

Perancangan Sistem Peringatan Longsor dan Deteksi Pergeseran Tanah Menggunakan Metode Telemetry

Sunardi¹, Teguh Arifianto², Anindira Listy Hartisa³, Arief Darmawan⁴, dan Willy Artha Wirawan⁵
Politeknik Perkeretaapian Indonesia Madiun

Jl. Tirta Raya, Pojok, Nambangan Lor, Kec. Manguharjo, Madiun, Jawa Timur, Indonesia, 63161

¹sunardi@ppi.ac.id

²teguh@ppi.ac.id

³anindira.tep1702@taruna.api.ac.id

⁴darmawan@ppi.ac.id

⁵willy@pengajar.ppi.ac.id

Diterima: 27 Juli 2020, Direvisi: 8 Desember 2020, Disetujui: 10 Desember 2020

ABSTRACT

Design of Landslide Potential Warning System and Land Shifting Using Telemetry Method: According to the 2019 BNPB Performance Report, landslides are the fourth most frequent disaster in Indonesia, so we need a telemetry tool for land shifting. This system consists of ATmega328 Microcontroller, Linear Variable Differential Transformer sensor and rheostat, accelerometer sensor, rain gauge tipping bucket, and HC-12 wireless communication module. Normally, LVDT sensor reads ground shift in the 0-20 mm range, rheostat shifting up to 66 mm, accelerometer sensor reads data less than 20 deg and rain gauge tipping bucket sensor generates the amount of rainfall below 50 mm/hour which is sent data regularly to user. Warning alarms installed in these prone area will sound if the LVDT sensor reads ground shift >30 mm, rheostat >51 mm, accelerometer sensor reads data more than 45°, and rain gauge tipping bucket sensor reads more than 70 mm/hour. This test produces measurable parameter data so that it can be displayed and provide warning information.

Keywords: alarm warning; ATmega 328; land shifting; landslides; telemetry.

ABSTRAK

Menurut Laporan Kinerja BNPB 2019, tanah longsor merupakan bencana yang sering terjadi urutan keempat di Indonesia, sehingga perlu suatu alat telemetry terhadap pergeseran tanah. Sistem ini terdiri atas Mikrokontroler ATmega328, sensor Linear Variable Differential Transformer dan rheostat, sensor accelerometer, sensor rain gauge tipping bucket, dan modul komunikasi wireless HC-12. Normalnya, sensor LVDT membaca pergeseran tanah pada range 0-20 mm, rheostat mampu melakukan pergeseran hingga 66 mm, sensor accelerometer membaca data kurang dari 20 deg, dan sensor rain gauge tipping bucket menghasilkan jumlah curah hujan dibawah 50 mm/jam yang kemudian data dikirim secara rutin ke user. Alarm peringatan yang terpasang di daerah rawan tersebut akan berbunyi jika sensor LVDT membaca pergeseran tanah >30 mm, rheostat >51 mm, sensor accelerometer membaca data lebih dari 45 derajat, dan sensor rain gauge tipping bucket membaca data lebih dari 70 mm/jam. Pengujian ini menghasilkan data parameter yang terukur sehingga dapat ditampilkan dan memberikan informasi peringatan.

Kata Kunci: alarm peringatan; ATmega 328; pergeseran tanah; tanah longsor; telemetry.

I. Pendahuluan

Keadaan topografi seperti kemiringan lereng, aktivitas gunung berapi bahkan kondisi batuan yang mengalami pelapukan mengakibatkan pergerakan tanah (Pramono, 2009). Pergerakan tanah menyebabkan tanah mudah longsor (Nugroho et al., 2018). Azikin dalam (Supriyadi, 2016) mengatakan penyebab longsor yaitu gravitasi yang mempengaruhi lereng yang curam seperti pergeseran tanah dan kadar air yang berlebih oleh curah hujan. Curah hujan tinggi mengakibatkan perubahan tekanan di dalam tanah yang menyebabkan terjadinya perubahan

struktur sampai menjadi runtuh (Nugroho et al., 2018).

Beberapa langkah untuk mendeteksi pergeseran tanah telah dilakukan antara lain dengan melakukan pengukuran pada permukaan dan menghitung nilai geser keamanan tanah secara langsung menggunakan peralatan *accelerometer*. Hal ini dinilai kurang efektif karena diperlukan observasi secara berkala. Beberapa penelitian telah mengembangkan sistem pendeteksi pergeseran tanah antara lain menggunakan system telemetry. Pada sistem ini hampir menyerupai dengan pengukuran cadangan energi di kedalaman dari

permukaan tanah menggunakan system prediksi (Sunardi et., al., 2018). Sistem pada telemetri menggunakan sensor LVDT (*Linier Variable Differential Transformer*) yang dapat digunakan untuk melakukan pengukuran perpindahan (Anandan & George, 2017; Baidwan, 2015; Jefriyanto, et. al., 2017) yang dikembangkan menjadi pengukuran pergeseran permukaan tanah secara horizontal dengan mengubah tegangan menjadi posisi pergeseran (Jefriyanto et al., 2019). Pada pengukuran dengan system *accelerometer* pergeseran tanah hanya dapat diukur pergerakan posisi tanah secara vertikal (Nugroho et al., 2018). Pengembangan system telemetri telah dikembangkan *rain gauge* tipe *tipping bucket* sebagai pengukur jumlah curah hujan yang kemudian diubah menjadi data digital dengan ADC 10-bit pada mikrokontroler ATmega328, yang kemudian dikirimkan data transmitter ke receiver PC (Nugroho et al., 2018). Penelitian sebelumnya juga dikembangkan oleh Susanto (Apc et al., 2016) yaitu mengenai sistem telemetri pengukuran suhu dan kelembaban secara *portable* yang dilengkapi perekam data dan dilengkapi tampilan utama pada data.

