P, Sensor *Soil Moisture*, Modul MPU 6050, Buzzer, Lampu LED.
4. Cara kerja alat Early Warning System (EWS) ini dengan parameter kelembapan dan pergerakan tanah sebagai pemicu sensor untuk mengaktifkan LED dan Buzzer sebagai *output*.

SARAN

Berdasarkan kesimpulan yang diperoleh pada penelitian ini, maka dapat disampaikan beberapa saran yaitu:

1. Dibutuhkan pemasangan mitigasi pencegahan longsor untuk dapat mencegah dampak yang besar dari bencana longsor
2. Jika konsep alat Early Warning System ini akan diterapkan, untuk mempermudah pemantauan dari serial monitor maka diperlukan tambahan LCD Module sebagai layar pemantauan praktis.
3. Penambahan komponen tombol On/Off dan Reset untuk membuat fail-safe yang lebih praktis
4. Jika konsep alat ini diterapkan, untuk memaksimalkan pembacaan pergerakan tanah maka dimaksimalkan fitur *gyroscope* pada modul MTP 6050

DAFTAR PUSTAKA

- _____, 2007. Undang-Undang Nomor 23 Tahun 2007 Tentang Perkeretaapian.
- _____, 2012. Peraturan Menteri Nomor 60 Tahun 2012 tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api
- Djuandi, F. (2011). *Pengenalan arduino. E-book. www. tobuku*, 24
- Dwiatmoko, Hermanto. 2018. "*Peran Perkeretaapian Dalam Menunjang Sistem Logistik Nasional*." Jurnal Transportasi (ISSN) 18 (2): 87-96.
- Sasmoko, Dani. 2021. *Arduino dan Sensor Pada Project Arduino DIY*. Semarang: Penerbit Yayasan Prima Agus Teknik.
- Fauzi, Naufal Azhar, Gita Indah Hapsari, dan Mia Rosmiati. 2019. "*Prototipe Sistem Monitoring Berat Muatan Truk*." Jurnal Ilmiah Ilmu Komputer 5 (3): 2433-2440.

- Setiawan, Dedi. 2019. "*Sistem Peringatan Pada Pengendara Yang Berpapasan Ditikungan Tajam Berbasis Mikrokontroller.*" Jurnal SAINTIKOM (Jurnal Sains Manajemen Informatika dan Komputer) 18 (1): 11-16. <http://ojs.trigunadharma.ac.id/index.php/jis/article/view/98/50>.
- Artha, O.O., Rahmadya, B., & Putri, R.E. (2018). *Sistem Peringatan Dini Bencana Longsor Menggunakan Sensor Accelerometer dan Sensor Kelembabapan Tanah Berbasis Android*. Journal of Information Technology and Computer Engineering.
- Mardhatillah, Elvira, S.Si. 2017. *Rancang Bangun Sistem Peringatan Dini Tanah Longsor Berbasis Mikrokontroler Atmega328 Menggunakan Metode Penginderaan Berat*. Universitas Andalas. Padang
- Wirawan, Rahadi, dkk, 2016, *Rancang Bangun Sistem Pendeteksi Tanah Longsor Sederhana Berbasis Sensor Soil Moisture dan Sensor Ultrasonik*, Univresitas Mataram, Mataram
- Inven Sense. Inc. 2013. *MPU-6000 and MPU-6050 Product Specification Revision 3.4*
- Indoware, 2015, *Soil Moisture sensor*, <http://indo-ware.com/produk-284-moisture-sensor-.html>, diakses pada 12 Desember 2017.
- Prabowo, Yuliyani Dwi, dan Junaidi. 2018. *Project sistem kendali elektronik*. Bandar Lampung: CV. Anugrah Utama Raharja.