Bedasarkan beberapa literatur tersebut maka dilakukan perancangan sistem telemetri peringatan longsor yang akan didesain dengan mengirimkan data melalui gelombang radio pada modul komunikasi port serial wireless HC-12 untuk melakukan pemantauan pergeseran tanah jarak jauh. Modul *transmitter* mengirimkan data melalui gelombang radio. Data pantau diterima oleh modul *receiver*. Tujuan dari penelitian ini yaitu melakukan pengukuran jarak jauh terhadap pergeseran tanah untuk menghindari potensi bencana tanah longsor. Informasi data pergeseran secara *realtime* sehingga informasi mudah terjangkau oleh masyarakat dan tindakan evakuasi juga dapat segera dilaksanakan jika terdapat gejala yang berpotensi longsor.

II. Metodologi Penelitian

Eksperimen sistem telemetri untuk pergeseran tanah, kemiringan tanah, dan curah hujan digunakan untuk menentukan karakteristik sistem peringatan potensi longsor. Data referensi diambil di Resor 4.21 Gundih KM 60+7/8 dan KM 67+0/1 pada tanggal 21 Maret 2020. Data diambil sebagai acuan desain sistem telemetri peringatan potensi longsor dan pergeseran tanah. Model desain sistem telemetri diuji di Laboratorium Stasiun PPI Madiun selama bulan Juli-September 2020. Pemasangan detektor pergeseran sejauh 10 meter dimana sensor pertama dipasang sejauh 2,5 meter dari as rel.

A. Pengambilan Data

Data acuan perancangan sistem telemetri untuk data daerah rawan longsor diambil di wilayah Daop 4 Semarang pada Unit Jalur dan Jembatan Kantor Daop 4. Kemudian, data curah hujan Wilayah Kecamatan Purwodadi didapatkan di Badan Pusat Statistik (BPS) wilayah Purwodadi. Dan Data lintas wilayah resor 4.21 Gundih dan gambar *cross section* diperoleh melalui observasi pada Unit JJ Resor 4.21 Gundih.

B. Pengolahan Data

Pengujian sistem telemetri peringatan potensi longsor dengan mengukur sensor LVDT, rheostat sensor accelerometer, dan curah hujan tipping bucket menggunakan data acuan. Pengujian pada penelitian ini terdiri dari uji kalibrasi, konversi ADC (Analog to Digital Converter), dan sensitivitas. Uji kalibrasi dilakukan pada sensor accelerometer, curah hujan tipe *tipping bucket*, LVDT dan rheostat. Uji ini digunakan untuk mengetahui kedekatan antara nilai keluaran sistem dengan alat ukur standar sehingga diketahui kehandalan sistem (Nugroho et al., 2018). Uji konversi ADC digunakan pada rheostat dan sensor LVDT. Data keluaran tegangan merupakan data analog yang dikonversi ke suatu persamaan yang diolah pada mikrokontroler sebagai berikut (Yuhananisa P et al., 2014).

$$\text{Pergeseran} = (\text{ADC} + 1) / 102,3 \dots\dots\dots (1)$$

Uji sensitivitas pada sensor LVDT dan rheostat pada penelitian ini ditentukan dari fungsi transfer pada kurva tegangan keluaran terhadap jarak pergeseran. Fungsi transfer diambil dari data grafik sisi yang paling linier dari kedua kurva tegangan LVDT dan rheostat terhadap jarak dengan arah linier. Pada penelitian ini perhitungan dapat dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Microsoft Excel, maka fungsi transfer dan sensitivitas sensor dapat diketahui (Zasvia Hendri, 2013). Linieritas persamaan garis lurus dapat dilihat juga dengan derajat korelasi linier (R^2) (Zasvia Hendri, 2013). Persamaan garis lurus yang digunakan yaitu persamaan kurva regresi. Semakin lurus kurva yang dihasilkan, maka semakin tinggi pula tingkat kelinieritasan tersebut. Persamaan tersebut adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} y &= a + bx \text{ (linier)} \dots\dots\dots (2) \\ y &= ae^{bx} \text{ (eksponensial)} \end{aligned}$$

Setelah mengetahui bentuk kurva pendekatan, selanjutnya yaitu dapat menentukan konstanta-konstanta persamaan. Garis regresi $y = a+bx$ digunakan untuk memperkirakan harga y bila

harga x sudah diketahui. Hubungan antara nilai x dan y yang sebenarnya adalah:

$$y = A + Bx + E \dots\dots\dots (3)$$

Dimana A adalah konstanta y , bila $x=0$ dan $E=0$, B adalah koefisien arah, bila x naik satu unit, maka y naik B kali, dan E adalah kesalahan penganggu (*disturbance error*).

C. Rancangan Sistem

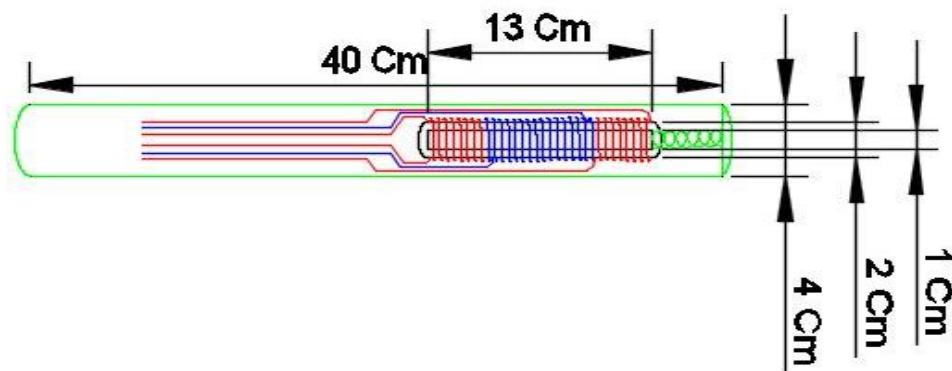
Proses perancangan sistem *hardware* maupun *software* yang digunakan sebagai alat untuk mengukur pergeseran tanah. Rancangan Sistem terdiri dari komponen: (1) Rheostat yang merupakan resistor dapat mengatur nilai resistansinya menjadi sinyal listrik yang diamati setelah pengkondisi sinyal. Pada penelitian ini, rheostat digunakan untuk menentukan jarak geser secara horizontal. (2) Desain pada sensor LVDT (**Gambar 1**) dibuat menggunakan jumlah 133 lilitan primer, dan 233 lilitan sepasang sekunder. Peletakan lilitan primer berada di antara lilitan sekunder 1 dan lilitan sekunder 2 dengan perantara berupa isolator sebagai pemisah lilitan primer dan lilitan sekunder (Petchmaneelumka et

al., 2019). Arah lilitan primer dan arah lilitan sekunder menggunakan metode berlawanan arah (Septianto, 2012). Metode tersebut dilakukan yaitu jika lilitan primer dililitkan ke arah kanan maka lilitan sekunder dililitkan ke arah kiri.

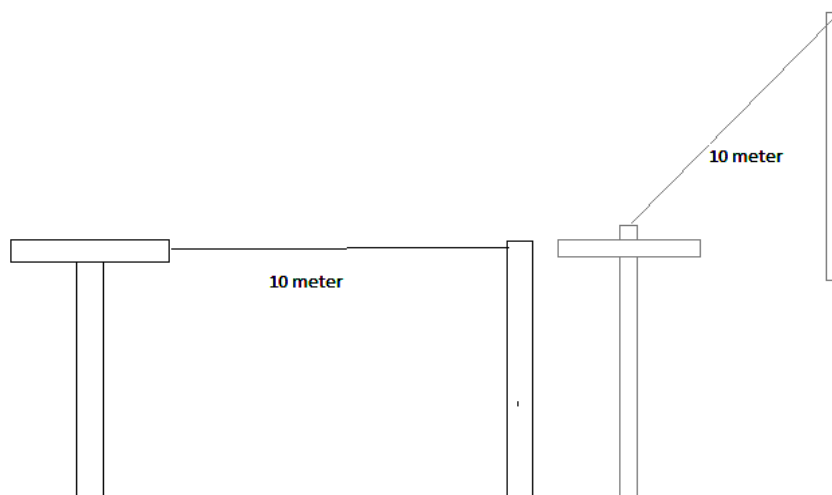
Konfigurasi penempatan sensor dengan inti besi melalui senar nylon yang dibentang membujur selatan ke utara. Senar nylon dikaitkan dengan pegas menuju tiang pancang. Sedangkan, pemasangan rheostat yaitu mengaitkannya dengan senar nylon kemudian dibentang melintang. Berdasarkan observasi yang telah dilakukan di lapangan, maka jarak penempatan sensor LVDT adalah sebagaimana **Gambar 2**.

Rancangan Rangkaian Perangkat Keras (*Hardware*) pada sistem terdiri dari rangkaian elektronika berupa power supply sebagai sumber tegangan, rangkaian sistem minimum mikrokontroler sebagai pusat pengolahan data yang terpasang di lapangan. Hasil rangkaian ditampilkan pada **Gambar 3**.

Rancangan Rangkaian Perangkat Lunak (*Software*) pada alat ini dibagi menjadi dua yaitu pada pemrograman tiap-tiap sensor menggunakan



Gambar 1.
Desain Sensor LVDT.



Gambar 2.
Desain Konfigurasi Penempatan Sensor.

software Arduino IDE, pemrograman, dan pembuatan *Graphic Using Interface* (GUI) pada PC menggunakan software Microsoft Visual Studio. Sistem telemetri peringatan potensi tanah longsor memiliki alur yang dideskripsikan berdasarkan diagram alir berikut (**Gambar 4**).

Program inisialisasi sistem minimum ATmega 328p meliputi inisialisasi ADC, LCD, serial/USART, dan timer. Program utama merupakan program yang digunakan sebagai pembacaan data pergeseran dengan sub-rutin dalam proses pengiriman data dan penentuan sinyal peringatan potensi terjadinya tanah longsor. Proses pengiriman data terbagi menjadi tiga antara lain; pengiriman data dalam rangka cek koneksi, pengiriman data rutin yang akan dikirim 1 menit sekali, dan pengiriman data saat terjadi kejadian 1 detik sekali. Hal tersebut berarti sistem pada mikrokontroler akan memerintahkan modul komunikasi wireless HC-12 untuk melakukan pengiriman data rutin secara terus-menerus sehingga data yang diketahui user selalu diperbarui.

Pada diagram blok menunjukkan bahwa terdapat sensor LVDT, *accelerometer*, *rain gauge*, dan rheostat sebagai masukan (**Gambar 5**). Sensor LVDT berfungsi sebagai pendeteksi adanya jarak geser tanah secara vertikal dan rheostat sebagai pendeteksi jarak geser tanah secara horizontal. Pada bagian proses dilakukan oleh mikrokontroler ATmega328p. Proses yang dilakukan yaitu menerima masukan data dari sensor kemudian melakukan pengolahan data. Jika terdapat indikasi peringatan potensi bahaya “Tinggi”, *buzzer* akan menyala. Jika tingkatan

mencapai status bahaya “Sedang” dan “Rendah” hanya terdapat peringatan pada *interface* saja. Sedangkan untuk data yang selalu diperbarui akan ditampilkan di LCD lapangan, dan *interface* yang berada pada user. Pada bagian output, data dikirim secara *wireless* dengan modul komunikasi port serial wireless HC-12, kemudian data akan terpantau pada *interface* di user.

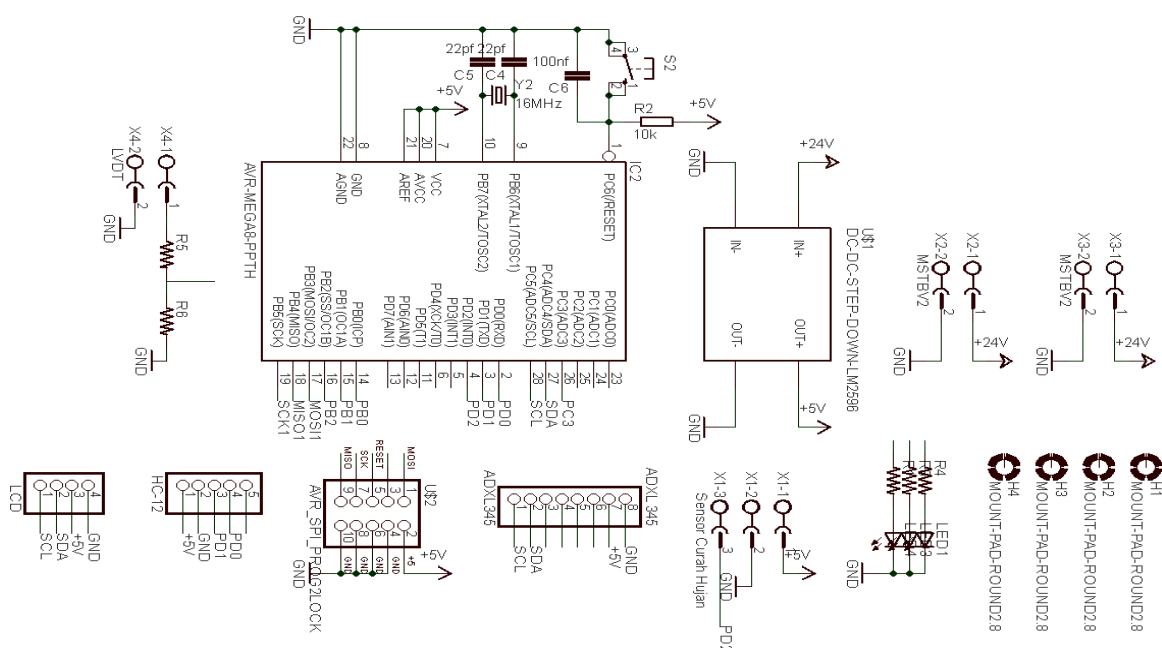
III. Hasil dan Pembahasan

Dalam penelitian pembuatan sistem ini, perangkat keras (*hardware*) menggunakan mikrokontroler ATmega328p, sensor LVDT, rheostat, sensor curah hujan tipe *tipping* bucket, dan sensor akselerometer ADXL345 dengan daya sebesar 24 Volt AC.

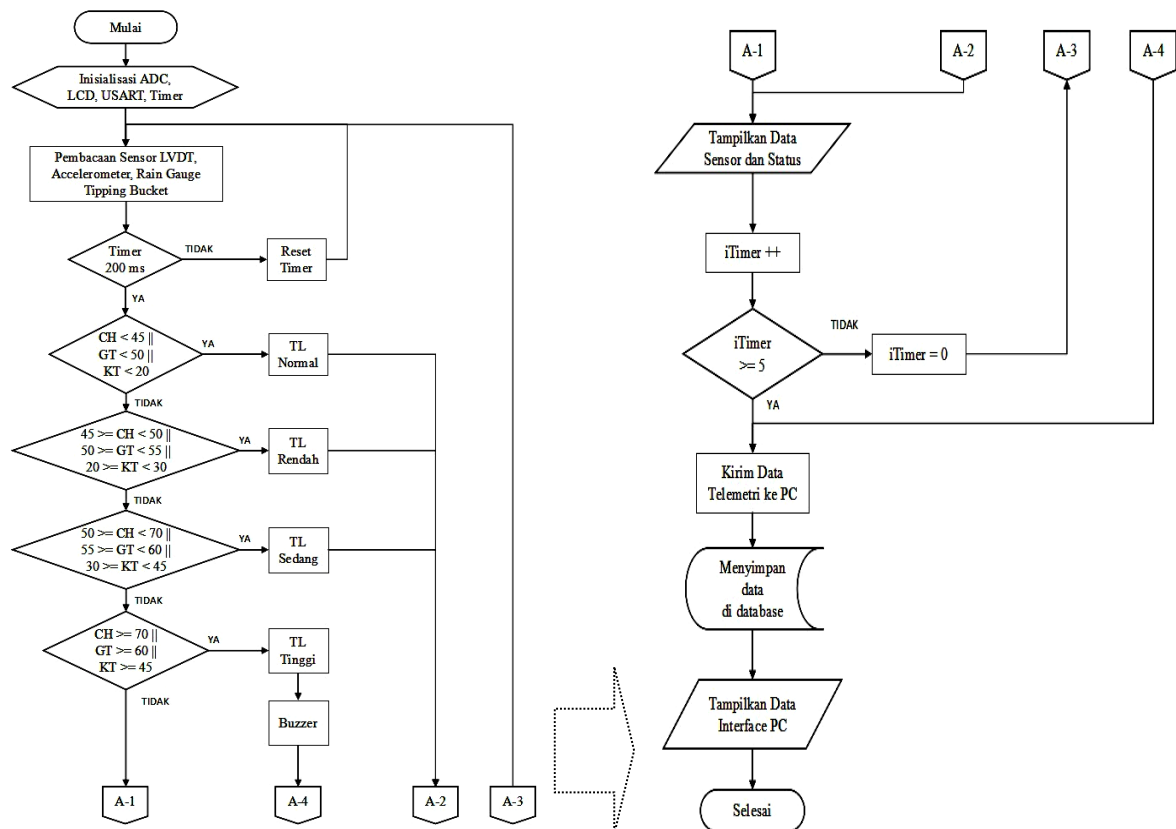
A. Hasil Pengujian Sensor LVDT dan Rheostat

Sensor LVDT dan rheostat yang telah digunakan di satu lokasi tanah sekitar kampus Politeknik Perkeretapiannya Indonesia (PPI) Madiun disajikan pada **Tabel 1**. Berdasarkan hasil penggunaan sensor LVDT dan *Rheostat* menunjukkan prosentase error semakin kecil dan bahkan mencapai 0% setelah pergeseran sebesar 5 mm ke bawah. Selanjutnya, setelah dilakukan sebanyak 5 kali penggunaan sensor LVDT dan *Rheostat* menunjukkan prosentase errornya stabil. Hal ini menunjukkan sensor LVDT dan *Rheostat* akurat. Hasil penggunaan ini keakuratannya ditunjukkan pada **Gambar 6**.

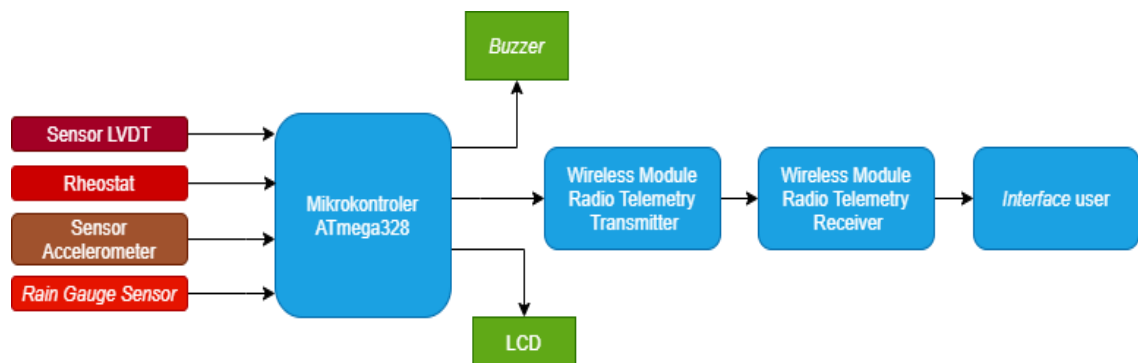
Jarak pergeseran dan tegangan output mengalami kelinieran. Keduanya sesuai dengan nilai R square yang menghasilkan nilai sebesar 0,9755 yang mendekati nilai 1. Hubungan antara jarak



Gambar 3.
Desain Rangkaian Perangkat Keras.



Gambar 4.
Desain Rangkaian Perangkat Keras.



Gambar 5.
Diagram Blok Sistem Telemetri.

pergeseran dengan tegangan output mengalami kelinieran. Hal tersebut terbukti berdasarkan persamaan yang didapatkan, nilai R square yang didapatkan bernilai 0,9991. Nilai tersebut mendekati nilai 1.

B. Hasil Pengujian Sensor Accelerometer

Hasil pengujian sensor *accelerometer* setelah dilakukan berdasarkan pergerakan di dalam tanah ke arah depan, belakang, berdiri tegak, kiri, dan kanan disajikan pada **Gambar 7** yaitu Grafik 7 (a), Grafik 7 (b), Grafik 7 (c), dan Grafik 7 (d).

Berdasarkan hasil pengujian pada Grafik a, Grafik b, Grafik c, dan Grafik d menunjukkan bahwa pada saat sensor digerakkan ke arah depan dan belakang dalam keadaan tanah berpotensi

longsor memiliki rata-rata X sebesar (2,08 dan 1,86) deg, serta Y sebesar (15,44 dan 15,28) deg. Sedangkan pada saat sensor digerakkan ke arah kiri dan kanan dalam keadaan normal memiliki kemiringan rata-rata X sebesar (15,22, dan 15,4) deg, serta Y sebesar (3,02 dan 0,66) deg. Pada saat sensor berdiri tegak memiliki kemiringan X dan Y sebesar 0,76 dan 2,48.

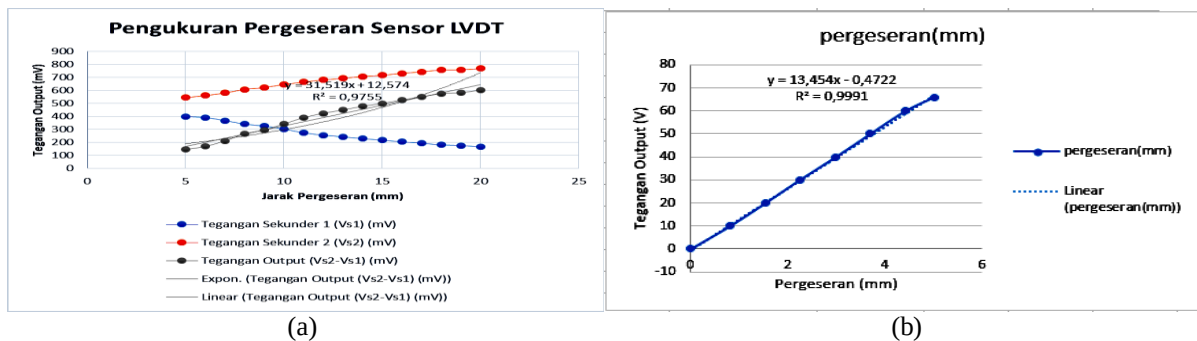
C. Hasil Pengujian Sensor Rain Gauge tipe Tipping Bucket

Hasil pengujian sensor berdasarkan intensitas curah hujan dari tiga kriteria yakni: 1) jumlah kapasitas curah hujan sebesar kurang dari 50 mm; 2) jumlah kapasitas curah hujan sebesar 50 mm – 70 mm; 3) jumlah kapasitas curah hujan sebesar lebih dari 70 mm disajikan melalui **Tabel 2**.

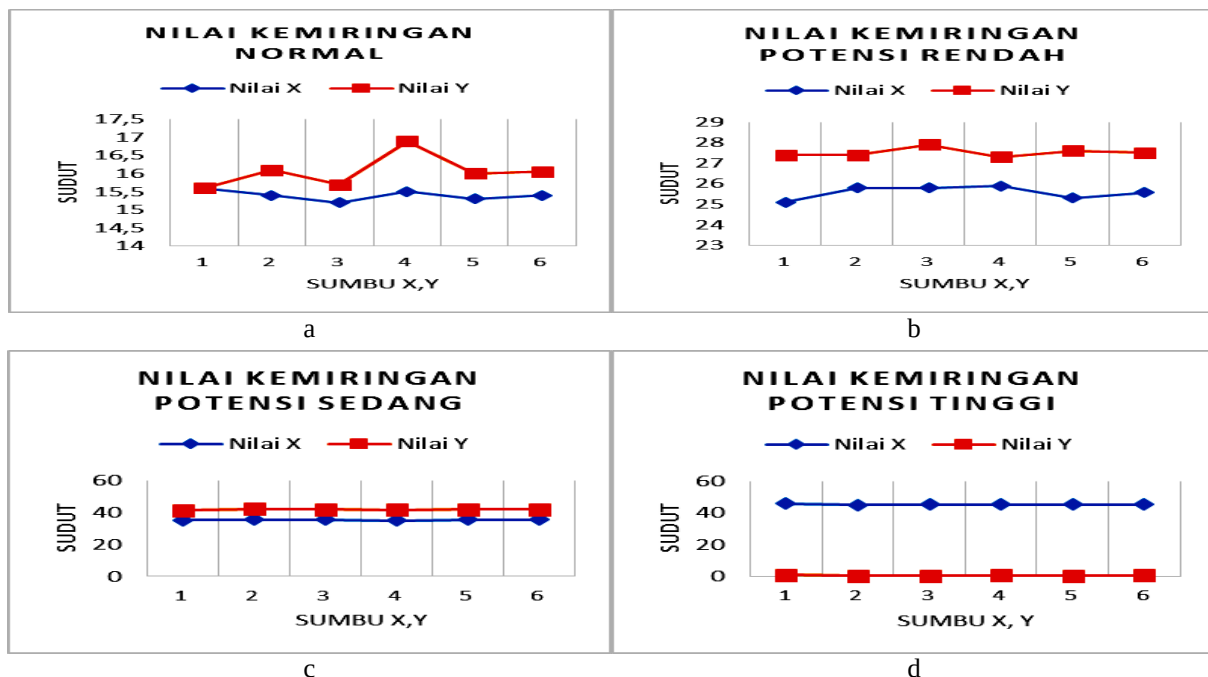
Tabel 1.
Hasil Pengujian Sensor LVDT dan Rheostat

No.	Sensor LVDT			Rheostat				
	Range Pergeseran (mm)	Pergeseran Terbaca	%Error	Range Pergeseran (mm)	Pergeseran Terbaca			
					Rheostat ₁	%Error	Rheostat ₂	%Error
1.	1	2	1%	0	0	0%	0	0%
2.	2	2	0%	10	9	10%	10	0%
3.	3	3	0%	20	20	20%	19	5%
4.	4	4	0%	30	30	0%	29	3,3%
5.	5	5	0%	40	41	2,5%	39	2,5%
6.	6	6	0%	50	50	0%	48	4%
7.	7	7	0%	60	60	0%	56	6,67%
8.	8	8	0%					
9.	9	9	0%					
10.	10	10	0%					

Sumber: Hasil Pengujian, 2020



Gambar 6.
Grafik Hasil Pengujian (a) Sensor LVDT (b) Rheostat.



Gambar 7.
Grafik Kemiringan Tanah.

D. Hasil Pengujian Radio Telemetry dalam Pengamatan Jarak Pengiriman

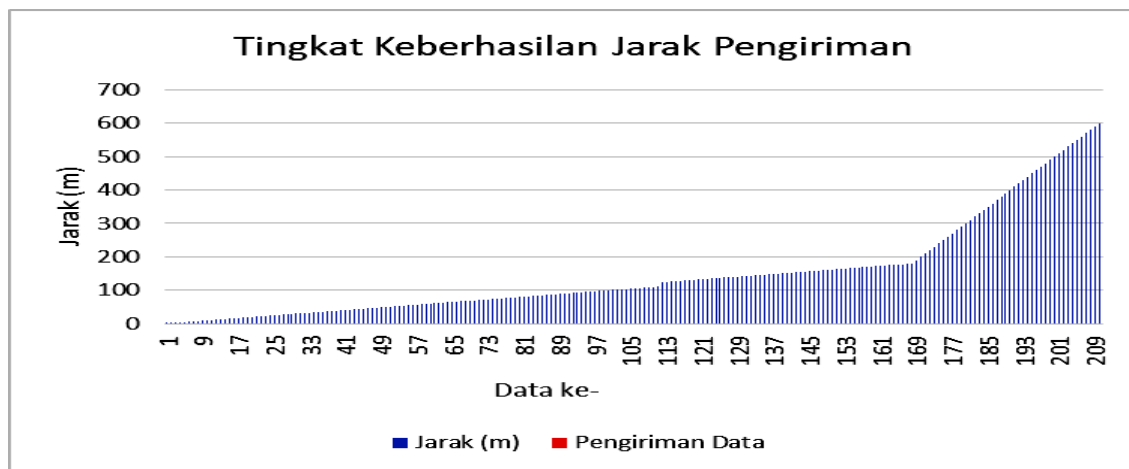
Hasil penggunaan *radio telemetry* untuk mengamati jarak pengiriman dilakukan berdasarkan jarak

dengan kriteria sampai batas maksimal dalam satuan meter. Hasil pengujian radio telemetry dalam pengamatan jarak dapat dilihat pada **Gambar 8**. Dari Gambar grafik menunjukkan

Tabel 2.
Hasil Uji Sensor Rain Gauge

No.	Waktu (menit)	Jumlah Curah Hujan/mm	Pergeseran (mm)
1.	0	3	1
2.	1	2	2
3.	2	0	3
4.	3	1	4
5.	4	2	5
6.	5	3	6
7.	6	2	7
8.	7	5	8
9.	8	1	9
10.	9	3	10
11.	10	4	11
12.	59	1	60

Sumber: Hasil Pengujian, 2020



Gambar 8.
Hasil Pengujian Keberhasilan Jarak Pengereman.

Tabel 3.
Hasil Pengujian Keseluruhan

5 Menit ke-	Tgl	Sumbu X (deg)	Sumbu Y (deg)	Curah Hujan (mm/menit)	Pergeseran (mm)	Rheostat ₁ (mm)	Rheostat ₂ (mm)	Ket.
1	18-07-2020/14:18	0	3,46	38	0	65	65	Gangguan
2	18-07-2020/14:13	0,23	3,24	38	0	63	66	Gangguan
3	18-07-2020/14:09	0,46	2,96	29	0	59	63	Gangguan
4	18-07-2020/14:04	0	3,24	18	0	11	3	Normal
5	18-07-2020/13:59	0	2,77	34	0	48	53	Gangguan
6	18-07-2020/13:54	0	3,01	29	0	1	10	Normal
7	18-07-2020/13:49	5,92	35,14	0	15	65	43	Gangguan

Sumber: Hasil Pengujian, 2020

modul komunikasi HC-12 berhasil melakukan pengiriman data sejauh 600 m. Hal tersebut sesuai pada spesifikasi teknis pada modul HC-12.

E. Hasil Pengujian Alat Secara Keseluruhan

Pengujian keseluruhan pada sistem telemetri peringatan potensi longsor dan deteksi pergeseran

tanah dengan menguji software yang terhubung dengan sensor-sensor input dan terintegrasi dengan sistem telemetri (**Tabel 3**).

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan, data yang dihasilkan pada koordinat x dan y bernilai di bawah 20 deg memiliki kondisi normal,

sedangkan pada koordinat x dan y bernilai di atas 21 deg berindikasi gangguan. Data curah hujan (CH) dalam kondisi normal memiliki nilai kurang dari 45 deg, dan sebaliknya CH memiliki nilai lebih dari 46 deg, maka berpotensi terindikasi gangguan. Pergeseran rheostat dan sensor LVDT memiliki pergeseran kurang dari 50 mm dapat dikatakan normal, sedangkan sensor memiliki pergeseran lebih dari 51 mm dapat dikatakan berpotensi gangguan.

IV. Kesimpulan

Sistem telemetri peringatan potensi longsor dapat mengirimkan data secara rutin dengan baik sesuai dengan kriteria yang telah ditentukan sehingga dapat menyampaikan laporan kepada warga sekitar daerah rawan sesuai tingkat risiko potensi bencana longsor.

V. Saran

Diperlukannya pengembangan lagi terhadap penggunaan sensor LVDT agar jangkauan pengukuran menjadi lebih luas. Jangkauan radio telemetri di perluas lagi untuk skala daerah rawan longsor yang lebih lebar. Jumlah rheostat diperbanyak, dan deteksi pergerakan tanah di bawah tanah dapat diperdalam kembali.

Ucapan Terima Kasih

Penulis secara khusus berterima kasih kepada KAUR Resor 4.21 Gundih dan Direktur PPI Madiun, Bambang dan Amirulloh yang telah menyediakan untuk mengakses data, sehingga penulis dapat melaksanakan penelitian ini dengan baik.

Daftar Pustaka

- Anandan, N., & George, B. (2017). Design and Development of a Planar Linear Variable Differential Transformer for Displacement Sensing. *IEEE Sensors Journal*, 17(16), 5298–5305.
<https://doi.org/10.1109/JSEN.2017.2719101>
- Apc, M. R. F., Wahyuni, S., & Pauzi, G. A. (2016). *Rancang Bangun Sistem Telemetri Pengukuran Suhu dan Kelembaban Udara Menggunakan Sensor SHT11 dengan. 04(01)*, 145–152.
- Baidwan, K. I. S. (2015). Design of Linear Variable Differential Transformer (LVDT) Based

Displacement Sensor with Wider Linear Range Characteristics. *The International Journal Of Science & Technoledge*, 3(4), 74–79.

- Jefriyanto, W., Saka, B. G. M., & Djamal, M. (2019). *Desain Prototype Sensor Pergeseran Tanah Dengan Menggunakan Sensor LVDT (Linear Variable Differential Transformer)*.
- Jefriyanto, W., Satria, E., & Djamal, M. (2017). Pengembangan Sensor LVDT (Linear Variable Differential Transformer) dengan berbagai Konfigurasi. *Prosiding Skf 2017*, 66–73.
http://portal.fmipa.itb.ac.id/skf2017/kfz/files/skf_2017_wilson_jefriyanto_d2ea4c0892398f71905b ff675d6caff4.pdf
- Nugroho, H. A., P, R. H., Sutanto, A. T., Instrumentasi-mkg, P., Tinggi, S., Klimatologi, M., & Jakarta, J. P. I. (2018). *Rancang Bangun Real Time Monitoring dan Peringatan Dini Tanah Longsor Berbasis Risiko*. 302–306.
- Petchmaneelumka, W., Koodtalang, W., & Riewruja, V. (2019). Simple Technique for Linear-Range Extension of Linear Variable Differential Transformer. *IEEE Sensors Journal*, 19(13), 5045–5052.
<https://doi.org/10.1109/JSEN.2019.2902879>
- Pramono, I. B. (2009). *Banjir dan Tanah Longsor*.
- Septianto, H. (2012). *Rancang bangun pengkondisi sinyal pengukuran posisi untuk modul instrumentasi dan sistem kendali. 091321079*.
- S. Sunardi, W. A. Wirawan, A. Aghastya (2018). Estimation of Geothermal Potential as a Power Supply Reactivation Planning of the Madiun Slahung Ponorogo Railroad. *Jurnal Perkeretaapian Indonesia*. Vol. 2 No. 2 Tahun 2018. DOI: <https://doi.org/10.37367/jpi.v2i2.52>
- Supriyadi, D. F. (2016). Sistem Monitoring Pergerakan Tanah Terhadap Potensi Longsor Secara Wireless Berbasis Mikrokontroler. *ADLN - Perpustakaan Universitas Airlangga, Bagian Ii*.
- Yuhananisa P, Y. P., K, L., L, Rahil, W. S., & O, R. (2014). *Sistem Telemetri Simulasi Mitigasi Bencana Kegempaan dan Deteksi Peningkatan Kadar Konduktivitas Belerang pada Gunung Berapi Berbasis Wireless 802.15.4. 4(2)*, 15–21.
- Zasvia Hendri, W. (2013). *Pembuatan dan Karakterisasi LVDT Sebagai Sensor Jarak. 2(3)*, 170–179.